태풍 '루사'에 의해 발생한 강릉지역 산사태의 특징-산사태의 형상 및 사면방향에 따른 발생빈도를 중심으로-

조용찬[1)]* · 장태우[2)]

1. 서론

우리나라는 최근 10여년 전부터 여름철 집중호우로 인한 자연재해들이 많이 발생하고 있는데, 특히 산사태의 발생이 빈번해지면서 이로 인한 피해 역시 증가하는 추세에 있다. 여름철에 내리는 집중호우의 경우는 태풍에 의한 집중호우와 국지성 집중호우로 크게 나눌수 있다. 전자의 경우는 태풍의 진로와 이에 따른 강우를 일부 예측을 할 수 있으나, 후자의 경우는 특정지역에 급작스럽게 발생하기 때문에 기상예보조차 힘든 경우도 많이 있다.

본 논문은 2002년 늦은 여름에 우리나라에 상륙하여 많은 피해를 야기한 태풍 '루사'에 의해 발생한 산사태에 관한 연구이다. 태풍 '루사'는 한반도 전역에 많은 피해를 발생 시켰지만, 특히 강릉지역의 피해가 극심하였다. 이 당시 강릉지역의 누적강우량은 898mm로 우리나라 기상관측사상 가장 큰 강우량을 기록하였으며, 이로 인해 강릉지역에는 3,000여개 이상의 산사태가 발생하였다. 본 논문은 강릉지역 중에서도 산사태가 집중적으로 발생한 사천면, 연곡면 및 주문진읍에 발생한 산사태를 대상으로 야외조사를 실시하여 산사태의 기하학적 형상을 구분하고, 사면방향에 따른 산사태 발생빈도를 비교하여 지형특성과 산사태 발생여부를 구명해 보는데 그 목적이 있다.

2. 산사태의 형상

일반적으로 우리나라의 자연사면에서 발생하는 산사태는 사면상단부에서 전이형 산사태의 형태로 붕괴가 일어나고, 붕괴물질이 계곡부에 다다르면 이를 따라 산 하부로 토석류의 형태로 흘러가는 것이 일반적인 형태이다. 그러나 산사태가 발생한 형상을 조사하면 발생위치에 따라 다소 차이가 있는 것을 발견할 수 있다. 산사태의 형상이라 함은 산사태의 평면형태(plane view type)를 이르는 용어로서 산사태 상·하부의 폭과 길이에 의해 형상이 달라질수 있다. 일본의 국토개발기술센터(2003)는 토층에서 발생하는 산사태의 형상을 길이와 폭을 이용해서 말굽형, 각형, 저수지형 및 병목형의 네 가지로 구분 하였다.

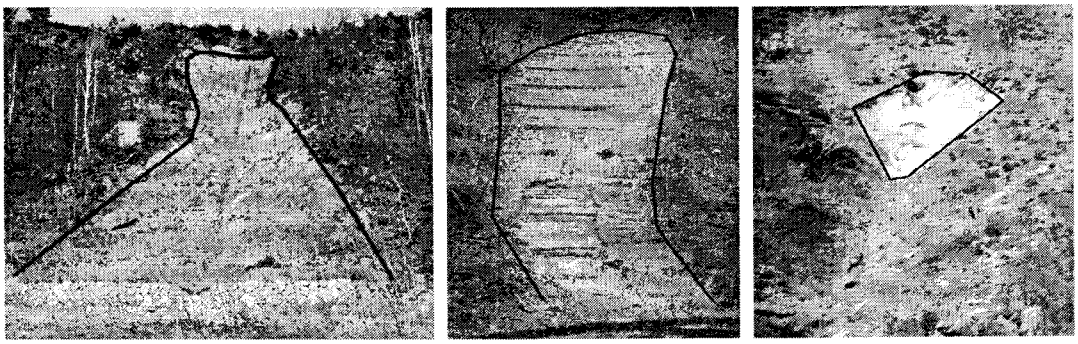
연구지역에서 조사한 산사태를 길이와 폭을 이용하여 그래프를 작성하였다. 연구지역의 산사태는 대부분이 폭보다 길이가 긴 우하단 영역에 점시되어 저수지형의 모양을 나타내고 있으며, 산사태의 길이가 25m 이하에서는 일부 각형과 말굽형의 형상을 나타내기도 한다. 그러나 저수지형의 경우는 붕적층이 두껍게 분포하는 지역에서 발생하는 형상으로 설명하고 있기 때문에, 대부분 잔류토층이 붕괴된 연구지역을 설명하기에는 다소 문제가 있을 것으로 판단된다.

