

태풍 루사에 의한 산사태 발생 및 산림생태계에 대한 영향

임종환*, 태풍 루사로 인한 산지재해 합동조사단

임업연구원 산림환경부

(Correspondence : limjh@foa.go.kr)

1. 서론

제 15호 태풍 '루사(RUSA)'는 2002년 8월 23일 괌섬 동북동쪽 약 1,800km 부근 해상에서 발생하여, 26일 태풍으로 발달한 후, 8월 31일 15시 30분경 전라남도 고흥반도 남쪽해안으로 상륙하여 우리나라 내륙지방을 관통하였다(기상청, 2002). 그 경로는 1987년 엄청난 수해를 입혔던 태풍 '셀마(HELMA)'와 비슷하였다고 한다. 태풍 루사는 제주 고산에서 최대순간풍속 56.7m/sec를 기록하여 우리나라 극값 순위 2위(1위 흑산도 58.3m/sec)를 기록하였고, 8월 31일 하루동안 강릉지방에 내린 강수량은 870.5mm로 이 지역 1년평균 강수량 1,401.9mm의 62%에 해당되며 우리나라 2일(1위 635mm), 3일(1위 752.9mm)연속강우량의 극값보다도 높았다고 한다(기상청, 2002). 이 태풍이 강한 바람과 많은 강수량을 기록하게 된 것은 북상할 때 우리나라 동서로 북태평양고기압이 위치하였고 캄차카 부근에 지상과 상층 기압능의 발달로 상층 편서풍이 약해지면서 상층기압골의 이동이 늦어짐에 따라 태풍의 이동속도와 전향이 늦어졌고 남해상의 해수온도가 평년보다 높아 태풍의 세력이 거의 그대로 유지되면서 접근한 것과, 태풍에 동반된 수증기가 동해상의 작은 저기압성 소용돌이로 공급되었고 이러한 수증기가 북동기류를 따라 강릉지방으로 강한 바람을 타고 유입되었고 지형에 의해 급격히 상승되면서 매우 강한 강수대가 형성되었기 때문이라고 한다. 특히 강릉지방을 중심으로 동풍계열의 바람이 지속적으로 불어 습윤역이 형성되었고 850 hPa(상층 1.5km)부근의 찬 공기와 태풍 전면의 우측반원에서 태풍과 함께 실려온 열대해상의 더운 공기가 만나는 강릉 부근에서 강한 비구름대가 발달하였으며, 습한 북동기류가 태백산맥에 부딪혀 강제상승하면서 비구름이 발달하는 풍상측인 강릉, 속초, 동해, 대관령 등 강원도 영동지방에서 많은 비를 내렸다고 한다(기상청, 2002).

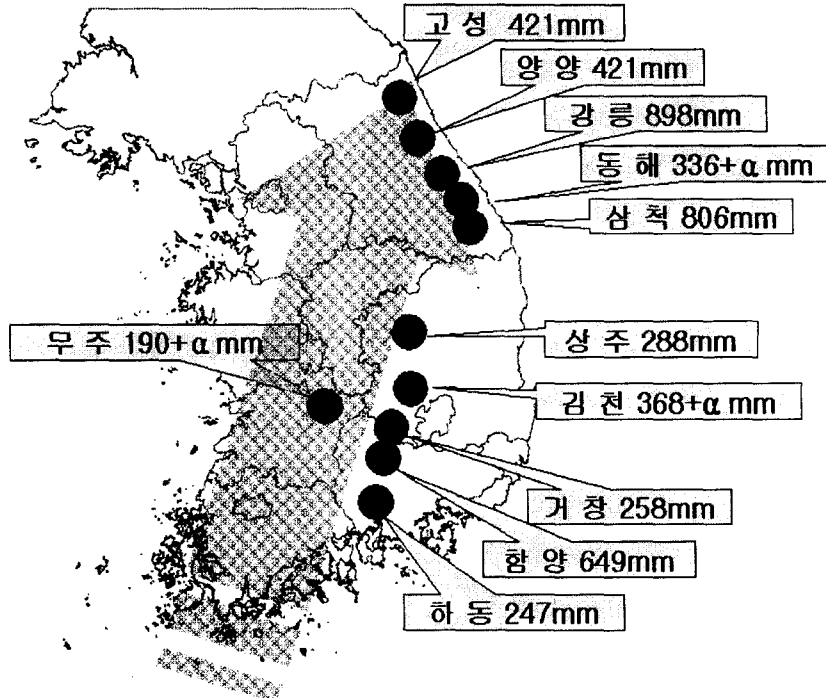
짧은 시간내에 많은 비가 내리면 산사태와 임도붕괴, 사방공작물 등 산림시설물 훼손 등의 산림피해를 가져온다. 우리나라는 숲이 대부분 산에 있기 때문에 홍수에 의한 침수(fooding)피해는 대부분 경작지에서 일어나고 숲은 거의 없다. 산사태는 대부분 6월과 9월 상순사이의 집중호우나 태풍에 의해 발생되는데 매년 평균 약 280ha의 산사태가 발생하여 약 160억원의 복구비와 41명의 인명피해가 발생하였다. 이는 가옥, 도로 등의 파괴와 같은 2차적인 피해도 유발한다. 특히 엘리뇨 현상이 극성을 이루었던 1998년도에 경기도를 중심으로 한 곳곳에서의 집중적 폭우로 1976년 집계 이래 최대면적인 1,281ha가 산사태가 발생하였는데 이것은 1987년도의 태풍 셀마와 충청지역 호우때의 1,073ha보다도 더 많은 면적으로 기록되었다. 이번 태풍 루사로 인한 피해는 산사태가 2,304ha로서 이보다 훨씬 큰 피해를 입었는데, 이는 피해지역이 2000년도에 최대의 산불로 피해를 입은 동해안 지역으로서 채 복원되기도 전에 유사 이래 가장 심한 집중강우가 있었기 때문이었다. 필자가 현지에 조사하러 갔을 때에는 피해를 입은 지 수일이 지나 많은 복구작업이 진행되고 있었음에도 산림은 흡사 손톱으로 할린 것처럼 변해있었고 민가나 계류는 온통 토사와 쓸려 내려온 나무줄기와 뿌리로, 도로나 민가는 온통 진흙에 덮여있었다.

