

우리나라 사면재해 피해현황과 대책

박덕근*, 오정림**, 김태훈**, 박정훈**

1. 서론

최근의 기상이변으로 인한 태풍 및 국지성 집중호우의 빈발과 산업의 발달로 인한 산지지역의 개발급 증은 많은 사면재해를 유발시키고 있다. 사면재해는 직접적인 인명피해뿐 아니라 심각한 경제적 손실을 초래하게 된다. 사면붕괴로 인한 손실은, 경제적 발전과 더불어 불안정한 비탈면의 개발로 점점 더 증가되고 있다. 산사태가 발생하면 주거지와 산업부지, 그리고 농작물과 산림의 피해뿐만 아니라 하천과 호수의 수질에도 영향을 줄 수 있으며 결과적으로 심각한 사회·경제적 영향을 초래한다.

매년 자연재해로 인해 많은 사람들이 피해를 입고 있으나 경제적인 제약 때문에 항구적이고 근원적인 대책마련에는 현재까지 한계가 있는 실정이다. 지반 공학적 책임을 다하지 못해 발생하는 인적피해는 대부분 집중호우 기간 중 발생하는 산사태에 원인이 있고 그 형태는 도로면에 인접한 절취사면의 붕괴, 자연사면에서의 산사태, 그리고 주택지의 축대 및

옹벽붕괴 등으로 대별될 수 있다(박덕근 등, 2004). 최근 도시의 발달과 인구의 증가는 이러한 사면재해에 대한 취약성을 증가시키고 있으나, 사면붕괴 방지대책은 산사태 및 절취사면 붕괴 발생에 대한 사전예측 및 철저한 원인규명이 없이 이루어지고 있는 경우가 많다. 따라서, 매년 반복되는 사면재해에 대하여 인명 및 재산피해를 저감시키기 위해서는 공학적, 정책적 측면에서 다양한 논의가 필요하며, 본고에서는 우리나라 사면재해에 대한 현황과 사면재해로 인한 인명 및 재산피해 저감을 위한 대책을 제시해 보고자 한다.

2. 사면재해로 인한 인명피해 현황

우리나라에서 발생하는 사면재해는 주로 해빙기와 장마철, 그리고 태풍이 상륙하는 시기에 발생한다. 2002년의 루사, 그리고 2003년의 매미로 유발된 산사태 및 사면붕괴 등 사면재해로 인한 피해는 그 대표적인 예라 할 수 있다. 그러나 최근의 기상이변으로 인하여 빈발하는 국지성 집중호우는 계절과 무관하게 강우지역을 중심으로 사면붕괴를 일으키고

*1 국립방재연구소 연구관(dr_park@nema.go.kr)

**2 국립방재연구소 연구원

**3 국립방재연구소 연구사

**4 국립방재연구소 연구원

우리나라 사면재해 피해현황과 대책

표 1. 연도별 자연재해 사망자 및 사면재해 사망자 현황

(단위: 명)

연도	전체 자연재해 사망자	사면재해 사망자			연도	전체 자연재해 사망자	사면재해 사망자		
		소계	산사태(토석류)	절개지 및 축대 붕괴			소계	산사태(토석류)	절개지 및 축대 붕괴
1976	526	56			1991	236	68	63	5
1977	345	222			1992	40	2	1	1
1978	158	18			1993	69	12	12	0
1979	423	167			1994	72	6	6	0
1980	279	58			1995	157	28	28	0
1981	216	25			1996	77	2	2	0
1982	121	9			1997	38	5	5	0
1983	91	N/A			1998	384	111	103	8
1984	265	18			1999	89	32	24	8
1985	250	50			2000	49	12	11	1
1986	156	N/A			2001	82	9	7	2
1987	1,022	155			2002	270	79	74	5
1988	143	16			2003	151	37	31	6
1989	307	43	38	5	2004	17	3	1	2
1990	258	67	56	11	2005	47	11	10	1
전체 자연재해 사망자*		합계 : 6,338			연평균 : 211.3				
사면재해 사망자**		합계 : 1,321			연평균 : 47.2				

전체 자연재해 대비 사면재해 사망자 비율 : 22.3%

* 지난 30년간('76년~'05년)기준
** '83년 및 '86년 자료 미비로 28년 기준

표 2. 자연재난 관련 전체 사망자와 사면재난 관련 사망자 (1996~2005)

연도	전체 사망자수(명)	사면재난으로 인한 사망자 수 (명)	비율(%)
10년 합계	1,204	301	25
10년 평균	120.4	30.1	25
1996	77	2	2.6
1997	38	5	13.2
1998	384	111	28.9
1999	89	32	36.0
2000	49	12	24.5
2001	82	9	11.0
2002	270	79	29.3
2003	151	37	24.5
2004	17	3	17.6
2005	47	11	23.4

있다. 표 1은 지난 10년간 우리나라의 산사태 등 사면 붕괴로 유발된 인명피해 현황을 보여주고 있다. 표 1에 나타난 바와 같이 지난 30년간('76년~'05년)의 기록에 의하면 자연재해로 인한 사망자는 총 6,338명이며, 연평균 211명이 자연재해로 사망하고 있다.

표 1에서 전체 자연재해 사망자인 경우, '90년 이전에는 건설부에서 발간한 한국의 홍수(건설부, 1976~1978) 및 재해연보(건설부, 1979~1990)를, '91년부터는 행정자치부에서 발간한 재해연보(내무부, 1991~1996; 행정자치부, 1997~2002)를 참고하였다. 또한 '03년~'05년의 사망자는 국가안전관리정보시스템(NDMS)의 자료를 기본으로 산출한 것이다. 자연재해로 인한 사망자는 대체로 줄어드는 경향이라고 말할 수 있으나 때때로 발생하는 대형태풍과 예측이 어려운 집중호우 등으로 최소 몇 년마다 평균이상의 인명피해가 발생하고 있는 실정이다.

