

斜面安定(VIII)

洪 元 杓*

3. 山沙汰 및 防止對策

3.1 序 言

자연사면은 생성된 시기부터 가장 안전한 상태로 균형을 유지하면서 존재하려는 자연순응경향을 가진다. 그러나 이러한 자연사면의 균형은 여러가지 원인에 의거하여 붕괴되어 산사태가 발생하게 된다.

地盤輪廻上 우리나라는 만장년기(晩壯年期)의 지형에 속하기 때문에 급경사면이 많으며 토층간의 특성이 서로 다른 곳이 많으므로 산사태가 많이 발생될 내적요인(潛在的 要因 혹은 素因이라고 부름)을 구비하고 있다. 여기에 부가하여 우리나라 산사태를 직접 유발시키는 가장 큰 외적요인(直接的 要因 혹은 誘因이라고도 부름)으로 降雨를 들 수 있다. 즉 우리나라의 년평균강우량은 약 1,100mm~1,400mm로서 이중 대부분이 6월에서 9월 사이의 우기에 집중적으로 내리기 때문에 매년 많은 산사태가 이 시기에 발생하고 있다. 예를 들면 1972년 8월 21일 집중호우로 발생된 서울평창동 산사태의 경우 85명이 사망 실종되었으며 1985년 7월 5일 집중호우로 발생된 부산문현2동 산사태의 경우도 37명이 사망 실종된 것으로 보고되고 있다.

한편, 최근의 급격한 도시팽창 및 국토개발에 따른 자연의 이용과정에서 균형을 유지하여 안정된 상태에 있는 산지나 구릉의 자연사면의 균형을 인위적으로 붕괴시켜 산사태를 유발시키고 있다.

원래 산사태는 자연사면의 붕괴에 의한 자연재해로 취급되어 왔으나 최근에 이르러는 국토의 인위적 개발에 의거 산사태의 발생이 증가함에 따라 자연재해라기 보다는 인위적 재해로 표현되어야 할 정도이다.

이제 우리는 이러한 산사태의 발생을 더이상 방지하여 둘 수 없는 시점에 도달하였다고 생각된다. 산사태에 대한 위기의식을 강화하여야 함은 물론이고 산사태와 같은 자연재해로부터 귀중한 인명과 재산을 보호하여야만 할 것이다. 그러나 불행히도 산사태의 발생기구가 대단히 복잡한 관계로 산사태 발생의 정확한 진단을 실시하기가 용이하지 못하였다. 다행히 산사태에 관한 연구가 지속적으로 진행되고 있어 산사태가 발생되는 원인을 정성적으로 파악하여 가기 시작하였고⁽⁴⁾ 산사태 방지대책도 하나 둘 마련되어 가고 있는 실정이다.^(6-8, 16)

여기에 본장에서는 지금까지의 우리나라 산사태에 관한 연구결과를 정리하여 자연사면의 관리, 산사태 방지대책등의 산사태 관련 문제해결의 참고로 삼고자 한다. 우선 우리나라 산사태의 실태를 살펴보고, 산사태원인과 산사태방지대책에 관한 일반적인 사항을 설명한다. 특히, 강우와 산사태의 관련성에 대하여는 필자의 연구결과⁽⁴⁾를 중심으로 정리하기로 한다.

3.2 山沙汰의 定義

사면은 자연사면과 인공사면의 두종류로 구분된

* 정희원, 중앙대학교 공과대학 교수

다. 사면이 붕괴되어 재해가 발생되었을 경우도 산사태(landslide)와 사면파괴(slope failure)의 두가지로 구분된다. 즉 자연사면에 발생한 경사면 붕괴현상을 산사태라 하고 인공사면에 발생한 경사면 붕괴현상을 사면파괴라고 통상적으로 부른다. 다시말하면, 도로경사면이나 댐 비탈면이 붕괴되어 사고가 발생할 경우 「사면파괴가 발생하였다」고 하지 「산사태가 발생하였다」고 하지 않으며, 산지나 구릉지의 경사면이 붕괴되어 재해가 발생한 경우 「사면파괴가 발생하였다」고 표현하기 보다는 「산사태가 발생하였다」고 표현하는 경우가 많다.

그러나 자연사면과 인공사면의 어느쪽 인가로 명확히 구분하기가 어려운 경우도 있다. 예를 들어 자연사면을 가지고 있는 산지에 도로를 축조하기 위하여 절토와 성토를 실시하여 생성된 사면을 어느쪽으로 분류할 것인가 하는 경우이다. 이 사면을 인공사면으로 구분하는 경우도 있으나 산사태 발생유인 중에 하나인 인위적요인이 자연사면의 절성토인 점을 감안한다면 이 경우의 사면은 무의식중에 자연사면으로 구분되고 있는 것이라 할 수 있다.

따라서 필자는 다음과 같이 자연사면과 인공사면을 분류 정의하기로 한다.

인공사면은 비교적 평탄한 지역에 도로, 댐등과 같은 흙구조물을 축조하는 과정에서 순전히 인공적으로 생성된 절성토 경사면으로 하고 자연사면은 산지나 구릉지에 자연순응원리에 의하여 생성된 경사면으로 한다. 비록 도로축조나 주택단지조성시 자연사면의 일부에 절성토를 실시하여 인공적으로 생성된 사면이 일부 존재한다 하더라도 이 사면이 본래의 자연사면 특성을 여전히 가지고 있으면 이 경우는 자연사면으로 구분한다.

한편, 산사태와 같은 自然斜面的 붕괴는 학자에 따라 여러가지 방법으로 분류 설명되고 있어 그 용어의 정의조차 정립하기 힘든 면이 있다.^{(1, 10-1}

²⁾ 그러나 筆者는 自然斜面에 崩壞가 발생하는 시간적 차원에서 간단히 다음과 같이 두가지로 분류하여 보고자 한다. 하나는 시간적으로 장시간에 걸쳐 완속으로 사면이 서서히 이동하는 형태의 크리프성 붕괴이고, 다른 하나는 사면의 이동이 급격히 발생하는 경우이다. 이 두가지 경우는 발생

하는 지역이나 지질의 상황에 따라서도 다르고 거동자세도 차이가 많을 것이다. 일반적으로 인식되고 있는 산사태라 하면 주로 후자의 경우로 이를 狹義의 산사태에 해당하게 된다. 그러나 본고에서는 두경우의 산사태 모두를 포함하여 廣義의 산사태로 취급하여 다루고자 한다.