이번 태풍 루사에 따른 집중강수로 인한 산사태, 토양유실, 유목, 유석 등이 생태계에 어떠한 영향을 미칠 것인지에 대한 판단은 아직 어려운 점이 많다. 많은 분야의 전문가들이 조사·분석하

고 모니터링을 할 필요가 있다. 따라서 여기에서는 2002년 9월 산림청 임업연구원을 중심으로 "태풍 루사로 인한 산지재해 합동조사단"이 결성되어 조사·분석한 자료를 중심으로 산사태를 비롯한 여러 피해현황을 알아보고, 이러한 교란이 생태계에 미치는 영향에 대하여는 상식적인 수준에서 고찰해 보기로 한다. 피해 조사지역은 강원도의 고성, 양양, 강릉, 동해, 삼척지역, 전라북도 무주, 경상북도 상주, 김천, 그리고 경상남도 거창, 함양, 하동 등지이었다.

2. 산사태 등 산지피해의 원인

태풍 루사가 통과하면서 산림에 심각한 피해를 입히고 2차, 3차 효과로 민가나 하천주변에 피해를 준 것은 상상을 초월하는 기록적인 집중강수이었다. 이러한 집중강수 원인은 서론에 언급한 바와 같고, 그 양에 있어서는 기상관측 이래 최대의 시우량과 일우량을 기록한 바, 강릉에서 연속강우량 897.5mm, 시우량 98mm/hr.(8월 31일 22시에서 23시), 일 강우량 870mm이었다. 일 강우량 870mm는 1921년 305mm의 2.9배에 해당된다(그림 1). 동해지역과 같은 경우는 당시 관측되지 않은 양이 훨씬 많을 것으로 판단되고 있다. 연속강우량을 보았을 때 삼척 806mm, 함양 649mm, 고성 421mm, 상주 288mm 등으로 국지적으로 상당한 차이를 나타내었다. 최(1986)의 연구에 의하면 우리나라에서 연속강우량이 200mm이상이거나 시우량 30mm이상 또는 일강우량 150mm 이상이면 산사태가 발생한다고 한다. 금번에 내린 비의 양과 속도는 이를 훨씬 넘어선 것이다. 따라서 이러한 엄청난 강우에서는 사실 정도의 차이일 뿐이지 산사태와 유목과 토석류의 발생 등의 피해가 없을 수는 없을 것으로 생각된다.



<그림 1> 태풍 루사 통과시 연속강우량

간접적인 피해원인으로는 이 지역들이 대부분 산사태발생이 용이한 화성암과 변성암지대가 대

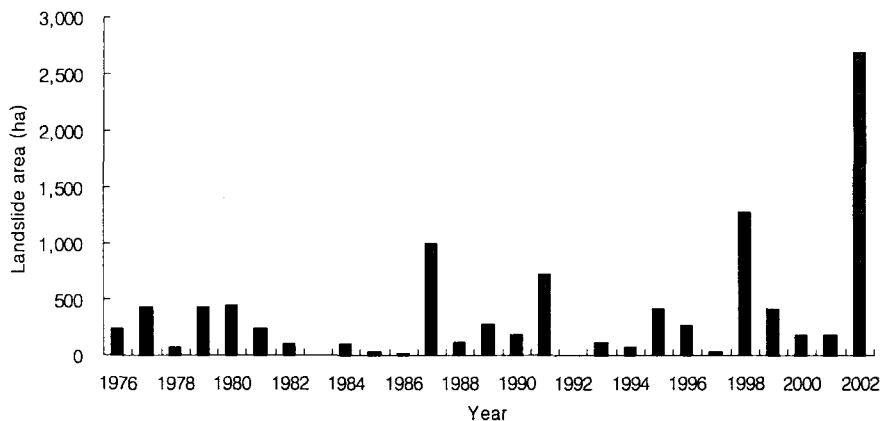
부분이었다는 것이다. 우리나라 산림지역의 모암분포 비율을 보면 화성암과 변성암이 76%를 차지하고 퇴적암이 24%를 차지하는데 그간 산사태 발생비율을 보면 화성암과 변성암이 90.3%이었고 퇴적암이 9.7%이었다. 그리고 동해안지역의 경우 2000년도 대형 산불로 인하여 상층 임목들이 상당부분 소실되고 토양조건이 열악한 상태이었다는 것도 무시하기 어렵다. 기타 산불피해지가 아니었던 곳에서는 토심이 깊은 경우 산사태의 규모가 상당히 커졌던 곳들도 많았다.