표 2는 최근 10년의 자연재해 및 사면재해 현황을 보여주고 있다. 표 2에서 보는바와 같이 '96년부터 '05년까지의 전체 사망자는 1,204명으로 집계되었으며 이중 산사태 등 사면재해로 인한 인명피해는 총 301명으로 전체 사망자의 약 25%를 차지하고 있다. 표 2는 또한 10년 평균 약 30명이 매년 산사태 등 사면재해로 희생되고 있는 것을 보여주고 있다. 한편, 2004년은 자연재난으로 인한 사망자가 다른 해보다 현격히 적은 것으로 나타났는데, 이는 평년과 비슷한 수의 태풍이 발생하였으나, 직접적으로 우리나라에 영향을 미친 태풍의 수는 소수에 불과하며, 그 결과 인명피해가 상대적으로 적었던 것으로 판단된다. 2005년의 인명피해는 8월의 집중호우(8.2~8.3)와 10월의 풍랑 및 강풍(10.21~10.24)피해로 인해 발생하였다. 10월의 풍랑피해는 경상북도 장기면에서 주로 발생하였으며 11명의 사망·실종 피해를 유발시켰다.

3. 사면재해 관리대책

3.1 국내 사면재해 관리현황

3.1.1 건설교통부

가. 고속도로 사면

국내 절토사면에 관한 유지관리는 현재 고속도로, 국도 및 철도사면 등을 대상으로 체계적 유지관리를 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 고속도로 주변 절토사면의 경우는 통행량이 많고 차량의 속도가 매우 빠르기 때문에 절토사면의 붕괴는 대형 사고를 유발할 가능성이 매우 높다. 조그마한 낙석이 발생하더라도 운전자의 반사적 행동으로 인해 매우 큰 위험을 초래할 수 있으므로 절토사면의 안정성과 안전시설의 확보는 통행량이 비교적 적은 국도나 지방도 절토사면의 안정성 확보에 비하여 상대적으로 중요하게 고려되어야 한다. 고속도로는 2000년 6월 집계 21개 노선, 연장 2,050km를 관리하고 있으며, 지속적인 건설이 진행되고 있어 2004년까지 전체 고속도로 관리노선의 연장이 3,700km에 달하고 있다. 2003년 2월 조사된 절토사면 전체 고속도로 주변의 절토사면 관리개소는 5m이상 높이의 절토사면수가 대략 4,800개 이상으로 나타나고 있으며, 이 숫자도 고속도로 건설이 지속되는 한 당분간 증가할 것이다(한국도로공사, 2004). 한국도로공사에서는 고속도로 건설유지관리시법(HCMS : Highway Construction & Maintenance System)을 구축하여 고속도로의 설계, 건설계획으로부터 공사, 유지관리까지 전 과정에서 다루어지는 각종 자료를 통합 관리하고 업무 흐름에 따라 연계 활용할 수 있도록 통합화한 시스템을 활용하고 있다. 표 3은 2003년 2월 기준으로 조

우리나라 사면재해 피해현황과 대책

표 3. 노선별 사면개수 현황

경부선	남해선	88선	서해안선	울산지선	익산장수	호남선	중부선
306	171	332	525	16	2	243	601
제2중부선	평택음성	중부내륙	영동선	중앙선	동해선	서울외곽	마산외곽
33	71	223	334	824	119	108	35
남해지선	경인선	제2경인	호남지선	대전남부	구마선	중앙지선	
12	4	39	69	24	16	3	

사된 노선별 사면의 현황을 나타낸 것이다.

나. 지방도 및 국도 절토사면 유지관리

건설교통부 도로국 자료에 의하면 1998년 기준 우리나라의 도로의 총 연장은 86,989.6km이며, 이 중 국도는 12,447.4km, 지방도는 17,155.3km 그리고 시·군도는 37,720.7km이다. 지방도 및 국가지원지방도는 이를 관리하는 도로관리사업소의 특성에 따라 관내의 도로주변 절토사면에 대한 유지관리는 각기 특색을 가지고 있다(한국도로공사, 2004). 1999년 12월 기준 전국 국도 12,545km상에는 약 10,000여 개소의 절토사면이 분포하고 있는 것으로 추정되며 건설교통부의 조사 자료에 의하면, 이 중 1,235개소의 위험 절토사면이 분포하는 것으로 조사되어 있다. 국도 절토사면의 경우도 지방도의 경우와 마찬가지로 전문적이고 체계적인 유지관리가 행해지지 못했지만, 국도 주변에 분포하는 절토사면의 유지관리를 위해 1998년도부터 한국건설기술연구원은 건설교통부 도로관리과와 공동으로 지리정보시스템(GIS, Geographic Information System)을 이용한 도로절토사면 유지관리시스템(CSMS, Cut Slope Management System)을 추진하고 있는 상태이다. CSMS에서는 여러 공간자료와 절토사면 특성을 나타내는 속성자료 및 이와 관련된 화상정보 등을 포함하고 있다. 또한 위험 사면으로 등록된 절

토사면을 대상으로 현장조사를 실시하고 절토사면과 지반조건과의 상호 연관성 분석, 파괴가능성과 위험성 평가, 주변환경을 고려한 대책안 제시 등을 통하여 효과적인 절토사면 유지관리가 가능토록 개발하고 있다.

