

2002년 강릉지역에서 발생한 산사태의 특성에 관한 연구

A Study on the Characteristics of Landslides Having Occurred in Gangneung Area in 2002

서 흥 석*¹ Seo, Heung-Seok

한 성 길*² Han, Sung-Gil

Abstract

Serious damages occurred in Yeongdong area of Gangwondo by typhoon Rusa in August, 2002. Therefore, this study intends to investigate and analyse the characteristics of landslide having occurred in Gangneung area. 11 sites including many features of landslide were selected and scales, soil properties and a state of vegetation of slopes were investigated. It can be concluded that rainfall intensity, the velocity of the wind, geomorphology, vegetation and forest fire etc. are considered as main factors affecting occurrence of landslides in this area.

요 지

2002년 8월 태풍 루사로 인하여 강원도 영동지역에서는 많은 피해가 발생하였다. 이에 따라 본 논문에서는 그 중 강릉지역에서 발생한 산사태 현장을 조사하여 그 특징을 분석하고자 하였다. 조사현장들은 이 지역의 산사태 특징을 대표할 수 있는 11개 현장을 선정하였으며 사면의 규모, 토질, 식생상태 등을 현장을 답사하여 조사하여 산사태 발생원인을 분석하였다. 그 결과, 이 지역에서는 강우량, 풍속, 지형, 식생상태 그리고 산불발생 등이 많은 산사태를 발생시킨 주요 요인으로 판단되었다.

Keywords : Forest fire, Geomorphology, Landslide, Rainfall intensity, Typhoon

1. 서 론

오랜 연대에 걸쳐서 자연지형은 여러 요인으로 인하여 침식과 퇴적현상을 반복적으로 받아 재형성되어 왔다. 그 중 우리나라에서는 6~9월 사이의 태풍과 강우로 인하여 발생하는 산사태가 자연을 변형시키는 주요한 요인 중 하나이다. 과거에 발생한 산사태의 대부분은 주로 경사가 가파른 오지에서 발생하여 인명피해의 측면에서는 크게 주목받지 아니하였다. 그러나 최근의 산업발달 및 도심지의 확장으로 인하여 도로 및 철도건설, 택지조성사업 등이 활발해짐에 따라 산사태로 인한

인명, 재산상의 손실이 증가추세에 있다(서, 1996).

2002년 8월 31일 하루동안 강릉시를 비롯한 동해안 영동지역에서는 태풍 루사(Rusa)의 영향으로 800mm가 넘는 폭우가 쏟아졌다. 이는 역대 기상관측 사상 1일 강우량으로서는 최고치로 기록되었으며 이로 인하여 엄청난 피해가 야기되었다. 태풍으로 인한 피해는 인명피해 뿐만 아니라 주택의 파손, 농경지의 유실과 도로, 하천, 항만 등의 공공시설물의 파손 등 이루 헤아릴 수 없을 정도이다. 특히 강릉지역에서는 2000년도에 대규모 산불이 발생하였고 이번에는 태풍으로 인한 산사태 등으로 커다란 산림훼손의 피해를 당하였다.

*1 정희원, 강릉영동대학 토목건설시스템과 조교수 (Member, Assistant Prof., Dept. of Civil Engrg., Gangneung Yeongdong College, seohsk@gyc.ac.kr)

*2 정희원, 현대산업개발 토목본부 과장 (Member, Manager, Hyundai Dept. Co.)

이와 같은 연속적인 자연재해로 인해 이 지역 주민들은 지금도 많은 고통을 받고 있다.

따라서 본 연구는 강릉지역에서 발생한 산사태에 대해 조사하고자 산사태가 발생된 여러 현장들 중 우선 대표적인 특징을 갖고 있는 산사태지들을 선정하였다. 이들 산사태 발생 현장에 대해 발생상황, 규모, 식생상태 등을 현장답사하여 조사하고 기상자료, 지질자료 등을 분석하고 간단한 토질실험을 수행하여 각각의 산사태에서의 발생원인을 규명, 분석하고자 하였다.

2. 산사태 발생상황 및 현장개요

2.1 강릉지역 위치 및 지형

본 연구 대상 지역인 강릉시는 강원도 태백산맥의 동쪽 영동지역 중앙에 위치해 있으며, 동쪽으로는 동해바다가 있고 서쪽에는 평창군과 정선군이 인접해 있으며, 남쪽으로는 동해시, 북쪽에는 양양군이 인접해 있다. 전체 면적은 1,040km²(서울시 면적의 1.72배)이며 동경 128° 35' ~ 129° 04', 북위 37° 27' ~ 37° 54'에 위치한다.

강릉지역은 지형적으로는 태백산맥의 동쪽에 지맥이 급한 경사를 이루면서 구릉과 좁은 평야를 이루고 있다. 주위의 대표적인 산으로는 서북쪽의 철갑령, 노인봉 등이 있으며 서남쪽의 경계를 따라서 제왕산, 칠성대, 노추산 등이 있고 남쪽에 응봉산, 쾌방산이 있다. 대산에서 발원한 연곡천이 동류하여 동해로 유입되며, 철갑령 부근에서 발원하는 신리천도 동류하면서 하류부근에 평야지대를 형성하고 있다. 또 중앙에는 사천천이 주변에 비옥한 충적평야를 이루면서 동해로 흘러 들어간다. 대관령에서 발원하는 남대천은 강릉시의 중앙을 지나면서 왕산천과 합류하여 동해쪽으로 흘러든다(강릉시, 2002).

2.2 강릉지역 산사태 발생상황

제15호 태풍 루사의 영향으로 영동지역에서는 많은 인명과 재산상 피해가 발생되었다. 이에 따라 강릉시에서는 강릉지역에서 발생한 피해내용을 조사, 집계하였으며 그 내용은 표 1과 같다.

태풍으로 인하여 먼저 기술한 피해내용과 더불어 엄청난 규모의 산사태도 발생되었다. 강릉시에서 집계 조사한 자료에 따르면 산사태 발생개소는 3,033곳이며 피

표 1. 태풍 루사로 인해 강릉시에서 발생한 피해내용(강릉시, 2002)

항 목	피 해 내 용
총피해액	973,012백만원
인명피해	사망 46명, 부상 17명
이재민	7,155세대 23,384명
침수피해	10,218세대
주택파손유실	1,444동
농경지	3,641ha
도로교량	159개소
하천	22개소

표 2. 강릉시 읍면별 산사태 발생현황 집계내용(강릉시, 2002)

소 재 지	개 소	피해면적(ha)	피해액(억원)	복구소요액(억원)
주문진읍	151	48.0	26	27
성 산 면	475	86.6	47	51
왕 산 면	48	10.9	6	6
구 정 면	133	28.5	15	18
강 동 면	171	38.4	22	23
옥 계 면	114	22.1	12	12
사 천 면	972	132.3	72	74
연 곡 면	539	80.6	43	43
강릉시내	430	38.7	20	28
합 계	3,033	486.1	263	282

해면적은 약 486ha였으며 지역별 산사태 발생 피해내용은 표 2와 같다. 표에서와 같이 강릉지역에서는 특히 사천, 연곡, 성산면 지역이 산사태 발생개소, 면적, 금액 등에 있어서 주로 큰 피해를 받았다. 따라서 본 연구에서는 이들 지역들 중에서 산사태 현장들을 선정하여 그 특징들을 조사 분석하고자 하였다.

2.3 기상개요

태풍 루사로 인하여 8월 31일 04시 강원도 지역에 태풍주의보가, 07시 30분에는 강원도 영동지역에 그리고 15시 30분에는 영서지역에 태풍경보가 발효되었으며 이는 9월 1일 12시에 해제되었다.

강릉관측소에 의해 측정된 자료에 의하면 강릉지역에서는 8월 30일 05시 1mm의 적은 강우량으로 강우가 시작되었다. 강우는 8월 31일 04시의 19mm로부터 시간당 10mm를 넘는 강우가 집중되기 시작하였으며 8월 31일 23시에서 98mm의 최대시우량을 기록하였다. 8월 30일부터 9월 1일까지 시우량에 관한 자료를 그림 1에 막대그래프로 표기하였다.

