

태풍 '루사'에 의해 발생한 강릉지역 산사태의 특징

Characteristics of Landslide Triggered by Typhoon 'Rusa' in Gangneung Area

조 용 찬	한국지질자원연구원 환경지질연구부
김 경 수	한국지질자원연구원 환경지질연구부
이 춘 오	한국지질자원연구원 환경지질연구부
채 병 곤	한국지질자원연구원 환경지질연구부
김 원 영	한국지질자원연구원 환경지질연구부

1. 서 언

우리나라는 최근 매년 여름이면 집중호우에 의해 크고 작은 산사태가 발생하였지만, 2002년 막바지 여름철에 태풍 '루사(Rusa)'가 몰고 온 사상 최악의 폭우는 국민에게 엄청난 수해의 고통과 함께 방재대책의 중요성을 뼈저리게 남겼다.

2002년 8월 31일과 9월 1일 사이 제15호 태풍 '루사'가 한반도의 중앙을 관통하면서 전국적으로 많은 비를 내렸다. 특히 강릉지역엔 기상관측 이래 하루 최대 강수량인 900mm에 가까운 살인적 폭우가 내려 도심 전체를 물에 잠기게 하였다. 태풍 '루사'의 피해규모는 전국적으로 재산피해가 5조원 이상, 인명피해가 250여명에 달한다.

특히 강원도 지역은 2000년 4월에 발생한 큰 산불로 인하여 많은 지역의 산림이 황폐해진 가운데 큰 폭우를 겪게 되어 더 많은 산사태가 발생하였다. 많은 산사태로 말미암아 사태물질이 계곡을 타고 하류로 흘러내림에 따라 가옥 및 농경지에 막대한 피해를 야기하였다.

이 연구는 강원도의 산사태 집중 발생지역중 2000년 산불 피해를 겪고, 이번에 또 산사태 피해를 겪은 강릉시 사천면 일대를 대상으로 산불지역에 발생한 산사태의 특징에 관해서 조사하여 보았다.

2. 지형 및 지질

연구지역의 지형은 대부분 400m 내외의 해발고도를 갖는 구릉지 형태를 잘 보여준다. 대부분의 봉우리 들은 200~350m의 해발고도와 10~30° 정도의 사면경사를 보여준다. 연구지역의 북쪽에는 '연곡천'이 서에서 동으로 흘러 동해로 흘러가고 있으며, 남쪽에는 '사천내'가 남서 방향에서 북동 방향으로 동해로 흘러간다(그림 1).

연구지역의 지질은 화강암으로 구성되어 있는데 이 암석은 중생대 쥐라기에 관입한 대보 화강암에 해당한다. 대보 화강암은 옥천대 북서쪽 경계부를 따라 북동-남서 방향으로 분포

하는 저반형 화강암체에 해당한다. 이 지역의 화강암은 1:250,000 강릉-속초 지질도폭 설명서(김정찬 외, 2001)에는 강릉-오대산 지역의 저반형 화강암류로 분류하고 있으며 주로 흑운모화강암과 복운모화강암으로 구성되어 있다. 흑운모화강암은 중립질의 등립질암으로 석영, 가리장석, 사장석, 흑운모 등이 주구성광물을 이루고 있고, 특징적으로 스피넬을 부수광물로 포함한다. 복운모화강암은 세립질의 등립질암으로 석영, 가리장석, 사장석, 운모 및 자철석, 스피넬, 각섬석, 모자나이트 등을 수반한다. 이 화강암에 대한 절대연령은 Rb-Sr 흑운모 연대로 $173 \pm 0.4\text{Ma}$, $175 \pm 1.4\text{Ma}$ (Jin et al., 1984)가 보고된 바 있다.