다. 철도사면 유지관리

우리나라 철도는 산악지역을 통과하는 구간이 많기 때문에 많은 자연사면 또는 절토사면을 접하게 되며 따라서, 낙석이나 산사태의 위험에 노출되어 있다. 실제로 중앙선, 영동선, 태백선 등 9개노선에 전국적으로 71개소에서 낙석발생이 우려되는 것으로 파악되고 있다. 따라서 철도 주변사면의 관리 문제점을 개선하고 낙석 및 산사태 위험도에 관한 내용을 정보화하기 위한 데이터베이스 프로그램을 개발하는 등 사면재해로 인한 피해저감에 노력하고 있다.

3.1.2 산림청

산림청에서는 산사태 위험지구를 지정, 집중관리를 행하고 있는데, 표 4에 나타낸바와 같이 2004년도 116개소, 2005년도 소방방재청과 산림청의 합동 조사를 통해 추가지정 20개소와 36개의 위험지역 해제를 통해 2005년에는 100개소의 산사태 위험지구가 선정되었다.

위험지구는 지형, 모양, 임상, 토심, 경사도 등 조

표 4. 시·도별 위험지구 지정 및 해제 현황

(단위:ha)

구분	2004년도		추가지정		해제		2005년도		비고
	개소수	면적	개소수	면적	개소수	면적	개소수	면적	
계	116 (8)	160.82 (2.45)	20 (5)	17.92 (3.80)	36 (1)	17.27 (0.03)	100 (12)	161.47 (6.22)	
서울									
부산	4(2)	5.77(1.77)					4(2)	5.77(1.77)	
대구	-	-					-	-	-
인천	1	1.00	2	1.70			3	2.70	
광주	-	-					-	-	
대전	-	-					-	-	
울산	-	-	2	0.50			2	0.50	
경기	9	83.74					9	83.74	
강원	40(5)	18.40(0.62)	1	1.00	9	5.30	32(5)	14.10(0.62)	
충북	7	18.56			2	0.50	5	18.06	
충남	4	3.40			1	0.40	3	3.00	
전북	14(1)	4.34(0.06)			11	3.78	3(1)	0.56(0.06)	
전남	9	9.50	2	2.00	2	2.00	9	9.50	
경북	10	4.30	8(5)	9.42(3.80)	3(1)	1.18(0.03)	15(4)	12.54(3.77)	
경남	18	11.81	4	2.30	8	4.11	14	10.00	
제주	-	-	1	1.00			1	1.00	

※ ()내는 국유림으로 지방산림관리청 관리대상임

사인자별로 판정표의 누계점수에 따라 산사태위험지를 등급별로 판정한다. 위험등급은 I등급(발생가능성이 대단히 높은지역), II등급(발생가능성이 높은지역), III등급(발생가능성이 있는 지역), IV등급(발생가능성이 없는 지역)으로 구분된다. 산사태 위험판정표는 경사길이, 모암, 임상, 사면형태, 토심, 경사도의 6개 항목 및 5개의 보정인자로 구성된다. 표 5에 나타난 2005년 산사태 위험지구 지정 실태를 살펴보면 전국 100개소 중 강원도 지역이 32개소, 경북지역이 15개소, 경남지역이 14개소로 강원도 지역에 비교적 많은 위험지구가 분포되었다.

산림청은 2004년 16억원을 투입, 산사태위험지 관리시스템 구축작업에 들어갔으며 시스템구축이 완료되는 2005년 말에 전국에 걸친 산사태위험지도

가 완성되었다. 산사태위험지도는 1:5000 지형도에 산사태위험지가 1~4등급까지 표시되고, 사방사업 및 산사태발생지의 위치와 그 지역에 대한 사방사업 등 공사내역이 나타난다. 또 태풍 등으로 인한 집중호우 등 기상상태에 따라 산사태위험범위가 자동으로 표시되는 등 다양한 시스템을 갖추게 된다.

3.1.3 소방방재청

소방방재청에서는 재해위험지구를 선정하여 재해유발지역에 대한 관리를 실시하고 있다. 재해위험지구는 태풍, 홍수, 호우, 폭풍, 해일, 폭설 등 불가항력적인 자연재해로부터 국민의 인명과 재산에 피해를 줄 수 있는 지역 및 위험방재시설을 포함한 주변지역을 대상으로 지정하고 있다. 재해위험지구의 지

우리나라 사면재해 피해현황과 대책

표 5. 위험등급별 구분 현황

(단위:ha)

도 별	계		발 생 가 능 성					
			I 등급		II 등급		III 등급	
	개 소	면 적	개 소	면 적	개 소	면 적	개 소	면 적
계	100 (12)	161.47 (6.22)	20 (5)	23.09 (2.36)	32 (2)	31.98 (3.49)	48 (5)	106.4 (0.37)
서울	-	-	-	-	-	-	-	-
부산	4(2)	5.77(1.77)	1(1)	0.28(0.28)	1(1)	1.49(1.49)	2	4.0
대구	-	-	-	-	-	-	-	-
인천	3	2.70	-	-	-	-	3	2.70
광주	-	-	-	-	-	-	-	-
대전	-	-	-	-	-	-	-	-
울산	2	0.50	-	-	-	-	2	0.50
경기	9	83.74	3	1.52	-	-	6	82.22
강원	32(5)	14.10(0.62)	7(3)	3.08(0.58)	14(-)	7.72(-)	11(2)	3.30(0.04)
충북	5	18.06	2	10.81	3	7.25	-	-
충남	3	3.00	-	-	-	-	3	3.00
전북	3(1)	0.56(0.06)	-	-	-	-	3(1)	0.56(0.06)
전남	9	9.50	-	-	7	7.50	2	2.00
경북	15(4)	12.54(3.77)	2(1)	2.50(1.50)	5(1)	6.52(2.00)	8(2)	3.52(0.27)
경남	14	10.00	5	4.90	2	1.50	7	3.60
제주	1	1.00	-	-	-	-	1	1.00

※ ()내는 국유림으로 지방산림관리청 관리대상임

표 6. 시·도별 붕괴위험지구(낙석, 산사태)현황

서울	부산	대구	인천	광주	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주
1	2	1	1	-	-	-	10	3	-	1	6	5	9	1

※2003년 재해위험지구 현황 참고

정은 풍수해대책법 제21조에 「재해위험지구의 지정 및 개량」에 의거, 지정관리하게 되었으며 1995년 12월에 풍수해대책법이 자연재해대책법으로 보완·개정되었다. 재해위험지구 지정은 자연재해대책법 12조 「재해위험지구 지정에 관한 법령」에 근거하며, 재해·재난위험지구에 대한 종합적인 예방 및 대응태세 강화를 위해 지정하게 된다.