그림 1에는 3일간 시간별 누적강우량을 실선으로 표시하였다. 8월 31일의 일강우량은 870.5mm로 측후소

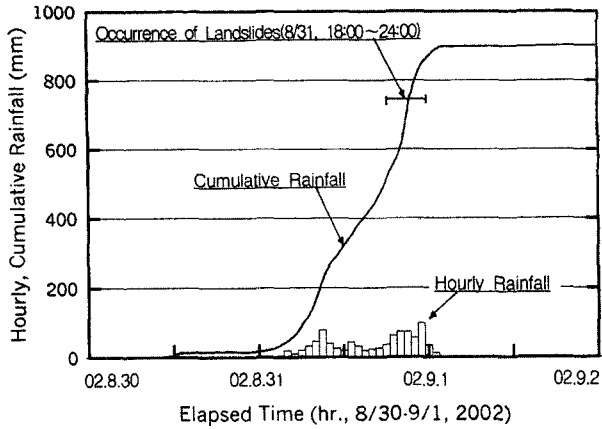


그림 1. 강릉지역에서 8월 30일부터 9월 1일까지 발생한 시우량과 누적강우량

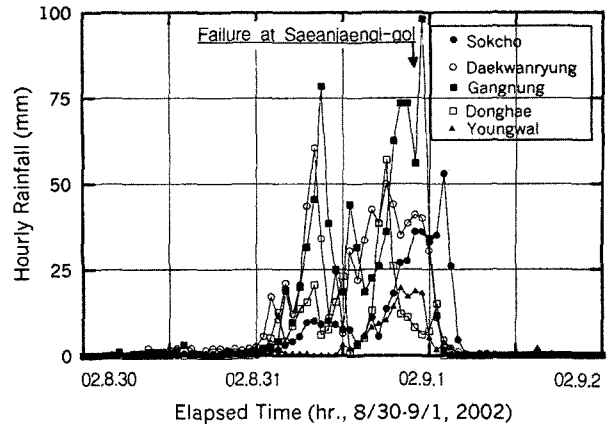


그림 2. 강원도 지역에서 측정된 강우량들의 비교

표 3. 산사태 예보 기준치와의 비교

구 분		연속강우량(산림청, mm) 2일 연속강우량(김, mm)	시우량(mm)	일강우량(mm)
산림청(1993)	산사태주의보	100~200	20~30	80~100
	산사태경보	200 이상	30이상	150 이상
김(1994)	산사태주의보	100	15	80
	산사태경보	200	30	140
태풍 루사로 인한 강릉지역 강우자료(2002)		884.5	98	870.5

관측사상 최고치를 기록하였으며 태풍으로 인하여 강우가 시작된 8월 30일부터 강우가 종료되는 9월 1일 02시까지 최종 누적강우량은 898mm로 측정되었다. 그림 2는 강원도 지역에서 측후소가 설치된 지역 중 이번 태풍으로 인하여 영향을 받은 지역들의 시간별 강우량을 조사하여 표시한 것이다. 그림을 보면 이 중 강릉지역에서 가장 큰 강우가 발생되었다는 것을 알 수 있으며 이로부터 다른 지역과의 강우량의 차이는 물론 피해규모 정도를 대략 비교해 볼 수 있을 것이다.

산림청(1993)과 김(1994)은 연속강우량, 시우량 및 일우량을 근거로 하여 산사태를 예보할 수 있는 기준을 제시하였다. 이번 태풍 루사로 인하여 강릉지역에서 발생한 강우량과 이 기준들을 비교하면 표 3과 같다. 이로

표 4. 2002년 8월 31일의 강릉지역 풍향자료

풍 향	지속시간(hr)
NW	10
WNW	6
WSW	3
NNW	3
N	1
E	1

부터 강릉지역에서의 연속강우량, 시우량, 일우량들은 모두 제시된 산사태 발생 기준치 보다도 훨씬 크다는 것을 알 수 있다.

태풍 루사가 이동할 때 강우와 더불어 발생하는 바람의 영향을 알아 보는 것도 산사태 발생과 관련하여 흥미로운 일이 될 것이다. 측정자료에 의하면 표 4에서와 같이 강릉지역에서 태풍발생 당시 측정된 풍향은 주로 북서(NW), 서북서(WNW) 방향이 주를 이루었다. 또한 태풍발생 기간 중의 최대풍속은 8월 31일 22시에 측정된 7.5m/sec였으며 8월 31일의 평균풍속은 4.2m/sec로 2001년의 연평균 일평균풍속 2.9m/sec 보다도 훨씬 크다는 것을 알 수 있다. 태풍으로 인해 평상시 보다 큰 풍속은 식생이 양호한 사면에서 지반을 교란시켜 침투로를 형성하고 전단강도를 저하시킬 가능성이 큰 것으로 추정된다(건설부, 1988; 박용원 외, 1993). 풍속으로 인하여 지반의 나무에 유발되는 전단응력 사이의 관계는 Hsi and Nath (1970)가 실험을 실시하여 식으로 제시하기도 하였다(Anderson, 1987). 여기서 약 90km/hr의 풍속은 약 1kPa 전단응력을 유발하는 것으로 보고되었다. Coppin and Richards(1990)은 사면안정에 나무의 영향을 고려함에 있어, 나무하중, 뿌리영향, 바람하중 등을 고려할 수

있는 안전율 계산식을 제안하였다(Ali and Barakhbah, 2002).

2.4 지질 및 지형개요

산사태가 발생한 본 연구대상 지역인 강릉지역은 1:250,000 강릉-속초 지질도폭에 의하면 주로 화강암이 분포하는 것으로 되어 있다. 즉 강릉시의 현남, 주문진, 연곡, 사천, 왕산 그리고 옥계면 등은 주라기 대보관입암류의 화강암이 분포하는 것으로 분류된다.

중생대 화성암으로 주라기의 대보관입암류는 육천대의 북서부에서 북동-남서 방향으로 분포하는 대규모의 저반이 주를 이루고 있으며 이외에도 크고 작은 암주상 암체가 도폭지역 내에 분포한다. 대보관입암류는 대부분 화강암질 심성암이고 중성 내지 염기성의 심성암이 국부적으로 나타난다. 강릉-오대산지역의 저반형 화강암류는 크게 흑운모화강암과 복운모화강암으로 나뉜다. 흑운모화강암은 중립질의 등립질암으로 석영, 가리장석, 사장석, 흑운모 등이 주 구성광물을 이루고 있고 특징적으로는 스피넬을 부수광물로 포함한다. 복운모화강암은 세립질의 등립질 암으로 석영, 가리장석, 사장석, 운모 및 자철석, 스피, 각섬석, 모나자이트 등을 수반한다(한국지질자원연구원, 2001).

본 연구대상의 사면 중 7개 지역에서 채취한 시료에 대해 흙 분류를 위한 실험을 실시하였다. 실험결과 통일 분류법으로 SW, SP로 분류되었으며 체분석 결과는 그림 3에 도시되었다.

2.5 산불이 산사태에 미치는 영향

산불발생으로 인하여 피해를 받은 산림지역에서는

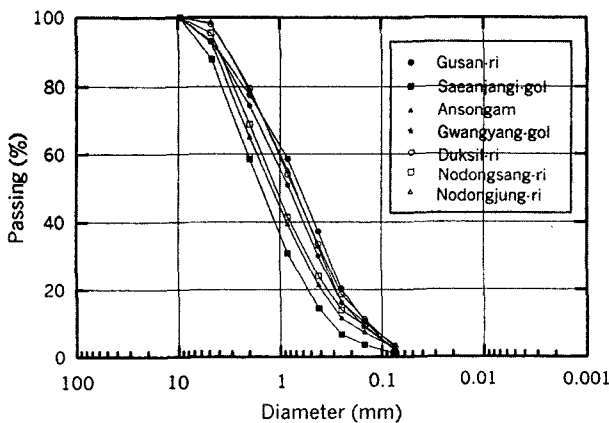


그림 3. 산사태 발생현장 토질의 입도분포

지표보호불인 낙엽, 초본, 관목, 임목의 수관 등이 완전 소실됨에 따라 태양의 직사광선과 바람의 영향을 직접 받기 때문에 표층 토양이 건조해 단단해지고, 강수의 영향으로 지표 토양의 물리적 구조에 교란이 발생한다(우보명 등, 1989). 또한 산불피해를 받은 산림지역에서는 지표보호물이 없으므로 강우시에는 빗방울의 침식을 직접 받게 되고, 바람에 의한 침식에도 노출되므로 지표 토양의 구조가 파괴되어 물리성이 악화됨에 따라 집중호우시 토사유출도 우려된다.

