

2000년 동해안 산불이 발생한 지역의 토질특성

조용찬	한국지질자원연구원 지질환경재해연구부
김경수	한국지질자원연구원 지질환경재해연구부
이춘오	한국지질자원연구원 지질환경재해연구부
김원영	한국지질자원연구원 지질환경재해연구부

1. 서언

우리나라는 위치와 기후 조건으로 인해 봄이면 영동지방에 강풍이 자주 발생하게 된다. 그와 더불어 강우량이 적어서 한반도에는 건조주의보가 자주 발령되고 있는 상황이다. 이러한 기후조건에서 산불이 발생하면 강한 강풍을 타고 번져나가게 되는데, 이럴 때는 막대한 면적의 산림이 한줌의 재로 소실이 된다. 2000년 봄은 우리나라에 있어서 동해안에서 최대의 산불이 발생한 시기이다. 위치도 5곳에 해당하며 짧게는 2일에서 길게는 9일까지 연소기간이 소요되고 산림피해 면적도 23,000ha가 넘는다(동해안산불피해지 공동조사단, 2000). 이러한 산불의 발화원인은 쓰레기 소각이나 사람의 실화로 발생하지만 그 결과는 심히 참담하다고 할 수 있다. 산불에 의해서 산림이 소실되는 것도 큰 피해이긴 하지만, 나아가서 산림이 황폐해진 지역에 집중호우가 내릴 때 발생 할 수 있는 산사태 피해의 우려도 적은 것은 아니다. 실제로 2002년 태풍 루사가 한반도에 상륙할 때 강릉지역에는 900mm 이상의 큰 폭우가 내려고 이로 인해서 수많은 산사태가 산불지역에 발생 하였다.

이 논문은 태풍 루사가 발생하기 이전인 2001년 동해안 산불발생지역에 대하여 토질시료를 채취하여 시험한 자료를 분석하고(양동윤 외, 2002), 토질 특성과 강릉시 사천지역에 발생한 산사태와의 관련성을 구명해 보고자 한다.

2. 산불발생 현황

동해안산불피해지 공동조사단(2000)에 의하면, 동해안 산불은 2000년 4월 7일부터 4월 15일까지 9일간 강원도 고성군, 강릉시, 삼척시, 동해시 및 경북 울진군에 동시다발적으로 발생하여 여의도 면적의 약 80배에 달하는 산불피해와 많은 재산피해 및 인명피해를 가져왔다. 산불의 원인은 쓰레기 소각이나 민간인의 실화에 의한 것으로 나타나고 있으며, 산불이 강풍을 타고 인근 야산으로 번진 것이 대형화의 원인이 되고 있다. 이때 당시 순간최대 풍속이 약 27m/sec에 달했으며 이로 인해 불은 급속도로 확산되어 9일 동안 총 23,794ha에 달하는 산림이 소실되었다(표 1).

3. 토질특성

어떤 지역에 분포하는 흙의 성질은 그 지역에 분포하고 있는 암석과 연관되어 있을 것이고 결과적으로 암석의 분포현황을 파악하면 토양의 물리적 성질을 어느 정도 유추하게 될 것이다. 이와 같은 관점에서 볼 때 산사태를 평가함에 있어 토양의 특성을 규명하는 것은 매우 중요한 비중을 차지한다. 우리나라의 산사태는 대부분 기반암의 상부 즉, 토층의 붕괴에 의한 것이다(김원영 외,

2000). 여기서 말하는 토층은 암편과 풍화암을 포함하는 미고결 물질을 통칭하는 용어로서 연구 지역의 시료도 세립질흙 뿐만 아니라 약간의 풍화암편이 포함된 물질로 구성되어 있다.

표1. 동해안 산불의 개황(동해안산불피해지 공동조사단, 2000).