산사태란 토양의 응집력을 약화시키는 강우나 지진과 같은 외부의 힘에 의하여 토양이나 암석이 균형을 잃고 중력에 의해 일시에 아래로 무너져 내리는 현상을 말한다. 비가 오면 빗물은 대부분 비탈면을 따라 아래로 흘러가지만 일부는 땅속으로 침투하게되는데 이때 침투수의 이동속도는 흙의 종류에 따라 다르며 사면토층내에서 불투수층을 만나게 되면 더 이상 흐르지 못하고 머물러 고이게 된다. 이렇게 되면 흙의 마찰력이 약화되고 그 위의 흙이 미끄러져 내리게 되는 것이다. 우리나라의 산사태는 대부분 이와 같은 강수에 의한 것이고 돌발적으로 발생하며, 붕괴발생 후 고속으로 운동하는 특성이 있어 산사태의 발생이나 산사태 토괴의 운동을 예측하기가 매우 어렵다.

현재까지 연구된 바에 의하면 강수에 의한 산사태는 대체로 연속강우량이 200mm 이상이거나 시우량이 30mm이상인 경우에 발생한다고 한다. 물론 여기에는 모암이라든가 지형, 경사도, 토심, 숲의 형태에 따라 달라지게 된다. 최(1986)의 연구에 의하면 화강암지대가 편마암지대에 비해 토심이 얕아 발생빈도는 높으나 규모는 작고, 가장 자주 발생하는 곳은 보은화강암이고, 발생면적의 크기는 흑운모편암이었으며, 지형조건은 오목형과 평형사면이 강수가 모이는 양이 많고 침투가 용이하여 불록사면보다 발생빈도가 높으며, 사면의 경사가 급할수록 높으나 40° 이상은 암반이라 거의 발생하지 않는다고 한다. 그리고 토심이 깊은 곳이 발생빈도는 적으나 규모는 크고, 나무가 있는 곳보다 없는 곳이, 그리고 임분밀도와 경급이 낮을수록 발생빈도가 높다고 한다.

산사태 발생의 연도별 추이를 다음 <그림 2>에 나타내었다. 1987년 태풍 셀마와 호우로 인하여 1,000ha가 넘는 면적이 피해를 받았고, 1998년 집중호우로 인하여 이보다 많은 면적이, 그리고 급년도의 경우는 1998년 유사 이래 피해가 가장 컸다고 하는 면적의 2배가 넘는 면적이 피해를 입었다. 이러한 악기상으로 인한 재해가 변화하는 진폭이 갈수록 커지고 있어 예측하기 힘들다는 것이 문제인 것이다.

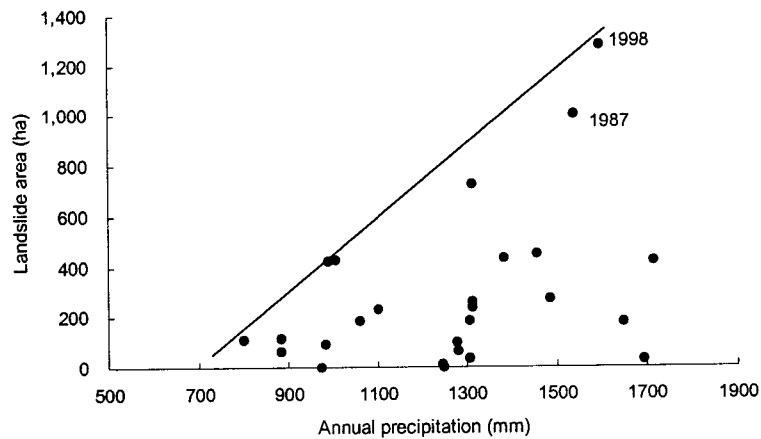
Landslide area in Korea (ha)



<그림 2> 연 산사태발생면적의 변화

장기적인 기후변화차원에서 강수량변동과 산사태발생량과의 관계를 알아보려면 최근 기후변화 시나리오에서 어느 정도 예측치를 제공하고있는 기후요소인 연강수량과 산사태 발생면적과의 관계를 알아보아야 할 것이다. 지난해까지 연강수량과 산사태 발생면적에 대한 관계를 다음 <그림 3>에 나타내었는데, 강수량이 많아짐에 따라 산사태 발생면적이 증가하는 것을 알 수는 있으나 일반화 시켜 수식을 만들어내기는 어렵고, 다만 그 최대발생위험면적과 같은 상한선을 도출할 수 있을 것으로 보인다. 피해면적을 그 상한선 아래로 내리는 데에는 산사태위험지역에 대한 대비와 관리를 어떻게 하느냐에 달려 있을 것으로 판단된다. 물론 이러한 불확실적인 요소들로는 앞서 지적한 집중강우의 빈도와 강도, 전년도 발생량, 토양조건과 식생형태 등이 작용하는 것으로 판단된다.