우리나라에서는 대륙성 기후의 영향으로 봄과 가을에 건조하고 바람도 자주 불기 때문에 이 기간에 전국적으로 산불이 많이 발생하고 있다. 또한 우리나라는 산림구조 및 지형 그리고 기후상 산불가능성이 매우 높다. 즉 산림이 울창하고 가연성이 높은 낙엽 등이 많이 쌓여 있으며 경사가 급하고 기복이 많은 산지로 되어 있어 연소진행속도가 평지보다 약 8배나 빨리 급속히 확산되고 있다.

강원도 영동지역에서는 극심한 건조상태를 보이는 봄철에 광범위하고도 빈번하게 산불이 발생되고 있다. 이와 같이 대형산불이 자주 발생하는 것은 이 지역 산림이 산불에 취약한 소나무가 주를 이루고 있으며 계절적으로는 봄철에 북동풍이 강하게 불 뿐만 아니라 태백산맥 사면의 산세가 매우 험준하기 때문이라고 할 수 있다. 이와 같은 산불은 많은 인명과 재산 및 산림자원의 피해를 유발하고 있는 실정이다(국립방재연구소, 2001).

영동지역에서는 최근들어 많은 산불이 발생되었다. 표 5는 1990년대 이래로 영동지역에서 발생한 주요 산불내역이며 본 연구의 조사영역인 강릉지역에서도 2000년 4월에 사천면 노동리에서 1,447ha에 걸쳐 대규모 산불이 발생되었다.

표 5. 강원도의 연도별 주요 산불내역

연도	발생장소	피해면적(ha)
1993	삼척군 원덕읍 임원리 산 18	505
1994	명주군 옥계면 남양리 3 산 17	57
1996	고성군 죽왕면 마좌리 산 1	3,762
1997	고성군 토성면 성대리 산 3	277
1998	강릉시 사천면 덕실리 산 36	301
1999	양구군 동면 팔랑리 산 1	64
2000	강릉시 사천면 노동리	1,447
2000	고성군 토성면 학야 1리	2,696
2000	동해시 삼화동 비천	2,244
2000	삼척시 근덕면 궁촌리 산 449-1	17,097

3. 현장위치 및 지역별 특성 분석

3.1 현장위치

본 연구에서는 강릉지역에서 발생한 여러 산사태 지역들을 답사하여 그 중 각각 특징이 있으면서 이번 산사태를 대표할 수 있는 11개소의 산사태 발생 현장을 선정하였다. 이들 선정된 현장에 대해 정밀조사를 실시하여 이를 토대로 이번 산사태의 특징과 유형 및 발생원인에 대해 분석하고자 하였다. 선정된 산사태 발생지역들은 그림 4에 표기하였으며 강릉시의 위치를 함께 알 수 있도록 하였다. 다음으로는 각 11개 현장별 상황 즉 산사태지의 규모, 지질상태, 식생상태 그리고 그 지역 주민들의 당시 상황에 대한 진술 등에 대한 내용과 각 현장들에서의 특징 그리고 이에 대한 분석을 기술한 내용들이다.

3.2 현장별 산사태 특성 조사 및 분석

(1) 성산면 구산리 제왕산 기슭

본 사면은 성산면 구산리 제왕산 기슭에 위치하며 사면에는 높이 약 4~5m, 흉고직경 5~10cm 정도의 소나무



사진 1. 성산면 구산리 제왕산 기슭 산사태

와 두릅나무들이 초목들과 우거져 있었다. 사면 아래로는 밭이 있으며 그 아래 좌측에는 직경 1~2m의 쇠석이 쌓여 있고, 우측에는 높이 5m의 전나무가 서식되어 있었다. 본 지역에서는 사진 1에서와 같이 전면 3개소의 산사태가 발생되었으며 가운데와 우측 파괴사면은 흘러 내리면서 사면 중간부에서 합류되었다. 파괴사면들의 규모는 폭이 9.4~13m, 길이가 63.5~82m이었으며 주향은 N20°E, 경사는 36~48°로 상당히 가파른 편이었다. 토층두께는 약 40cm로서 파괴토층의 두께는 약 20cm이며 파괴된 토괴는 좌측에서는 21.4m 이동하여 전면 3개소까지 이르렀으며 우측에서는 27.2m 이동하여 전나무 단지부분에 퇴적되었다. 좌측 사면의 중간부와 중간, 우측 사면의 상부, 중간부에서 매끄러운 회색의 화강암 암반이 노출되었으며 이들 암반에는 두께 20~40cm의 흰색 암맥 7개가 중, 횡으로 분포되었다. 주민의 진술에 의하면 본 사면의 파괴는 8월 31일 오후 11~12시경에 발생되었다고 한다.

본 사면에서는 집중호우시 오목한 지형의 약간 계곡을 이룬 곳에 우수가 집중되고 이로 인하여 세굴이 발생되었으며 이와 더불어 사면하단부의 key 부분이 유실되어 사면파괴를 야기시켰을 것으로 판단된다. 그리고 태풍에 동반되는 바람은 가파른 지형 위의 나무뿌리를 뒤흔들며 지반을 이완시켰으며 이로 인한 강우의 침투능력 증대는 간극수압을 증가시켜 사면파괴의 요인이 될 것이다. 또한 사면에 식재된 나무로 인한 하중은 사면의 파괴를 촉진시키는 역할을 했을 것이다.

식생상태가 양호하면 사면의 안정성을 증진시키게 되지만 본 사면의 경우에는 태풍에 동반되는 풍하중의 영향과 나무하중의 영향으로 수목이 사면의 안정에 다

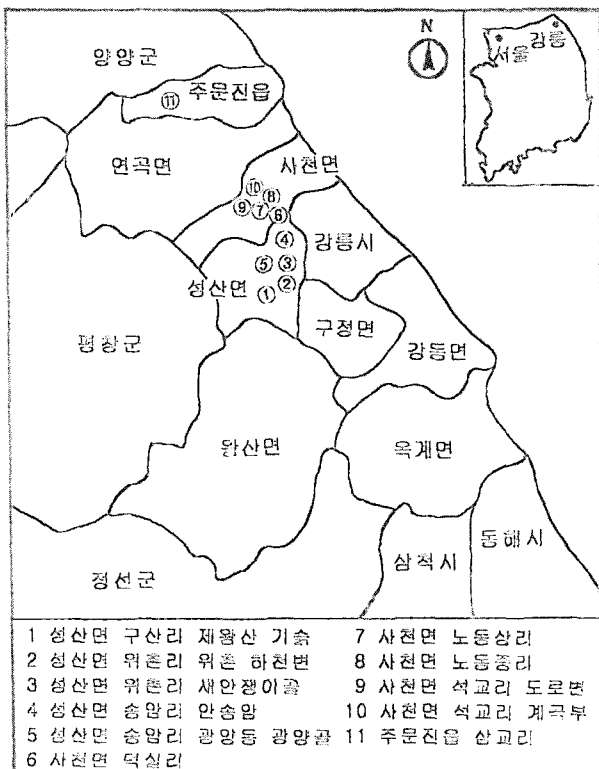


그림 4. 산사태 발생 위치도

소 불리하게 작용할 수도 있다는 실례를 보인 것이다. 이러한 형태의 파괴는 이번 강릉지역에서 발생한 산사태 중 경사가 비교적 가파른 사면들에서 볼 수 있는 파괴유형으로 분류된다.