이러한 산사태를 미연에 방지하거나 혹은 그 피해를 최소한으로 하기 위하여는 산사태 발생지역, 발생시기 및 규모를 잘 예측할 필요가 있다. 이 경우 장시간에 걸쳐 발생하는 산사태는 관측이 가능하지만 순간적으로 발생하는 산사태의 경우는 예측하기가 대단히 어렵다. 종래 일반적으로 행하여지고 있는 변형상태의 관측으로는 지표부분에서 이동, 침하, 경사, 변형률, 균열폭등을 대상으로 조사하고 지중에서는 지중경사, 지하수위 및 배수유량을 대상으로 조사하고 있다. 그 이외에도 최근에는 암석이 파괴하중에 근접하면 발생하는 작은 소리를 탐지하는 방법도 연구되고 있다. 다만, 금후의 연구과제는 이들 관측결과에서 어떻게 산사태 발생시기를 예측할 것인가 이다.

3.3 우리나라 自然災害 실태

우리나라는 매년 각종 자연재해로 인명과 재산상의 막대한 피해를 입고 있다. 우리나라의 자연재해의 원인으로는 태풍, 호우, 폭풍, 폭풍우, 대설, 폭풍설, 우뢰, 해일, 지진등을 들 수 있다.

표 3.1 '78-'87 사이의 자연재해

자연재해	태	호	폭	폭	대	폭	우	해	지	결기	계
발생원인	풍	우	풍	우	설	풍	뢰	일	진	빙	등타
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

표 3.1은 1978년부터 1987년까지 10년간 우리나라에서 발생된 각종 자연재해의 원인을 정리한 결과이다.⁽³⁾ 이 결과에 의하면 우리나라는 매년 평균적으로 22.4 회의 자연재해가 발생되고 있으며 이 자연재해의 원인중 큰 원인은 호우, 폭풍, 우

되, 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 재해발생 원인은 모두 강우와 관련되어 있으며 이러한 재해중의 상당부분이 산사태 발생에 의한 것이다. 즉 강우와 관련된 자연재해는 전체 자연재해의 77.2%에 달하고 있다.

따라서 우리나라의 경우는 지진과 같은 재해의 발생은 매우 적은 반면 강우로 기인된 자연재해의 발생률은 매우 높음을 알 수 있다.

강우와 관련된 이러한 재해중 호우와 태풍에 의한 재해는 표 3.2에서 보는바와 같이 거의가 6월에서 9월 사이에 집중적으로 발생하였음을 알 수 있다. 즉 1916년부터 1984년까지 69년간의 기록에 의하면 호우와 태풍의 재해는 6월과 9월 사이에 전체의 88.8%가 발생하였다.

표 3.2 호우와 태풍재해의 월별 발생빈도(1916~1984)

월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	계
호우재해(회)	0	1	1	16	15	41	102	93	47	10	2	2	330
태풍재해(회)	0	0	0	0	1	3	23	56	31	2	0	0	116
계(회)	0	1	1	16	16	44	125	149	78	12	2	2	446
비율(%)	0	0.2	0.2	3.6	3.6	9.9	28.0	33.4	17.5	2.7	0.45	0.45	100

우리나라는 세계적으로 다우지역(多雨地域)에 속하고 있는데 위에서 검토한 바와 같이 夏季 강우 집중률이 높은 관계로 산사태가 많이 발생될 수 있는 환경에 놓여있다 하겠다. 더우기 우리나라는 지형상 전국의 1/3이상이 산지로 이루어져 있어 호우시 流出率이 큰 점도 산사태가 많이 발생될 수 있는 소인(素因)이 구비되어 있는 점이라 할 수 있다.

3.4 山沙汰發生原因

산사태의 발생원인을 규명하는 것은 사면붕괴의 발생기구를 파악하여 사전에 산사태발생 위험성을 예측하고 그 대책을 강구하는데 대단히 중요한 사항이다. 대부분의 산사태는 지각운동으로 인한

破碎帶가 많은 지역과 같은 지형 지질의 악조건하에 호우나 폭설이 자주 발생하는 영향에 의하여 발생하게 된다. 이와같이 산사태는 자연사면자체에 취약성(素因)이 있는 지역에 사면외부의 영향(誘因)에 의거하여 발생하게 된다.

그러므로 산사태의 발생원인은 내적요인(잠재적 요인이라고도 부름)과 외적요인(직접적 요인이라고도 부름)의 두가지로 크게 나눌 수 있다. 내적요인으로는 지질, 토질, 지질구조, 지형등의 취약성과 같은 잠재적 취약요인을 열거할 수 있고 외적요인으로는 강우, 융설, 지하수, 하천해안의 침식, 지진 등과 같은 자연적 유인과 절토, 성토 및 댐건설등과 같은 인위적 유인과 같은 산사태 발생의 직접적 동기가 되는 유인을 생각할 수 있다.

3.4.1 內的要因

(1) 地質, 土質 地質構造上 素因

일반적으로 산사태가 일어나기 쉬운 지질로는 第三紀層, 破碎帶, 火山온천지 등을 들 수 있다. 제삼기층은 암석의 생성시대가 비교적 새롭고 고결도가 불충분하기 때문에 암질이 연암이다. 또한 함수율도 매우 크기(15~20%) 때문에 상당 깊이까지 풍화가 진행되어 粘土化되는 성질이 있다. 한편, 파쇄대에서는 지질구조선 혹은 단층선에 따라 암석이 파괴되는 지대로서 이 파쇄대에 산사태가 발생하기 쉽다. 온천지에 발생하는 산사태는 화산암류의 변질에 의한 점토화가 그 원인이 되고 있다. 일본이나 대만과 같은 환태평양구조선 상에 위치한 나라에서는 제삼기층이나 파쇄대에서의 산사태가 많이 발생하지만 우리나라의 경우는 제삼기층이 거의 없어 산사태는 특수한 단층, 파쇄대에 의한 것이 대부분이다.