Relationship between annual precipitation and landslide area



<그림 3> 연 강수량과 산사태발생면적의 관계

3. 산림 피해 실태

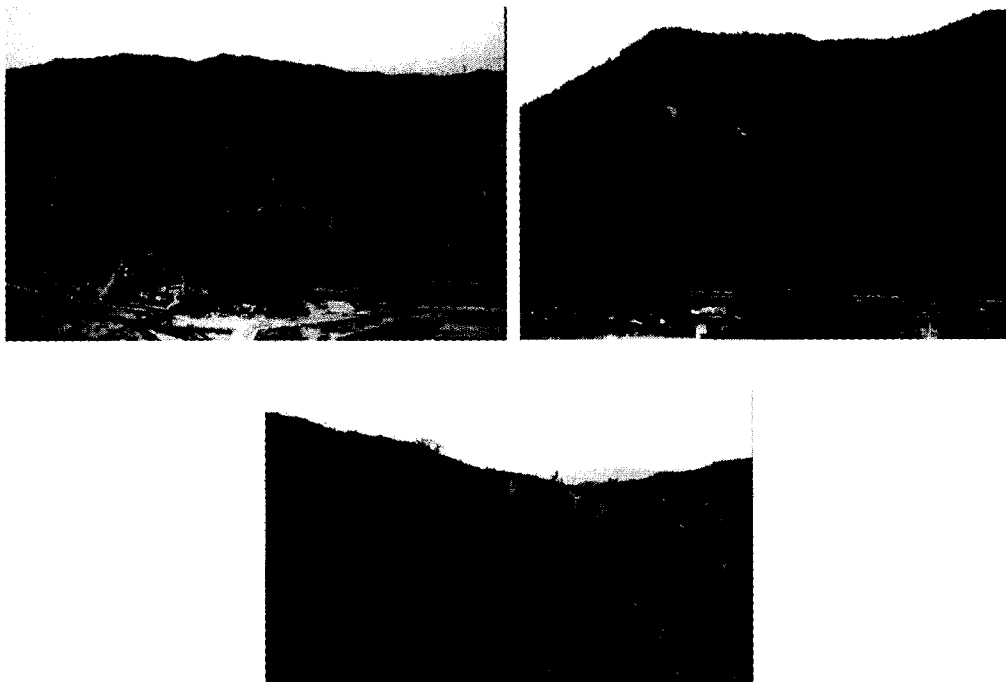
산림청 자료를 보면 금번 태풍 루사로 인한 피해를 종류별로 살펴보면 산사태 2,303.8ha, 야계 사망 71.5ha, 사방댐 34개소, 임도 506km, 휴양시설 19개소, 가로수 2만여본, 유실수 3만6천여본, 조경수 437만여본 등으로 집계되었다. 산사태발생면적을 이번 태풍 루사로 인한 것 이외에 집중호우시 2차례 가량의 피해면적을 합하면 금년도에 전국적으로 2,700ha정도가 된다. 금번 태풍 루사의 피해에 따른 복구비로만 2,554억원이 추정하고 있으며 이중 산사태 복구비가 1,442억원 가량이 된다고 한다. 실로 엄청난 피해로서 피해규모와 복구비가 최근 10년간의 합계와 비슷하다.

이러한 피해를 지역별로 살펴보면 단연 강원도지역(국유지에서는 동부청관할지역이 여기에 해당됨)이 가장 피해가 컸다. 사유지로 보면 국유림보다 공유림과 사유림에서 피해규모가 컸음을 알 수 있다.

<표 1> 2002년 태풍 루사로 인한 산지재해 규모

구 분	총피해규모	국유지					공·사유지				
		계	동부	남부	서부	기타	계	강원	경북	경남	기타
산 사 태	2,304 (ha)	534	363	124	42	5	1,770	887	326	332	225
야계사방	71.5 (km)	2.6	0.5	-	2.1	-	68.9	7.6	11.0	37.6	12.7
사 방 댐	34.1 (개소)	0.5	0.3	-	0.2	-	33.4	19.9	4.5	7.5	1.5
임 도	506 (km)	204	120	63	17	4	302	55	112	53	82

