

우리나라의 자연재해상황통계

홍 원 표*1

1. 서 설

우리나라는 매년 각종 자연재해로 인하여 수백 명의 인명과 수천억원의 재산 피해를 입고 있다. 우리나라의 자연재해는 주로 태풍, 호우, 폭풍과 같은 기상학적 자연현상에 의하여 발생되고 있다. 이러한 자연재해는 지반과 관련되어 발생되는 지반재해의 경우가 많다. 즉 기상재해속에 지반공학적 차원의 재해가 상당부분 차지하고 있어 자연재해와 지반공학의 관련이 매우 큼을 알 수 있다. 예를들면 호우시 발생하는 사면붕괴(인공사면붕괴나 산사태), 하천제방붕괴, 옹벽 및 석축붕괴 등을 들 수 있으며 그 밖에도 폭풍에 의한 해일 방조제붕괴와 추운지방의 동결융해 피해등을 들 수 있다.

이러한 자연재해로 인한 피해액과 복구액도 해마다 증가하여 가고 있다. 특히 도시의 팽창과 더불어 최근의 피해는 인구 밀집지역에 집중되어 있어 해마다 재해 발생시기가 되면 전 국민이 자연재해에 대한 공포에 시달리고 있는 실정이다.

자연재해는 자연의 큰 힘(자연력)과 지역사회의 耐力이 불균형적으로 접하고 있는 지역에서 발생된다. 天變地理에 근거한 자연력 예를들면 태풍이나 지진 등의 파괴력은 과거에도 발생되었고 미래에도 발생할 것이다. 이러한 자연의 힘에 대항하여 인류는 여러가지 지식을 동원하여 대처하여 왔다. 자연재해에 대한 인간의 대처사업은 토목사업으로 취급하여 예로부터 국가의 가장 큰 사업의 하나로 여겨왔다. 즉 토목사업을 통하

여 자연재해로부터 주민의 생명과 재산을 보호하기 위한 치산, 치수, 해안보전등 국토보전을 실시하였다.

자연재해로부터 인간 및 인간의 사회생활을 보호하려는 방재노력은 예로부터 끊임없이 지속되고 있다. 그러나 불행히도 자연재해의 완전 방재는 불가능하였다. 다행히 많은 노력의 결과 자연재해를 많이 감소시킬 수는 있었다.

이와 같은 자연재해를 방지하거나 최소화시키기 위하여는 자연재해현상에 대하여 깊은 관찰을 할 필요가 있다. 따라서 우리나라의 자연재해 현황을 파악하여 볼 필요가 있다고 생각된다.

여기에 본문에서는 1916년부터 현재에 이르기까지의 우리나라 자연재해에 관련된 기록을 관찰하여 보고자한다.^{1~3)} 특히 최근 10년간의 기록³⁾을 관찰하므로써 최근의 자연재해 피해상황을 정리 분석하여 보고자 한다.

2. 자연재해

2.1 정 의

우선 재해의 정의부터 생각하기로 하자. 재해는 국문학적이거나 법률적으로 다양하게 정의될 수 있지만, 공학적 입장에서 정의하면, “지금까지 안정된 상태나 환경에 자연적 혹은 인공적 변화로 인하여 유발되는 인적(정신적 포함), 사회적, 경제적 및 기술적 손실”이라 할 수 있다. 이러한 재해에 자연을 첨가하게 되면 자연이란 과연 어떤 의미를 가질 수 있을 것인가? 자연이라고 하는것이 誘因과 素因으로서의 자연적인 것만을

*1 정회원, 중앙대학교 공과대학 교수

가르키는 것인가. 그렇다면 호우는 자연적인 誘因으로 이해할 수 있으나 산지의 樹木을 벌채한 인공적인 유인이 겹쳐서 발생된 홍수에 의한 재해는 자연재해가 아닌가? 또한 人工的인 절토 사면에 지진에 의하여 무너진 경우의 재해도 자연재해가 아닌가등 구별을 하기가 힘들게 된다.

그러나 재해는 개발에 뒤따른 현상임을 생각하여야만 한다. 즉 문명의 흔적이 없는 곳에 재해가 존재하지 않는것은 고대에서 현대에 이르기까지 변함이 없다. 이와같이 개발, 문명, 문화와 재해는 불가분의 관계가 있게된다. 따라서 자연재해는 그시대 시대에 전능하지 못한 인간이 필요에 부응하여 쌓아올린 문명에 자연적 誘因이 초래한 재해로 취급될 수 있다.

또한 자연재해는 자연의 큰 힘인 자연력이 인간이 구축한 지역사회의 내력(耐力)과 불균형을 이루는 곳에서 발생될 수 있다. 따라서 자연재해는 자연현상의 이상한 자연력이 원동력이 되어 인간사회의 생활이나 생산환경에 끼치는 손상이나 위배 혹은 인명에 끼치는 손상이나 공포라고 정의할 수 있을 것이다.

2.2 발생원인

우리나라의 자연재해의 원인으로는 태풍, 호우, 폭풍, 폭풍우, 대설, 폭풍설, 우뢰, 해일, 지진 등을 들 수 있다.

표 1은 1978년부터 1987년까지 10년간 우리나라에서 발생된 각종 자연재해의 원인을 정리한 결과이다.³⁾ 이 결과에 의하면 우리나라는 매년 평균적으로 22.4 회의 자연재해가 발생되고 있으

표 1. '78~'87 사이의 자연재해

자연재해	태	호	폭	폭	대	폭	우	해	지	결기	제
발생원인	풍	우	풍	풍	설	풍	뢰	일	진	빙	재
	우	우	우	우	설	설	되	진	등	등	타
총발생회수	26	82	57	8	4	7	27	8	1	4	224
년평균발생회수	2.6	8.2	5.7	0.8	0.4	0.7	2.7	0.8	0.1	0.4	22.4
발생빈도(%)	11.6	36.6	25.4	3.6	1.8	3.1	12.0	3.6	0.5	1.8	100

며 이 자연재해의 원인중 큰 원인은 호우, 폭풍, 우뢰, 태풍의 순으로 되어 있음을 알 수 있다. 즉, 호우에 의한 자연재해 발생빈도는 전체의 36.6%이고, 폭풍 및 폭풍우는 25.4%와 3.6%, 태풍은 11.6%에 달하고 있다. 이들 재해의 상당 부분은 모두 강우와 관련되어 있으며 또한 이러한 재해중의 상당부분이 산사태 발생에 의한 것이다. 따라서 우리나라의 경우는 지진과 같은 재해의 발생은 매우 적은 반면 강우로 기인된 자연재해의 발생률은 매우 높음을 알 수 있다.

1916년에서 1984년 사이의 재해기록 중 우리나라의 주요 자연재해인 태풍, 호우 및 폭풍우의 월별발생 빈도를 정리하면 그림 1과 같다. 이 그림에 의하면 폭풍은 년중 비교적 고르게 발생하고 있으나 태풍과 호우는 거의가 6월에서 9월 사이에 집중적으로 발생하였음을 알 수 있다. 즉 태풍과 호우에 의한 재해는 6월과 9월 사이에 전체의 88.8%가 발생하였다. 이와같이 우리나라는 세계적으로 다우지역에 속하면서도 집중물이 커서 하계의 자연재해의 발생이 크다. 더우기 우리나라는 지형상 전국의 1/3이상이

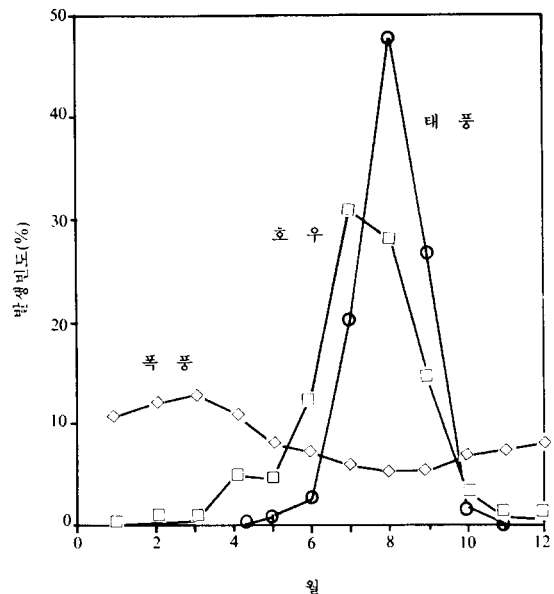


그림 1 월별 주요 재해 발생 빈도 (1916년~1984년)

산지로 이루어져 있어 호우시 유출물이 큰점도
지반공학과 관련된 재해가 많이 발생할 수 있는
素因이 구비되어 있는 점이라 할 수 있다.

3. 피해상황

3.1 과거의 통계

표 2는 1916년부터 1989년 사이에 발생된
자연재해 중 피해액이 큰 순위로 20위 까지를
열거한 결과이다. 이 기간중 1945년에서 1957
년 까지의 13개년은 자연재해 기록의 자료 미비
로 누락되어 있으며 피해액은 1989년을 기준으로
하여 인플레이션에 의한 영향을 고려한 산출금액

이다. 이 표에 의하면 1987년도의 재해가 가장
극심하였음을 알 수 있다. 1990년도의 재해 피해
액이 아직 확정되지는 않았지만 1990년도 가격으
로 대략 500,569백만원 정도로 집계되고 있어
최근 재해 피해액이 과거 75년 기록 중 최상위권
에 모두 속하고 있음을 알 수 있다. 이 기간 동안
의 피해는 인명의 막대한 손실은 물론이고 농작
물, 건물, 선박, 공공시설상의 막대한 피해가 발생
하였고 수많은 이재민들이 생활터전을 잃고 고생
하였다.

그림 2는 1958년부터 1990년까지의 재해피해액
과 사망자수를 정리한 결과이다. 이 결과도 역시
피해액은 1958년에서 1989년까지는 1989년을
기준으로 환산한 액수이고 1990년도는 가집계액

표 2. 과거 20년간 총 피해액 순위

피 해 순	해당 년도	총피해액 (천원)	이재민 (인)	인명피해(인)		침수면적 (정보)	건물 (동)	선박 (척)	농경지 (정보)	농작물 (정보)	공공시설 (개소)	기타 (개소)
				사망	실종							
1	1987	1,102,355,634	272,277	586	436	300,452.55	49,062	6,912	25,001.92	520,767.19	75,019	671,310
2	1989	550,090,060	92,593	207	100	121,060.11	28,087	2,853	6,489.81	122,838.97	13,784	57,732
3	1936	349,341,967	-	1,916	-	338,835.00	173,683	-	67,231.90	-	-	-
4	1979	288,741,455	30,331	286	137	125,740.04	18,874	1,116	7,343.31	156,133.19	17,179	234,438
5	1980	259,941,511	53,860	188	91	115,761.97	20,543	1,491	12,803.34	106,768.15	14,988	287,892
6	1984	243,034,672	346,236	217	48	7,572.80	59,209	390	7,135.50	133,672.20	14,137	96,126
7	1986	245,483,512	99,114	75	58	86,701.43	2,839	962	708,412.00	213,426.62	9,399	95,695
8	1969	226,725,014	-	567	-	155,111.20	78,431	-	17,678.78	-	-	-
9	1925	216,977,827	-	517	-	190,474.00	59,572	-	27,528.10	-	-	-
10	1959	211,991,000	-	774	-	236,807.50	156,103	-	109,473.60	-	-	-
11	1972	193,785,251	656,361	682	170	166,236.50	95,185	953	15,330.20	121,917.10	34,174	303,759
12	1970	143,130,657	-	185	-	181,984.30	41,164	-	7,480.98	-	-	-
13	1977	137,262,345	73,484	263	82	15,353.30	23,570	57	2,133,503.00	14,864.74	5,463	55,645
14	1981	132,534,083	18,306	167	49	149,583.13	15,687	1,883	6,230.58	133,170.99	14,993	54,008
15	1934	126,684,563	-	198	-	210,904.90	85,277	-	19,492.20	-	-	-
16	1988	123,707,424	8	64	79	17,986.66	5,565	327	3,523.47	17,528.00	9,190	27,400
17	1965	111,763,301	-	242	-	119,916.60	59,214	-	20,178.97	-	-	-
18	1941	103,620,200	-	105	-	118,308.60	40,479	-	25,497.10	-	-	-
19	1985	99,818,852	72,257	164	86	126,291.88	4,087	1,590	972.19	109,215.82	5,683	45,714
20	1920	91,229,681	-	1,264	-	82,393.30	37,899	-	34,956.30	-	-	-

주 1) 총피해액은 1989년 가격기준임.