(2) 성산면 위촌리 위촌 하천변

본 지역은 성산면 위촌리에 위치하며 이 지역을 흐르는 하천에 인접한 사면에서 4개소의 사면파괴가 발생되었다. 이들 사면에서는 집중호우로 인하여 암반 위에 얇게 피복된 표토층이 쓸려져 내려와 파괴가 발생되었다. 사진 2는 이 지역에서 파괴된 사면의 일부 모습으로 사면 하부의 폭이 20m, 높이가 8.5m이며 주향은 N80°W였다. 파괴사면 상부의 원지반은 경사가 30°이지만 파괴사면에서는 42° 경사로 매우 가파르다. 파괴토층의 두께는 10~20cm로 매우 얇았다. 사면의 암반은 화강암으로 분류되며 암반에는 두께 10cm의 암맥이 2열로 수평면과 8°의 경사로 기울어져 있었고 2~3cm 두께의 가는 흰색의 암맥들도 거의 수평으로 분포한다. 사면에는 높이 10~15m, 직경 5~30cm의 소나무가 2~3m 간격으로 분포하며 파괴사면 부근에는 높이 5m, 직경 5cm의 참나무들이 서식되어 있었다.

본 지역의 사면들은 경사가 가파르면서도 표토층은 매우 얇았으며 그 위에 비교적 큰 규모의 나무들이 서식되어 있었다. 파괴된 사면 부근에서는 나무의 긴 뿌리들이 노출되었다. 이는 표토층이 얇은 관계로 뿌리가 암반층까지 관입되지 못한 상태에서 집중호우로 인한 침투로 전단력이 약화되어 암반 위의 토층이 나무와 더불어 쓸려져 내려와 암반층이 완전히 노출되며 파괴되는 특징을 갖는다. 이 때 나무의 뿌리들은 사면파괴에 대해 아무런 저항

력을 발휘하지 못했을 것으로 추측된다. 또한 태풍으로 인하여 불어난 시냇물의 수류에 의해 사면 하단부가 세굴되어 이 또한 사면 불안정의 요인이 된 것으로 사료된다.

(3) 성산면 위촌리 새안쟁이골

본 사면은 사진 3에서와 같이 폭 3m의 도로에 인접한 절개지에서 사면파괴가 발생한 곳이다. 절개지 사면에서 붕괴된 토사가 나무와 함께 꺼지듯이 아래로 이동되어 절개지 상부로부터 사면 높이의 1/3되는 지점에 일부가 퇴적되고 나머지는 도로 아래 논까지 흘러 사면으로부터 28m 이동되어 농경지에 이르러 퇴적되었다.

사면의 높이는 중간부에서 27.4m, 좌우측에서는 14m이며 폭은 64.5m이었으며 주향은 S10°W, 경사는 원사면이 45°, 파괴사면의 상부는 55°, 하부는 29°를 나타내었다. 토층두께는 3~4m로 비교적 두꺼웠으며 파괴된 토층의 두께는 상부에서 2.5m로 관측되었으며 암반은 노출되지 않았다. 파괴된 토피 위로는 물이 흘러내린 흔적으로 깊이 0.7~1m의 골들이 사면에 존재하여 그 당시에 발생하였던 집중호우의 정도를 짐작할 수 있었다. 사면에는 높이 5m, 흉고직경 5~20cm 크기의 참나무와 높이 2m, 흉고직경 10cm의 소나무가 서식되어 있었다. 주민들의 진술에 의하면 사면붕괴는 8월 31일 오후 10시 40분경 발생되었다고 한다. 파괴발생 시점을 그림 2에 강우량과 함께 표기하였다.

대부분의 자연사면이나 절개사면에 식재된 초목은 사면에 긍정적인 영향을 미치게 된다. 즉 식물의 뿌리는 토양표면을 고정시키고, 강우를 차단하여 지표면을 흐르는 물이 흙으로 스며드는 것을 최소화하고, 또한 식생은 지표면을 흐르는 빗물의 속도를 늦추는 기능을 수행

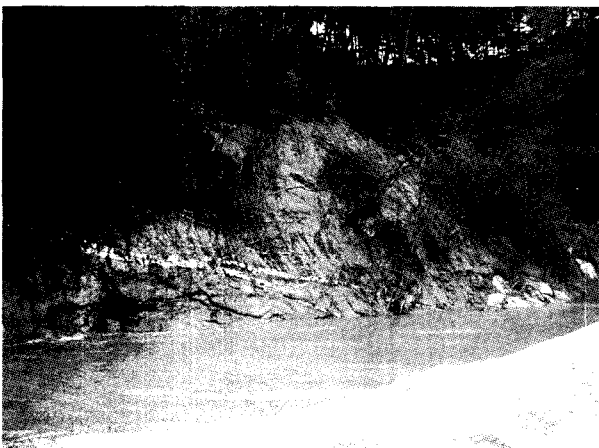


사진 2. 성산면 위촌리 위촌 하천변 산사태

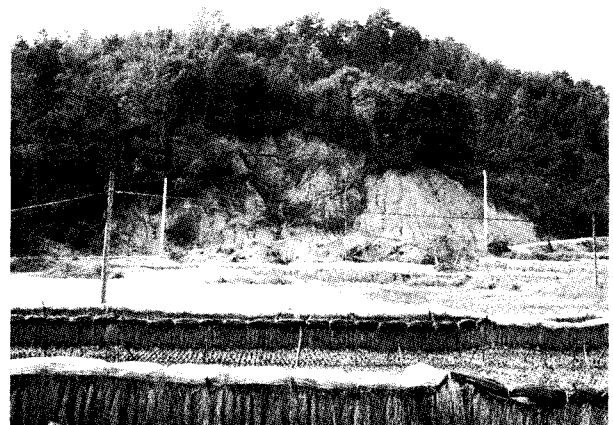


사진 3. 성산면 위촌리 새안쟁이골 산사태

한다. 이외에 식물은 흙의 수분을 조절하는 기능을 수행하여 간접적으로 심층부의 안정에 영향력을 미치게 된다. 이와 같은 식생의 역학적인 보강효과는 사면내 응력의 평형상태에 영향을 끼쳐 사면의 안전율을 높이는 효과를 얻게 된다(국립방재연구소, 2001).

본 사면은 비교적 토층이 두꺼운 절개지 사면으로서 집중호우로 인한 사면의 상부에서의 침투로 사면붕괴가 발생되어 토사가 나무와 함께 아래로 쓸려져 내려오며 파괴를 일으켰다. 이 때 사면에 식생된 나무는 비교적 규모가 큰 소나무와 참나무들이며 당시의 집중호우로 인하여 침투가 발생되어 토괴의 하중은 증가된 상태였을 것이다. 또한 그 당시 이 지역에서는 최대 7.5m/sec로 바람이 불어 나무가 뒤흔들려 사면에 서식된 나무 뿌리부분의 이완으로 강우의 침투가 더 용이하게 되어 사면붕괴를 촉진시켰을 것으로 판단된다. 따라서 사면에 식재된 초목은 우수의 저류기능과 침식에 대한 저항성을 증대시켜 사면을 안정시키는데 상당히 중요한 역할을 하고 사면파괴의 규모나 빈도를 감소시키는 바와 같이 주로 긍정적인 영향을 미치게 되지만 반면 나무하중과 바람에 의한 지반의 이완 등으로 다소 사면에 불리하게 작용하는 경우도 있다는 것을 본 현장의 사례를 통해서 알 수 있었다. 이와 같이 식재된 큰 규모의 나무들과 함께 토사가 붕괴되듯이 파괴되는 양상은 조사된 대부분의 절개지 토사사면에서 발생하는 특징이었다.