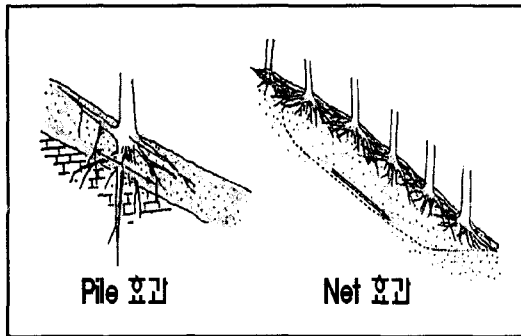
산사태 피해지들을 사례별로 살펴보기로 하자. 우선, 숲의 구조와의 관계를 알아보면, 숲의 구조가 상층, 중층, 관목층 및 초본층으로 잘 분화 되어 있고 상층수목의 높이가 10m 이상 성립된 곳은 계류에 물이 많이 모이면서 쓸려내려가는 경우들을 제외하면 크게 피해를 입지는 않았다. 반면에 서있는 나무가 없는 경우는 싸리류와 같은 관목류나 칩과 같은 덩굴류 등으로 덮여 있더라도 많은 곳에서 산사태가 발생하였다. <그림 4>에서 나무가 서있는 곳은 나무가 없는 곳에 비하여 피해면적이 훨씬 적었음을 잘 보여주고 있는데, 2000년도에 산불이 발생하였을 때 고사목을 잔존시킨 곳도 아직은 뿌리가 지지역할을 함에 따라 그 피해가 적었던 것으로 보인다. 다만 이러한 피해목을 잔존시켰을 경우에 산사태가 나면 나무가 쓸려 내려가면서 계류근처의 민가나 교량 등에 피해를 줄 수가 있다.



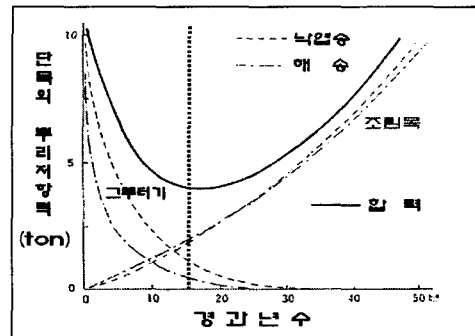
<그림 4> 나무가 있는 곳과 없는 곳의 산사태 차이. 3개의 사진 모두 강원도 동해시 삼화동 지역으로서 상단 왼쪽은 산불피해로 임목이 거의 없는 곳이고 오른쪽은 마주 보이는 산으로 숲이 어느 정도 형성된 곳임. 아래는 산불피해지에서 나무가 없는 곳과 있는 곳이 같이 보여짐.

나무가 서 있는 곳이 산사태가 적은 것은 지상부와 지하부 2곳에서 모두 작용한다. 지상에서는

앞과 가지가 강수를 분산시키고, 뿌리는 아래 <그림 5>와 같이 사면을 안정시키는 작용을 하고, 어느 정도의 유석과 토양유실을 저지하기 때문이다.



수목의 사면안정기능



수종별 뿌리저항력 비교

<그림 5> 나무 뿌리의 사면 안정화 작용

다음 <그림 6>은 전북 무주의 낙엽송 조림지에서 토석과 유목을 저지한 흔적을 보여주는 사진들이다.



<그림 6> 나무가 유목과 유석을 저지한 흔적(전북 무주)

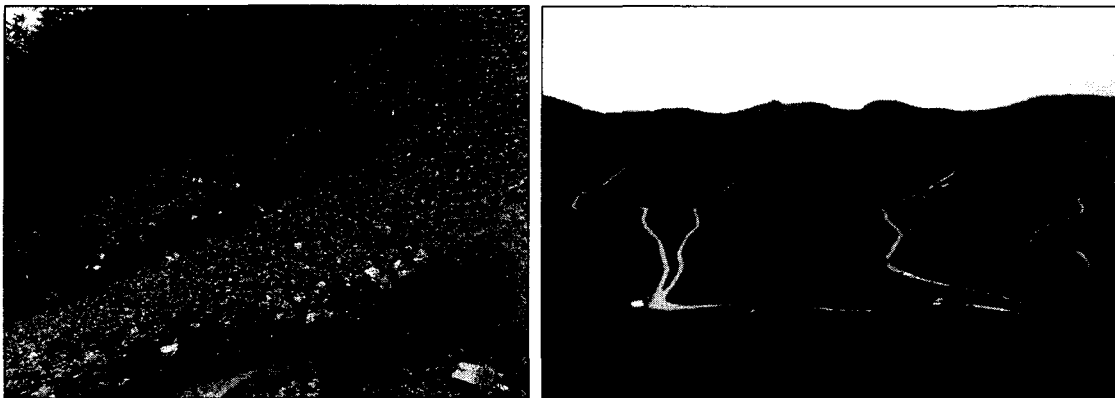
이러한 사실들로 보아서 숲이 자연재해를 얼마나 완화시킬 수 있는 지를 알 수 있다. 금번 강릉, 동해 등지에서 산사태가 많이 발생한 것도 2000년도 산불피해와 무관하지 않다. 즉 산불피해 후 나무가 없어지고 난 뒤 아직 숲이 제대로 성립되지 못하고 있었고, 토양구조 또한 열악한 상태이었던 것이다. 1996년도와 2000년도 2차에 걸쳐 산불피해를 입었던 고성과 같은 경우는 토양응집력이 떨어져 표층이 붕괴되어 있었고 주로 계곡을 중심으로 산복 급경사지에서 산사태가 발생하였다. 그런데 사실 이 지역은 그간 불안정한 표토가 유실되어 있었던 터라 토석류와 같은 2차 피해는 거의 없었다. 2000년도에만 산불피해를 입었던 강릉, 동해, 삼척지역과 같은 경우는 산불피해지 정리 등을 위한 사람의 답압이나 기계압 등으로 임지가 교환되어 있었던 터라 유목, 유석 등의 피해도 심하였다. 경상북도와 전라북도 및 경상남도과 같은 경우는 숲이 대부분 형성되어 있는 경우에 강우가 워낙 심하게 내려 일어난 산사태가 대부분이었고, 강원 영동지방 가운데에도 진부령,