2) 1945-1957년(13개년)은 자료미비.

이다. 또한 사망자수에는 실종자수도 포함되어 있다. 이 결과에 의하면 피해액은 70년대 후반부터 현재까지 증가하는 경향을 보이고 있으며 사망자수는 어떤 뚜렷한 경향은 없으나 70년대에 사망자수가 많았으며 1987년에 크게 나타나고 있다. 33년간의 총 사망자 수는 9,872명으로 연평균 299.2명의 사망자 수를 나타내고 있다. 다시말하면 해마다 평균적으로 300명 정도의 인명이 자연재해로 과거 30수년동안 희생되어 왔음을 보이고 있다.

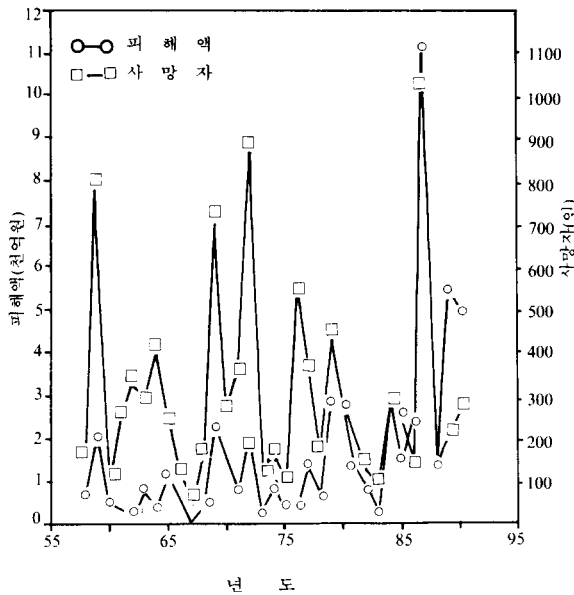


그림 2 1958년~1990년 재해 피해액과 사망자수

3.2 최근 10년간 통계분석

(1) 행정구역별

그림 3은 1980년에서 1989년까지 최근 10년간의 자연재해 피해상황을 15개 시, 도 별로 구분 정리한 결과이다. 본 결과에는 직할시의 자료가 일부 누락되어 있다. 즉 1988년의 부산직할시, 1980년의 대구직할시, 1980년과 1983년의 인천직할시, 1980년~1986년의 광주직할시, 1980년~1988년의 대전직할시의 기록은 자료미비 및 행정구역개편 이전자료 부족등으로 누락되어 있다.

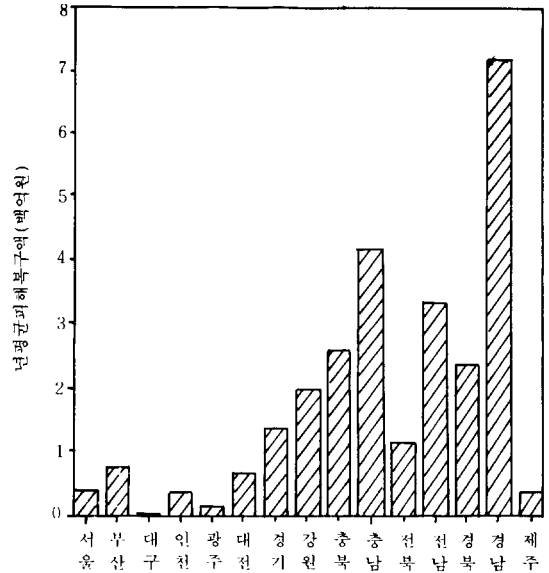


그림 3(a) 행정구역별 년평균 피해액 (1980년~1989년 평균)

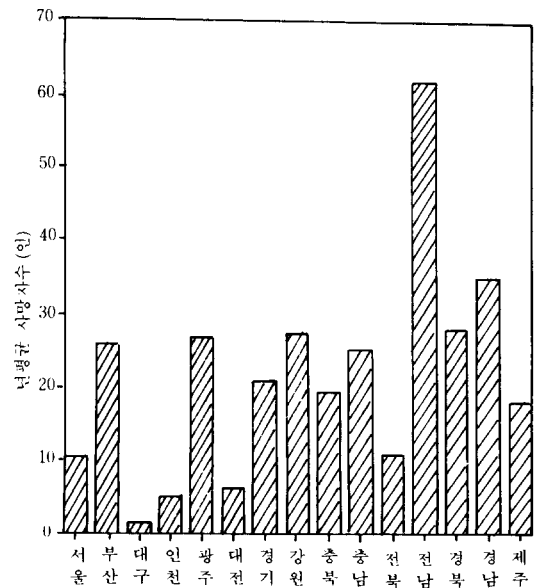


그림 3(b) 행정구역별 년평균 사망자수 (1980년~1989년 평균)

먼저 그림 3(a)는 10년간의 자연재해 피해액의 년평균치를 15개 시, 도별로 구분 정리한 결과를

나타내고 있다. 최근 10년간 우리나라 전체의 연간 평균 피해액은 2,623억원 정도로 나타나고 있다. 여기서 피해액은 1989년도 가격을 기준으로 환산한 값이다. 가장 피해가 큰 지역은 경남지역으로 년평균 720억원 정도이며 다음으로 충남, 전남, 충북, 경북, 강원 순으로 작게 나타나고 있다. 이들 지역에서는 10년간 년평균 2백억원을 초과하는 막대한 피해가 발생되고 있어 재해 극심 지역으로 구분된다.

한편 최근 10년간의 년평균 사망자(실종자) 수를 시, 도별로 정리하면 그림 3(b)와 같다. 이 결과에 의하면 사망자는 전남지역이 년평균 62명으로 가장 크게 나타나고 있으며 경남, 경북, 강원, 광주, 부산, 충남 순으로 적어지고 있다. 이들 지역에서는 과거 10년간 년평균 25명 이상의 귀중한 생명이 재해로 희생 되었음을 알 수 있다. 그림 3(a)의 피해액과 그림 3(b)의 사망자수 결과를 종합하여 보면 경남지역과 전남지역은 특히 재해가 극심한 지역으로 평가 되어진다. 이 지역에 속하면서 인구가 밀집되어 있는 부산과 광주지역의 경우 인명의 피해가 극심한 것을 알 수 있어 재해가 발생될 素因과 誘因이 많은 지역에 속하면서 인구가 집중된 대도시는 특히 인적 피해가 큼을 잘 보여주고 있다.

(2) 水系別

그림 4는 최근 10년간의 재해 피해 상황을 우리나라 주요 하천의 수계별로 분석하여 본 결과이다. 본 그림에서 1982년도의 동진강, 1988년의 삼교천 및 1981년~1989년의 탐진강 기록은 자료미비로 누락 되어있다.

우선 그림 4(a)의 최근 10년간의 년 평균 피해액 결과를 보면 낙동강 유역의 피해액이 가장 크게 나타나고 있으며 금강, 한강, 영산강, 섬진강 순으로 적어지고 있다. 이들 5대 하천 유역의 재해피해액이 우리나라 전체 피해액의 70% 이상을 차지하고 있어 대부분의 재해가 이 지역에서 발생되고 있음을 알 수 있다.

한편 사망자수에 대하여는 그림 4(b)에서 보는 바와같이 한강유역이 년평균 사망자수가 40.6 명으로 제일 많이 희생 당하고 있으며 그 다음으로 낙동강유역이 40.1명, 금강유역이 33.3명,

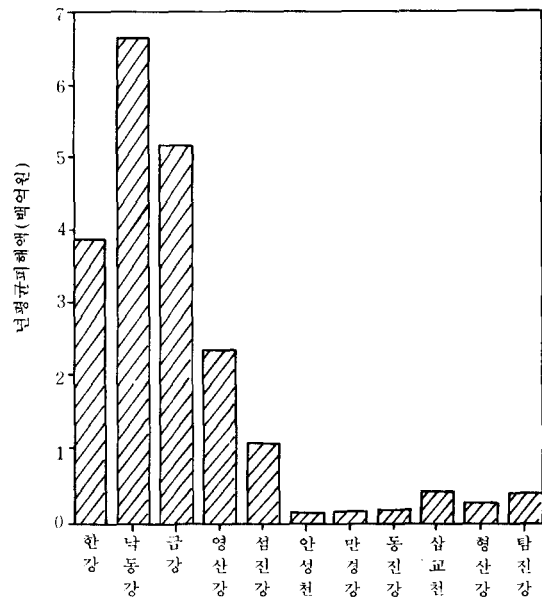


그림 4(a) 수계별 년평균 피해액 (1980년~1989년 평균)

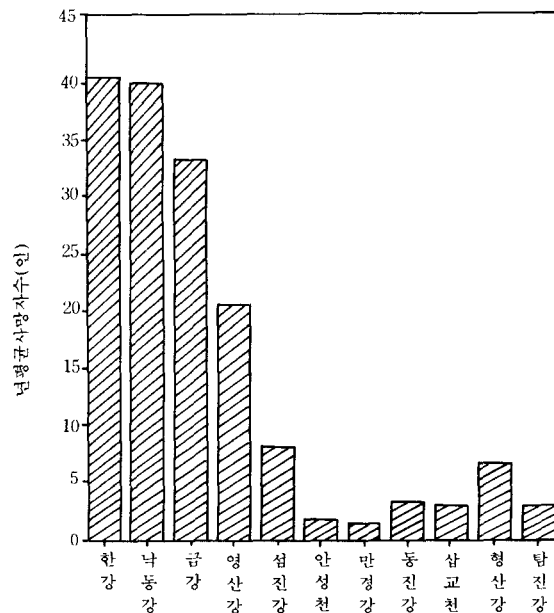


그림 4(b) 수계별 년평균 사망자수 (1980년~1989년 평균)

영산강유역이 20.7명, 섬진강 유역이 8.1명으로 나타나고 있다.

이들 유역의 사망자수는 우리나라 년평균 재해 희생자수의 약 50%에 달하고 있어 전체 재해 희생자수의 반이 이 지역에서 발생되고 있다.

따라서 매년 수십명의 인명 피해와 수백억의 재한피해가 발생하는 한강, 낙동강, 금강, 영산강 및 섬진강의 5대 유역의 치산 치수 사업에 중점적으로 투자가 요망되는 바이다.

4. 피해 복구액

그림 5와 그림 6은 1980년에서 1989년 사이의 최근 10년간 재해 복구 사업에 쓰여진 년평균 복구비를 분석하여 본 결과이다.

우선 그림 5는 피해 복구액을 행정구역별로 정리한 결과로서 경남지역의 년평균 피해 복구액이 486억원으로 가장 많고 충남, 전남, 충북, 경북, 강원 순으로 200억원 이상의 피해 복구비가 소모되었음을 보여 주고 있다. 이 결과는 그림 3(a)의 피해액 크기순과 일치하고 있으며 연간 재해로 인하여 쓰여지는 비용이 엄청난 금액임을 잘 보여주고 있다.