산사태는 지질구조와도 깊은 관련을 가지고 있다. 즉 대구조선에 따른 파쇄대, 단층, 褶曲, 單斜 구조, 암맥의 관입등은 산사태에 큰 영향을 준다. 특히 단층은 지하수의 공급원이 되기 쉽고 단층면이 붕괴면이 되는 경우도 있다. 또한 일반적으로 암석이 파쇄되어 점토화된다.

(2) 地形上 素因

산사태 지형은 등고선의 혼란으로 그 위치를 지도상에서 판독할 수도 있다. 산사태 지형은 한마디로 말하면 조개껍질을 엮어 놓은 듯한 형태를

나타낸다. 산사태 발생지역은 이전에 붕괴 혹은 산사태에 의하여 생긴 지형의 위치에 재차 이동을 개시하는 것이 대부분이다. 산사태는 지층의 종류나 지질구조의 반영으로 볼 수 있기 때문에 산사태 지형이 직선상, 帶狀의 배열을 하고 있는 것이 많다. 그밖에도 하천 혹은 해안의 침식작용에 의한 사면선단부분이 洗掘되면 상부사면은 안정을 잃어 붕괴된다.

3.4.2 外的要因

(1) 自然的誘因

산사태를 유발시키는 유인중에 가장 큰 것은 물의 영향일 것이다. 강우는 산사태토괴의 단위체적 중량을 증가시키며 동시에 붕괴면에 있어서의 유효응력을 감소시킨다. 즉, 붕괴시키려는 힘의 증가와 저항하려는 힘의 감소가 동시에 일어나는 것이다. 동일한 현상이 지하수위의 상승에 의하여서도 발생한다. 즉, 지하수위가 어느 높이보다 위로 되면 산사태의 발생이 급격히 증가한다.

강우, 融雪, 지하수위등 물이 사면붕괴에 미치는 영향은 크지만 그것은 지역적 특징을 가진 문제로 각 지역의 지질적 특징, 기상적 특징, 지형적 특징 등의 자연현상을 충분히 고려하여 파악하여야 할 것이다. 강우에 의한 산사태는 집중호우시에 많이 발생하며, 일반적으로 급경사 사질토 사면에서 갑작스럽게 발생하는 경우가 많다. 한편, 점토질의 환경사 사면에서도 지속적인 비가 내릴 경우 산사태가 발생하기 쉽다. 융설에 의한 파괴는 다설지대의 융설기에 집중적으로 발생하고 있으나 융설량 및 그 속도와 사면붕괴와의 관계는 완전히 파악되고 있지 않다.

(2) 人爲的誘因

철도, 도로의 건설에 따라 사면을 절토, 성토등 사면내의 응력을 변화시켜 산사태가 발생할 수 있다. 즉, 절토에 따른 전단저항의 저하 혹은 성토하중의 증가에 따른 활동력의 증대 등에 의하여 산사태가 발생된다.

그밖에 터널, 댐 등의 구조물 축조에 의하여도 영향을 받을 수 있다. 즉, 산사태 위험지구에 터널을 굴착하면 산사태가 유발될 수 있으며 댐건설에 따른 담수로 인한 지하수위의 변화나 인위적인 지형변화에 의하여서도 지하수위가 변하면 산사태

의 가능성이 있다.

3.5 降雨와 山沙汰의 關係⁽⁴⁾

우리나라의 경우 대부분의 산사태는 우기에 집중적으로 발생되므로 우리나라 산사태의 발생유인중 가장 큰 요인은 강우임을 예측할 수 있다.

이와같이 강우가 산사태의 가장 중요한 외적유인이 되고 있는 것은 사실이지만 강우강도, 강우지속시간, 누적강우량이 산사태에 어떻게 관련되어 있는가는 아직 확실히 규명되어 있지 못하다. 홍콩의 경우 강우와 산사태의 관계에 있어 과거에는 Lumb에 의한 선행강우량 개념의 해석이 지배적이었으나⁽⁹⁾ Brand 등이 집중연구하여 현재에는 강우강도에 의한 해석이 제안되고 있다.⁽⁶⁾ 그러나 우리나라에서는 몇몇 국부적인 연구를 제외하고 전국적인 규모의 연구는 그다지 알려져 있지 않은 상태이다. 강우특성 및 지형 지질 조건은 각 국가마다 특성을 지니고 있는 관계로 외국의 연구업적을 그대로 우리나라에 직접 사용할 수 없으므로 우리나라의 강우기록과 산사태 발생기록을 연결지어 우리나라의 지역특성에 맞는 산사태 발생기구를 연구 조사할 필요가 있다고 생각된다.

3.5.1 우리나라 降雨特性

우리나라는 기후적 측면으로 보면 열대지역과 한대지역의 경계지역에 위치하고 있으므로 전선, 고기압, 저기압등의 통과가 빈번하다. 따라서 기후적 특색에 따라 다음과 같은 특징을 갖는다.

첫째, 년평균 강우량이 1,100mm~1,400mm로 세계적인 다우지역에 속한다.

둘째, 하계에는 온난다습한 북태평양 고기압의 남동몬순의 영향으로 강우량이 많은 우기가 되고 동계에는 건조한 북서몬순의 시베리아 고기압의 영향으로 건기와 우기의 구별이 뚜렷하다.

셋째, 강우량이 지역적으로 크게 차이를 보이고 있다.

넷째, 계절적으로 강수량의 차이가 심하며 짧은 기간에 많은 강우를 동반한다.

이러한 기후적 특징과 4월에서 7월에 걸쳐 강우를 내리는 온대성 저기압, 8월~9월에 내습하는 열대성 저기압(颱風) 및 이동성 고기압에 의한

강우의 영향, 그리고 북태평양 고기압과 오호츠크 고기압에 의한 전선성 강우(장마)로 인한 강우의 특징을 살펴볼 수 있다.

우리나라의 강우는 년평균 강우량의 약 66%가 6월에서 9월 사이에 집중강우의 형태로 발생하고 있다. 이때 집중되는 강우는 그 형태나 규모에 따라 다음과 같이 크게 두가지로 나눌 수 있다.