재해위험지구 지정은 재해 상습침수 지역, 붕괴위험지역 등 10개의 유형별로 그 대상을 분류하게 된

다. 지구별 선정범위는 발생가능성, 발생주기, 지역형태, 과거의 피해정도 등을 감안하여 1~3단계의 위험등급으로 분류하여 지정하게 되며, 재해위험지구로 지정된 지구에 대하여는 타사업에 최우선하여 등급 및 지역여건에 따라 단계적으로 정비계획을 수립·추진하게 된다. 표 6의 2003년 재해위험지구 지정현황을 살펴보면 산사태 등의 붕괴위험지구 40개소 중 강원도 지역이 10개소로 사면재해에 대해 취약한 것으로 나타났다.

3.2 조기경보체계수립

3.2.1 국내 예·경보시스템

가. 계측기기 이용

사면붕괴에 대한 적극적인 방법은 사면붕괴가 일어날 것을 사전에 파악하여 사면이 붕괴되지 않게 보호 및 보강공법을 실시하는 것이다. 그러나 사면의 현장여건에 따라 적당한 보호 및 보강공법을 제시, 시공이 곤란한 장소가 있다. 이러한 장소에는 사면붕괴를 사전에 예측하고 피해를 예방하기 위한 실시간 계측이 필요하다. 또한 사면붕괴를 사전에 예측하기 위해서 사면붕괴의 메커니즘에 대한 규명이 수행되어야 한다. 이를 위하여는 사면에서 발생하는 지반의 움직임에 관찰하고 이를 유발하는 원인들과의 상관성을 규명하려는 연구가 필요하며, 이러한 연구의 기초자료로서 계측기에 의한 계측 결과를 활용할 수 있다. 사면붕괴 현상은 대개 사면에 분포하는 연약면을 따라 발생한다. 연약면에서 발생하는 사면의 변형·붕락 등의 운동형태를 명확히 밝히기 위해서는 통상 지표면과 지중에 각종 계측기를 설치하고 절개면의 지질·지형 등을 조사하고 지질구조를 확인하여 우선적으로 지표면 이동을 계측하는 것이 필요하다.

현재까지 제안된 사면붕괴 위험 예지방법들은 강우량을 기준으로 하거나 사면안전도 평가표를 작성하는 방법 등으로 외국의 일부 국가에서는 오랜 기간 동안 체계적으로 사면에 대한 조사를 수행하고 각 사면의 안전도를 평가하여 강우량에 따른 예·경보시스템으로 활용하고 있다. 또한 사면붕괴에 대한 예지방법으로 사면의 연약면에서 발생하는 인장 균열 및 지표의 이동을 파악하는 방법이 가장 이상적

인 방법으로 평가될 수 있을 것이다. 이 방법은 실시간 변위량과 연속성을 분석하여 대책을 강구하거나 사면붕괴 경보를 발령함으로써 피해를 최소화할 수 있다. 계측지점 및 계측기의 선정에 위해서는 사면에 분포된 절리들의 방향과 위치에 대한 데이터베이스를 구축하고 전산 절리도를 작성하여 파괴양상 및 안정성에 영향을 끼치는 토지들의 규모와 안정성을 면밀하게 해석하여야 한다. 이런 면밀한 조사의 필요성은 계측이란 기기의 맹목적인 의존이 아니라 계측 결과가 반드시 절개면 활동과 연계시켜 분석되어야 하기 때문이다. 따라서 계측지점의 설정은 사면 활동성에 대한 정확한 분석을 기초로 수립되어야 원활하고 효율적인 계측작업이 가능하며, 계측 이전의 면밀한 현장조사를 통한 사면의 안정성해석과 계측 지점의 정확한 도출이 매우 중요하다.

나. 강우량을 이용한 방법

사면붕괴의 주된 원인이 강우라는 사실에 기초하여 강우와 사면붕괴사이의 관계를 분석하기 위한 연구가 세계적으로 활발히 수행되고 있다. 이러한 연구는 기본적으로 사면붕괴자료 및 강우자료의 축적에 의한 통계적인 방법과 강우에 따른 사면의 변화를 계측하여 분석하는 방법으로 구분할 수 있다. 이러한 연구는 사면붕괴의 원인을 파악하는 데 사용될 뿐만 아니라 예·경보를 위한 기초자료로의 활용도 역시 크다고 할 수 있다. 통계적 해석방법은 선행강우량과 최대강우강도를 이용하여 사면붕괴와 강우와의 관계를 규명하기 위한 방법으로 홍콩과 일본에서 Lumb(1975), Brand(1984), 川村國夫(1988) 등에 의해 연구되었다. 또한, 일본 국토교통성(2004)에서도 사면붕괴와 강우와의 관계에 대한 연구를 꾸준히 진행하고 있다. 통계적 해석결과와 신뢰도는 사면붕

우리나라 사면재해 피해현황과 대책

과 예측의 실제적용에서 확인되고 있으나 장기간의 정확한 사면붕괴자료(일시, 위치, 규모 등) 및 강우자료(가능한 1분단위)가 필수적으로 요구된다.