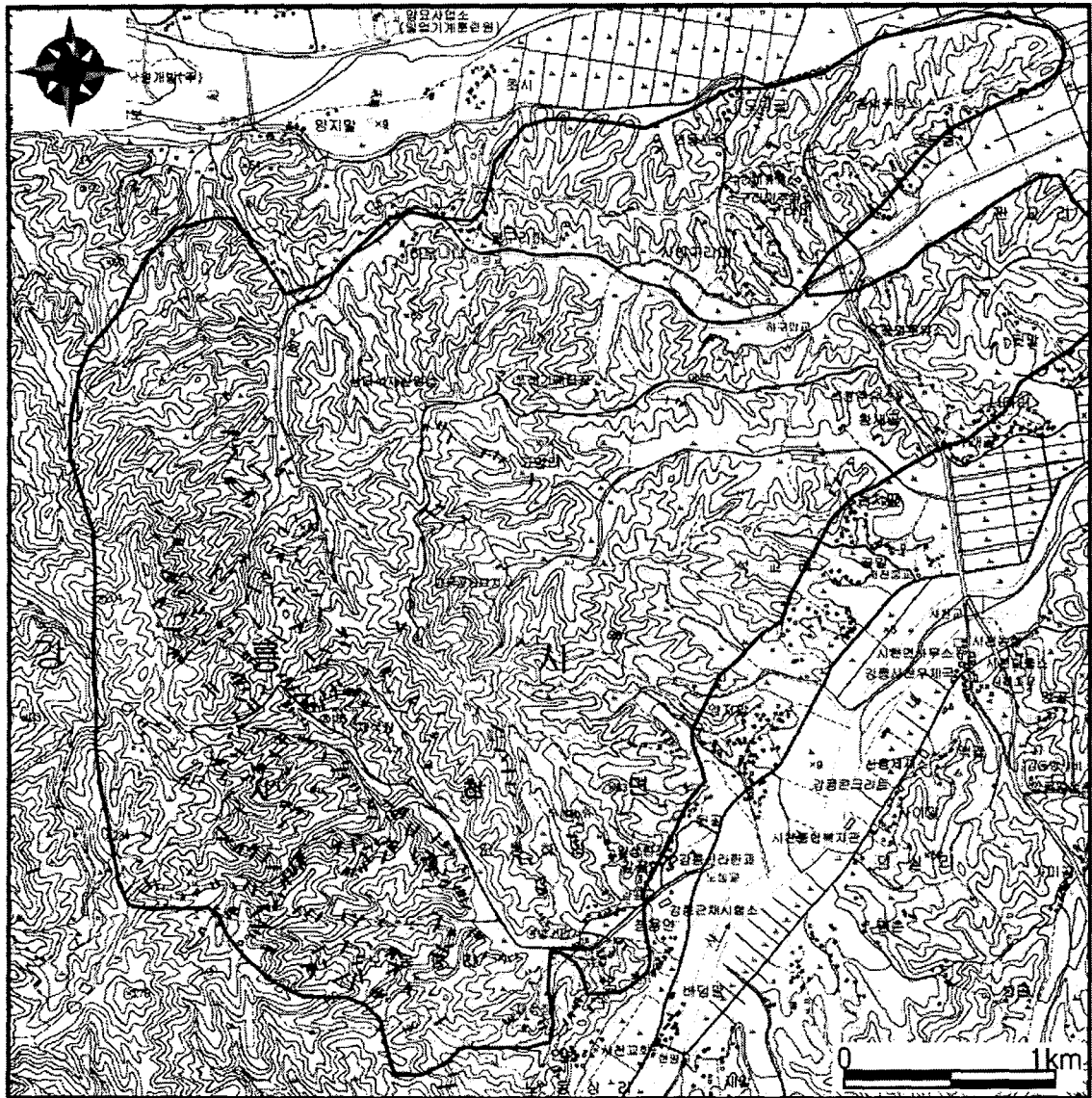


그림 1. 연구지역의 위치도. (굵은 실선 내부는 산불이 발생한 지역)

3. 산불피해

2000년 4월의 우리나라는 동해안을 따라서 큰 산불이 발생하여 많은 피해를 입었다. 산불 피해지 공동조사단(2000)에 의하면 동해안지역의 산불은 연구지역인 강릉 사천면을 포함하여 5개 지역에서 발생하였으며, 9일 동안 23,974ha에 달하는 산림을 소실시켰다.

연구지역의 기존 산지의 임상분포는 침엽수가 93%정도에 해당하였으며, 산불은 2000년 4월 7일 사천면 석교리에서 발생하여 강풍을 타고 산사면을 타고 올라서 확산 되었으며, 피해면적은 약 1,447ha에 해당한다.

4. 산사태 특징

연구지역에는 2000년 늦은 여름에 찾아온 태풍 '루사'의 영향으로 인해 일일 강우 900mm 이상의 기록적인 폭우가 내렸다. Olivier(1994)는 연 평균강우량과 집중강우량을 이용해 산출하는 산사태 반응지수(Cf)가 1 이상일 때부터 사태가 발생할 수 있고, 평균 강우량 보다 20%이상의 집중 강우량이 발생할 경우 대규모의 사태발생 가능성이 있을 수 있음을 보고하였는데, 연구지역의 900mm의 강우량은 대규모 산사태를 발생시킬 수 있는 강우량에 해당한다.

연구지역에서 산사태의 발생현황과 기하학적인 특성을 분석하기 위하여 야외조사를 실시하였다. 야외 조사에서 사용한 지형도는 1:5,000지형도를 이용하였으며, 산사태가 가장 집중적으로 발생한 지역에서 525개의 산사태를 기재하였다.