그 하나는 집중호우 형태인 이동성 저기압에 의한 영향(혹은 장마성 호우를 포함하는 기압골에 의한 전선성 집중호우)이고 다른 하나는 강우강도에 영향을 받는 태풍에 의한 집중호우의 형태로 구별할 수 있다. 그러나 이러한 특징들은 모두 짧은 기간에 걸쳐 강우가 집중되므로 산사태나 하천범람등의 피해를 유발시키는 요인이 된다. 또한 하계에 발생하는 강우중 집중호우의 양상을 띄는 강우형태는 장마전선에 의한 형태이며 이때 강우는 전선성 강우로 단기간에 걸쳐 쏟아지며 다습하여 우리나라 전지역에 걸쳐 남북을 오르내리며 비를 내리게 된다. 즉 6월에서 7월 사이에 발생하는 강우는 오호츠크 고기압과 북태평양 고기압의 강세에 따라 그 전선이 형성되어 우리나라의 대표적인 우기를 나타내게 된다. 또한 전선성 강우와 이때 형성되는 기압골 사이로 중국대륙에서 생성된 이동성 저기압이 서해를 지나 다습해지면서 전선과 교차될 때 가장 많은 강우를 일으키게 되는데 이때의 강우형태는 집중호우를 이루게 된다. 따라서 우리나라의 년평균 강우중 대부분이 이러한 경우에 발생하고 자연재해를 유발시키게 된다. 한편 태풍은 북태평양 동서쪽 해상에서 발생하게 되는데 산사태도 주로 호우와 태풍의 시기에 많이 발생하게 된다.

3.5.2 地域別 山沙汰 發生特性

1977년도부터 1987년도까지의 산사태 발생자료를 이용하여 산사태 발생일 이전의 누적강우량과 산사태 발생당일의 강우량과의 관계를 비교하여 보면 그림 3.1과 같다. 이들 그림에서는 종축을 산사태 발생당일의 강우량으로 놓고 횡축에는 누적강우량으로 하였다. 누적강우량은 산사태 발생당일 강우량을 포함하지 않은 산사태 발생일 이전의 강우량으로 1일간 누적강우량(그림 3.1(a))과 3일 누적강우량(그림 3.1(b))을 취급하였다.

여기서 산사태가 발생한 지역은 전국을 우리나라의 지역별 강우특성에 따라 3개 지역으로 구분하였다.

우리나라 전지역을 강우 특성별로 분류하면 대개 3개 지역으로 구분할 수 있을 것이다. 첫째로는 경기도, 충청남·북도 및 전라북도의 북부지역으로 구성되는 중서부 지역으로 이지역은 주로 기압골의 영향에 의한 호우지역이다. 둘째로는 경상남·북도 전라남도 및 전라북도의 남부지역으로 구성되는 영·호남지역으로서 태풍의 영향을 많이 받는 지역이다. 셋째로는 상부 태백산맥의 산악지대로 강원도를 중심으로한 영동지역으로 강우량이 비교적 적은 지역이다.

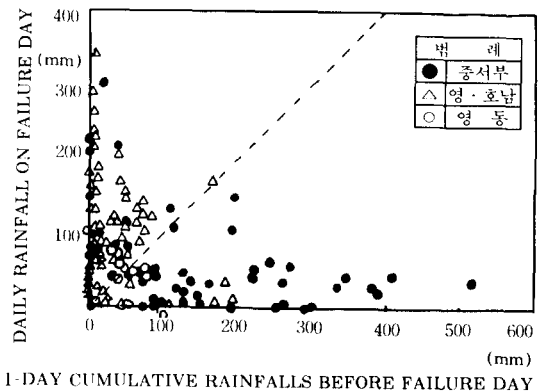


그림 3.1 (a) 당일강우량과 전일 누적강우량의 비교

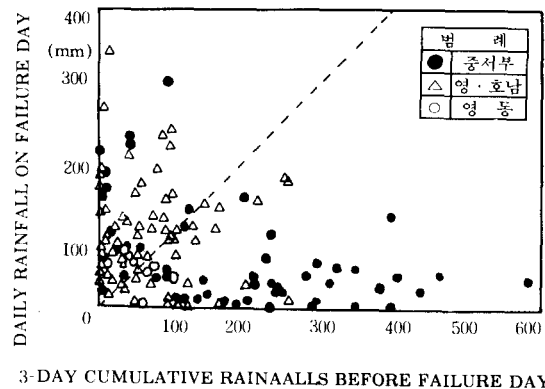


그림 3.1 (b) 당일강우량과 3일 누적강우량의 비교

그림 3.1에서 보는바와 같이 중서부지역에서 발생된 산사태는 중앙경사선(점선) 하부에 주로 도시되므로 당일강우량에 비하여 누적강우량이

큰 것으로 나타나고 있다. 따라서 이 지역에서의 산사태는 당일강우량보다는 누적강우량에 영향을 많이 받은 것으로 생각된다.

한편 영·호남 지역에서는 그림 3.1에서 보는바와 같이 중앙경사선 상부에 주로 도시되므로 당일 강우량의 영향이 3일 누적강우량의 영향보다 큰 것으로 나타나고 있다. 따라서 이 지역에서의 산사태는 누적강우량보다는 산사태 발생당일의 강우량에 의하여 발생된 것으로 생각된다.

이들 결과를 우리나라 강우특성과 비교해보면, 중서부지역은 기압골 형성에 의한 집중호우의 누적강우량에 영향을 받아 산사태가 많이 발생하는 것으로 생각되며 영·호남지역은 태풍시 동반되는 집중호우로 인한 당일강우량의 영향으로 인하여 산사태가 많이 발생된다 할 수 있을 것이다.

한편 영동지역으로 구별되는 강원도 지역의 누적강우량과 당일강우량의 상관관계를 살펴보면 그림 3.1에서 보는바와 같이 100mm 이내에서 중앙경사선 상하부에 고루 분포하고 있음을 알 수 있다. 따라서 이 지역의 산사태 발생특성은 당일과 누적의 강우량 영향을 거의 비슷하게 받음을 알 수 있다.