(4) 성산면 송암리 안송암

본 현장은 사진 4에서와 같이 왕복 2차선 도로 옆 절개지에서 사면파괴가 발생된 곳으로 사면은 깊이 30cm의 얇은 표토층 아래 절리가 많은 큰 규모의 풍화암들이 아



사진 4. 성산면 송암리 안송암 암반사면 파괴모습

래로 쓸려져 내려와 파괴되었다. 사면은 중심부 사면높이가 35.6m이고 폭은 33m였으며 파괴된 암괴와 토사는 도로를 지나 농경지까지 14.2m를 이동하여 퇴적되었다.

파괴된 사면의 경사는 원지반에서는 37°, 토괴가 퇴적된 가운데 부분에서는 22°로 측정되었으며 주향은 S65°W이다. 암괴의 최대 직경은 4.5m였으며 암석은 장석과 흑운모가 주를 이룬 화강암이다. 토층의 두께는 상부에서는 30cm, 하부에서는 40~50cm로 얇았으며 사면에는 높이 14m, 흉고직경 약 30cm의 소나무들이 서식되어 있었다. 파괴시각은 주민진술에 의하면 8월 31일 밤으로 추정된다.

본 사면은 절개지 사면으로서 얇은 표토층 아래에는 토사와 풍화가 심한 암반이 존재하였다. 태풍으로 인한 집중호우로 많은 물이 바람으로 느슨해진 표토층으로 침투하여 결국 암반의 암석들 사이에 높은 간극수압이 형성되었을 것이다. 따라서 본 사면에서는 풍화가 심하게 된 지질적인 특성에 집중호우로 인한 침투, 바람 그리고 나무하중이 사면파괴를 촉진시켰을 것으로 판단된다. 또한 사면내에는 암석이 많이 존재하므로 파괴된 토사와 암석의 이동거리는 비교적 작았다.

(5) 성산면 송암리 광양동 광양골

본 지역은 성산면 송암리 광양동의 광양골에 위치한 사면으로 사진 5에서와 같이 자연사면에서 대규모의 산사태가 발생하였다. 사면의 규모는 길이가 178.7m였으며 폭은 사면 중간부분에서 74.4m이며 주향은 N80°E였다. 사면의 경사는 최상부에서 원지반의 경사가 30°, 파괴면의 각도는 34°였다. 사면 하부에 노출된 암반은 석영, 장석 광물을 주로 함유한 화강암으로 분류되며 사면



사진 5. 성산면 송암리 광양동 광양골 산사태

의 식생상태는 사면 최상부에는 직경 5cm, 높이 5m의 참나무가 서식하며, 퇴적부 상부에는 흉고직경 15cm, 높이 18m의 소나무와 참나무가, 퇴적부 중간에는 20m 크기의 전나무가 서식되어 있었다.

파괴된 토괴는 토석류로 전환되어 사면파괴면 하부로부터 434m 이동하여 퇴적되었으며 퇴적부 중하부에서는 최대직경 3m까지의 바위들이 유실된 나무들과 함께 퇴적되었다. 퇴적된 지역이 예전에는 논과 밭이었지만 조사 당시에는 그 흔적을 찾아 볼 수 없었다. 따라서 이러한 조사내용으로부터 이 지역에서 발생한 산사태 규모를 짐작할 수 있다. 사면이 파괴된 시각은 주민의 진술에 의하면 8월 31일 밤 6시경이지만 주민들은 8월 31일 오전에 대피하여 인명피해는 없었다.

(6) 사천면 덕실리

본 지역은 사진 6에서와 같이 지금은 완공된 동해고속도로의 현장사무실이 있던 지역 뒤의 나즈막한 야산



사진 6. 사천면 덕실리 산사태



사진 7. 사천면 덕실리 macropore

에서 3개소의 산사태가 발생된 곳이다. 파괴된 사면의 규모는 폭 9.8~14.4m, 길이 14.8~23.3m로 비교적 작은 규모이며 파괴토층 두께는 60~80cm로 비교적 얇았다. 사면의 경사도 원지반은 28°, 그 위로는 22°로 완만하며 파괴면의 최상부는 48°로 가파르지만 중하부는 28°였으며 전면의 사면은 주향이 N22°W였다. 사면의 중간부분에서 풍화암이 부분적으로 노출은 되었지만 거의 풍화토로 진행된 상태였다. 사면에는 크기 5m, 흉고직경 20cm의 밤나무가 3~4m 간격으로 서식되어 있었다. 파괴시각은 주민진술에 의하면 8월 31일 밤이었을 것으로 추측된다.

사면에는 밤나무 이외에 식생된 나무가 많지 않았다. 그러나 파괴면의 상부에는 사진 7에서와 같이 macropore가 다수 발견되었으며 이를 통하여 우수가 집중되어 높은 간극수압이 유발되어 사면파괴를 촉진시켰을 것으로 판단된다. 사면에 존재하는 macropore는 동물의 이동으로 나무뿌리가 썩어 형성된 큰 공기구멍이나 흙 관로서 macropore를 따라 강우의 침투가 집중되면 피압지하수(artesian pore water pressure)가 발생되어 결국 사면파괴를 유발시키게 된다(Beven and Germann, 1982; Pierson, 1983).

(7) 사천면 노동상리(장정교 부근 마을 뒤)

본 지역은 사천면 노동상리 장정교 부근으로 사진 8에서와 같이 마을 민가 뒤에서 산사태가 발생되어 민가의 일부가 파괴되었다. 사면은 폭 11.3~14.2m, 길이 77.7m의 큰 규모로 파괴가 발생하였으며 경사는 원지반에서는 30°이지만 파괴면에서는 40°, 주향은 S50°W를 보였다. 사면의 하부에서는 매끄러운 암반이 노출되었



사진 8. 사천면 노동상리 산사태

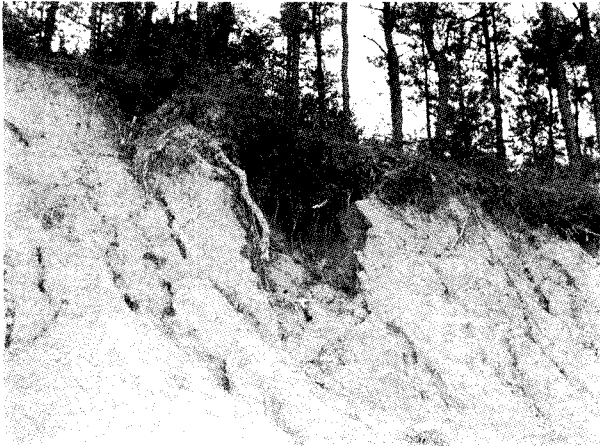


사진 9. 사천면 노동상리 산사태사면 함몰부

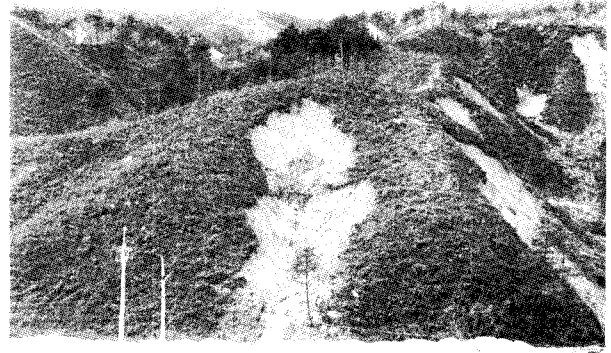


사진 10. 사천면 노동중리 산불발생지역 산사태

으며 파괴토층의 두께는 사면 상부 중심부에서 3.5~4m, 중하부에서는 4m로 측정되었다. 사면에는 주로 소나무가 서식되어 있었는데 흉고직경이 약 35cm, 높이가 20~25m였으며 산정상부 위는 직경 15cm, 높이 4~5m 정도의 소나무가 1.2~2m 간격으로 분포되었다. 파괴시각은 주민의 진술에 의하면 8월 31일 오후 6시경이었으며 파괴시 이동토괴는 민가의 사랑채를 치고서 56m 이동하여 묘목단지 앞 농경지에 이르러 퇴적되었으나 주민들은 이날 오전에 대피하여 인명피해는 없었다고 한다.