지역	발화일	연소기간	연 소 특 성 (발화원인)	순간최대풍속 (m/sec)	피해면적 (ha)
고성	4월 7,11일	4일	단기간 급속확산 (군부대 쓰레기 소각)	26.8	2,696
강릉	4월 7,11일	2일	단기간 급속확산 (민간인 쓰레기 소각)	24.5	1,447
동해	4월 12일	3일	단기간 급속확산 (담뱃불 실화)	23.7	2,244
삼척	4월 7,10일	9일	비화, 급속확산 (쓰레기 소각)	23.7	17,097
울진	4월 10일	2일	돌풍, 급속확산 (삼척불이 넘어감)	18	310

산불이 발생한 지역의 토질특성을 파악해 보기 위하여 2000년에서 2001년에 걸쳐 강릉시 사천면, 삼척시 근덕면 및 원덕면 지역 일대에서 64개의 불교란 시료를 채취하여 토질시험을 수행하였다. 시료는 가능한 등 간격과 밀도비로 지표하 40~60 cm 깊이에서 불교란 시료를 채취하였으며, 채취된 토양시료에 대하여 실내에서 비중, 함수비, 입도, 연경도(consistency), 밀도, 간극비, 투수계수, 전단강도 등의 물리적 및 공학적 시험을 실시하여 사태물질을 분류하고 특성을 파악하였다. 시험방법은 KS 및 ASTM에 준하여 시험하였다.

3.1. 분류

토양에서 입도특성은 토양조직에 의한 물리적 특성을 파악하는데 이용되는 매우 중요한 성질이며, 입도곡선은 입자크기의 범위와 분포형태를 알 수 있다. 그림 1, 그림 2, 그림 3 및 그림 4는 연구지역 토양의 시험결과를 도시한 토질특성들이다. 연구지역의 토층은 통일분류법(Unified Soil Classification System; USCS)에 의하면 대부분의 토양은 SC로서 입도분포가 비교적 양호한 점토섞인 모래에 해당하며, 평균적으로 자갈 10% 이내, 모래 80% 내외이고, 실트 및 점토가 15% 정도의 구성비를 가진다. 그리고 분포곡선의 구배가 완만하며 입도조성이 대체로 양호한 흙 즉, 양입도(well graded)인 토양으로 분류된다.

자연 상태의 토양은 입도분포의 양상과 다짐도 즉, 얼마나 느슨하고 조밀한가에 따라 간극비와 밀도가 달라지는데, 시험결과 토양시료의 간극비는 대부분 0.6~1.0, 건조밀도는 1.2~1.6 g/cm³ 범위로서, 이는 대표적 실트질 모래~실트질 모래자갈(Silty sand~Silty sand and gravel)에 속한다.

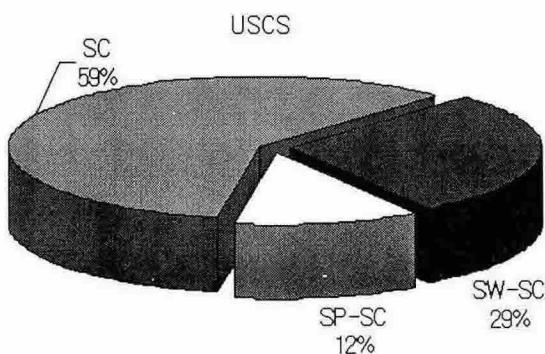


그림 1. 통일분류법에 의한 연구지역의 토질분류

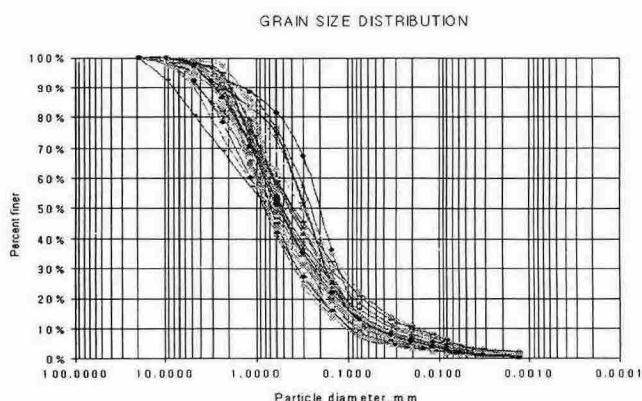


그림 2. 연구지역 토양의 입도분포도.