이 피해 복구액을 사업별로 분석하여 보면

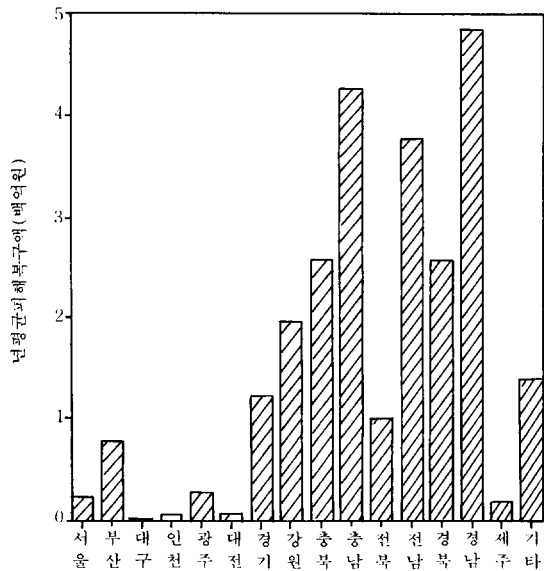


그림 5 1980년~1989년 사이 년평균 피해 복구액

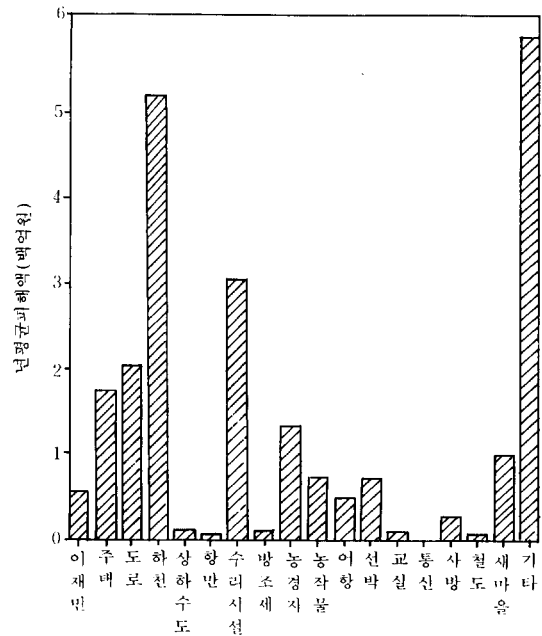


그림 6 사업별 년평균 피해 복구액 (1980년~1989년 평균)

그림 6과 같이 된다. 이 결과에 의하면 피해복구액을 하천 복구 사업에 가장 많이 소요되었음을 알 수 있다. 년평균 약 520억원 정도의 복구 비용이 소요되고 있다.

그 다음으로 수리시설, 도로, 주택, 농경지의 복구 사업에 많은 비용이 쓰여지고 있음을 알 수 있다.

5. 결 언

이상에서 검토한 바와같이 우리나라에서 발생하는 자연재해는 태풍, 호우, 폭풍에 의한 경우가 전체의 70% 이상을 차지하고 있으며 이중 폭풍은 년중 거의 고르게 발생되고 있으나 태풍과 호우는 6월과 9월중에 거의 발생되고 있다. 이러한 자연재해에 대한 기록을 정리 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 재해 피해액은 최근에 점차 증가하여 가는 경향이다.
- (2) 재해로 인한 사망자 수는 지난 33년간 년 평균 300명 정도였다.

- (3) 최근 10년간 피해 극심지역은 경남과 전남 지역으로 나타났으며 이지역에 속하면서 인구가 밀집되어 있는 대도시에서는 특히 인명 피해가 컸다.
- (4) 한강, 낙동강, 금강, 영산강, 섬진강 유역에서 발생하는 재해가 전체 재해 피해액의 70% 이상, 사망자수의 약 50%에 달하고 있다.
- (5) 피해복구액은 피해가 극심하였던 지역순으로 많이 지불되었으며 주로 수리시설, 도로, 주택, 농경지의 복구사업에 많이 소요되었다.

이상의 우리나라 자연재해의 현황 분석에서 알 수 있는 바와같이 매년 수백명의 인명피해와 수천억원의 재산피해를 방지하거나 최소화시키기 위하여 자연재해 방지에 관련된 기상학, 하천공학, 해안공학, 항만공학, 지반공학 차원의 방재

연구에 보다 많은 연구투자가 이루어져야 할 것이라고 생각된다.

감사의 말

끝으로 본문을 작성함에 자료를 제공하여 주신 정인성 건설부 방재계장님께 감사드리는 바이다.

참고문헌

1. 이상태, "재해통계", 대한토목학회지 35(5), 1987, pp.56~61.
2. 허상목, 풍수해 현황과 대책, 1988
3. 건설부, 재해년보, 1989.

河 川 提 防

— 일산제방을 중심으로 —

김 상 규*

1. 一山提防 붕괴의 교훈

1990년 9월 暴雨로 말미암아 한강하류에 있는 하천제방이 붕괴되어 많은 水災民이 집과 가재도구를 삼시간에 수몰시킨 고통을 당하였다. 필자는 텔레비전과 신문지상에 나타난 동강난 제방과, 평화스런 農耕地가 갑자기 상승한 물때 때문에 동물들이 고립되어 있는 처참한 모습이 지금도 눈에 선하다.

필자는 이 사고에 관련되는 調査나 諮問에 응한 바 없어 지반공학적인 관점에서 분명한 사고의 원인을 자세히 모르고 있다. 다만 표제의 원고청탁을 받고 일산제방의 사고와 관련되는 자료를 수집하려고 노력은 하였으나, 마침 이에 대한 원인 분석이 某用役會社에서 수행되고 있다 하기에 필자는 이에 대한 논급은 현시점에서는 가능한 한 자제하는 것이 도리라고 생각한다. 그러나, 제방붕괴 후의 사진을 調査者로부터 입수하고 하천제방의 붕괴에 대한 설명을 위해 여기에 掲載하기로 한다.

일산제방의 붕괴사고가 발생하였을 때, 신문지상에 실린 기사에는提防에 들쥐, 게 등의 구멍이 많이 뚫려 있으므로 붕괴의 직접적인 원인은 이런 구멍을 통해 물이 샌 것으로 추측한 내용이 있다. 더 擴大해서 말한다면 파이핑이 원인이라는 뜻인데 生物에 의해 만들어진 구멍이 파이핑의 발생에 어느 정도 영향을 주었는지는 모르지만 여하간 파이핑이 一山提防崩壞의 주원인이라

는 것은 틀림이 없는 것 같다. 붕괴되지 않은 제방에 대해 찍은 사진을 보면 파이핑이 제방 아래를 통해서 뿐만 아니라 제체 자체를 통해서도 발생했다는 사실을 분명히 알 수 있다(사진 1 및 사진 2).

河川提防의 붕괴는 일산제방이 결코 처음으로 발생한 사고가 아니며, 필자가 알기에도 큰 수해가 있을 때마다 제방붕괴사고가 거의 빠짐없이 있었던 것으로 기억하고 있다. 일산제방에서 경험한 바와 같이 제방붕괴는 엄청난 災難을 가져오는데 불구하고, 토목기술자들은 設計와 築造에 관한 한, 하천제방을 중요한 구조물로 생각하고 있는 것 같지 않다. 더우기 제방의 설계는 토질 기술가가 아닌 기술자들에 의해 수행되므로서 土質工學的인 觀點에서의 안정검토가 누락되는 경우가 많이 있다.

여기서는 일산제방의 事故를 계기로 하여 하천제방이 不安定하게 되는 여러가지 요인을 살펴보기로 한다.

2. 河川提防의 安定條件

물의 流入을 막거나 물을 저장하는 구조물은 댐, 防潮堤, 하천제방 등이 있다. 이와 같은 구조물에 대한 안정조건은 동일하게 적용되어야 한다. 하천제방은 규모는 작지만 延長이 길기 때문에 안정성을 균일하게 유지하기가 힘들다. 그러나 사고는 가장 취약한 위치에서 발생되기 때문에 제방의 모든 연장을 따라 동등한 안정성이 유지되도록 하지 않으면 안된다.

* 정희원, 동국대학교 공학대학 토목공학과 교수

하천제방을 안전하게 設計하려면 다음에 적는 모든 조건이 충분히 만족되도록 하여야 한다.

- (1) 浸透에 대한 안정
- (2) 滑動에 대한 안정
- (3) 波浪에 의한 침식
- (4) 오우버토픽(overtopping)

3. 浸透에 대한 安定

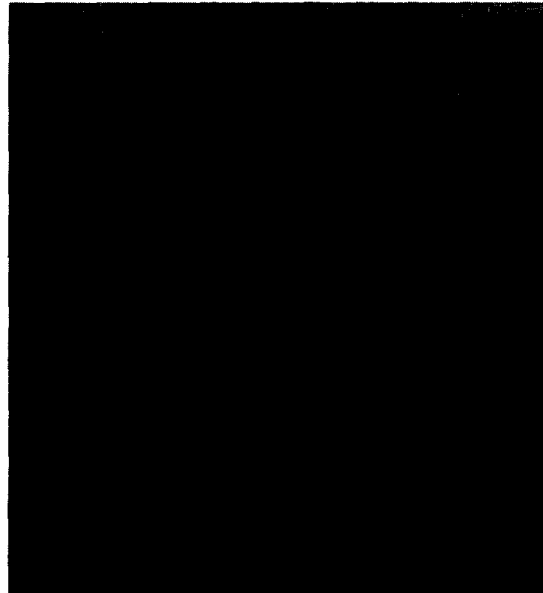
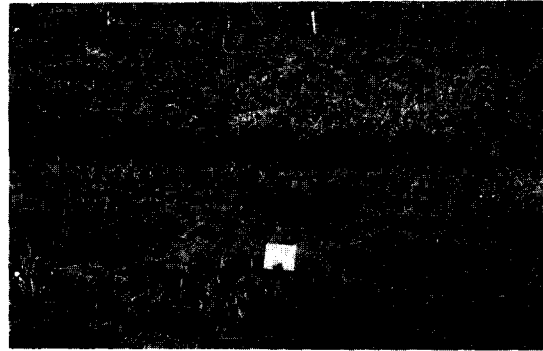
제방을 따라 물이 흐르면 堤外側에서 堤內側으로 물이 침투된다. 이 침투력이 어느 한계를 넘으면 침투로 인해 제방은 파괴될 수 있다. 침투로 인한 파괴를 다음 3가지로 분류할 수 있다.

- (1) 隆起에 의한 파괴(failure by heave)
- (2) 기초지반 浸蝕에 의한 파괴(failure by subsoil erosion)
- (3) 提體의 침식에 의한 파괴

위의 세가지는 모두 流出面에서 침식이 시작하여 空洞을 형성하면서 내부로 진행되므로 이들을 통털어 파이핑(piping)이라고 말한다. 이중 응기에 의한 파괴는 제방하류측에 널말뚝을 박았을 때처럼 浸透水의 방향이 상향일 때 발생되며, 널말뚝을 받은 제체에서의 파이핑에 대한 안정성 검토방법은 Terzaghi에 의해 명확하게 定立되어 있다(일반 토질교과서 참조).

基礎地盤의 침식과 제체의 침식에 의한 파괴는 하천제방에서 자주 일어나는 것 같다. 일산제방의 붕괴에서 보는 바와 같이 地盤浸蝕은 제방 아래 기초지반을 따라 발생하고 제체의 침식은 浸潤線이 제내측 비탈을 통과할 때 발생한다. 만일 기초지반이 느슨한 가는 모래로 구성되어 있고 제체는 잘 다져진 자갈층이나 結合력이 큰 점토로 형성되어 있어서 두 재료의 異質性이 크다면 그 경계면을 따라 파이핑이 발생할 수 있다. 자연상태의 지반은 균질한 경우가 드물므로, 사진 1과 2에서 보는 바와 같이 파이핑에 가장 취약한 流路를 따라 국부적으로 일어나는 것이 보통이다.

파이핑에 의한 파괴는 갑작스럽게 일어난다는 데 특징이 있다. 왜냐하면, 파이핑이 진행되는 동안 그 위에 있는 提體는 제체구성재료의 결합력에 의해 걸쳐있다가 더 이상 지탱하지 못할



때 갑자기 가라앉기 때문이다. 이와 같은 파괴는 파이핑이 제외측으로부터 시작하여 상당히 진행되었을 때 발생하기 때문에 대규모의 파괴를 가져오므로 이것이 일단 발생되면 부분적인 補修는 불가능하다.