본 사면에서는 사진 9에서와 같이 최정상 부근에 높이 2m, 폭 1m, 깊이 1m 정도 규모의 큰 함몰부 발견되었는데 함몰부 깊은 곳에 표토층으로부터 1m 깊이에 암반이 존재하였다. 이 함몰부에서 집중호우로 인하여 침투된 우수가 흙을 포화시켜 취약한 이 부분부터 아래로 쓸려져 내려가 전체 사면의 파괴를 촉진시켰을 것으로 판단된다. 사면 중간부 파괴면 옆의 나무뿌리 아래에서도 macropore가 발견되어 사면을 파괴시키는데 역할을 했을 것이다. 또한 사면에 식재된 큰 규모의 소나무도 가파른 지형조건과 더불어 전술하였던 메커니즘으로 사면파괴를 촉진시켰을 것이다. 이와 같은 유형의 파괴는 규모의 차이는 있지만 이 지역의 대부분 자연사면에서 흔히 볼 수 있는 형태의 파괴양상이다.

(8) 사천면 노동중리 산불발생지역

본 지역은 사천면 노동중리에 위치하며 2000년 4월 7일에 산불이 발생하여 많은 피해가 발생한 지역으로 이번에도 이 지역에서는 집중호우로 수 많은 산사태가 발생하였다. 그 중 본 연구를 위해 선정한 현장은 사진 10에서와 같이 사면의 규모가 길이 48.1m, 폭은 중간부

분에서 13m, 하부부분에서는 9.6m였다. 사면경사는 파괴면 상부에서는 40°, 사면 중간부분의 암반에서는 38°, 하부에서는 31°, 하부의 노출된 암반에서는 52°로 측정되었으며 주향은 N52°W였다. 파괴토층의 두께는 중간부에서 40~50cm였으며 파괴면에서는 과거에 발생된 산불의 영향으로 25cm 정도 두께의 표토층이 검회색을 띠는 것을 볼 수 있었다.

식생상태는 산불 발생 후 사방사업으로 식재한 높이 2m의 소나무들이 3m 간격으로 분포되어 있었다. 본 사면은 사면파괴의 형태가 상부에서는 원형파괴의 형태를 보였으며 상부에서 흘러내린 토사 중 일부는 중간부분에 퇴적되었고 하부에는 암반이 일부 노출되었다. 주민의 진술에 의하면 파괴는 8월 31일 저녁과 밤 사이에 발생된 것으로 예상된다.

전술하였던 지역에서와 같이 식생이 잘 발달된 지역에서 강우가 발생하면 canopy현상에 의해 강우가 1차로 차단된다. 그리고 전체 강우량 중 차단되는 강우량을 제외한 나머지 강우는 사면에 침투하여 침윤전선을 진전시키며 이에 따라 포화영역의 증대로 간극수압이 증가하여 사면은 불안정한 상태로 된다.

그러나 산불피해가 발생한 산지에서는 지표의 낙엽층이 소실되고 식생피복도 감소하고 또한 표토의 겉보기비중의 증가와 같은 변화가 발생한다. 표토의 겉보기비중의 증가는 토양공기의 차단으로 투수 및 보수능력저하를 일으킨다. 이 때 투수성이 저하되는 원인은 산지에 쌓여 있는 낙엽 등이 재로 되어 지표에 불투수층이 형성됨에 따른 것이다. 즉 세립상태의 재 등이 빗물과 함께 지면 속으로 용탈되어 토양내 커다란 공극이 작은 공극으로 변하는 일시적인 구조적 변화로 결국 침투능

의 지하를 초래하게 된다(국립방재연구소, 2001).

지반에 강우가 발생하였을 때 지반으로 침투되는 양을 초과하는 강우량은 지표면을 따라 유출하게 되는데 유출량이 어느 한계를 넘으면 지표면에 pond가 형성되면서 세굴이 일어날 수 있다. 이러한 지표면의 세굴현상은 식생, 지반의 경사, 토질조건 등과 관련이 깊은 것으로 알려져 있는데 지표면에 피복이 없는 조건에서는 강우강도가 지반의 투수계수의 10배에 달했을 때부터 세굴현상이 관찰되었고 20배가 되었을 때 세굴현상이 현저하게 나타난다는 것이 실험을 통하여 규명되었다(김상규 외, 1991). 산불발생으로 인한 산림피해지역에서는 지표보호물인 낙엽, 초본, 관목, 임목의 수관 등이 완전 소실됨에 따라 태양의 직사광선과 바람의 영향을 직접 받기 때문에 표층토양이 건조해 단단해지고, 강수의 영향으로 지표토양의 물리적 구조에 교란이 발생한다. 또한 강우시에는 빗방울 침식을 직접 받게 되고, 바람에 의한 침식도에도 노출되어 있게 되므로 집중호우시 토사유출도 우려되며 적은 강우에도 토양침식이 발생하게 된다(국립방재연구소, 2001; 우보명 외, 1989). 따라서 과거에 산불이 발생한 지역에서는 지표보호물의 소실로 인해 침투능이 저하된 상태에서 집중호우시 세굴로 인하여 산사태가 발생하는 특징을 보인다.

(9) 사천면 석교리 도로변 토석류

본 지역은 사천면 석교리에 위치하며 2000년 4월 7일에 산불이 발생한 지역이다. 사진 11에서와 같이 임도인 콘크리트 포장도로에 인접한 사면에서 다수의 산사태가 발생되었다. 사면파괴는 도로변 5개소에서 파괴가 시작되었으며 파괴된 사면들의 폭은 12~37.6m, 길이는

32.6~93m이며 파괴토층의 두께는 1.5~2m의 분포를 보인다. 본 현장에서는 집중호우로 인한 우수가 도로와 토사사면의 느슨한 접속부에 침투되어 수압으로 작용하여 사면파괴를 야기시키는 요인으로 작용했을 것으로 판단된다. 파괴된 사면에서의 토사들은 계곡에서 합류, 토석류로 전환되어 약 350m 이동하여 하류부의 저류지를 넘치고서 동해고속도로 노면에 이르러 퇴적되었다.

상부 도로변에 인접한 사면은 경사 35~38°의 분포를 보이며 가파르다. 이 지역에서는 일부 사면에서 암반이 노출되었는데 노출된 기반암은 풍화가 심하게 진행되었으며 퇴적부 중간부에서는 약간 붉은색을 띠는 매끈한 화강암이 노출되었다. 본 지역에서는 산불 발생 후 별목한 목재가 산 중간중간에 쌓여 있었으며 사면 하부에는 돌망태로 수로를 만들었다. 지금도 도로부에 인접하여 파괴된 사면 부근에는 사진 12에서와 같이 도로와 사면사이에 균열이 보여 추가적인 붕괴도 우려되고 있는 실정이다.

본 지역에서는 도로와 인접해 있으면서 산불이 발생한 가파른 사면들이 강우로 인해 발생된 수압에 의해 사면파괴가 발생한 곳이다. 각 사면에서 파괴된 토사들은 계곡부에서 합류되어 토석류로 전환되며 저류부에 이르러 퇴적되는 특징을 보인다.