따라서 연구지역에서 조사한 산사태를 길이에 대한 폭으로만 구분하지 않고, 사태의 상단부의 폭과 하단부의 폭을 모두 이용하여 비교해 보았다. 따라서 그림 1과 같이 세 가지의 평면형태로 산사태의 형상을 구분하였다.

주요어: 산사태, 산사태 형상, 산사태 발생방향

1) 한국지질자원연구원 지질환경재해연구부 (choych@kigam.re.kr)

2) 경북대학교 지질학과 (twchang@knu.ac.kr)



(a) (b) (c)

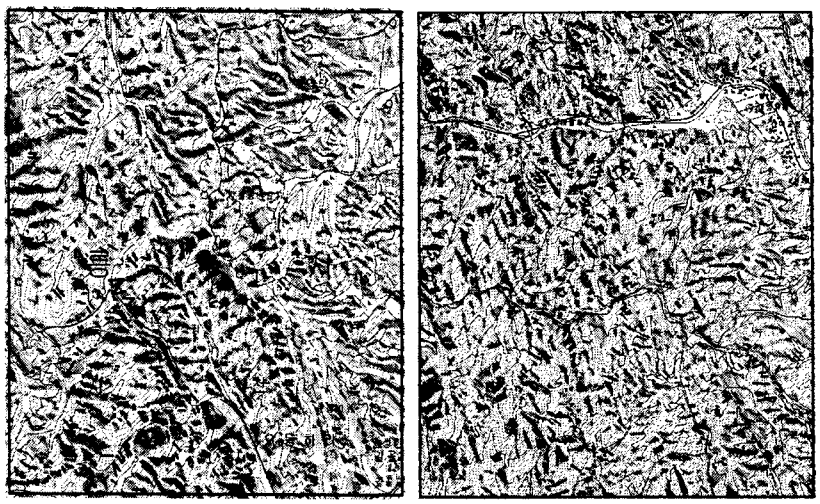
그림 1 산사태 상부와 하부의 폭을 이용한 평면형상 분류, (a) A-type (하부가 넓은 형태), (b) H-type (폭이 일정한 형태), (c) V-type (하부가 좁은 형태)

첫 번째는 산사태 상부의 폭이 좁고 하부로 내려 갈수록 폭이 점점 넓어지는 'A' 형태(A-type)고, 두 번째는 상부와 하부의 폭이 일정한 'H' 형태(H-type)이며, 마지막으로는 상부의 폭이 넓고 하부로 갈수록 폭이 좁아지는 'V' 형태(V-type)이다. 산사태의 평면형상을 이렇게 구분한 것은 각각의 모양에 따라 다른 특징을 나타내기 때문이다. 'A' 형태의 경우는 연구지역에서 발생한 산사태 중 50.55%의 비율로 가장 흔한 형태이며 이 모양은 산사태의 길이가 계곡부를 만날 때 까지 연장되면서 사태물질도 많이 형성시킨다. 'H' 형태의 경우는 연구지역에서 17.58%의 비율로 분포하고 있으며 그 특징은 'A' 형태와 비슷하게 관찰된다. 두 가지 형태 모두 계곡이 잘 발달하는 곳의 양측사면에서 발생하면서 산사면의 기저부에서 부터 중·상부 지역까지 관찰되고 있다. 이에 반해서 'V' 형태는 31.87%의 비율로 분포하고 있는데, 그 특징은 주로 해발고도가 높은 지역이거나 지형적으로 약간 오목한 지점에서 관찰되고 있으며, 산사태의 연장이 계곡의 바닥까지 연장되기 보다는 사면 중간에서 끝이 나는 경우가 대부분이며 일부의 산사태는 사태 말단부에서 사태물질의 이동경로 조차 관찰되지 않는 경우도 있다. 이 형태는 병목형과 비슷하기는 하지만, 병목형은 점토질이 많은 토층에서 발생하고, 하부로 사태물질이 넓게 확산되는 형태이기 때문에 'V'형태와는 다른 형태로 판단된다. 각각의 형태에 대한 사태의 평균 경사각과 평균 깊이의 경우도 다소간의 차이를 나타내고 있다. 사면 경사각은 'V' 형태가 31.8°로 'A'형태 31.5°와 'H'형태 29.7°보다 근소하나마 큰 경사각을 나타내고 있으며, 산사태의 깊이는 'V'형태가 36.5cm로 'H"형태 46.1cm, 'A'형태 66.3cm 보다 가장 얕은 것으로 나타나고 있다. 따라서 'V' 형태의 산사태는 사태물질화 될 수 있는 표토층의 두께가 얇은 지점에서 발생하는 산사태 형태이며, 발생빈도는 전체 산사태의 삼분의 일 정도에 해당함을 알 수 있다.