파이핑에 대한 안정성을 검토하는 방법은 다음과 같이 나누어 생각할 수 있다.

- (1) 動水傾斜에 의한 추정방법

침투가 발생하는 하천제방과 기초지반에 대하여 流線網을 그려두면 임의위치에서의 동수경사

를 알 수 있다. 유선은 통상 出口에서 집중되므로 이 부근에서 동수경사는 가장 큰 값을 보인다. 이 동수경사가 限界動水傾斜를 넘으면 파이핑에 대해 불안정한 것으로 판정할 수 있다. 모래인 경우 한계동수경사는 대략 1이다. 이 방법은 Terzaghi에 의해 제안되었는데 한계동수경사는 다음과 같이 표시된다.

$$i_c = \frac{G_s - 1}{1 + e}$$

여기서

i_c : 한계동수경사

G_s : 흙의 비중

e : 흙의 간극비

이 식은 흙의 自重과 연직방향의 침투력이 平衡된다는 가정하에 유도된 것이며, 입자상호간

반의 파이핑에 대한 것이지만, 만일 하천제방이 그 아래 기초지반에 비해 剛性이 크다고 가정할 때, 이것을 하천제방에 대해서도 적용할 수는 있을 것이다. 그러나 C_w 는 현재까지 信賴性의 문제점이 많이 보고되고 있으므로 이것을 적용할 때에는 신중을 기할 필요가 있다.

(3) 浸透流速에 의한 방법

흙속을 통과하는 침투수의 유속이 크다면 土粒子를 流動시킬 수 있을 것이다. 따라서 실제 유속과 토입자 유동의 한계치를 알고 이들을 비교한다면, 파이핑에 대한 안정성을 검토할 수 있다. 침투유속은 제방내 위치에 따라 다르므로 이것을 해석적으로 결정하기가 대단히 어렵다. 그러나 최근에 발전된 數値解析技法을 적용하면 침투속도와 방향을 해석적으로 결정할 수 있다. 그림 1은 이와 같은 방법으로 해석한 한 예를 보인다.

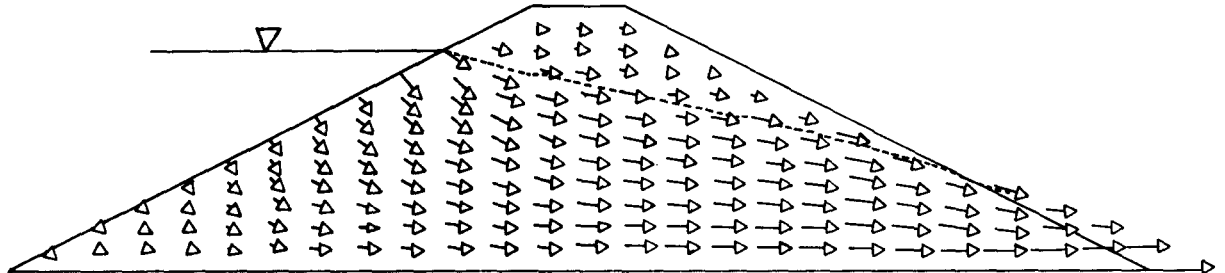


그림 1 수치해석에 의한 침투속도와 방향

의 마찰력, 점착력, 입경, 입도분포 등이 고려되어 있지 않다.

(2) 經驗式에 의한 방법

파이핑이 발생하는 과정을 확실히 알게 되기 이전부터 콘크리트댐의 여러 破壞事例를 근거로 하여 댐 기초지반의 침식에 대한 파괴의 基準을 경험적으로 정한 바 있다. Lane(1935)은 물이 수평한 방향은 물론 연직 방향으로 유과하는 경우도 고려하여 여러가지 토질에 대해 침식에 대한 安全基準을 제안하고 이것을 weighted creep ratio(C_w)라고 하였다(Terzaghi and Peck, 1948 참조). 이 기준은 콘크리트 댐 아래 기초지

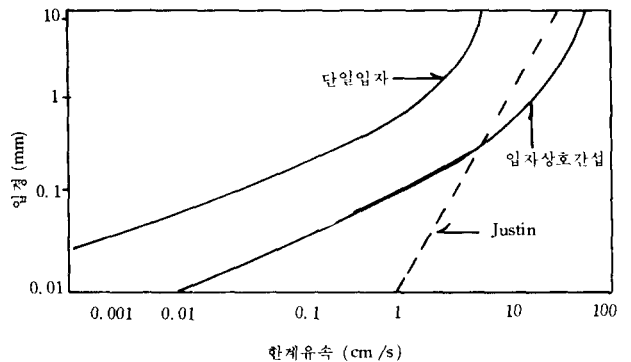


그림 2 파이핑 발생시의 한계유속과 입경과의 관계 (Sughii 등, 1989)

흙입자를 流動시킬 수 있는 유속이 얼마나 하는 문제는 Justin(1924)이 처음으로提起하고 單一粒子가 유동될 수 있는 한계유속을 이론적으로 구하였다. 그 이후 여러 학자들에 의해 한계유속을 실험적으로 구한바 있는데 Justin의 이론식은 실험에 비해 과대하게 평가되고 있는 것으로 보고되고 있다. 최근에 Sughii 등(1989)은 단일입자의 한계유속과 여러개의 입자가 相互干涉을 받아 침강할 때 粒徑에 따른 한계유속을 구할 수 있는 이론식을 제안하였다. 그림 2는 Justin과 Sughii 등이 제안한 한계유속을 보인다. 실제 유속이 한계유속에 이르면 침식이 발생할 수 있다.

하천제방이 균질한 토질로 축조되었고 기초지반이 不透水層이라면 제내측의 수위가 상승할 때 침투수는 제체내부를 통과하므로 침윤선은 항상 하천제방의 제외측 법면에 나타난다. 그러나 수위가 상승하면 침윤선도 뒤따라 상승되나 상당한 시간이 지난 후에 침윤선은 일정한 形態를 형성한다. 침윤선이 나타나면 제방은 洗掘되

기 시작한다. 그러나 이와 같은 세굴은 수두차, 흙의 입경, 침투유속 등과 밀접한 관련이 있으며, 세굴이 파이핑으로 進展될 수는 있지만 그렇지 않은 경우도 많이 있다. 그러나 法面に 세굴이 일단 발생하면 제방불안정의 증조가 되므로 이를 방지하기 위해서는 필터를 설치해야 한다. 필터의 제한 設計基準은 NAVFAC(1982)에 제시되어 있다.

4. 滑動에 대한 안정

하천제방이 활동에 대해 가장 불리한 경우는 水位가 최대로 上昇하고 그 상태에서 定常浸透까지 이르렀을 때, 제외측 사면에서 발생될 수 있는 활동이다. 이 경우에 대해 활동에 대한 안정해석을 하려면 먼저 유선망을 그려서 豫想滑動面을 따라 간극수압의 분포를 알아야 한다(그림 3). 간극수압과 함께 제체 재료의 강도정수는 유효응력으로 구한 값을 쓰므로 이에 대한 해석방법은 당연히 有效應力解析이 된다.

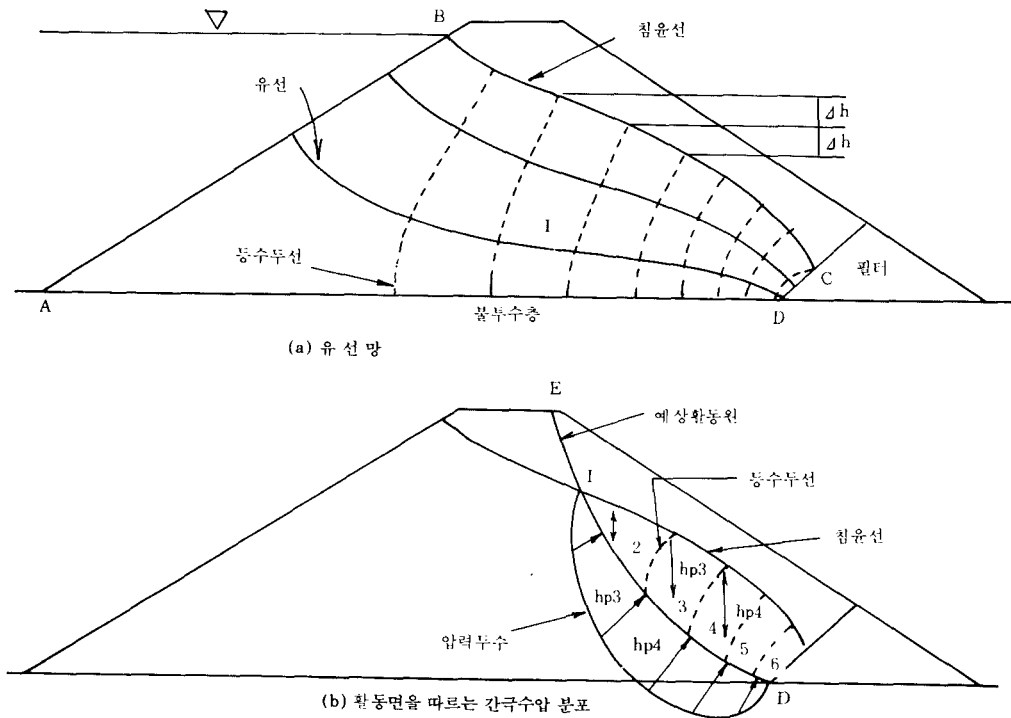


그림 3 제외측 제방의 활동해석

5. 其他 條件에 대한 안정 검토

파랑이 일어나면 체내측 사면이 심하게 침식될 수 있다. 파랑은 바람에 의해 발생되지는 舟運에 의해서도 주기적으로 발생된다. 漢江이나 충주호에서 처럼 하천을 따라 선박이 주기적으로 주행할 때 이와 같은 침식이 발생된다. 선박의 주행으로 인한 파랑은 주행속도가 증가할 수록 더 심하다. 이와 같은 침식은 체내측 사면에 피복석을 덮어서 방지할 수 있다.

제방을 낮게 설치하면 홍수에 의해 하천이 범람할 수 있다. 예상되는 수위상승에 대비하여 적절한 높이의 제방높이를 결정하는 것은 水資源分野에 속하는 문제이므로 오우버 토핑에 관해서는 여기서는 더 이상 언급하지 아니한다.

6. 맺는 말

여기서는 一山提防의 붕괴를 계기로 하여 하천

제방의 중요성을 강조하고 안정과 관련되는 여러 가지 문제를 논의하였다. 우리 기술자는 지금까지 제방의 설계와 시공을 소홀하게 다루어 왔던 것이 아닌가하는 반성과 함께, 河川提防의 안정성을 다시 한번 생각해 볼 기회가 되었으면 하는 것이 이 글을 맺는 필자의 바램이다.

참 고 문 헌

1. Justin, J.D.(1924). The Design of Earth Dams, Transaction of ASCE, Vol. 87.
2. Lane, E.W.(1935), "Security from Under-seepage Masonry Dams on Earth Foundations," Trans., ASCE, 100, pp.1235-1351.
3. NAVFAC(1982). Soil Mechanics Design Manual 7.1, Dept of The Navy, Naval Facilities Engineering Command.
4. Sughii, T.O., Sato, D., Woono, D.O., and Yamada, S. G.(1989). Process of Seepage Failure and Effect of Hetrogeneity in Soil(Japanese), Soil and Foundation, Vol. No.6, pp.17-22.

山 沙 汰

이 영 남*1

1. 머리말

산사태는 산악지역이 많은 국가인 브라질, 캐나다, 칠레, 홍콩, 이란, 이탈리아, 일본, 한국, 멕시코, 노르웨이, 파나마, 스위스, 유고슬라비아 등에서 자주 발생한다. 우리나라의 경우에는 해마다 하절기에 찾아오는 집중호우로 인해 많은 산사태가 발생하곤 한다. 이러한 집중호우로 인한 피해도 상당히 큰 바, 1990년에도 9월에 3일간에 걸쳐 내린 집중호우로 인해 인명 피해 사망 125명, 실종 38명, 부상 16명이 발생하였고 재산 피해는 약 4230억원이나 났다.¹⁾

집중호우로 인한 피해는 여러가지 형태로 나타나는 바, 하천의 범람, 제방의 유실, 산사태등으로 나타난다. 이 중에서, 지반공학 분야의 연구대상이 되는 것중의 하나는 산사태인데, 이에대한 연구가 근래에 들어 활발해지고 있다.