토사재해를 예측하는 데 사용되는 경보 및 대피를 위한 표준강우량의 선정방법은 여러 형태로 분류할 수 있다. 그러나 일반적으로 실제적용상에 있어서는 지역의 넓이에 따라 넓은 지역과 좁은 지역에 적합한 방법 두 가지 형태로 분류할 수 있으며 넓은 지역에 적합한 방법의 경우가 자료의 활용도와 행정적인 업무수행의 편리성으로 현재 많은 연구가 진행되고 있다. 넓은 지역에 적합한 방법을 살펴보면 ① 탱크 모델(Tank Model)을 이용한 표준강우 선정방법, ② 작용강우량(Working Rainfall)을 이용한 표준강우 선정방법, ③ 유출수의 이동시간 동안에 발생하는 강우강도를 이용한 표준강우 선정방법, ④ 다변량분석을 통한 표준강우 선정방법 등을 들 수 있다. 이 중 작용강우량을 이용한 방법은 국·내외적으로 활발하게 연구가 진행중이며 사면붕괴의 주된 원인이 강

우인점을 감안할 때 좋은 효과를 나타낼 수 있을거라 판단되며 강우량을 이용하여 경보 및 대피발령을 내리는 방법은 그림 1과 같은 절차로 진행된다.

3.2.2 외국의 예 · 경보시스템

외국에서도 우리나라와 같이 산사태를 포함한 각종 사면붕괴재해가 발생하고 있다. 미국의 예를 보면 전체 주의 과반수에서 산사태가 발생하고 있으며, 가장 피해가 빈번한 곳은 서쪽 해안과 록키산맥 일원 그리고 동쪽의 아팔라치안산맥 부근이다. 미국의 사면붕괴 피해는 도로피해액으로 보통 계산되는데 연간 약 5천만 달러(약 600억원)로 추산되고 있다. 1986년부터 5년간 약 1,300만 km의 도로가 파손되었고 이 기간 중 고속도로의 평균피해액은 약 6천5백4십만 달러(약 785억원) 정도였고, 유지비까지 포함시키면 1억6백만 달러(약 1270억원)로 집계되었다(Walkinshaw, 1992).

일본의 산사태피해는 세계 최악으로 평가받고 있다. 연간 약 20억 달러(약 2조 4천억원)를 상회하는 것으로 집계되고 있다. 거의 매년 막대한 피해를 입고 있다. 또한 유럽의 경우 1963년 북부 이태리에서 발생한 산사태는 엄청난 피해를 발생시켰다. 2억5천만 입방미터의 낙석이 Vaiont저수지를 덮쳐 260m 떨어진 아치댐보다 100m 이상 높은 파도를 형성하여 댐하류의 마을을 초토화 시켰다. 5개 마을에서 2천명 가까이 희생된 이 사건은 댐 주위 사면의 안정화 설계가 얼마나 중요한지를 일깨워 준다. 산사태 예·경보 시스템 중 현재 가장 폭넓게 적용되고 있는 몇 가지 사례를 살펴보면 다음과 같다.

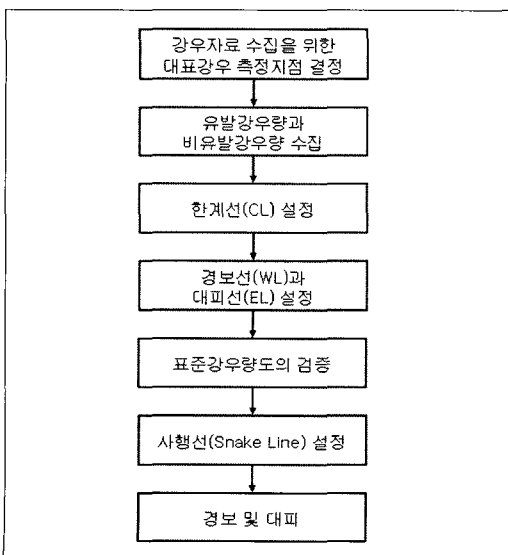


그림 1. 강우량을 이용한 경보 및 대피 발령 절차

가. 실시간 검측 시스템

실시간 검측 시스템(Real-Time Monitoring

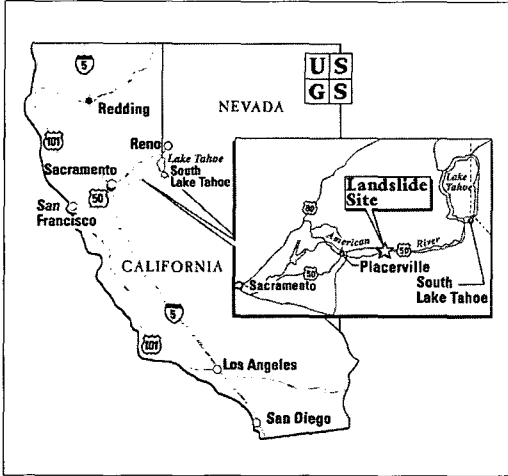


그림 2. 캘리포니아 50번 국도 위치도

System)의 장점은 큰 재앙을 몰고 오는 산사태를 실시간 또는 분 단위의 자료수집을 통해 초기에 감지할 수 있으며 인명과 재산을 보호할 수 있다는 점에 있다. 또한 실시간으로 검출된 정보는 산사태의 거동을 더 잘 이해할 수 있게 해주며 보다 효과적인 산사태 방재대책수립을 가능하게 해준다. 1997년 1월, 대규모 산사태가 캘리포니아의 플레이스빌과 사우스레이크 타호를 잇는 50번 국도주변에 발생하여 도로를 폐쇄시켰다. 이 산사태는 인근 주택 3채와 도로의 차량통행을 차단시켜 4천 5백만 달러의 복구비용과 5천만 달러 이상의 간접적인 경제손실을 발생시켰다.