한편 강우강도는 산사태 발생에 있어서 선행누적강우량의 개념 못지않게 중요할 것이다. 선행누적강우량의 영향을 많이 받는 중서부지역에 속하는 일부지역의 측후소를 선별하여 강우강도와 산사태의 상관관계를 조사하여보면 그림 3.2와 같다. 그림중 종축의 좌측은 최대시간강우강도로서 막대그래프로 표시하였고 종축의 우측은 누적강우량으로 실선으로 표시하였다. 파괴일을 기준으로 전일과 당일의 강우량을 최대시간강우강도와 누적강우량으로 표시함으로써 그 특징을 살펴보고자 한다.

먼저 1987년 대전측후소 주변지역에서는 그림 3.2(a)에서 보는바와 같이 논산에서 13개소, 공주에서 37개소, 연기군에서 5개소, 대덕군에서 13개소, 대전에서 4개소의 총 72개소의 산사태가 7월 23일 발생하였으며 이 지역의 강우량은 최대시간강우강도가 53mm, 전일누적강우량이 302mm였다. 반면 같은 해 같은 날짜에 대천 측후소 주변 지역에서는 그림 3.2(b)에서 보는 바와 같이 청양

에서 10개소, 보령에서 10개소, 서천에서 22개소, 대천에서 1개소의 총 43개소의 산사태가 발생하였다. 이 시기의 강우량은 최대시간 강우강도가 36mm, 전일누적강우량이 392mm였다.

전일강우량은 대전측후소 주변지역이 대전측후소 주변지역보다 많으나 산사태는 전일의 최대시간 강우강도가 큰 대전측후소 주변지역에서 더 많이 발생되었다. 이 두지역의 기록을 비교하여 봄으로써 알 수 있는 것은 선행누적강우량이 산사태에 영향을 많이 미치는 지역에서 선행최대시간 강우강도는 피해규모에 큰 영향을 미치고 있다고 사료된다. 따라서 산사태는 선행누적강우량과 선행 강우강도 모두에 영향을 받는다고 할 수 있다.

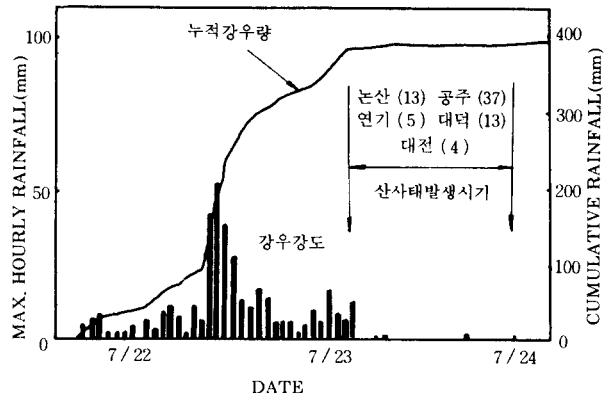


그림 3.2 (a) 1987년 대전측후소 주변지역 강우기록

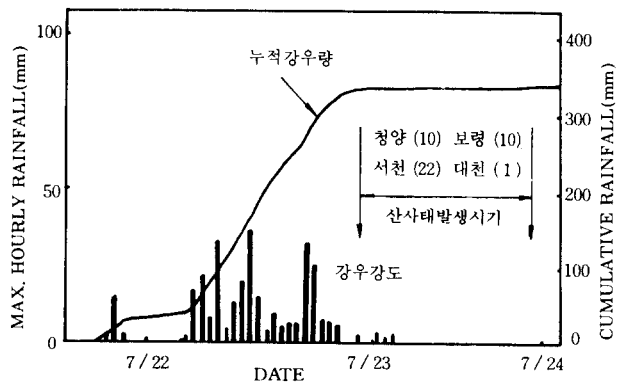


그림 3.2(b) 1987년 대천측후소 주변지역 강우기록

3.5.3 山沙汰의 發生規模

이상에서 검토한 바에 의하면 산사태는 누적강우량과 강우강도 모두에 영향을 받고 있음을 알

수 있다. 따라서 이들 두 요소를 함께 고려하여 산사태 발생기구를 조사할 필요가 있다고 생각한다. 산사태 발생규모별 최대시간강우강도와 누적강우량의 상호관계를 알기 위해 전국에서 발생한 산사태를 발생회수에 따라 소규모(minor), 중규모(severe), 대규모(disaster)로 구분하여 검토하면 그림 3.3과 같다. 여기서 소규모 산사태는 동일한 축수소 주변지역에서 동일한 날에 산사태가 1~3개소에서 발생한 경우이고, 중규모 산사태는 4~19개소에서 발생한 경우이며, 대규모 산사태는 20개소 이상에서 발생한 경우로 구분하였다. 그림 중 누적강우량은 산사태 발생당일과 전일의 2일간의 누적강우량을 나타내고 있다. 산사태의 규모는 산사태가 발생된 면적에 따라 서로 구별될 수 있으나, 우리나라의 경우는 북유럽이나 일본에서와 달리 수백 m에서 수 km의 영역에 이르는 대규모 산사태는 거의 발생되지 않으므로 발생회수에 따라 산사태 규모를 결정하는 Lumb⁹⁾의 구분방법을 응용하기로 한다.

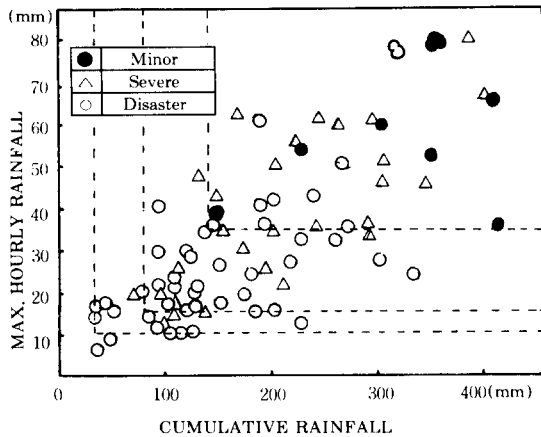


그림 3.3 산사태 발생규모별 최대시간 강우강도와 누적강우량(전일+당일)의 상관도

이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 소규모 산사태는 최대시간강우강도가 10mm 및 누적강우량이 40mm를 초과하면 발생되기 시작하고 중규모 산사태는 최대시간 강우강도가 15mm 및 누적강우량이 80mm를 초과하면 발생되기 시작함을 알 수 있다. 또한 대규모 산사태는 최대시간강우강도가 35mm 및 누적강우량이 140mm를 초과하면

발생되고 있음을 알 수 있다.