本稿에서는 지금까지 발표된 산사태에 관한 문헌들을 정리하여 밝혀진 중요한 사실들을 요약하고, 1990년 9월에 발생한 산사태 자료를 분석하여 결과를 정리·보고하고, 앞으로의 연구과제를 제시하려고 한다.

2. 기존의 연구

산림청²⁾자료에 의하면, 우리나라에서 발생하는 自然災害의 월별 발생분포도는 그림 1(a)와 같은데, 강우와 태풍은 夏節氣에 주로 찾아오고, 강풍과 지진은 계절에 관계없이 발생하는 것을 알 수 있다. 하절기에 주로 찾아오는 강우의 월별

강수량을 도시해 보면 그림 1(b)와 같다. 이 그림에는 여러해 동안의 평균 월별 강수량을 도시했

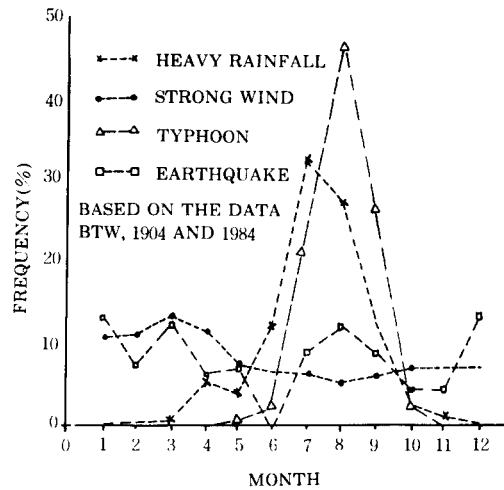


그림 1(a) 우리나라의 自然災害 發生頻度 (山林廳, 1988)

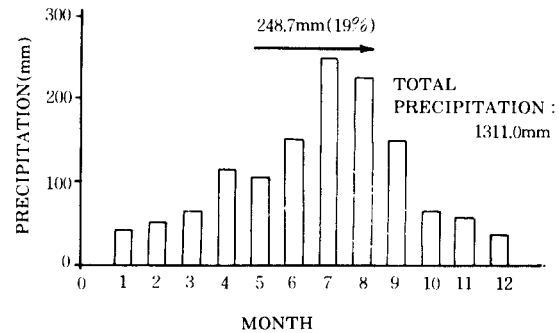


그림 1(b) 우리나라의 月別 平均 降水量(山林廳, 1988)

*1 정회원, 현대건설 해외토목 설계부

는데, 7월에 가장 많은 강수량이 기록되어 년 총 강수량의 19%인 248.7mm의 비가 내린 것으로 나타났다. 더구나, 7, 8, 9의 석달동안에 온 비는 년 총 강수량의 50 내지 60%에 해당하는 것으로 나타났다.

산사태의 형태 및 분류에 관해서는 여러가지 제안이 있었으나, 지반공학에서 주로 사용하는 분류는 그림 2에서 보듯이 4가지 형태로 대별되

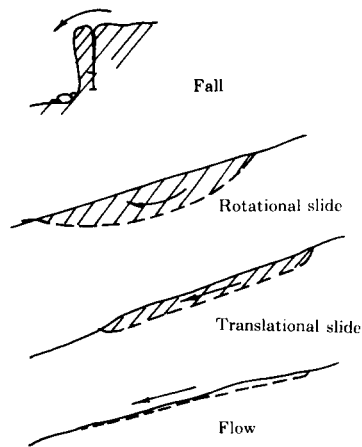


그림 2 主要 山沙汰의 形態(Broms, 1975)

며, 이에 대한 상세한 내용을 Broms³⁾로부터 표 1에 요약하여 보았다. 이 경우의 산사태(Landslide)는 廣義의 산사태로 우리나라에서 통상적으로 거론하는 산사태와는 거리가 있다. 우리나라의 산사태(狹義의 의미)는 집중호우로 인해 산의 표면(주로 풍화토층)의 일부가 붕괴되는 것을 지칭한다. 따라서, 표 1의 Slab Slide나 Earth Flow의 성격을 띠는 것으로 보아야 할 것이다. Lumb⁴⁾은 홍콩의 산사태(狹義의 의미)를 세가지 유형으로 분류하여 각각을 해석하였는데, 우리나라의 산사태의 유형과는 다른 것으로 나타났다. 즉, 홍콩의 경우에는 산사태로 인한 피해가 인공적으로 조성된 사면의 붕괴로 인한 것이 대부분이었으나, 우리나라의 경우에는 자연 사면의 붕괴로 인한 인명 피해가 상당히 큰 것으로 나타났다.

우리나라의 산사태는 산림청 자료에 따르면 발생위치와 경사도에 따라 다음의 세가지형태로

분류된다.

- ㄱ) 산복붕괴(山腹崩壞): 전체의 72%를 차지하는데, 대부분 지표면 또는 토질 단면상의 불연속면을 따라 발생한다. 특히 풍화토와 기반암의 접촉면을 따라 발생한다.
- ㄴ) 계안붕괴(溪岸崩壞): 溪流의 종횡침식에 의하여 발생하며, 전체의 9%를 차지한다.
- ㄷ) 와지붕괴(窪地崩壞): 지중수가湧出되어서 발생하며, 산복과 계안사이에서 발생하며 사태의 시발점은 산복붕괴에 가까우며 하류는 계안붕괴와 같은 모양을 나타낸다.

이 이외에도 붕괴 모양에 따라 樹枝狀, 貝殼狀, 線狀, 板狀으로 분류하기도 한다.

산사태 발생에 영향을 주는 요소로는 강수량, 林相, 지질 및 모암, 지형, 경사, 토질 등이 있는데, 그중에서도 집중호우가 산사태를 유발시키는 직접적인 요인이기에 가장 많은 연구가 이 분야에 집중되었다. 산림청⁵⁾자료에 의하면 연속강수량 200mm 이상과 시우량 30mm 이상이 오면 산사태가 발생할 것이라 보고했다. 홍과 공동연구자⁶⁾는 1977년부터 1987년까지의 산사태 기록과 그 지역의 강우기록을 분석하여, 대규모의 산사태(동일 지역에서 20개소 이상 발생하는 규모)는 최대 시간 강우강도가 35mm를 넘고 2일간 누적강수량이 140mm를 넘으면 발생할 수 있다고 보고하였다. 건설기술연구원 보고서⁷⁾는 사면붕괴가 선행강우량보다 강우강도에 좌우된다고 보고했다.

산사태의 발생기구(mechanism)에 대한 연구는 주로 외국에서 이루어졌는데, 그중에서 우리나라의 산사태와 관련하여 중요한 것은 홍콩에서 행해진 연구결과이다. Lumb⁸⁾은 산사태의 발생을 강우의 수직 침투(vertical infiltration)의 개념으로 설명하려고 하여, 침투에 의한 습윤층(wetting band)의 두께를 계산하는식을 유도하였다. 이 식에 의하면 투수계수가 작은 화강암 풍화토에서는 상당한 깊이까지 습윤층이 침투하는데 수일의 시간이 소요되는 것으로 나타났다. 그러나, 자연사면에 내린 강우량과 지하수위의 변화사이에 時差가 상당히 짧은 것과 수평 투수

표 1. 廣義의 山沙汰 分類(Broms, 1975에서 要約)

Type of Landaldides	Material	Triggering Factors	Shape or Direction of Sliding	Remarks
1. Falls	<ul style="list-style-type: none"> · O C clay · All types of rock 	<ul style="list-style-type: none"> · Undercutting by erosior · Frost wedging, weathering · Temperature variation, high cleft water pressure 	<ul style="list-style-type: none"> · Bedding plane, joint or local fault zones or fault planes 	—
2. Rotational Slide				
a. Slips	<ul style="list-style-type: none"> · Shale, clay(N C) 	<ul style="list-style-type: none"> · Pore water pressure 	<ul style="list-style-type: none"> · Mostly circular, but some noncircular 	<ul style="list-style-type: none"> · Driving force decrease w/increasing deformation
b. Multiple Rotational Slides	<ul style="list-style-type: none"> · Eroding slopes of O C clay, fissured clays or clay shale on competent rock · Quick clay 	<ul style="list-style-type: none"> · Initiated by local slip 	<ul style="list-style-type: none"> · Spreads backwards 	—
c. Successive Slip	<ul style="list-style-type: none"> · O C fissured clay 	<ul style="list-style-type: none"> · Initiated at the toe of local slip 	<ul style="list-style-type: none"> · Spreads upwards 	—
3. Translational Slides				
a. Block Slides	<ul style="list-style-type: none"> · Rock, O C fissured clay 	<ul style="list-style-type: none"> · Weathering, freezing & thawing, excess cleft water pressure 	<ul style="list-style-type: none"> · Steeply sloping joints, bedding planes or fault zones 	<ul style="list-style-type: none"> · Driving force remains constant during failure
b. Slab Slides	<ul style="list-style-type: none"> · Weathered clay, shallow slope debris on bedrock, steep slope of residual soil 	<ul style="list-style-type: none"> · High pore water pressure, snow melting or heavy rainfall 	—	<ul style="list-style-type: none"> · Moves as a unit w/o distortion
c. Multiple Translational Slides	<ul style="list-style-type: none"> · Similar to the onesfor slab slides 	<ul style="list-style-type: none"> · Initial slab slide · Heavy rainfall, freezing & thawing 	<ul style="list-style-type: none"> · Gradually spreads upwards 	—
d. Spreading	<ul style="list-style-type: none"> · Varved clay deposits · Interlayered clay & sand deposits 	<ul style="list-style-type: none"> · High pore water pressure in sand or silt seams · Earthquake · Heavy rainfall 	<ul style="list-style-type: none"> · Spreads backwards 	<ul style="list-style-type: none"> · Develops rapidly · Ridges are formed
4. Flows				
a. Earth Flows	<ul style="list-style-type: none"> · Clayey & silty soils · Quick clay 	<ul style="list-style-type: none"> · Heavy rainfall 	—	<ul style="list-style-type: none"> · Slow to very rapid movement
b. Mud Flows	<ul style="list-style-type: none"> · Fissured & intact 	<ul style="list-style-type: none"> · Erosion due to high 	—	<ul style="list-style-type: none"> · Develops in ground

	clay layers interbedded w/layer of fine sand	pore pressures in coarse material		slope of 5 to 15°
c. Debris Flows	· Varved clays · Coarse-grained material · Talus slopes · Gorges filled with debris	· Heavy rainfall or sudden floods	—	· Generally long & narrow
d. Flow Slides	· Fine-grained material	· Excess pore pressure due to earthquake, vibration	—	· Inclination of slope between 8 and 11°

Note : O C : Overconsolidated, N C : Normally consolidated w / : with, w/o : without

계수가 수직 투수계수 보다 5~100배 큰 것을 설명할 수 있는 自然管路(natural pipe)의 존재에 의해 산사태발생을 설명하려는 많은 연구들이 행해졌다.⁹⁾ 흙 입자들과 입자들 사이에 형성된 流路인 자연관로가 實存하는 것은 한국과 홍콩의 산사태 붕괴면에서 확인되었는데,⁷⁹⁾ 이 관로들은 보통 강우하에서는 地中水를 빠른 시간내에 배수 시켜서 사면을 안정하게 만드나, 집중호우시에는 관로가 막혀 간극수압이 급격히 증가하여 사면의 붕괴를 초래하는 것으로 보고되었다. 이 개념에는 집중호우시 수평방향 지중수의 형성에 대한 분명한 설명이 없고, 상당히 클 것으로 기대되는 수직방향 침투수의 수평방향 지중수의 형성에 대한 영향이 고려되어 있지 않다는 약점이 있다. 따라서, 산사태의 발생기구에 대해 정확히 이해하려면, 수직방향의 침투와 수평방향의 자연관로의 역할을 더 고려하여야 할 것이다.