뿐만 아니라 이 지역은 대규모 산사태가 계속적으로 발생우려가 예상되었기 때문에 미국지질조사국(USGS)은 옐로라도 국유림관리소와 함께 50번 국도에 영향을 미칠 수 있는 산사태 발생 위험도가 높은 지역에 실시간 검측 시스템을 설치하였다. 검측에 사용된 항목은 강우량(Rainfall), 지하수(Groundwater Data), 변위(Movement Data), 지반

진동(Ground Vibration) 등이다. 현재 50번 국도를 따라 5개의 산사태가 58개의 검측기를 통해 관측되고 있으며 캘리포니아 교통국에서 운영중인 위의 자료들은 해당 기술자들에게 지속적으로 제공되어 산사태 발생이전에 피해를 예방할 수 있도록 하고 있다. 2002년 루사로 인해 발생한 강원도 강릉시 왕산면 35번 국도상에 발생한 산사태와 같은 경우 향후 실시간 검측 시스템을 산사태 발생 위험지역에 설치하여 지속적인 검측이 이루어진다면 산사태를 미연에 방지할 수 있을 것으로 판단된다.

나. 산사태 위험도

산사태 위험도는 해당지역의 산사태를 조사·분석하여 산사태를 방지하고자 하는 목적으로 작성된 도면을 뜻한다. 산사태 위험도는 크게 과거 발생된 산사태자료의 데이터베이스(Database)화, 산사태 발생지역 도시화(Inventory Map) 그리고 사면의 안정성을 분석하여 향후 산사태의 발생지역을 보여주는 유발가능성도(Susceptibility Map)로 구분할 수 있다. 최근 들어 효율적인 국토관리 및 도시구역 개발계획에 이러한 산사태 위험도를 참조하여 개발을 실시하는 사례가 증가하고 있는 추세이다. 미국의 경우 1982년 미국지질조사국(USGS)을 중심으로 특별로 표준화된 위험도를 제작하여 산사태 발생 위험지역에 대해 집중적인 보강대책을 수립하고 있다(그림 3).

전술한 실시간 검측 시스템과 산사태 위험도 이외에도 사면붕괴로 인한 피해를 경감시키기 위한 대책 방안으로는 사면붕괴 위험지구의 개발제한, 시방규정의 강화(굴착, 경사도, 조경 등), 사면붕괴 위험지역의 보강대책 및 경보체계 구축 등이 있으며, 미국 캘리포니아주의 보고에 따르면 이러한 경감대책들

우리나라 사면재해 피해현황과 대책

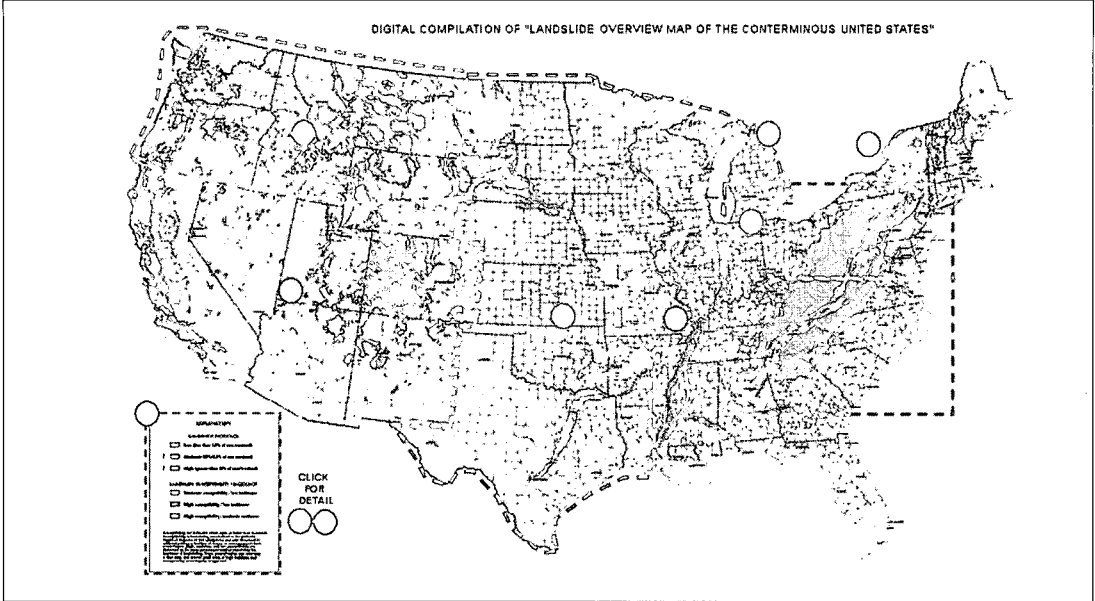


그림 3. 미국의 산사태 위험도(USGS)

을 적용한 결과 전체 피해의 90% 이상을 예방할 수 있었다고 한다. 또한 사면붕괴시의 피해를 최소화하고 효과적으로 대처하기 위해서는 국내에서 발생한 각종 사면붕괴에 대하여 파괴유형별로 강우자료 및 발생원인 등의 자료수집을 체계화하여 데이터베이스화하는 한편, 전문가집단의 양성과 정부의 지속적인 관심 및 재해에 대한 시민의식의 함양이 필요하다고 생각한다.