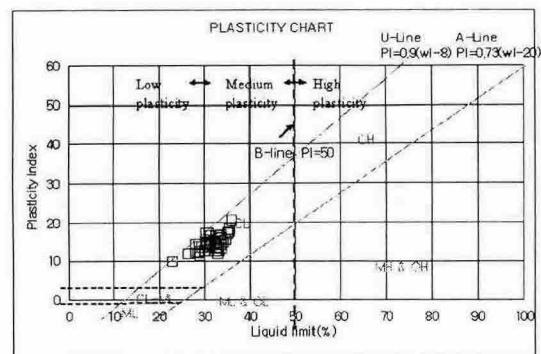


그림 3. 연구지역 토양의 소성도.

3.2. 투수성

지상에 내리는 비는 지표면이 투수층일 경우 토양 속의 미소한 간극을 통하여 침투현상에 의해 물이 지하로 스며들게 된다. 일단 물이 스며들면 중력의 영향 때문에 계속 지하로 이동하여 포화대(Zone of saturation)에 도달하게 되는데, 이 때의 침투속도는 토양의 간극이 크고 포화도가 높을수록 빨라지게 된다. 따라서 간극비와 밀도는 투수성과 매우 밀접한 상관성을 갖는 물성요인인 것으로 알려지고 있는데, 이들은 본 연구에서도 높은 상관관계에 있음이 확인되었다.

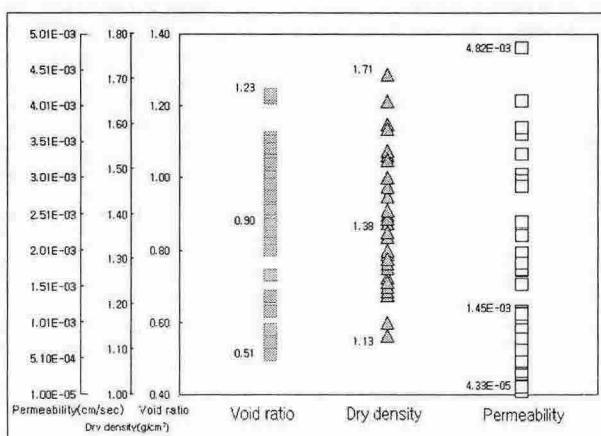


그림 4. 연구지역 토양의 간극비, 건조밀도 및 투수계수.

3.3. 산사태 발생과의 관계

산사태를 일으키는 요인 중에서 투수성은 매우 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 김원영 외 (2000)에 의하면, 등강우량 지역에서 산사태 발생빈도와 투수계수간의 상관성을 확률론적으로 분석한 결과, 사태물질의 투수계수가 클수록 산사태가 발생할 확률은 현저히 감소하는 것으로 보고되었다. 이는 집중호우와 누적강우가 사면을 구성하는 토양층을 일차적으로 포화시킨 후 배수가 원활하지 못하여 단위중량을 증가시키는 요인으로 작용하고, 이차적으로는 전단강도가 저하되어 상대적으로 중력의 영향이 크게 작용함으로써, 사태물질이 급격히 흘러내리게 된다. 이와 같은 흐름의 특징을 감안할 때, 동일한 지질분포 지역에서 투수계수와 간극비가 큰 토양층일수록 강우에 의한 산사태에 안정할 수 있다는 해석이 가능해진다.

연구대상지역의 지질은 대부분 화강암이고 산사태가 많이 발생하지 않은 지역, 즉 산사태 자료가 많지 않아서 산사태 발생과 미발생 지역과의 상대적 발생빈도를 분석하지는 못하였다. 연구지역 토층의 투수계수는 $1.0 \times 10^{-4} \sim 3.0 \times 10^{-3}$ cm/sec의 범위로서 전반적으로 보통 정도의 투수성을 가진 지반인 것으로 확인되었는데, 이는 대표적 가는 모래~느슨한 실트(fine sand~loose silt)의 투수계수에 해당하는 것으로 평가된다. 이는 대부분의 지질분포가 화강암으로서 사태물질인 풍화 잔류토 및 봉적토가 조립질인 것과 관계되는 것으로 해석되는데, 김원영 외 (1998)의 연구결과 경기도 지역에서 발생한 산사태의 경우 화강암이 편마암이나 편암에 비해 투수계수가 약 1 order 정도 높은 반면, 단위면적당 산사태의 발생빈도는 1/2 만큼 감소하는 것으로 보고되었다.