산사태 예지방법에 관해서는 산사태가 발생할 수 있는 지역적 분포도(landslide hazard map)와 산사태가 발생하면 인명과 재산에 피해가 발생할 위험지역의 분포도(landslide risk map)를 작성하는 일로 대별할 수 있는데¹⁰⁾, 현재는 주로 위험 지역도를 작성하는데 관심이 집중되고 있다. 건설기술 연구원 보고서는 기존 사면의 위험 여부를 판정하는 몇가지 방법을 검토한 후, 홍콩의 위험사면 판정기준법의 문제점을 보완하여 우리나라의 위험사면 판정기준으로 제시하였다. 산림청은 산사태 위험지 판정을 위한

자체기준을 만들어 각 도에 배포하여 시행하고 있다.

3. 90년 산사태 자료의 해석

가) 자료 수집

많은 인명과 재산의 피해를 냈던 90년 집중호우는 9월 9일 06시부터 시작하여 9월 11일 24시에 끝났다. 이 기간중에 최고 강우량은 경기도의 의왕시에 내린 661mm이고 최고 시우량도 역시 의왕시의 73mm로 밝혀졌다.(이러한 집중호우에도 불구하고 의왕시 부근에서는 산사태가 발생하지 않았다.) 9월 집중호우는 주로 경기도와 강원도지역에 국한되었기에, 이에따른 피해와 산사태의 발생도 이 두 지역에 편중되어 있다. 경기도는 도평균 452.5mm의 집중호우가 왔고 강원도는 도평균 328.4mm를 기록하였다. 따라서, 본 해석에서는 상기 2도의 산사태 자료를 중심으로 해석하기 위해, 이에 관련한 자료를 수집하였다. 산사태 발생 위치, 발생 시간, 강우 기록, 붕괴 형태등에 관한 자료를 경기도청과 강원도청의 식수와 사방계에서 입수하였다. 또한, 경기도내의 붕괴된 6개의 산사태 현장을 답사하여, 붕괴면과 붕괴지역 그리고 지반의 상태등을 관찰하였다.

나) 붕괴 형태

답사해본 6개소의 산사태중 3개소는 형태면에서 와지붕괴의 양상을 띄고, 나머지 3개소는 도로면에 위치한 사면으로 절리방향이 사면상에

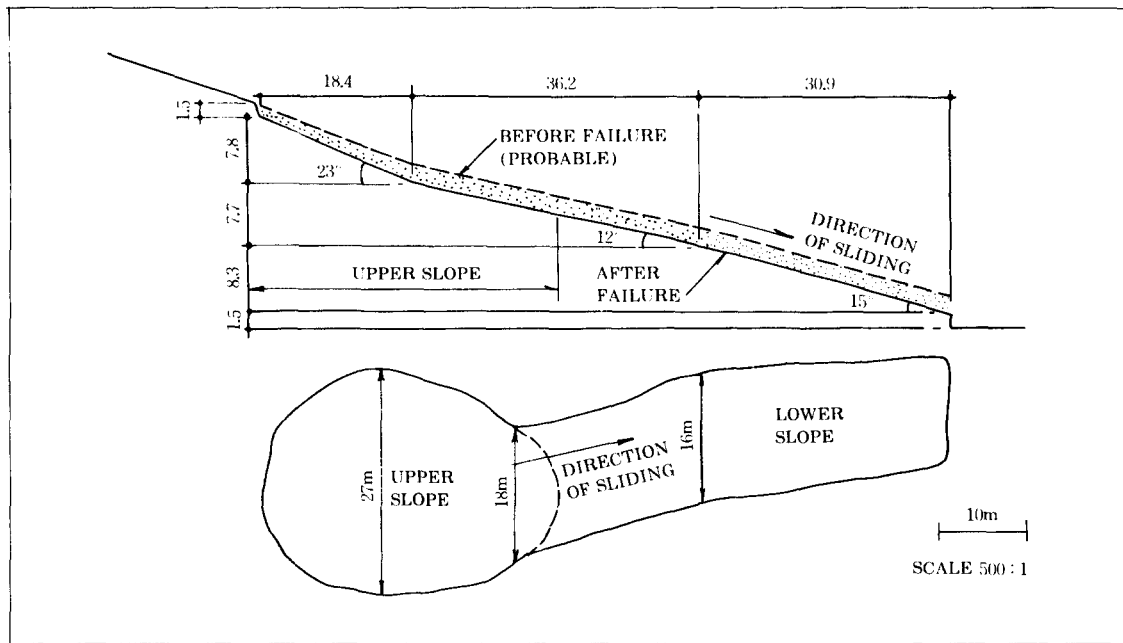


그림 3 수원시 화서동 山沙汰 斷面과 平面 스케치
(1990年 9月 11日 02時 發生)

나타나는 기반암 위의 토괴가 붕괴한 형태이다. 와지붕괴의 양상을 띄는 3개소 중의 하나의 산사태인 수원시 화서동 산사태의 평면과 단면이 그림 3에 도시되어 있다. 이 그림에서 보듯이 상기 3개소의 산사태의 상부사면은 비교적 완만하여 화서동의 23도가 가장 급한 경우였고, 하부사면은 성남시 수정동의 산사태의 경우가 훨씬 가파랐다.(경사 약 45도) 그 외에도 산사태 붕괴 형태를 보여주는 100장 이상의 사진을 정밀 검토해본 결과, 역시 산복붕괴가 많았고, 계단붕괴도 간혹 보였다. 붕괴면에는 그다지 풍화되지 않은 기반암이 나타났는데, 이는 산사태가 풍화토와 기반암의 접촉면을 따라 발생한다는 사실을 확인케 해준다. 붕괴는 거의 山頂에서 가까운 8부능선 정도에서 시작하는 경우가 많았으며, 높은 산의 경우에는 붕괴가 산중턱에서 시작하는 것으로 나타났다.

다) 강우와 산사태

90년도 산사태 자료를 이용하여, 산사태 발생

시간과 강우량의 관계를 분석하여 보았다. 그림 4에는 강우 시작부터 붕괴시까지의 시간과 그 시간까지의 누적강우량을 도시하여 보았다. 이 그림에서 보듯이, 산사태가 발생한 지역의 자료들은 몇몇 자료를 제외하곤 일정한 범위(스크린으로 표시한 부분) 내에 들어가는 것을 알 수 있다. 강원도의 경우에는 다음에서 열거한 조건을 만족시켰을 때에 산사태가 발생하였다. (괄호안의 숫자는 경기도의 경우에 해당함)

- ㄱ) 19(14)시간에서 24(23)시간 사이에 200mm 이상의 비가 왔거나,
- ㄴ) 비가 24시간 이상 온 경우에는 200mm 이상의 비가 시간당 평균 14.3(10.5)mm 이상 계속해서 내린 경우

상기 두 지역의 결과를 종합해 보면, 24시간내에 200mm 이상의 비가 오면 산사태가 날 위험이 있고, 비가 하루이상 계속오면 시간당 평균강우량이 10mm 이상 되면 산사태가 발생할 위험이 있다. 예를 들면, 30시간 계속 비가 오는 경우에는 300mm 이상의 비가오면 산사태가 날 위험이

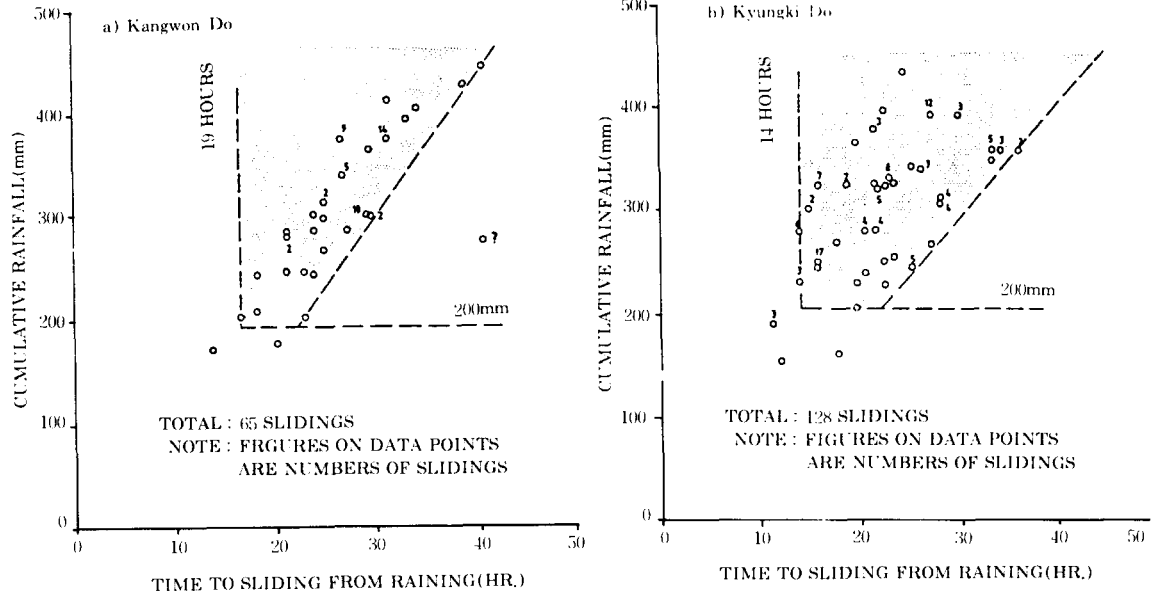


그림 4 山沙汰 崩壞까지의 降雨時間과 累積降雨量의 關係(1990年 9月 資料)

있다. 양쪽 지방사이에 강우량과 강우시간에 따른 산사태 발생 시간에 차이가 있는 이유는 두 지역의 지형, 지질, 토질, 임상등의 차이에 기인한 것으로 사료된다.

최대 시우량 시간과 붕괴가 일어난 시간 사이의 관계를 알아보기 위해 경기도 지역의 산사태 자료를 분석하여, 그 결과를 그림 5(a)에 도시하였다. 이 그림에서 나타나듯이 대부분의 산사태는 최대 시우량이 기록된 이후에 발생하는 것으로 나타났으나, 최대 시우량시간과 산사태 발생 시간 사이에는 특별한 관계가 없는 것으로 나타났다. 이는 산사태의 규모나, 그 지역의 토질상태 등의 조건에 따라 산사태의 발생시간이 좌우되기 때문인 것으로 사료된다. 그림 5(b)에는 최대시우량 이후 산사태 발생시간과 최대 시우량과의 관계를 도시한 그림으로, 최대시우량 30mm 이상이 내리면 그 시간후로는 산사태가 예상된다는 것을 알 수 있다. 그러나, 이 경우에 한 가지 기억해야하는 것은 최대 시우량 이전의 누적강우량의 크기에 의해 산사태 발생여부가 영향을 받는다는 것이다.

상기 관찰 사항과 기존 연구 결과를 비교해보면, 홍과 공동연구자가 보고한 것처럼 산사태 발생이 누적 강우량과 최대 시우량의 크기에 의해 영향받는 것이 밝혀졌다. 그러나, 그 크기들은 산림청 자료의 연속강우량 200mm, 최대시우량 30mm와 같은 것을 확인하였다. 한가지 새로운 기여는 강우 계속시간을 첨가하여 경보가 가능할 수 있는 바탕을 마련하였다는 것이다.