4. 급경사지 안전관리 및 재해저감에 관한 법률

우리나라는 전 국토의 70%를 차지하는 임야면적이 '99년 652만ha에서 '03년 현재 649만 5천ha로 2만 5천ha가 감소하였고, 반면에 대지와 도로의 면적은 각각 6천ha와 2만 2천ha로 증가하였으며 임

야개발에 따른 옹벽·절토사면 등의 급경사지가 증가하고 있으며, 이로 인하여 산사태 등 급경사지의 붕괴로 인한 인명 및 재산피해가 증가하고 있는 실정이다. 또한, 태풍 루사 때 도로를 운전중이던 운전자가 사전에 산사태의 발생을 인지하지 못함으로써 사망한 것과 관련하여 유족들이 국가를 상대로 낸 손해 배상 청구소송에서 “집중호우로 인한 피해 발생 가능성을 예상해 안전시설을 설치해야 했음에도 이를 게을리한 점이 인정되는 만큼 배상책임이 있다”고 국가가 배상할 것을 판결한 바 있다. 따라서, 급경사지에 대한 체계적인 점검·정비, 계측관리 및 사전 주민대피 등의 제도적 장치를 마련하여 헌법에서 규정한 국가의 기본책무인 국민의 생명과 재산을 보호하기 위하여 범정부적인 급경사지 안전관리 및 재해저감 대책 마련이 시급한 실정이다. 이에 소방방재청은 ‘급경사지 안전관리 및 재해저감에 관한 법률 제정안’이 국회심의를 통과하였으며 2006년 하반

기 시행될 방침이다.

급경사지 안전관리에 대한 법률이 시행되는 하반기부터는 급경사지를 유발하는 개발사업에 대한 점검이 강화되고 급경사지 포함지역 내 각종 개발행위도 제한될 것으로 예상된다. 또 이들 급경사 지역의 안전성 제고를 위한 정비사업에 대한 국고지원책이 마련되고 토지수용 및 각종 인허가 의제처리도 허용됨에 따라 관련 사업이 활성화될 전망이다.

‘급경사지 안전관리 및 재해저감에 관한 법률’ 안에는 중앙행정기관과 지자체로 하여금 관할구역 내 급경사지를 유발하는 택지, 도로, 철도, 공원 등에 부속된 자연사면, 인공사면 또는 이와 접촉한 산지의 시설물에 대해 연 1회 이상 안전점검을 실시하도록 한 조항이 담겼다. 점검기관은 위험요인이 발견되면 시정조치하되 필요한 경우 정밀안전진단을 실시해 사업추진 여부에 대한 재검토 지시도 내릴 수 있다.

또한 급경사지를 포함한 지역 내에서의 각종 개발·건축사업과 굴착행위도 엄격히 규제된다. 소방방재청은 급경사지 사면의 토압을 가중시켜 안정성을 저해하는 도로, 교량, 상하수도 관로, 건축물 증·개축사업과 토석 굴착행위 및 옹벽·축대 등의 변경행위 시 사전에 급경사지 붕괴위험지역을 관리하는 관리청 및 관리기관과의 협의를 한 후 시행하도록 법률에 규정하였다. 급경사지 해소를 위한 정비사업은 안정적 재원과 인허가 의제처리, 토지수용권 부여 등의 제도변화에 따라 대거 활성화된다. 소방방재청은 이를 위해 행정기관별로 관할지역 내 산지, 주택단지, 도로, 철도, 공원 등에 부속된 급경사 자연사면 또는 인공사면에 대해 정기점검을 벌인 후 붕괴위험지역으로 지정, 고시하고 중장기계획에 따라 체계적으로 정비하도록 했다. 또 시행령, 시행규칙에 국고지원 기준을 신설하고 지자체의 급경사지 정

비사업 실적에 대한 평가 및 보상도 병행한다. 소방방재청은 나아가 전국 급경사지에 대한 대대적인 조사를 통해 관련 데이터베이스를 구축함으로써 행정기관, 지자체의 정비사업을 배후 지원할 방침이다.

5. 결론

우리나라에서 매년 50여명의 사망자를 유발시키는 사면재해를 저감하기 위한 대책이 필요한 시점이다. 이를 위해 각종 중장기적 대책이 세워져야 하며, 과거처럼 재난에 대한 복구사업에 전념하는 소극적인 단계에서 벗어나 예상을 뛰어넘는 재해강도에 미리 대비하는 방안이 절실히 요구되는 현실점에서 사면재해 피해저감의 필요성은 아무리 강조해도 지나치지 않다. 하지만 사면재해는 발생 장소 및 시기의 불확실성으로 효율적으로 관리하는데 한계를 가지고 있으므로 위험대상지를 파악하는 것이 우선 필요하다. 사면재해 발생가능성이 높은 지역을 파악, 위험지도를 제작할 필요성이 있다. 즉, 원격탐사, GIS, 지표조사 등을 통하여 데이터베이스를 구축하고 종합적, 전국적 사면재해 위험분포도 및 재해지도를 조속히 제작하여야 한다. 이를 위해 GIS의 활용이 요구되는데, 사면재해연구에 이용하는데 있어 장점은 비교적 다양한 위험분석 기술적용이 가능하다는 점이다. 또한 결과를 평가하고 입력 인자들을 조정함으로써, 모델을 향상시키는 것도 가능하며, 사용자는 시행착오과정을 통해 최적 결과를 도출할 수 있다. 하지만 위험지역 평가과정에서 입력되는 지도는 현지조사를 통해 새로운 자료가 수집될 때마다 빠르게 갱신되어야 하고 그 신뢰성은 항상 재평가되어야 한다.