(10) 사천면 석교리 산불발생지역 중 계곡부에서의 산사태

본 지역은 사천면 석교리에 위치하며 2000년 4월 7일의 산불로 인하여 피해를 받은 상태에서 금년에도 태풍으로 인한 집중호우와 바람의 영향으로 다수의 산사태가



사진 11. 사천면 석교리 도로변 토석류



사진 12. 사천면 석교리 도로변 균열

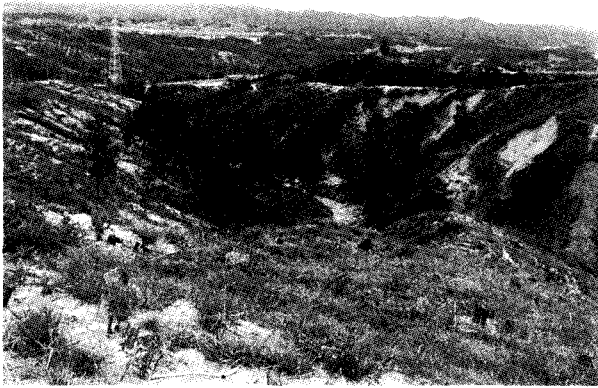


사진 13. 사천면 석교리 산불발생지역 계곡부 산사태

발생된 지역이다. 계곡의 방향은 N70°W이며 산사태는 사진 13에서와 같이 계곡의 우측사면들에서만 발생하였다. 태풍으로 인한 집중호우가 발생한 8월 31일의 기상 자료에 의하면 풍향은 북서(NW), 서북서(WNW)가 주를 이루었다. 따라서 우측사면이 좌측사면 보다 3~4° 정도 경사가 가파른 점은 있지만 풍향이 본 계곡에서 산사태가 일어난 우측사면을 비스듬히 치는 방향이었으므로 풍향과 산사태와의 연관성을 어느 정도 찾아 볼 수 있겠다.

본 계곡에서는 16개소의 크고 작은 산사태가 발생하였으며 이들의 규모와 형상을 조사한 결과 표 6과 같다. 본 계곡에서 파괴사면들의 중형비는 3이며 길이/파괴토층두께의 비는 52.4였다. 따라서 이와 같이 산불이 발생

표 6. 사천면 석교리 계곡부 산사태 조사내용

번호	폭(m)×길이(m)	파괴토층두께(m)	사면경사(°)	파괴위치
1	5×20	0.4	34	8부능선
2	4×10	0.2	38	6부능선
3	4×12	0.3	38	3부능선
4	7×35	0.85	36	3부능선
5	2.5×10	0.6	40	4부능선
6	5×8	0.3	42	6부능선
7	4×5	0.2	48	2부능선
8	12×30	0.4	40	9부능선
9	4×10	0.25	52	7부능선
10	3×10	0.3	48	7부능선
11	5×20	0.3	36	9부능선
12	8×35	0.4	30	9부능선
13	10×35	0.3	32	9부능선
14	4×10	0.2	34	6부능선
15	3.5×9	0.3	38	7부능선
16	4×10	0.2	38	6부능선
평균	5.3×17.8	0.34	39	

된 지역에서 사면파괴는 판상의 형태로 얇은 표피층이 벗겨져 내려가며 파괴되는 양상을 보인다. 또한 파괴가 일어나는 위치가 사면 정상부로부터 6부능선 이상이 사면 전체의 75%를 차지하므로 대부분 원지형의 상부에서부터 파괴가 시작되는 것을 알 수 있다.

한편 사진 10, 11, 13은 과거에 산불로 인하여 피해가 발생된 사천면 석교리에서 금번의 태풍으로 인하여 산사태가 일어난 모습이다. 사진을 보면 산지 대부분의 지역에서 무수히 많은 사면파괴가 일어났다는 것을 알 수 있다. 그러나 산불피해를 입지 않은 지역에서는 현장조사 결과 주로 급경사지나 절개사면에 국한되어 파괴가 발생되었다. 즉 태풍으로 인한 나무의 흔들림에 의한 지반교란 효과도 사면안정에 영향을 끼쳤지만 산불의 피해를 입어 초목의 식생이 없는 지역에서 보다 많은 산사태가 발생되었다. 따라서 산불발생이 산사태 발생에 상당히 영향을 끼쳤다는 것을 이번 태풍으로 인한 산사태 연구에서 알 수 있었다.

(11) 주문진읍 삼교리

본 지역은 주문진읍의 상류부인 삼교리에 위치해 있다. 본 지역에서는 주민들의 진술에 의하면 예전에 솔잎혹파리 방제를 위하여 벌목이 행해졌으며 또 일부에서는 토취장으로 이용되어 산림과 토양이 많이 훼손된 상태였다. 이러한 조건하에서 발생한 집중호우는 산불발생지역에서와 유사하게 도처에 많은 산사태를 발생시켰다. 이 지역은 신리천의 상부에 위치하여 이들 지역에서 산사태로 인해 발생한 막대한 규모의 토사유출은 하류부 지역에 많은 피해를 야기시켰다. 사진 14는 삼교리 지역에서 발생한 산사태 모습이다.

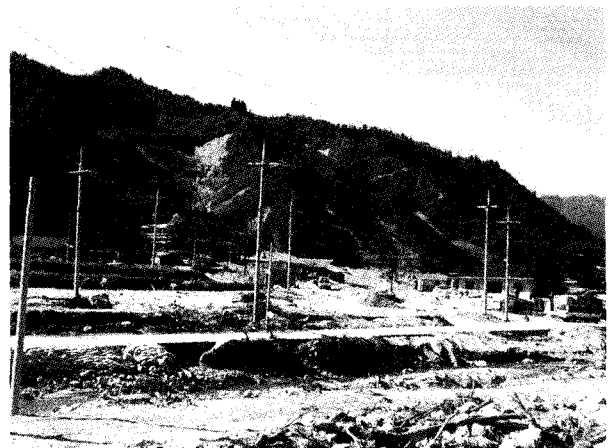


사진 14. 주문진읍 삼교리 산사태

3.3 산사태에 대한 대처방안

본 논문에서는 자연사면과 절개지 사면에서 발생한 산사태지역을 답사하여 그 현황과 원인들에 대해 분석하였다. 따라서 본 고에서는 이에 따른 산사태 방지대책 공법들을 논하는 것 보다 이러한 산사태를 발생시키는 주요 원인인 강우와 산사태 발생과의 관계로부터 적절히 예보하는 것에 관점을 두었다.

우리나라에서 발생하는 사면활동은 대부분 강우에 의해 야기된다. 토질역학적인 관점에서 보면 강우는 흙의 단위중량을 증가시키고 또한 지반내 간극수압을 발생시킨다. 이 두 인자 중 특히 후자는 사면을 불안정하게 하는데 결정적인 역할을 한다. 그러나 강우에 의해 간극수압이 발생하는 양을 정량적으로 결정하는 것은 매우 어렵다. 이는 지반의 침투능, 강우지속시간 그리고 강우강도 등에 따라 현저하게 달라지기 때문이다. 따라서 이와 같은 해석상의 번거러움과 어려움 때문에 무수히 많이 발생하는 산사태를 예보하는데 있어서 이 방법은 비효과적이라 할 수 있겠다(김상규, 1994).

산사태의 발생규모는 강우강도에 크게 영향을 받므로 이것을 기준으로 예보하는 방법이 널리 이용되고 있다. 그러나 이것은 과거에 발생한 강우강도와 산사태 발생기록을 바탕으로 접근하는 방법이므로, 지형 및 지질특성, 강우특성 등 해석적으로 정량화하기 어려운 모든 인자들이 내포하는 이점을 가지고 있다. 따라서 이 방법은 산사태를 예보하는 차원에서는 더 실제적이라고 할 수 있다. 강우강도는 시우량, 일우량, 또는 산사태

발생까지의 연속강우량 등 여러 가지로 표시할 수 있다. 여러 연구자들이 조사한 자료에 의하면 우리나라에서 발생하는 산사태는 최다시우량과 1, 2일간의 누적강우량을 근거로 하는 예보방법이 적절할 것으로 판단되고 하였다(김상규, 1994). 그림 5는 과거로부터 최근까지 발생한 산사태에 대해 강우자료를 이용하여 최다시우량과 2일 누적강우량과의 관계를 나타낸 것이다(부산광역시, 1999).

본 연구에서 조사한 강릉지역의 강우자료는 이미 표 3에서 여러 연구자들이 제시한 자료들과 비교하여 산사태 발생기준을 초과하는 것으로 나타났었다. 따라서 이와 같은 예보기준에 따라 대피 등의 적절한 대처가 있어야 하며 사면안정상 위험사면들로 판정된 사면들은 기존에 제시된 공법들로 보강조치가 필요할 것이다.