라) 화서동 산사태의 해석

화서동 산사태는 숙지산(높이 약 120m)의 완만한 8부능선 위치에서 새벽 2시에 시작된 붕괴로 5명의 사망자를 낸 산사태이다. 본 해석에서는 산사태시의 붕괴단면(그림 3)과 안전률(파괴시 1.0)을 알고 파괴시에 파괴면을 따라서 작용했을 내부마찰각을 점착력을 변화시켜 가면서 구해보았다. 전단강도 정수를 구하기 위해 상부사면이 먼저 파괴되었다고 가정하여, 상부사면만 따로 단순화하여 분석하였다(그림 6(a)). 상부사면의 경사각은 평균 18°이고, 사면 높이는 13.5m이고, 평균 파괴 심도는 1.5m로 하여 해석

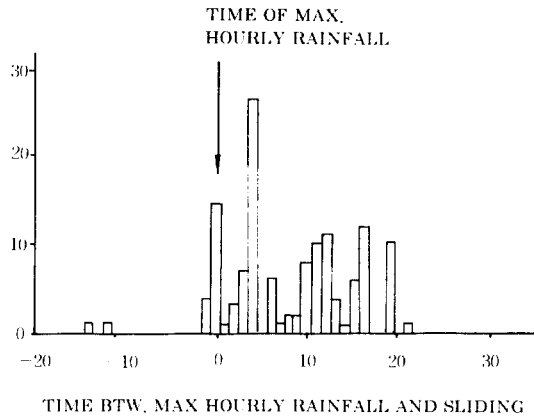


그림 5(a) 最大時雨量後 崩壞까지의 時間과 崩壞個數의 關係(1990年 9月 山沙汰 資料)

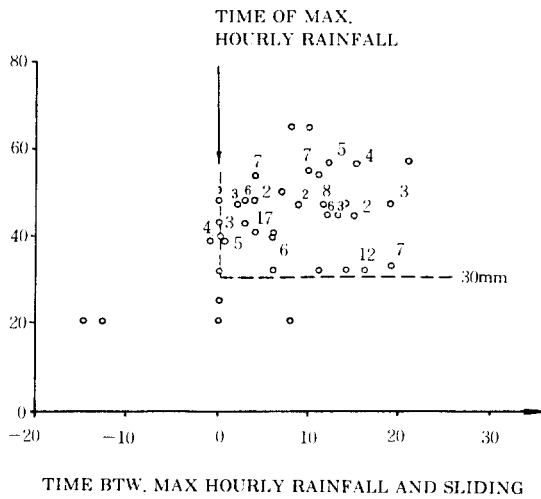


그림 5(b) 最大時雨量後 崩壞까지의 時間과 最大時雨量의 關係(1990年 9月 山沙汰 資料)

하였다. 사면 안정해석은 장기간 평형을 유지해 온 자연 사면의 경우로 보아 정수 c' , Φ' 와 간극수압을 이용하는 유효응력 해석법을 사용하였다. 실제 사면에서 측정된 간극수압이 지하수위를 알고 계산한 수압보다 작게 보고된 경우¹¹⁾를 고려해서, 간극수압은 지하수위 면을 지칭함으로써 파괴면의 위치에 따라 컴퓨터 프로그램에 의해서 계산이 되도록 하였다. 불규칙한 파괴면

을 따라 파괴가 일어나는 것으로 보고 컴퓨터 프로그램 STABL을 사용하여 해석하였다.

해석결과는 파괴시에 파괴면에 작용했을 점착력의 크기를 바꾸어가며 해석했을 때의 내부마찰각을 그림 6(b)에 도시하여 보았다. 사면의 안정에 필요한 내부마찰각은 점착력의 미세한 증가에 상당히 민감한 감소를 보인다. 즉, 풍화토가 조금 큰 점착력을 가질 경우에는, 사면의 안정을 위해 필요한 내부마찰각은 30° 보다 작은 값으로 떨어진다. 이는 보통 화강암 풍화토의 내부마찰각이 30° 이상 된다는 점을 고려할 때, 파괴시 활동면을 따라 점착력이 거의 발생하지 않았으리라는 것을 암시한다. Lumb⁴⁾은 홍콩의 화강암 풍화토의 내부마찰각이 35.6° 로 일정하나, 점착력은 건조한 상태에서 습윤상태로 전이함에 따라 상당히 감소한다고 보고하였다. 따라서, 화서동의 경우에도 30° 보다 큰 내부마찰각과 거의 무시할 정도의 점착력이 파괴면을 따라 작용했을 것으로 추정되나, 정확한 크기는 실험을 통해서 규명되어야 할 것이다.

4. 산사태의 豫知와 警報

산사태에 관한 연구의 실용적인 측면은 산사태가 발생하는 機構(Mechanism)에 대한 이해와 산사태가 발생할 수 있는 조건을 알아냄으로서 산사태 발생지역도와 산사태 위험지역도를 작성하고, 이 지역의 집중호우시 사전에 경보를 발할 수 있는 지침을 마련하는 것이라 사료된다. 산사태 발생 위험지에 관한 판정 기준은 앞에서 논했듯이 여러 가지로 연구되었지만, 범용적으로 사용될수 있는 기준은 더 많은 조사 연구를 기다려야 할 것이다. 산사태 발생에 대한 예지의 어려움의 한 예를 들면, 산림청에서 만든 기준을 90년도 산사태자료에 적용한 결과 67개소의 지정된 위험지 중에서 2개소에서 산사태가 났고, 나머지 78개소의 산사태는 다른 지역에서 발생하였다. 상기의 예가 시사하듯이, 산사태에 관해서는 앞으로 많은 조사와 연구를 통하여 재산과 인명의 피해를 줄일 수 있는 산사태 발생 위험지 판정기준의 개선 및 보완이 하루 속히 이루어져야 할 것이다.

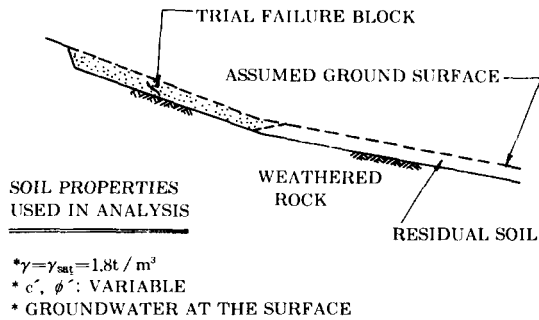


그림 6(a) 斜面解析을 한 上部斜面的 斷面圖

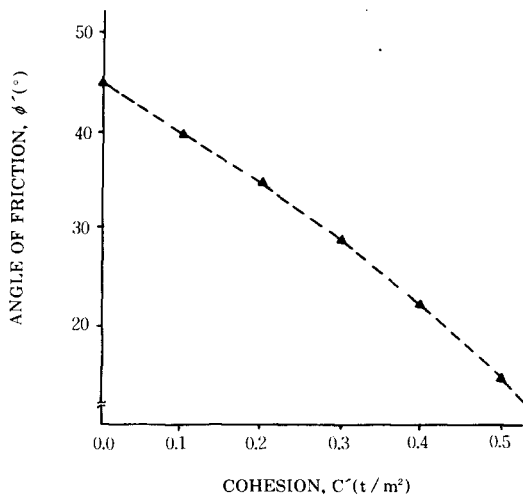


그림 6(b) 破壞時 破壞面에 作用하는 粘着力을 變化시켰을때의 内部摩擦角

산사태의 발생 경보는 앞절에서 분석했던 경우와 산사태의 관계에서 어느정도 초보적인 지침을 추출해 낼 수 있을 것이다. 즉, 다음과 같은 상황이 발생하면 경보를 발하는 것이 안전할 것이다.

ㄱ) 24시간 내에 내린비가 200mm 이상인 경우.

ㄴ) 24시간 동안 내린비가 200mm는 안되지만, 계속해서 내리는 비가 시간당 평균 10mm 이상인 경우.

상기 두 경우에 정확한 숫자나 조건들은 앞으로 좀더 많은 자료의 분석을 통해 보완되어야

할 것이나, 하나의 방법론으로 제시하는 것이다.

5. 맺음말

우리나라의 산사태는 주로 母岩이 풍화된 얇은 표피토층이 집중호우로 인해 붕괴하는 것으로 나타났다. 제한된 자료의 분석에서 밝혀진 바에 의하면, 집중호우가 24시간 내에 200mm 이상 오면 산사태가 발생했고, 하루 이상 계속오는 경우에는 평균 시우량이 10mm 이상이 되면 산사태가 발생하는 것으로 나타났다.

수원시 화서동 산사태의 해석결과를 보면 산사태시에는 파괴면을 따라, 거의 무시할 수 있을 크기의 점착력과 30°-40° 크기의 내부마찰각이 작용했을 것으로 해석되었으나, 정확한 크기의 전단강도 정수는 앞으로 많은 실내 및 현장시험을 통하여 결정되어야 할 것이다.

앞으로는 산사태 발생에 관한 예지와 경보를 위한 좀 더 실용적이고 세부적인 지침을 마련할 수 있는 연구가 수행되어야 할 것이다.

감사의 말

90년도 산사태 자료 수집에 도움을 주신 경기도청의 이금수 계장님, 강원도청의 권순호계장님, 건설부 재해 대책 본부의 정인성 계장님과 자료의 정리 및 분석에 도움을 주신 몇몇 현대건설 직원 여러분에게 심심한 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 건설부(1990) 재해대책본부-1990년 9월 집중호우 피해자료
2. 산림청(1988) "황폐지 복구사" 117-132.
3. Broms, B.B.(1975) 'Landslides', Chapter 11 of Foundation Engineering Handbook, edited by Winterkorn and Fang, 373-401.
4. Lumb, P.(1975) 'Slope failures in Hong Kong', Quarterly Journal of Engineering Geology, London, 8, 31-65.
5. 산림청(1989) '산사태예방 사방 실시요령', 1-13.
6. 홍원표, 김상규, 김마리아, 김윤원, 한중근(1990)

- ‘강우로 기인되는 우리나라 사면활동의 예측,’ 대한 토질공학회지, 제 6권, 2호, 55-63.
7. 건설기술연구원(1989) ‘사면의 안전진단 및 보호공법’ 연구보고서, 전기연 89-GE-111, 331
 8. Lumb, P.(1962) ‘Effect of rain storms on slope stability’, Proc. Symp., Hong Kong Soils, Hong Kong, 73-87.
 9. Premchitt, J., Brand, E.W. and Phillipson, H.B. (1986) ‘Landslides caused by rapid groundwater changes’, Groundwater in Engineering Geology, 87-94.
 10. Morgenstern, N.R.(1985) ‘Geotechnical aspects of environmental control’, Proc. 11th Int. Conf. on Soil Mech. & Foundation Engrg., Sanfransisco, 1, 155-185.
 11. Ogawa, S., Ikeda, T., Kamei, T. and Wada, T. (1987) ‘Field investigation on seasonal variations of the groundwater level and pore water pressure in landslide areas’, Soils and Foundations, Vol. 27, No.1, 50-60.

석 축 및 옹 벽

이 송*1

1. 서 론

1970년대 말까지만해도 택지조성, 공업단지조성 및 제방공사시 사면처리 공법으로서의 석축은 시공이 간편하고 가격이 저렴하게 든다는 이유로 건설부 표준도에 의하여 많이 시공되어 왔다. 그러나, 석축의 안정문제는 심각한 현실이다. 매년 집중호우시기에 빈번히 발생하는 석축의 붕괴사고로 많은 재산손실과 인명피해까지도 따르고 있지만, 안정된 석축시공과 사후관리에 대한 근본적 대책이 없는 실정이므로 집중호우시에 어떤 피해가 어떻게 생길지도 모르는 현실로 지속되고 있다.

그러나, 경제적 성장과 구조물의 안정성이 공사비보다는 우선하는 시대적 상황에 따라 위험성이 수반되는 석축보다는 철근콘크리트 옹벽이나 보강토옹벽 시공으로 바뀌어 가고 있다. 그러나, 과거에 시공된 석축의 노후에 따른 사후처리 방법에 대해선 대책이 미흡한 실정이다.