연구지역에서 발생한 산사태는 그 유형이 대부분이 비슷한 형태를 보여주는데, 대부분이 상단부의 토층이 붕괴되면서 시작하여 사태물질이 하류로 흘러가는 토석류(debris flow)의 형태를 나타내고 있었다. 연구지역의 지질이 모두 화강암으로 구성되어있어 이 지역의 토층은 대부분이 화강암의 풍화토인 모래질로 구성되어 있다. 실제로 조사당시 하류의 하천과 전담, 가옥등은 대부분이 모래로 덮여있었다.

산사태가 발생한 지점의 풍화정도는 MW와 HW정도의 경계면에 해당하였다. 사태가 발생한후 노출된 암반의 상태는 대부분이 MW정도의 풍화상태를 보여주고 있다. 따라서 모래질이 많은 토층이 MW와 HW의 경계를 따라서 강우가 침투되어 전단응력이 감소하여 발생한 산사태로 추정된다.

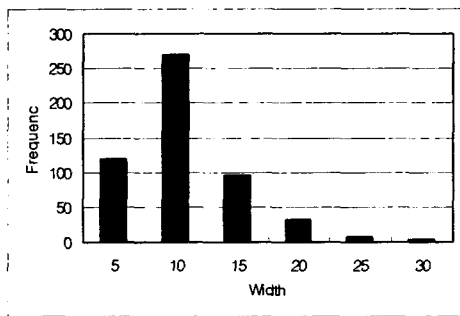
발생한 산사태의 폭(그림 2a)은 대체로 3~30m의 범위를 보여주지만 10m 내외가 51.2%로 절반이상의 빈도를 보여준다. 산사태의 길이(그림 2b)는 10~120m의 범위를 보여주지만 21~40m가 60%로 많은 빈도를 보여준다. 이러한 기하적인 양상을 볼 때 이 지역에 발생한 산사태의 크기는 대체로 10m 정도의 폭에 30m 내외의 길이를 가지는 사태가 많이 분포하고 있다.

산사태가 발생한 사면의 경사각(그림 2c)은 10~50°의 범위를 보여주지만, 16~30°의 사

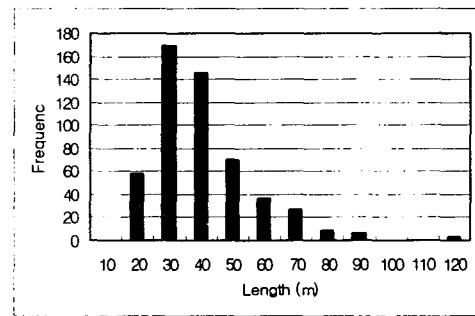
면경사를 가지는 곳에서 발생빈도가 78%에 달한다. 이는 이 지역의 지형 특성이 전형적인 화강암이 풍화된 지형의 특징을 보여주는 낮은 구릉지를 이루고 있는 것과 관련이 높을 것으로 사료된다.

산사태가 발생한 지점의 고도(그림 2d)는 해발고도로 절반이상이 40~100m 이하에 해당한다. 하지만 상대고도로 고려해 보면 능선 정상 7부 내지 9부 능선에 해당하는 지점에서 많이 발생되었다.

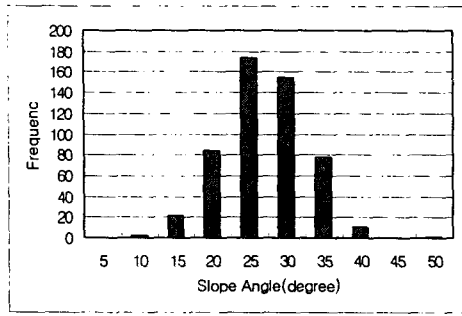
이 지역에서 발생한 산사태의 특징 중에 주목할 만한 것이 하나 더 있다. 그 것은 사태가 발생한 사면의 경사 방향이다. 그림 3a에서 보는 바와 같이 사면방향에 따른 산사태가 발생한 빈도가 뚜렷한 차이가 있다. 북향사면에 해당하는 340~020°의 방향을 보여주는 사면에서는 130개 24.7%의 산사태가 발생하였지만 이와 거의 반대되는 160~260°의 방향의 사면에는 단지 15개 2%의 산사태가 발생하였다. 이러한 원인을 분석하기 위하여 먼저 이 지역의 지형을 분석하여 보았다. 이 지역 전체에 해당하는 사면 방향은 그림 3b에서 보는 바와 같이 방향에 따른 변화가 면적 대비 2%이내에 해당하여 대체로 골고루 분포하고 있다고 평가할 수 있다. 이 지역의 지질분포역시 화강암으로 균질한 편에 속한다. 이러한 지형적 특징이 있음에도 불구하고 산사태가 발생한 지점의 사면경사가 남향 사면과 북향사면에서 큰 차이를 보여주는 데는 원인이 있을 것으로 추정된다. 현재 정확한 원인을 구명할 수는 없지만, 이런 현상을 나타내는 원인은 폭우가 내릴 당시의 풍향과 풍속이 이러한 현상을 야기 하지 않았나 추정된다. 바람이 북서에서 남동으로 부는 남동풍이 거세게 불었다고 가정하면 북향 사면은 바람에 의해 빗줄기가 사면을 강하게 강타할 수 있기 때문이다.