설악산 등 백두대간(또는 태백산맥) 근처의 산림지역에서는 집중강수로 인한 계류의 쓸려내림이나 일부 불안정한 입지에서의 산사태가 대부분이었고 그 빈도 또한 낮았다.



<그림 7> 지역별 산사태 피해 유형. 왼쪽은 산악지의 경우이고 가운데는 고성지역에서 이미 표토가 유실된 지역이고 오른쪽은 동해시의 경우 유목과 유석의 2차 피해까지 일으킨 대규모 산사태 피해지임.

기타 삼척시와 태백시의 고랭지 채소밭의 경우, 총 재배면적 2,541.5ha 가운데 135.8ha가 피해를 입었는데, 산사태가 발생한 곳의 대부분은 급경사를 무리하게 개간하여 표토가 유실되어 강우 침투가 불량하고 붕괴저항력이 떨어져 생긴 것들이다. 따라서 집수면적이 넓거나 급경사지는 산림으로 환원시키고, 불가피한 곳은 돌림수로, 옹벽 등의 조치가 필요할 것이다. 백두대간 능선상의 가장 큰 고랭지채소밭은 피재부근인데, 이지역은 강우량과 강수강도가 강릉이나 삼척 등지보다 높지 않았던 터라 피해가 없었다.

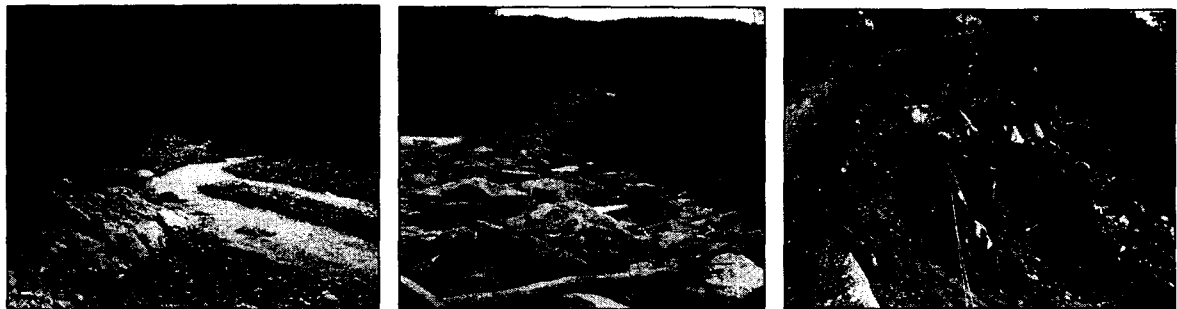


<그림 8> 고랭지 채소밭의 피해. 강원 삼척의 경우 급경사지가 붕괴되었고(왼쪽), 피재의 대단위 채소밭(오른쪽)은 다행히 피해가 없었다.

임도의 피해도 상당하였는데, 계곡부의 임도는 계류를 따라 흐르는 유수 및 토석류가 범람함에 따라 직접적으로 임도 노체를 파괴하여 유실되는 경우가 대부분이었다. 산복이나 능선부의 임도는 상부 유역의 산사태로 인한 피해, 성토사면 붕괴, 절토사면 붕괴 등 3가지 유형으로 구분될 수 있는데, 강원도 양양 상·하월천지역 31km, 186개소의 조사자료에 따르면 성토사면 붕괴가 49%로 가장 많았고, 산사태로 인한 경우가 40%, 절토사면의 경우는 11%의 순으로 나타났다. 따라서 임도를 만들 때 성토사면의 경우는 특별히 사면안정을 위한 공법들이 요구된다고 하겠다. 사방댐은 대부분 완전 매몰되었고, 댐의 양 옆과 물받이 등이 파손된 경우가 많았다. 동해안 산불피해 후 응급복구로 시행된 사방댐들이 스스로의 역할을 다하였다고 할 수 있다. 강릉과 동해 등지에서

는 이들의 능력을 훨씬 넘어선 나무와 토석이 흘러내려 민가근처와 하천으로 내려가 상당한 피해도 있었다. 그러나 우리가 1백년 이상의 확률로 나타나는 자연재해에 대한 예방복구를 산림에 투자한다는 것은 어려웠을 것이라는 생각이고 어느 수준에서 이러한 것을 결정하느냐 하는 것도 과제이다.