3. 사면방향에 따른 산사태 발생

연구지역의 지형은 화강암이 풍화되어 형성된 구릉지형이 넓게 분포하고 있다. 연구지역의 주 계곡은 동서방향으로 직선적으로 발달하는 신리천과 연곡천이 있으며, 북동-남서방향으로 발달하는 사천천이 있다. 사면의 발달은 다소간의 차이는 있지만 대체로 모든 방향으로 고루 발달하고 있다고 할 수 있다. 그러나 연구지역에서 산사태가 발생한 사면의 경우는 사면방향에 따라 뚜렷한 차이를 나타내고 있다. 사천지역의 경우는 북쪽에서 동쪽으 로 분포하는 사면에서, 주문진-연곡지역의 경우도 북서 방향이 더 분포하기는 하지만 사천지역과 비슷한 결과를 나타내고 있다. 특히 남쪽 내지 남서 방향에서 산사태 발생 빈도가 낮은 것은 두 지역 모두 동일한 결과를 나타내고 있다.

이에 대한 원인을 구명하기 위하여 사면 방향별 경사각을 구분 도면을 작성한 후, 산사태 발생위치를 점시하여 보았다(그림 2). 그 결과 북동방향의 사면은 산사태가 발생하기 쉬운 사면경사 25°~35°의 사면이 많이 분포하는데 반해서, 남서방향의 사면은 25°이하의 사면이 많이 분포하고 있고, 토층의 두께 역시 북동방향의 사면이 더 두꺼워 이 방향의 사면들에서 산사태가 더 많이 발생한 것으로 해석된다.



(a) 사천지역 (b) 주문진-연곡지역

그림 3. 사면의 경사방향 분포와 산사태 발생위치, (적색; 남서방향 사면, 녹색; 북동방향 사면, 색농도; 경사의 크기, 검은선; 산사태)

연구지역의 지형이 이러한 특징을 나타내는 것은 풍화의 차이에 기인하는 것으로 판단된다. 햇빛을 더 많이 쬐는 남향 사면에서 풍화작용이 활발히 일어나서 남향사면의 지형경사를 북향사면보다 더 완만하게 만들었으며, 또한 늘 건조한 상태가 유지되어 사면의 토층이 산사태에 덜 취약한 상태를 나타내고 있는 것으로 해석된다. 이 결과는 연구지역에서 사천지역과 주문진-연곡지역이 지형적 특징이 다름에도 불구하고, 180~220° 방향의 산 사면에서 산사태가 거의 발생하지 않은 특징과도 일치하고 있다.

4. 결론

연구지역에서 발생한 산사태의 평면형상은 길이가 폭보다 긴 형태들이 많이 있었으며, 산사태의 상부와 하부의 폭을 이용해서 산사태의 형상을 'A' 형태, 'H' 형태, 그리고 'V' 형태의 세 가지로 분류할 수 있으며, 이 형태에 따라서 산사태의 발생위치, 규모, 형태 및 활동력이 차이를 나타내고 있다. 각 형태별 발생 빈도는 'V' 형태는 31.9%, 'H' 형태는 17.6% 그리고 'A' 형태는 50.5% 로서 'A' 형태가 가장 흔하게 관찰되었다. 사면방향에 따른 산사태 발생빈도는 경사각 25°~35°의 사면이 많이 분포하는 북동방향의 사면에서 많이 발생하였으며, 남서 방향의 사면에서는 아주 낮게 발생한 것으로 조사되었다. 이러한 원인은 현재의 지형을 결정하는 화강암의 풍화특성에 기인한 것으로 판단된다.

사사

이 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업(과제명: 산사태재해 예측 및 저감기술 개발) 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.