연구대상지역중 강릉시 사천면 지역에는 2002년 태풍 루사에 의해 많은 산사태가 발생하였다 (조용찬, 2003). 따라서 산사태의 발생지점과 토질특성과의 관련성을 파악해 보고자 김원영 외 (2000)에 의해 발표된 산사태 예측도에 사용되는 토질 시험 항목에 대한 등고선도를 작성하여 그 위에 산사태 위치를 표시하여 보았다(그림 5). 시료채취 시점은 산사태가 발생하기 이전이었기 때문에 전체 산사태가 발생한 지역을 충분이 대표할 만한 시료 개수를 채우지는 못 하였지만, 시료 채취 위치를 고려하여 도면의 작성 범위를 선정하였다.

그림 5를 분석하여 보면 건조밀도, 공극률, 투수계수의 경우는 상대적으로 값이 낮은 지역일수록, 간극비는 중간정도 지역에 산사태 빈도가 높게 나타나고 있다. 산사태 발생과의 관계에 있어서는 토질특성만을 비교하는 것이 아니라 지형적 요소가 함께 고려되어야 한다. 그림에서 동쪽 지역은 해발고도가 낮은 노년기 구릉지형을 형성하고 있기 때문에 산사태 발생 빈도가 상대적으로 더 낮게 나타나고 있는 것이다. 그러나 좀 더 정확한 토질특성과 산사태 발생과의 상관관계를 분석하기 위해서는 그림의 좌하단 지역에 추가적인 시험자료가 더 있어야 충분한 해석을 할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 향후 연구 방향

최근 들어 동해안 지역에 대형 산불이 빈번히 발생하고 있어 이로 인한 막대한 산림 피해를 야기하고 있지만, 이를 지역의 산림이 복구 되는되는 많은 시간과 노력이 필요하다. 그리고 산불 지역에 집중호우가 내릴 경우 많은 산사태가 발생하고 있는데 이에 대한 산사태 발생 예측 및 피해를 저감 할 수 있는 대책을 시급히 마련하여야 한다.

산불이 발생한 지역의 토질은 물리·화학적인 변화를 겪게 된다. 이에 대한 연구는 긴 시간이 요구되는데, 2005년에 4월에 산불이 발생한 양양지역에 대하여 체계적인 토질시료를 채취하여 시간의 흐름에 따른 토질의 변화 양상을 연구해 보고자 한다. 또한 사천지역에 대해서는 추가적인

토질시료를 채취하고 시험·분석하여 산사태 예측도를 작성하고, 이를 수정 보완하여 향후 동해안 산불지역에 적용 가능한 산사태 예측 모델을 제시하고자 한다.