4. 결론

2002년 8월 30일부터 9월 1일까지 우리나라는 태풍 루사로 인하여 많은 인명, 재산상 피해를 받았다. 따라서 본 연구에서는 강릉지역을 중심으로 대표적인 특징을 보이는 11곳의 산사태 발생 현장들을 선정하였다. 이들에 대해 그 특징들을 조사 분석한 결과 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

- (1) 태풍 루사로 인하여 강릉지역에서 발생한 강우량을 여러 연구자들이 제시한 산사태 발생기준과 비교했을 때 모두 발생기준치 보다 훨씬 크다는 것을 알 수 있었다. 그리고 강릉지역에서 산사태가 발생된 대부분 현장을 조사한 결과 사면의 상부에서 인장균열이 발견되지 않았다. 이러한 점으로 보아 전에는 위험사면으로 평가되지 않았던 사면도 8월 31일의 집중호우로 인하여 파괴되었으므로 사면파괴를 일으킨 주요 원인은 8월 31일의 일강우량이었을 것으로 판단된다.
- (2) 사면의 파괴시각은 주민들이 진술한 내용을 종합하면 집중호우가 발생한 8월 31일의 오후 6시부터 9월 1일 새벽까지였다. 따라서 본 지역에서 사면파괴의 요인으로 언급될 수 있는 요소들은 우선 집중호우로 인해 발생하는 지표수의 유동에 의한 침식일 것이다. 그리고 약 23시간동안 집중적으로 지속된 강우는 최다시우량이 98mm, 누적강우량이 898mm로 단기간에 발생한 강우로 인해 사면내 간극수압 증가와

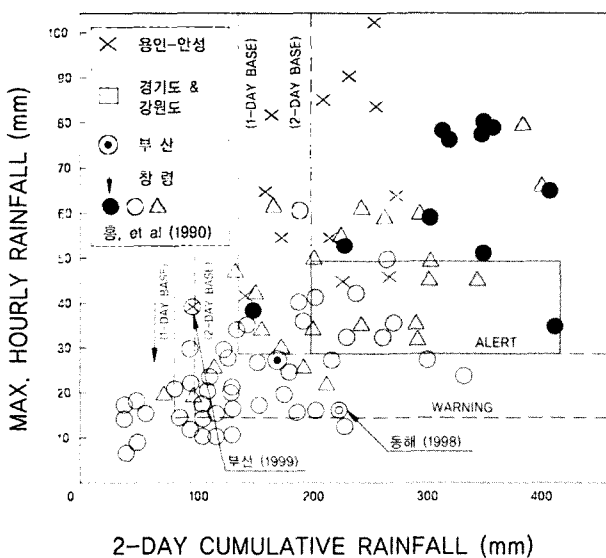


그림 5. 강우강도와 산사태 발생과의 관계

지반 포화에 따른 전단력의 약화가 주요 원인인 것으로 판단된다.

- (3) 강우가 발생하면 강우의 침투는 산사태를 발생시키는 주요 인자로 작용할 것이다. 그러나 식생이 잘 된 상태에서 기반암이 얇아 식생의 뿌리가 지반에 충분히 관입되지 못한 상태에서 강우로 인해 초목들이 물을 머금게 되면 나무하중은 상재하중으로 작용할 수 있으며 강우에 동반되는 바람도 산사태의 발생을 가속화시켰을 것이다. 또한 사천면 노동상리와 덕실리에서 발견된 macropore에서도 강우의 침투가 집중되어 사면파괴를 유발시켰을 것으로 판단된다. 사천면 석교리의 경우에서와 같이 집중호우시의 풍향 역시 산사태 발생에 영향을 미친 것으로 판단된다.
- (4) 강릉지역의 다른 곳 보다 2000년 산불이 발생된 사천면에서 많은 수의 산사태가 대규모로 발생되었다. 산불이 발생된 지역에서는 지표보호물의 소실로 인해 침투능이 저하된 상태에서 집중호우시 침투능력이 증가되어 표토층이 얇게 벗겨져 내리면서 산사태가 발생하는 특징을 보인다.
- (5) 산불발생지역, 급경사지로부터 계곡이 형성되는 지형 그리고 대규모 산사태가 발생된 곳에서는 대부분 파괴된 토괴는 토석류로 전환되어 하류지역으로 이동하여 퇴적되는 양상을 보였다. 이 때 산불발생지역에서는 지표보호물이 소실되어 침투능이 저하된 상태에서 집중호우시 세굴로 인한 토양침식이 주요 원인으로 작용하여 토석류가 발생된 것으로 보인다. 급경사지로부터의 계곡부와 대규모 산사태가 발생된 지역에서는 사면에서 파괴된 토사가 계곡에 집수된 유수와 뒤섞여 하부로 이동하여 퇴적되는 토석류의 형태를 보였다. 그리고 본 지역의 기반암은 화강암인 관계로 사면이 파괴되었을 때 상당히 많은 양의 토괴가 하부로 이동되어 퇴적되는 양상을 보였다.

감사의 글

본 연구는 강릉영동대학 산업기술연구소의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 본 연구를 위해 도움을 준 강릉영동대학 학부생들과 강릉기상청, 강릉시청 관계자들에게 감사의 말씀을 전하는 바입니다.

참 고 문 헌

1. 강릉기상청(2002), 기상자료.
2. 강릉시(2002), 제15호 태풍 “루사” 피해복구계획.
3. 강릉시(2002), 강릉시소개/위치 및 자연환경.
4. 건설부(1988), 방재종합대책 중장기계획 보고서(3권), 건설부, pp. 359~701.
5. 국립방재연구소(2001), 강원도 산불지역 재해의 저감대책 수립, 행정자치부, pp.7-229.
6. 김상규, 김영목(1991), “강우로 인한 사면 불안정”, 대한토질공학회지, 제7권, 제1호, pp.53-64.
7. 김상규(1994), “한국에서 발생하는 지반활동”, *East Asia Symposium and field Workshop on Landslides and Debris Flows*, Seoul, Korea, pp.75-99.
8. 박용원, 김갑래, 여운광(1993), “1991년 용인-안성지역 산사태 연구”, 한국지반공학회지, 제9권, 제4호, pp.103-116.
9. 부산광역시(1999), 부산항 3단계 항만배후도로 산사태 원인규명 및 복구대책수립 보고서.
10. 산림청(1993), 산사태 위험지 조사 판명 요령.
11. 서홍석(1996), 토석류의 이동과 퇴적에 관한 연구, 박사학위논문, 동국대학교, p.1.
12. 신승목, 김상규, 장연수(1993), “용인 안성지구 산사태와 파괴 형상에 관한 연구”, 대학원연구논집, 동국대학교 대학원, 제23집, pp.339-361.
13. 우보명(1989), “관악산지에서의 산불이 삼림식생 및 토양에 미치는 영향에 관한 연구(IV)”, 한국임학회지, 제78권, 제3호, pp. 302-313.
14. 한국지질자원연구원(2001), 강릉-속초 지질도폭 설명서.
15. 한국지질자원연구원(2001), 한국지질도(1:50,000), 강릉도폭.
16. Ali, F., and Barakhbah, S.S.(2002), “Influence of vegetation on stability of slopes”, 3th International Conference on Landslides, Slope Stability & the Safety of Infrastructure, 11-12 July, Singapore, CI-Premier Conference Organization, Singapore, pp.37-46.
17. Anderson, M.G., and Richards, K.S.(1987), *Slope Stability*, pp.187-226.
18. Beven, K., and Germann, P.(1982), “Macropores and water flow in soils”, *Water Resources Research*, Vol. 18, No.5, pp.1311-1325.
19. Hsi, G., and Nath, J.H.(1970), “Wind drag within a simulated forest”, *Journal of Applied Meteorology*, 9, pp.592-602.
20. Pierson, T.C.(1983), “Soil pipes and slope stability”, *Quarterly J. Engg. Geology*, Vol.16, pp.1-11.

(접수일자 2003. 1. 10, 심사완료일 2003. 7. 22)