이 결과는 금후 강우로 인한 산사태 경보기준으로 활용될 수도 있을 것이다. 즉 경보시점을 기준으로 이틀간(48시간) 거슬러 올라간 기간동안의 누적강우량이 40mm에 도달하거나 강우강도가 10mm에 도달하면 소규모 산사태가 발생할 가능성이 있음을 주의시킬 필요가 있으며, 누적강우량이 80mm 이상 강우강도가 15mm가 되면 중규모의 산사태가 발생할 가능성이 많음을 주의시킬 수 있고, 누적강우량이 140mm 이상 강우강도가 35mm 이상이 되면 대규모 산사태 경보를 내릴 수 있을 것이다.

3.6 山沙汰의 防止對策

산사태가 발생하지 않게 하기 위한 대책공법을 방지가능별로 구분하여 보면 다음과 같다. 즉 강우, 융설등과 같은 물의 영향에 의하여 사면의 안전률이 감소하는 것을 방지하는 방법과 불안정하게 판단된 사면의 안전률을 말뚝등의 저항력을 이용하여 증가시켜 주는 방법이다. 전자는 산사태를 발생시키는 직접적 유인으로부터 사면을 보호하는 소극적 대책방법이라 할 수 있으며 후자는 산사태의 잠재적 요인을 개선시키는 적극적 대책 방법이라 할 수 있다.

3.6.1 安全率減少防止法

평상시 안전한 사면이라도 위에서 열거한 여러 가지 자연적 원인에 의하여 사면의 안정이 감소되어 종국에는 산사태가 유발될 수 있다. 따라서 산사태를 방지하려면 이러한 자연적 유인으로부터 사면을 보호하여야 한다. 자연적 작용의 대표적 예로는 우수나 융설수의 침식작용과 비탈면의 풍화작용을 들 수 있다. 이러한 작용으로부터 사면을 보호하기 위하여는 비탈면을 공기중에 노출시키지 말고 여러가지 방법으로 피복시켜 줄 필요가 있다. 또한, 지중에 침투된 물은 즉각 배수될 수 있게 하여 사면의 활동력 증가 혹은 저항력 감소에 물의 영향이 미치지 못하게 처리하여야 한다.

이 방법은 일명 억제공(抑制工)이라고도 불리며 대체로 다음의 4가지 방법이 사용되고 있다.

1) 배수공

2) 블럭공 및 격자블럭공

3) 植生工

4) 표층 안정공

(1) 배수공

자연사면의 안정성에 있어서 물의 영향은 매우 크다. 왜냐하면, 사면속의 물은 지반의 강도를 저하시켜 사면의 활동을 촉진시키기 때문이다. 따라서 사면의 안정에 영향을 미치는 요소인 이 물의 영향을 되도록 받지 않도록 강구하는 것이 사면의 안정을 유지시킬 수 있는 방법중의 하나일 것이다.

배수공으로는 지하에 물이 침투하지 않도록 하는 방법과 사면에 침투한 물을 지하로부터 효율적으로 배제하는 두가지가 있다. 전자를 지표수배제공이라고 하고 후자를 지하수배제공이라 한다.

배수공을 사용하였을 경우의 사면안전률은 분할계산법에 의하여 식(3.1)과 같이 표현될 수 있다.

$$(F_s)_{\text{slope}} =$$

$$\frac{\tan\phi\{\sum W_n \cos\alpha_n - \sum(U_n - h_n)\} + cL}{\sum W_n \sin\alpha_n} \quad (3.1)$$

여기서 ϕ 와 c 는 흙의 내부마찰각과 점착력이며, L 은 활동면 길이이다. 또한 W_n , α_n , U_n 및 h_n 은 각각 각절편의 활동체중량, 활동면의 구배, 간극수압 및 배수효과이다.

식(3.1)중 h_n 이 증대하면 사면안전률이 증대하게 된다. 즉 배수공은 배수효과 h_n 을 증대시키는 것이 목적이다.

배수공은 사면안전률을 증가시키는 역할을 할 수 있으므로 두번째 방법인 안전률 증가법으로 생각할 수도 있으나, 이는 원래 안전률이 높은 상태에 있는 사면이 물의 영향으로 안전률이 일시적으로 감소된 것을 회복하는 것에 지나지 않으므로 안전률감소방지법으로 분류함이 타당할 것이다.

또한 이 방법은 수로가 변하거나 배수파이프가 막히는 등 미래까지 확실한 효과를 발휘할 수 있는 가는 의문이다. 따라서 배수공은 어디까지나 안전률증가법의 보조공으로 사용하는 것이 바람직하다.

지표수배제공으로는 침수방지법, 수로공, 압거공 등을 들 수 있으며 지하수배제공으로는 횡보링공, 집수정공 및 배수터널등을 들 수 있다.

(2) 블럭공 및 격자블럭공

사면의 지면이 공기중에 노출된 상태 그대로 방치되면, 풍우나 지하수등에 의하여 침식되어 종국에는 붕괴하게 된다. 따라서 사면을 블럭모양이나 격자모양 블럭등으로 덮어서 사면안정을 도모하는 공법이 블럭공법 및 격자블럭공법이다.

블럭공법에는 프리캐스트 콘크리트 블럭(pre-cast concrete block)이나 블럭石 이외에 동일한 목적으로 설치되는 연속 콘크리트보와 같은것도 블럭공법에 포함된다.

(3) 植生工

경사면을 식물로 피복하므로써 우수에 의한 침식을 방지하여 경사면을 보호하려는 공법이다. 경사면 보호공으로 가장 보편적으로 사용되며 아직까지도 사용빈도가 높은 공법이다. 그 가장 큰 이유는 비교적 경제적인점과 경사면 보호공으로 효과가 있기 때문으로 생각된다.

(4) 표층안정공

주입재를 주입하여 불안정한 토질의 안정도를 향상시키고 지하수나 침투수의 유입을 막아 사면 지반이 불안정하게 되는 것을 막아주는 공법이다.