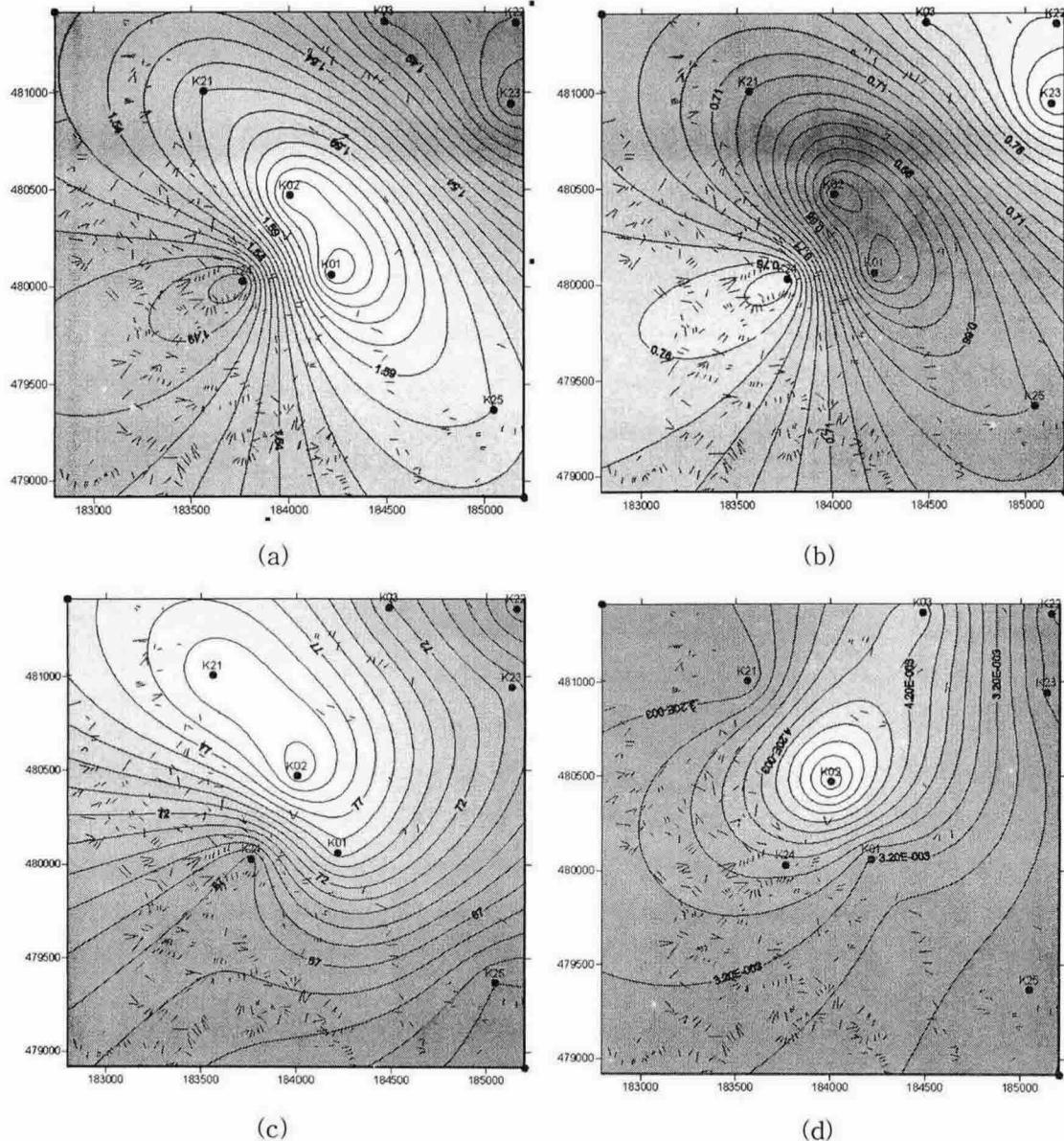


그림 5. 강릉시 사천지역의 토질시험결과 등고선도와 산사태 위치도. (a)건조밀도, (b)간극비, (c)공극률, (d)투수계수.

감사의 글

이 연구는 한국지질자원연구원 기본연구사업 '산사태 위험도 산정시스템 및 피해저감기술 개발' 과제의 일환으로 수행된 것이다.

참고문헌

김원영, 이사로, 김경수, 채병곤, 1998, 지형특성에 따른 산사태의 유형 및 취약성, 대한지질공학회, Vol. 8, No. 2, 115-130.

김원영, 채병곤, 김경수, 기원서, 조용찬, 최영섭, 이사로, 이봉주, 2000 산사태 예측 및 방지기술연구, 한국자원연구소, KR-00-(T)-09, 642p.

동해안산불피해지 공동조사단, 2000, 산불피해지의 건전한 자연생태계 복원 및 항구적인 산림복구 계획 수립을 위한 동해안 산불지역 정밀조사 보고서 I. 동해안산불지역의 건전한 자연생태계 복원 및 항구적인 산림복구계획 수립을 위한 민·관 공동조사단, 533 p.

양동윤, 김주용, 남욱현, 채병곤, 김경수, 조용찬, 한종규, 이승구, 이진영, 곽재호, 김진관, 오근창, 정혜경, 강문경, 2002, 2차 산림피해 방지기술 개발, 한국지질자원연구원, 00-J-ND-01-B- 12, 221-259.

조용찬, 김경수, 이춘오, 채병곤, 김원영, 2003, 태풍‘루사’에 의해 발생한 강릉지역의 산사태의 특징, 대한지질공학회 정기총회 및 학술발표회, 21-26.