도로절개지와 같은 경우는 모암의 절리방향이 어떻게 되어있느냐가 크게 중요하다고 하겠다. 도로를 만들 때에 지질조사 등을 철저히 한 다음 절리된 방향이 도로쪽으로 되어있으면 기존의 설계기준 63° 보다 훨씬 완만하게 하여야하는 등의 조치가 필요하며, 풍화토와 연암경계면에서 붕괴할 가능성이 높다는 것을 고려하여 설계와 공사가 이루어져야 할 것이다.



계곡임도 유실
(강원 삼척 가곡)

산사태로 인한 임도피해
(강원 동해 삼화)

성토사면 붕괴
(강원 동해 삼화)

<그림 7> 여러 가지 유형의 임도피해 사례

강원 삼척시 가곡면의 폐탄광지의 경우 많은 양의 물이 유입되어 토석이 유실되었고, 강릉시 사천 묘지의 경우는 상부의 성토사면이 붕괴되면서 다량의 토사와 함께 700기 이상이 없어졌는데 사면 상부에 들림배수호가 없어 집중강우에 따라 주변 유입수와 지표수가 모여 일어난 재해였다.

산사태와 함께 일어나는 것이 유목과 토석류인데 이로 인하여 인가나 계류에 피해를 입히고 교량이 끊어지는 등의 재난도 발생한다. 이번 태풍 루사로 인하여 유목과 토석류의 피해를 입은 곳의 대표적인 곳이 강원도 삼척시 동막과 동해시 삼화동이었다. 유목은 산불피해 벌채목과 민가의 원목, 살아있던 나무 등 다양하였는데, 생목은 산지하부나 선상지에서 멈추거나 교각에 걸려있었고, 유로의 최하단까지 흘러간 것들은 대부분 잘라놓은 나무토막들이나 작은 나무들이었다. 교량의 교각에 걸린 유목들은 대부분 산사태에 의해 뿌리까지 뽑힌 생목들이었는데, 교각이 붕괴한 원인으로는 빠른 유속과 유석에 의한 충격에 의한 것으로 보고 있다.

4. 자연적 교란이 생태계에 미치는 영향

이러한 재해의 복구와 예방대책 등은 본 논의에서는 생략하기로 하고 이러한 자연재해가 생태계에 미치는 파장에 대하여 논의하도록 한다.

육상생태계에 있어서 자연적인 교란(disturbance)은 생태계 발달의 주요한 변수 가운데 하나이다. '교란'이라는 용어는 정해진 발달순서 또는 순서대로 진행되는 것을 파괴하는 것을 의미하지만 생태계 발달에 있어 '순서(order)'라는데 대하여 많은 학자들이 동의하지 않고 다음과 같은 뜻으로 사용한다. 즉, "생태계, 생태계의 조성파 구조 및 기능을 파괴하는 시간상 불연속적으로 일어나는 현상"을 의미한다. 많은 경우, 교란을 생물의 관점에서 보는데 "최소한 한 그루 이상의 상층수목이

죽는 힘(Runkle, 1985)"이라든가, "식물 바이오메스량을 제한하는 부분 또는 전체적인 파괴현상(Grubb, 1988)", 또는 "생존자나 새로운 이주자가 정착할 수 있는 공간 또는 다른 자원을 만드는 현상" 등으로도 교란을 정의하여 사용한다.

이러한 교란으로는 산사태(landslides)나 화산활동과 같이 토지형태를 바꾸는 것, 홍수(침수), 침식, 유목(流木, debris flow) 등과 같이 토양에 대한 것, 나무가 쓰러지는 것과 같은 식생에 의한 것과 산불, 바람, 빙하, 기후변화, 이상기상, 병해충 등이 모두 포함될 수 있으며 최근에는 산림훼손이나 벌채와 같은 인위적인 교란도 하나의 범주로 취급한다.

이러한 교란이 생태계에 어떻게 얼마나 큰 영향을 주는 가는 교란의 종류, 빈도 및 강도에 의해 달라진다. 강풍에 의한 교란은 대체로 상층의 키가 큰 나무나 노령목에 피해를 입히지만 하층 식생은 직접적인 영향을 거의 받지 않는다. 산불의 경우 지표화(surface fire)는 하층식생에 피해를 주지만 상층식생에는 피해가 적고, 나무의 상층수관을 태우는 수관화(crown fire)는 상층 임목도 태운다. 산사태의 경우는 식생 뿐만이 아니고 토양 및 암석까지 유실되며 토지의 형태까지 바뀌게 된다. 산불이나 화산활동 등의 대면적의 교란보다는 면적이 적은 유형이지만 일시에 많은 유수와 함께 토석과 나무들이 함께 쓸려 내려가므로 계류주변에 큰 피해를 입히게 되고, 산사태지는 수백 년 만들어진 토양이 유실된 상태이므로 식물이 정착하고 생육하는 등 원상 회복하는 데에는 많은 시일이 소요된다. 태풍의 경우는 바람과 집중강우의 2가지 인자가 작용하게 되는데, 바람에 의한 피해로 생각되는 보호수의 경우 2분이 피해를 입었을 뿐이었던 것을 보면 집중강우가 훨씬 큰 영향을 미친 것으로 판단된다. 이러한 이유들로는 우리나라의 대부분의 산림이 아직 성숙한 숲으로 되어있지 않다는 것과 지형의 복잡성으로 풍속이 상당히 완화되었을 것이라는 추측을 가능하게 한다.