우리나라 사면재해 피해현황과 대책

사면재해 예·경보시스템 도입 또한 고려해 보아야 한다. 사면재해에 대비한 예·경보시스템의 도입을 위해 기술적인 문제는 어느 정도 해결되어 있으며, 미진하나마 현재의 기술을 과감히 현장에 적용해 봄으로써 기술의 발전과 함께 각종 기기 및 설치비용의 절감이 실현될 수 있을 것이다. 현재로서는 예·경보시스템 도입에 따른 비용편익을 분석해보면 예·경보시스템의 도입에 대해 경제성이 있는 대상지역은 다소 국한적일 수밖에 없다. 따라서 매우 중요한 민간시설 및 국가적 시설의 인근을 우선적으로 선정하여 사면재해 예·경보시스템 도입을 시도하는 것이 바람직하다. 예컨대 인구가 집중되어 있는 공동주택 인근의 사면, 도로, 발전소 등 국가기관 시설에 소재한 사면 등에 우선적으로 적용하여 예·경보시스템 도입을 시도하여야 한다. 적극적인 예·경보시스템 도입으로 기술적으로 보다 완벽한 시스템을 개발할 수도 있으며 예·경보시스템 도입에 드는 비용도 점차 줄일 수 있을 것이다. 이와 동시에 주민대피유도와 주민들이 쉽게 인지할 수 있도록 위험구역을 알리는 표식설치 및 재해위험지구 순찰강화 등과 같은 소프트웨어적인 대응책을 병행하는 것이 산사태 등 사면재해에서 인명피해를 예방하는 최적의 방법이 될 수 있을 것이다.

이를 위해서는 사면재해에 대한 제도 및 행정적인 대책이 수반되어야 한다. 전술한 바와 같이 소방방재청의 “급경사지 안전관리 및 재해저감에 관한 법률”은 국회심의를 통과한 상태이며, 이 법률이 시행될 경우 사유지를 포함하는 급경사지 붕괴위험지역의 점검 및 지정, 급경사지 붕괴위험지역의 변위관리 및 위험표지의 설치, 붕괴위험지역의 정비계획, 붕괴위험지역의 안전확보를 위한 이주대책, 토지 등의 수용 및 사면재해예방을 위한 긴급안전조치, 대

피 및 강제대피 조치, 응급부담 및 급경사지 등의 정보체제 구축 등을 통해 종합적으로 합리적인 산사태 대책, 특히 인명피해를 유발하는 주거지역에서의 사면붕괴에 대한 대책은 상당수준으로 개선될 것으로 기대된다.

참고 문헌

1. 국립방재연구소(2004), 사면붕괴 감지 및 관측에 관한 연구(Ⅰ) - 현장조사 및 국내외 사례를 중심으로 -, 연구보고서 NIDP-2004-04, 124p.
2. 국립방재연구소(2005), 사면붕괴 감지 및 관측에 관한 연구(Ⅱ) - 강우량 자료활용 방안을 중심으로 -, 연구보고서 NIDP-기본-2005-02, 234p.
3. 건설부(1976~1978), 한국의 홍수.
4. 건설부(1979~1990), 재해연보.
5. 내무부(1991~1996), 재해연보.
6. 박덕근, 김태훈, 오정림(2004), “사면재해로 인한 인명피해현황 및 관리방안”, 한국지반공학회 2004년도 사면안정학술발표회, pp.1~12.
7. 박덕근, 김태훈, 오정림(2005), “국내 사면붕괴 방지대책 선진화 방안”, 한국지반공학 공동 학술발표회, pp.107~116.
8. 한국도로공사 도로교통기술원 유병욱 외(2004) “고속도로 절토사면 유지관리시스템 개발연구”, 연구보고서, 212p.
9. 행정자치부(1997~2005), 재해연보.
10. Brand, E.W., Premchitt, J. and Phillipson, H.B., “Relationship Between Rainfall and Landslide in Hong Kong”, Proceedings of the 4th International Symposium on Landslides, Vol. 1, Toronto,

- pp.377~384, 1984.
11. Lumb, P., "Slope Failures in Hong Kong", Quarterly Journal of Engineering Geology, Vol. 8, pp.31~65, 1975.
 12. Walkinshaw, J., "Landslide Correction Costs on U.S. State Highway System", Transportation Research Record, 1343, TRB, National Research Council, Washington, D. C., 1992, pp.36~41.
 13. "Real-Time Monitoring of an Active Landslide above Highway 50, California.", USGS Webpage.
 14. 川村國夫, 佐野博昭, "降雨によるのり面崩壊", 土と基礎, Vol. 36, No. 5, pp.61~66, 1988.
 15. 国土交通省, (社)國際建設技術協會, Guidelines for Development of Warning and Evacuation System Against Sediment Disaster in Developing Countries, 建設技術移轉指針, 116p., 2004.

회비 납부 안내 (지로 및 온라인)

학회 사무국에서는 연중 수시로 학회비를 수납하고 있으나, 회원여러분의 적극적인 협조를 부탁드리며, 문의 사항이 있으면 사무국으로 연락하여 주시기 바랍니다.

• 은행 무통장(타행) 입금

국민은행 계좌번호 : 534637-95-100979 예금주 : 한국지반공학회

• 지로용지 납부

2003년 5월 20일부터 금융결제원에 승인을 받아 한국지반공학회 회비도 지로용지 납부를 할 수 있게 되었습니다.

• 지로용지 기입시 유의점

- 지로 장표상의 금액과 납부자 관련정보(회원번호, 성명, 납입금 종류 등)는 흑색볼펜으로 글씨체는 정자로 표기해 주시기 바랍니다.

- 납부금액란에는 정확한 위치에 정자로 아라비아 숫자만 기입합니다.

납부금액 앞뒤에 특정기호(W, -, * 등)를 표시 할 수 없습니다.)

※ 지로용지를 못 받으신 분은 지반공학회 사무국(02-3474-4428/양윤희)으로 전화주세요