이 방법중에는 주입공법만이 아니라 어느 정도의 강도나 강성을 가지는 재료를 병용하여 강도를 보강시키는 공법도 있다.

주입공법에 사용되는 주입재에는 많은 종류가 있으나 시멘트계(粒子그라우트) 시멘트약액계(입자용액그라우트), 약액계(용액그라우트)로 크게 나눌 수 있다. 시멘트 그라우트가 가장 사용하기 쉽고 신뢰성이 높고 경제적이다. 주입은 통상 보링공을 통하여 지반내에 압입하나, 재료는 지반에 따라 주입가능한 것을 선택하지 않으면 안된다. 또한 주입한 것이 피압수나 지하수, 침투수등에 의하여 흘러가면 안된다.

또한 주입압이 지나쳐서 지반을 파괴하거나 전단강도를 저하시키지 않도록 주의하여 한다. 따라서 효과적인 주입을 실시하기 위하여는 그라우트의 종류, 주입압, 그라우트의 크기와 양, 목적, 경제성등을 신중히 고려하여야 한다.

이 방법을 보다 적극적으로 사용할 경우 안전률 증가법의 억지공으로 분류될 수 있으나 주입액의 효과기대가 아직 불명확하여 보조적인 수법으로

사용됨이 안전하다고 생각된다.

3.6.2 安全率增加法

현장 조사 등에 의하여 불안전함이 판명된 사면은 안전율을 증가시킬 수 있는 대책이 마련되어야 할 것이다. 이러한 대책으로는 두가지 종류의 방법이 이용될 수 있다. 하나는 사면의 활동에 저항시키기 위한 저항력을 증가시켜 주는 방법이고 다른 하나는 사면이 안전하도록 사면의 활동력을 감소시켜 주는 방법이다.

우선 저항력증가공법으로는 말뚝, 앵커, 옹벽, 흙 등을 사용하여 이들 재료의 전단, 휨, 인장, 압축등의 역학적 저항특성을 이용하는 物理的方法과 지반안정약액을 사용하여 직접 지반의 강도를 증가시켜 줌으로서 사면활동에 저항하도록 하는 化學的方法을 들 수 있다.

한편, 활동력 감소법으로는 사면 頂部の 흙을 제거시키는 切土工과 사면의 경사를 보다 완만하게 변경시키는 사면구배 변경法을 들 수 있다.

이 방법은 일명 억지공(抑止工)이라고도 불리며 대체로 다음 방법이 사용된다.

- 1) 말뚝공법
- 2) 앵커공법
- 3) 옹벽공
- 4) 절토공
- 5) 압성토공

(1) 말뚝공법

이 공법은 사면의 활동토괴를 관통하여 부동지반까지 말뚝을 일렬로 설치하므로써 사면의 활동하중을 말뚝의 수평저항으로 부동지반에 전달시키는 공법이다. 이러한 억지말뚝은 수동말뚝(passive pile)의 대표적 예중에 하나로 활동토괴에 대하여 역학적으로 저항하는 공법이다. 이 공법은 사면안정률증가 효과도 커서 우리나라에서도 최근에는 사용되는 횡수가 늘어나고 있는 경향이다.⁽¹³⁻¹⁵⁾

말뚝의 거동은 말뚝과 주변지반의 상호작용에 의하여 결정된다. 말뚝의 사면안정 효과를 얻기 위하여는 말뚝과 사면 둘다의 안정성이 충분히 확보되도록 말뚝의 설치위치, 간격, 직경, 강성, 근입깊이등을 결정하여야만 한다.

억지말뚝을 일렬로 설치하여 사면안정을 도모한 경우의 개략도가 그림 3.4와 같으며 사면안전률은

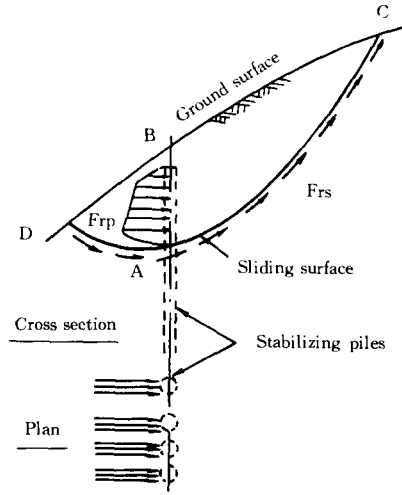


그림 3.4 산사태 억지말뚝공

식(3.2)와 같이 구한다.⁽⁶⁻⁸⁾

$$(F_s)_{\text{slope}} = \frac{F_r}{F_d} = \frac{(F_{rs} + F_{rp})}{F_d} \quad (3.2)$$

여기서 F_r 과 F_d 는 사면의 저항력과 활동력이며, F_{rs} 는 사면과피면의 전단저항력이고 F_{rp} 는 말뚝의 저항력이다.

(2) 앵커공법

앵커공법은 고강도 강재를 앵커재로하여 보링공내에 삽입하여 그라우트주입을 실시하므로써 앵커재를 지반에 정착시켜 앵커재 두부(頭部)에 작용한 하중을 정착지반에 전달하여 안정시키는 공법이다. 이 공법은 구미 각국에서 오래전부터 많이 사용되어 오고 있다.

앵커공법은 고강도의 강재를 사용하여 프리스트레스를 가하는 점에 공법의 특징이 있다고 생각된다. 이 프리스트레스를 가하는 장점은 정착된 구조물에 하중이 작용하는 경우 구조물의 변위를 0으로 혹은 미소하게 할 수 있는 점이다.

앵커공법 사용시의 사면안전률은 식(3.3)과 같이 구한다.

$$(F_s)_{\text{slope}} = \frac{F_w + F_t + T_t + C}{W_t} \quad (3.3)$$

여기서 $W_t = W \sin \beta$

$$F_w = \mu W \cos \beta$$

$$T_t = T \cos \beta$$

$$F_t = \mu T_n = \mu T \sin \beta$$

$$C = cl$$

이때 W는 활동토괴의 중량, T는 앵커인장력, α 는 활동면의 구배, β 는 활동면과 앵커의 사이각, $\mu (= \tan \phi)$ 는 마찰계수, c는 점착력이다.