즉, 정확한 위험요소를 파악하기보다는 해빙기나 우기직전 위험물시설 안전진단시 육안에 의해 형식적인 조사를 할뿐이어서 지난해의 중부지방 집중호우 같은 자연재해가 발생할때는 엄청난 피해가 수반될 뿐이다. 그러므로, 안전사고 예방 진단이나 보강공법개발에 관한 연구도 현실성이 있을텐데 간과하고 있는 실정이다.

최근 안정성때문에 석축을 기피하고 철근콘크리트 옹벽을 시공하다보니 공사비가 크게 들면서도 옹벽의 높이가 커질때는 시공과 안정성 측면

에서 문제점이 도출되어 보강토옹벽에 대한 연구와 시공도 활발해지고 있다. 그러므로, 본란에서는 붕괴원인, 붕괴사고현황, 보강석축 및 보강토옹벽, 결론으로 나누어 간단히 기술하였다.

2. 석축과 옹벽의 붕괴원인 및 안정해석

석축과 옹벽의 붕괴원인들은 여러 복합요소가 있지만, 다음과 같이 나눌수가 있다.

가) 붕괴원인

(1) 기초지반 지지력 부족

기초지반이 연약하여 석축이나 옹벽자체가 침하 하든가 활동이 생기는 경우가 있는데 충분한 사전조사와 기초지반 보강에 의해서 사전에 막을수 있다.

(2) 배수공의 부족과 막힘

석축이나 옹벽에 설치된 배수공이 막히든지 부족하여 뒷채움에 침투된 물이 벽체 바깥으로 배출되지 않고 공극수압으로 벽체에 작용하게 되어 과도한 토압으로 석축이 무너지게 된다. 그러므로, 석축과 옹벽 시공시 규정된 배수공을 시공함은 물론 벽체뒷면까지 만들고 구멍이 안막히게 필터를 설치하면 배수공이 막히는 일은 없을 것이다.

(3) 뒷채움에서의 상·하수관의 누수

뒷채움위의 지표에 발생하는 물은 반대편 하수 시설에 연결하는 것이 일반적인데 예기치 않게 매설관의 누수에 의해 석축 뒷채움쪽으로 침투수가 크게 작용하거나 집중호우시 침투수가 일시적으로 크게 작용하면 공극수압이 커져 석축이

*1 정희원, 서울시립대학교 공과대학 토목공학과 조교수

붕괴된다. 그러므로, 뒷채움 지표에 침투수가 작용하지 않게 하거나 생겨도 빨리 배수가 되게끔 뒷채움쪽에 필터를 설치하여 배수공에 연결시켜 공극수압 증가를 막아야 한다.

(4) 뒷채움 흙의 성토다짐 불량

뒷채움 흙은 배수가 잘되어야 하고 횡방향 토압이 적게 작용하는 사질토가 좋지만 다짐도 중요한 역할을 한다. 다짐이 불량하여 벽체가 뒤로 자빠져 붕괴되는 경우도 있다. 뒷채움 시공시 흙을 잘 선택하고 잘 다지면 저항력을 크게 하여 변형을 적게하면 막을수 있다.

(5) 시공불량에 따른 강도부족

석축시공시 표준도에 의한 표준시공이 안되어 단면이 부족하거나 견치돌 찰쌍기할때 콘크리트의 강도가 적은것을 사용했을때도 붕괴가 된다. 옹벽은 설계대로 시공이 안되어 단면이 적어졌거나, 철근 배근과 전단키의 시공불량으로 전도 및 활동파괴가 발생한다.

(6) 석축의 노후에 따른 강도부족

오래된 석축은 결빙과 해빙이 반복됨으로서 석축에 사용된 견치돌이나 콘크리트가 부식되어 강도가 부족함은 물론 견치돌이 빠지게되어 부분 파손이 확대되어 붕괴되기도 하고 노후와 함께 배수공도 막히게되어 공극수압이 커져 과도한 토압에 의하여 붕괴된다.

위의 요인외에도 여러가지가 있지만 제일 피해가 많은 경우는 집중호우시 배수설비의 불량으로 인해 공극수압의 증가로 큰토압발생에 의한 피해와 뒷채움 흙에 의한 수평변위이다.

나) 안정해석

옹벽은 안정해석시 토압이론을 근거로 활동, 전도, 침하검토와 함께 사면안정해석을 하는데 별문제가 없다. 석축도 콘크리트 옹벽과 같이 토압이론을 근거로하여 안정해석을 하는데 석축 자체가 충분한 강성을 못가졌음은 물론 전체적으로 강도의 균일성이 없고 뒷채움 흙의 종류와 다짐정도에 따른 토압의 크기 및 석축시공후 배수기능에 따른 불확실성때문에 많은 불확실성이 있지만, 옹벽과 같이 원호활동한다고 가정하여 해석한다.

3. 옹벽과 석축의 붕괴사고 현황

옹벽과 석축의 붕괴사고원인은 앞에서 언급했듯, 여러가지지만 대부분의 경우는 집중호우시 뒷채움쪽에 침투한 침투수에 의해 공극수압이 커져 벽체에 큰 토압이 작용하게되어 발생하는 경우가 제일 많다.

그런데도 불구하고 집중호우 발생시 여기저기 붕괴사고가 발생하는 것은 과거의 시공한 석축이나 옹벽이 노후되어 배수기능이 약해졌거나, 배수설비가 없는 경우때문이다.

작년 9월 중부지방의 집중호우때 발생한 인천 송림동의 옹벽측대 붕괴사고는 무려 21가구가 매몰되어 20여명의 귀중한 생명까지도 앓아간 참화였는데 원인은 배수공이 없었다는 사실과 위험성을 느낀 주민들의 보수를 외면케한 형식적인 안전사고 예방진단으로 위험을 예측 못한 결과였고 서울시에서도 70여군데의 크고 작은 석축과 측대사고와 10여군데의 옹벽 활동, 전도붕괴로 엄청난 재산의 피해가 있었다. 또한 그전에 발생한 큰사고인 부산 해운대의 석축붕괴사고, 마산 월영동의 석축붕괴, 울산, 포항의 옹벽붕괴등 대부분이 집중호우시에 배면에 발생한 공극수압의 증가에 의한 피해에 해당되므로, 특별한 경우를 제외하곤 사전예방이 가능한 곳이 많았을 것이다.

엄청난 재산피해를 일으킨 대형 붕괴사고의 대부분은 사고가 날수밖에 없는 요인들을 가지고 있었기 때문에 행정당국에서 정기적인 안전사고 예방진단을 실시하여 철저한 원인분석과 보수로 사고를 막아야 할것이다.

4. 보강석축

석축의 안정성을 좋게하기위한 방법으로 석축 벽체의 두께를 크게하여 벽체의 강도를 크게하는 방법, 석축 뒷채움 흙의 다짐을 잘하여 변형을 적게하는 방법, 배수설비를 양호하게 하는 방법이 있지만 시일이 경과되면 그 기능이 상실되어 위험성이 따르기 때문에 콘크리트 옹벽과 같은 안정성있는 구조물을 택하게 되었다. 그래서, 저렴하다는 석축의 특징을 갖고서 안정성을 개선할 수 있는 방법을 찾게 된것이 보강석축이다.

프랑스의 Henry Vidal의 보강토 기본원리대로

석축 뒷채움쪽에 일정한 간격으로 벽체에 정착하여 수평으로 삽입된 보강재는 흙과의 마찰에 의해서 고정되어 토압에 저항하게 된다. 즉, 보강토(Reinforced Earth)의 원리대로 석축에 작용하는 토압을 모두 보강재가 받는다면 석축벽체 자체의 토압에 대한 저항을 무시할 수 있으므로 석축의 단면 및 뒷채움자갈을 상당히 줄일 수 있으므로 공사비도 저렴하면서 안정성있는 석축의 시공이 가능하다. 또한 높이의 제한도 덜 받는 장점과 벽체를 수직화 시킬수 있는 장점이 있어 공간 활용면에서도 양호한 공법이였다.

그러나, 석재 채취의 어려움과 비싼가격은 물론 안정성의 부족때문에 석축의 사용이 뜸해지면서 보강석축에 관한 시공과 연구도 없어졌는데 무엇보다도 재료비의 비중이 크고 시공경험이 적었기 때문이라 생각된다.

5. 보강토 옹벽

흙막이 구조물의 안정성측면에서 석축이 콘크리트 옹벽 구조물로 바뀌었지만 높이가 커지면 많은 공사비가 들면서도 미관과 안정성 문제에 의문을 제기하게 되었다.

그래서 옹벽 뒷채움 재료의 수평력을 흡수 소멸시키어 토압을 감소시켜 안정성을 강화시키는 물론 옹벽단면을 축소시킬수 있는 경제적 공법의 필요성이 생겨 우리나라에서도 1980년 건설부 건설연구소에 의하여 보강토공법이 소개되었다. 그후 산발적으로 여기저기에 보강토옹벽이 시공되다가 최근엔 시공규모가 커지고 있는 추세다.

보강토 옹벽을 사용하면 기초공사가 적어지고, 변위후에 안정이 빨라지고, 자연경관의 훼손이 적고, 높이를 크게 할수 있고, 구조물의 시각적 감각이 좋다. 또한 가설물 공사가 적어 공사비가 절감되는등 많은 특성을 가지고 있다. 특히 공사비면에서 볼때 보강토 적용시 Shlosser (1976)은 25-65%가 절감되고 건설시험소 및 도로공사의 보고서에도 공사비가 많이 절감되는 것으로 나타났다. 또한 미국 캘리포니아 교통국 발표에 의하면 옹벽 높이가 커지면 더욱 공사비가 상대적으로 적게 드는 것을 나타내고 있다.

그런데도 불구하고 보강토공법에 대한 일반적인 신뢰가 확보되지 않은 상태에서 일반적인 옹벽구조물보다는 어려운 조건에서 옹벽공사에 사용하려하는 현실과 새로운 공법에 대한 거부감이 보강토옹벽 활성화에 제약이 되고 있다. 또한, 신공법의 시험시공후 시공상 문제점, 경제성, 안정성에 대한 결과분석자료가 적어 신뢰성이 적고 재료비에 대한 비용이 80%이상되어 시공업자들의 재량권이 적은것도 보강토공법이 활성화되지 못한 이유라 볼수 있다. 그러나, 적극적인 보강재개발로 싸게 대량공급할 수 있고 보강토옹벽에 대한 신뢰성있는 자료를 제시한다면 경제적인 공법으로 위치를 찾을것이라 본다.

6. 결 론

본고에서는 우리나라 전역에 걸쳐 많이 시공되어 있는 석축과 옹벽에 관한 붕괴사고 원인과 현황 그리고 보강토 석축 및 옹벽에 대하여 간단히 알아 보았다. 1960~70년대 시공된 석축과 옹벽들은 벽체자체의 노후에 따른 강도저하도 있지만 대부분이 뒷채움 흙의 다짐조건과 배수기능의 미비로 집중호우나 뒷채움쪽 매설관 누수 및 터파기에 의해 붕괴사고가 발생되고 있다. 기존 구조물의 사고를 막으려면 관할 행정기관에서 지금까지 형식적인 진단이 아니라 철저한 안전사고 예비진단에 의해 위험석축과 옹벽들을 파악하여 위험 원인분석과 대책방법을 세워서 관리하여야만 지난해의 집중호우같은 자연재해에 대비할 수 있다. 그리고 석축이나 옹벽같은 흙막이 구조물시공시 철저한 시공관리를 위하여 충분한 사전조사와 뒷채움재 선택과 다짐, 배수공과 필터의 시공등에 대한 정확한 시공이 따라야 할 것이다.

최근 도로사면 및 단지조성시 절취사면이나 성토사면의 흙이나 암반의 특성이 무시된채 부지 및 구조물의 시각적인 고려도 없이 딱딱하고 둔탁한 콘크리트옹벽을 설치하는 경향이 있다. 그러나, 그 구조물의 높이나 주위환경에 따라 석축, 보강석축, 철콘크리트옹벽, 보강토옹벽을 경제적이고 미적인 감각에 의하여 시공되는 것도 필요한 시점이 아닌가 생각된다.