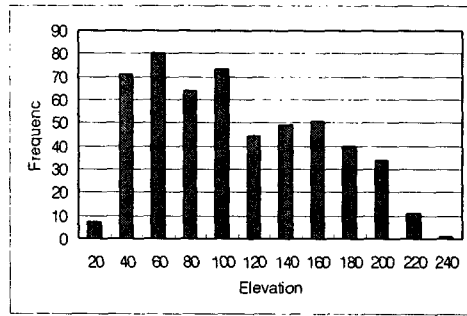
(a)



(b)

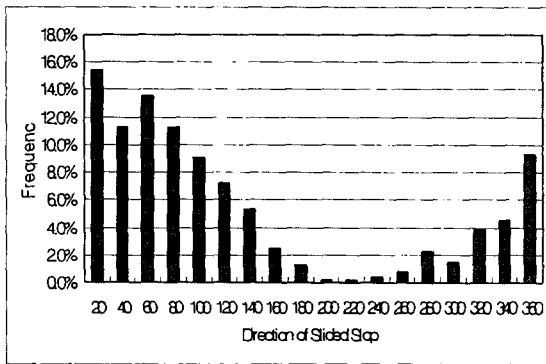


(c)

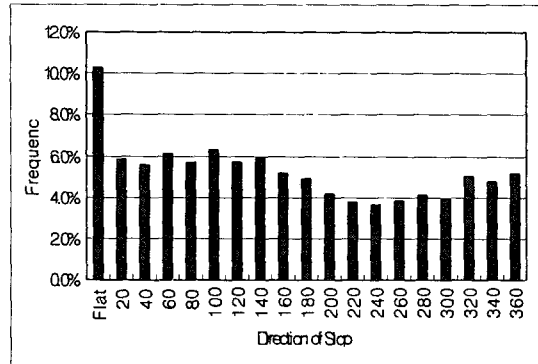


(d)

그림 2. 연구지역 산사태의 기하학적 특징. (a) 산사태의 폭, (b) 산사태의 길이, (c) 사태가 발행한 사면의 경사각, (d) 사태가 발생한 지점의 해발고도



(a)



(b)

그림 3. 연구지역의 사면방향. (a) 산사태가 발행한 사면의 방향, (b) 연구지역 전체의 사면 방향

5. 향후연구방향

하루 800mm 이상의 강우가 내린 연구지역에서 발생한 산사태는 발생 빈도에 있어서는 산불이 발생한 지역과 그렇지 않은 지역에서 뚜렷한 차이를 보여주고 있다. 이는 식생이 산사태와 관련해 기여하는 바에 대한 것을 추정할 수 있는 자료로 활용할 수도 있다. 그리고 산불에 의해 토층의 물리적 특성도 변화 할 수 있다.

우리나라에서 산사태를 발생시키는 폭우의 경우 태풍과 함께 수반되는 경우가 많은데, 산사태가 발생할 때 강우량 뿐만 아니라 바람의 방향과 세기 역시 산사태 발생에 영향이 있는 것으로 추정된다.

향후에는 산불이 난 지역과 아난 지역에 대한 토질 특성의 변화와 산림이 산사태 방지에 기여하는 정도, 폭우가 내릴 당시의 풍향과 풍속이 산사태 발생에 기여하는 점 등을 고려하여 연구가 필요한 것으로 판단된다.

사 사

이 연구는 과학기술부에서 시행하는 중점국가연구개발사업의 하나인 자연재해방지기술개발 사업으로 수행된 것이다.

참고문헌

- 김정찬, 교회재, 이승렬, 이창범, 최성자, 박기화, 2001, 1:250,000 강릉-속초 지질도폭 설명서. 한국지질자원연구원, 76p
- 동해안산불피해지 공동조사단, 2000, 산불피해지의 건전한 자연생태계 복원 및 항국적인 산림복구계획 수립을 위한 동해안 산불지역 정밀조사 보고서 I. 동해안산불지역의 건전한 자연생태계 복원 및 항국적인 산림복구계획 수립을 위한 민·관 공동조사단, 533p
- Jin, M.S., Gleadow, A.J.W. and Lovering, J.F., 1984, Fission track dating of apatite from Jurassic and Cretaceous granites in South Korea. Jour. Geol. Soc. Korea, 20, 257-265.
- Oliver, M., Bell, F.G. and Jemy, C.A., 1994, The effect of rainfall on slope failure, with examples from the Greater Durban area. Proceeding 7th intern. Cong. IAEG, 3, 1629-1636.