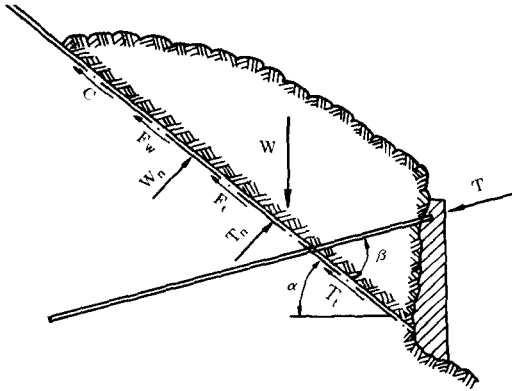


그림 3.5 앵커의 효과

(3) 옹벽공

옹벽은 주로 자연사면 선단부에 도로를 축조하거나 주택단지를 조사할 경우 사용한다.⁽¹⁶⁾ 그러나 이 옹벽 자체로는 배면의 자연사면의 안정을 기대할 수 없다. 따라서 이 경우는 반드시 배면의 안정을 검토한 후 불안정으로 판단되면 말뚝공이나 앵커공등으로 배면의 사면안정을 도모하여 준 후 옹벽을 설치하여야 한다.

(4) 절토공

절토공은 산사태 토괴중 활동하려는 토사를 제거하여 활동하중을 경감시켜 사면안정을 도모하는 공법이다. 활동토괴를 제거하므로써 확실한 안정공법으로 여겨지나 필자의 과거 경험에 비추어 보면, 절토를 실시하였음에도 불구하고 수차례에 걸쳐 파괴가 발생하여 결국에는 역지말뚝이나 앵커로 지지시킨 예가 많으므로(그림 3.6 참조) 지중의 잠재적인 내적취약점을 명확히 조사하기 전에는 안심을 할 수 없는 공법이다. 특히 대규모 산사태의 경우, 굴착토량이 막대하고, 경제성, 시공성의 면에서 어려운 점이 있다. 그러나 중소규모의 산사태의 경우는 주의하여 사용할 수도 있을 것이다.

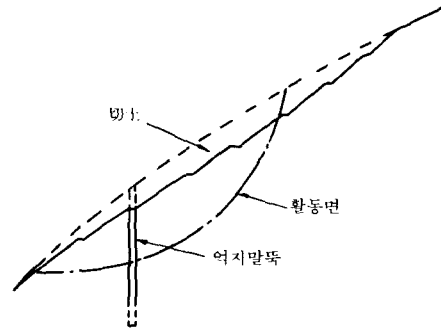


그림 3.6 절토공과 역지말뚝공

(5) 압성토공

이 공법은 산사태가 우려되는 자연사면의 선단부에 토사를 성토하여 활동에 저항할 수 있는 저항력을 증가시켜 주는 공법이다.(그림 3.7 참조)

그러나 이 공법을 사용하는데는 여러가지 제약을 받는다. 예를들어 사면선단부가 하천에 연하여 있거나 민가나 도로에 근접하여 있어 성토할 수 있는 용지가 없거나 성토용 토사를 조달하기가 곤란한 경우등이다. 그러나 대규모 절토에 의하여 발생한 산사태의 경우에는 토사를 다시 성토할 수 있으나 이는 일시적일 뿐이다.

이 공법의 문제점은 압성토에 의하여 사면선단부의 투수성이 나빠져서 수위가 상승하는 경우가 많다. 이 경우 사면파괴에 대한 저항력을 감소시키는 경우도 발생하게 된다. 따라서 집수정이나 수평보링에 의하여 지중수를 배제할 필요가 있다.

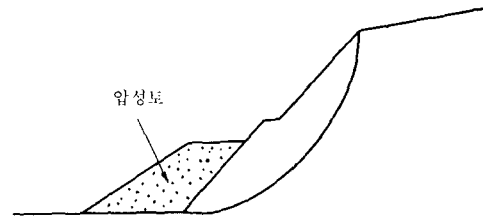


그림 3.7 압성토공

參 考 文 獻

1. 金翔圭(1988): "斜面安定(I)", 講座, 大韓土質工學會誌, 4(1), 90-101.
2. 李相泰(1987): "災害統計," 大韓土木學會誌, 35(3), 56-61.

3. 허상목(1988): “風水害現況과 對策”, 민방위 학교교재.
4. 洪元杓. 金翔圭. 金마리아. 金潤遠. 韓重根(1990): “降雨로 기인되는 우리나라 斜面滑動의 예측”, 大韓土質工學會誌, 6(2), 55-63.
5. Brand, E.W.(1985): “Predicting the performance of residual soil slopes”, Proc., 11th ICSMFE, Sanfrancisco, 2541-2573.
6. Hong, W.P.(1986): “Design method of piles to stabilize landslides”, Proc., Int. Symp. on Environmental Geotechnology, Allentown, PA. 441-453.
7. Ito, T., Matsui, T. and Hong, W.P.(1981): “Design method for stabilizing piles against landslide-One row of piles”, Soils and Foundations, 21(1), 21-37.
8. Ito, T., Matsui, T. and Hong, W.P.(1982): “Extended design method for multi-row stabilizing piles against landslides”, Soils and Foundations, 22(1), 1-13.
9. Lumb, P.(1975): “Slope failures in Hong Kong”, Quarterly Journal of Engineering Geology, London, 8, 31-65.
10. Sassa, K.(1985): “The geotechnical classification of landslide”, Proc., 4th Int. Conf. and Field Workshop on Landslides, Tokyo, 31-40.
11. Skempton, A. W. and Hutchinson, J.N.(1969): “Stability of natural slopes and embankment foundations”, State-of-the-Art, Proc., 7th ICSMFE, 2, 291-340.
12. Varnes, D.J.(1978): Slope Movement Types and Processes, Landslides Analysis and Control, Special Report 176, Transportation Research Board, Washington, D.C.
13. 大韓土木學會(1987): “정선병원 절토사면 안전진단 연구 보고서”
14. 大韓土木學會(1987): “장복로 사면붕괴 방지 대책 연구용역 보고서”
15. 大韓土質工學會(1989): “大韓住宅公社 釜山德川地區 斜面安定檢討 研究 用役 報告書”
16. ASCE(1982): Application of Walls to Landslide Control Problems.