산사태와 하천 범람 등이 생태계에 미치는 영향은 크게 두가지로 볼 수 있다. 하나는 산림내에서의 영향이고 하나는 계류나 호수 생태계에 대한 영향일 것이다. 산림내에서는 토양과 지표의 유기물이 모두 쓸려내려간 상태이므로 생태학적 천이과정이 초기단계로 후퇴하게 되고 토양생성과 식생회복에는 산불피해지보다 훨씬 오랜 시일이 요구된다. 따라서 이러한 지역의 복구는 필요한 지역은 사방공작물과 함께 인공피복 등 사방 및 녹화사업이 실시되어야 할 것으로 생각된다. 이러한 토양과 유기물의 유실은 생물다양성과 풍부도를 감소시키고 대기중 이산화탄소를 육상에 고정된 양이 줄어드는 효과도 있다. 그러나 한편으로는 소나무와 같은 수종은 이러한 나지조건에서 살아갈 수 있기 때문에 정착할 수 있는 기회를 얻게 되기도 한다. 계류나 호수생태계는 심각한 충격을 받았을 것이 분명하나 이것이 회복되는데 얼마나 시간이 소요되는지, 그 충격은 얼마나 큰지 등은 향후 중요한 연구과제가 아닐 수 없다.

4. 결론

2002년 제15호 태풍 루사가 8월 31일과 9월 1일에 강릉을 중심으로 폭우를 내림으로써 실로 막대한 산지피해를 입혔다. 여기에서 필자는 산림에 나무가 제대로 서있는 것이 얼마나 자연재해를 완화시켜주는 가를 목격하였다. 자연재해는 언제든 발생할 수 있으며 이 또한 자연현상 가운데 하나이다. 재산과 인명을 보호하고 산림자원을 지키기 위해서는 사전에 얼마나 대비하느냐에 달려 있고, 숲을 제대로 가꾸고 임지를 안정시키는 것이 가장 저렴하고 생태적으로 건전한 환경을 만드는 것이라 생각된다. 산불피해지에서 산사태가 많이 발생한 것은 이러한 것들이 상승작용을 일으키며 취약생태계의 관리가 중요하다는 것을 일깨워 주었다.

금번 태풍루사는 장기적인 기후변동과정 중의 한 징조일 수 있고, 향후 지구기후체계가 달라지

게 된다면 다른 어떤 방식의 자연재해가 있을지 모를 일이다. 기상현상과 직접적인 연관이 있는 산불과 산사태 등과 같은 자연재해가 최근 들어 빈번해지면서 대형화되는 것은 우연한 현상이라고 하기에는 부족한 것 같다. 지구온난화나 엘니뇨와 라니냐 등 대기순환체계에 있어서의 변동과 무관하지는 않은 것으로 생각된다.

지금 당장 시급히 복구하여야 할 곳도 있고, 중장기적인 복원과 위험예보시스템 구축 등의 대책과 연구도 필요하다. 임도와 같은 경우 경비절감보다는 친환경적이고 튼튼히 만들도록 하여야겠고, 어느 곳이 산사태에 취약한지 어느 곳이 사람이 살기에 위험한지, 어떻게 하면 자연스런 하천을 유지하면서 사방공작물을 최적으로 만들 수 있는지 등을 과학적으로 제시할 수 있도록 연구하고 실제로 실행하고 수정하는 노력이 필요하다고 생각된다.

현재까지 생태계가 얼마나 충격을 받았는지 등에 대한 조사와 연구는 실제로 이루어지지 않았다. 무슨 나무로 언제 어떻게 복원할 것인지, 그리고 이러한 복원노력은 어떤 결과를 가져오는지 등에 대한 연구와 모니터링도 필요하다. 아울러 금번 태풍 루사는 산림의 문제가 산림내에서 끝나는 것이 아니고 농경지나 하천과 호수 및 바다에까지 생태계가 상호 연계되어있다는 것을 보여준 사례이다.

Acknowledgements:

임업연구원 및 학계의 전문가들로 구성된 "태풍 루사로 인한 산사태피해 합동조사단"(임업연구원 오정수, 이천용, 최경 등 31인)의 현지조사자료를 근거로 이 자료를 만들었으며, 조사단의 자료 협조에 감사드립니다.

참고문헌

기상청. 2002. 기상소식 2002년 9월호. 기상청, 서울

최경. 1986. 한국의 산사태 발생원인과 예지에 관한 연구. 강원대학교 박사학위논문. 45pp.