

사면재해의 발생원인과 대책

이 영 남 (현대건설기술연구소 연구위원)

심 해 식 (국방부 시설국 건설기술과)

류 지 협 (한려대학교 토목공학과 전임강사)

1. 서 론
 2. 사면재해의 유발요인
 - 2.1 강우특성
 - 2.2 지질
 - 2.3 지형
 - 2.4 임상
 - 2.5 절토, 성토
 3. 사면재해의 파괴형태
 - 3.1 자연사면의 파괴형태
 - 3.2 절개사면의 파괴형태
 4. 사면재해의 발생 기구(mechanism)
 - 4.1 사면모형실험
 - 4.2 현장계측
 - 4.3 사면재해 지역의 해석
 5. 사면재해의 예지 기술
 - 5.1 재해 위험지역의 선정과 평가
 - 5.2 강우를 이용한 사면재해의 예, 경보
 6. 사면재해 대책공법
 - 6.1 안전율유지법과 안전율증가법
 - 6.2 대책공법의 선정기준
 7. 결 론
- 참고문헌

사면재해의 발생원인과 대책

이 영 남 현대건설기술연구소 연구위원
심 해 식 국방부 시설국 건설기술과
류 지 협 한려대학교 토목공학과 전임강사

1. 서 론

세계 각국은 매년 기상이변으로 인한 자연재해로 많은 인명과 재산피해를 입고 있다. 우리나라는 지리적으로 반도에 위치함으로써 대륙성 기후와 해양성 기후의 영향을 같이 받고 있으며 복잡한 산악지형으로 국지적인 기상 영향을 많이 받는 특성이 있다. 또한 매년 대부분의 강우가 여름에 집중되는 강우특성을 갖고 있다.

우리나라의 자연재해는 대부분 풍수해에 의하여 발생한다. 최근에는 강우시 자연사면이 갑자기 붕괴되는 산사태와 더불어 국토개발의 영향으로 형성된 절개사면과 축대에서 붕괴사고가 빈번히 발생하고 있으며, 특히, 올해는 엘니뇨의 영향으로 전국에서 산발적, 국지적인 집중호우로 자연사면에서 발생하는 산사태로 인한 많은 인적, 물적 심각한 피해를 겪은바 있다.

우리나라에서 사면재해에 대한 연구는 1970년대 부터 임학분야에서 수행되어 왔으나, 이후 절개지의 붕괴에 의한 인명피해가 증가함에 따라 지반공학분야에서도 많은 관심을 가지게 되었다.

일반적으로 사면재해에 관한 연구는 발생원인을 우리 나라의 강우, 지형, 지질과 같은 환경적 특성을 바탕으로 규명하고 이를 바탕으로 사면재해를 예, 경보할 수 있는 방법과 잠재적인 사면재해의 예상지역에 대한 안정성을 평가하고 그 위험성(risk)을 해석하여 적절한 안정대책을 세우는 종합적인 연구가 수행되어야 사면재해로 인한 피해를 감소시킬 수 있다. 우리나라에서는 산림청, 건설부, 국방부, 국립방재연구소 등에서 사면재해로 인한 피해를 경감하기 위한 연구를 수행하고 있다.

본 논문은 최근까지 현장조사와 모델실험, 현장계측을 바탕으로 밝혀진 사면재해의 발생원인과 이를 바탕으로 제안된 예지기술 및 대책공법을 소개한다. 이러한 사면재해에 관한 일련의 연구는 이후 사면에 대한 관리능력을 향상시켜 사면재해로 인한 피해를 감소시키는데 기여할 것이다.

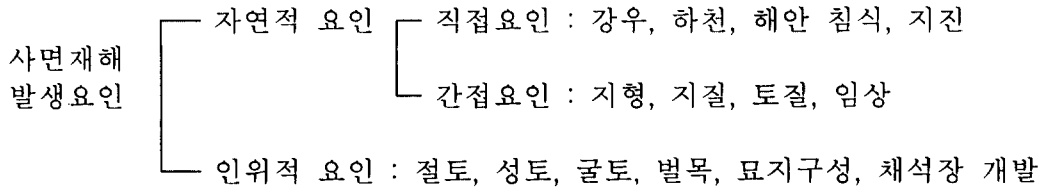
2. 사면재해의 유발요인

우리나라에서 사면재해로 인한 인명과 재산의 피해는 자연사면보다 대부분 인구 밀집지역인 도심지의 절개사면에서 발생한다. 이와 같은 사면재해는 도로, 주거단지 등을 위해 지형이 변경된 후 집중호우에 의하여 발생한 사면재해이다. 표 1은 최근 20명 이상의 인명피해를 가져온 사면재해 발생통계이며 1977년 안양, 시흥 사면재해에서 가장 많은 인명피해가 발생하였다.

표 1. 20명 이상의 인명피해를 가져온 사면재해

일 자	위 치	사망자수
1963. 6. 24-25	경상남도 장승포	69
1965. 7. 16-17	경기도 포천	55
1965. 8. 12	부산	21
1969. 8. 4	강원도 화천	60
1969. 9. 14-15	경상남도 김해	39
1969. 9. 15	경상남도 창령	70
1972. 8. 19	서울 평창동	90
1976. 8. 13-15	강원도 원주	20
1977. 7. 8	경기도 안양, 시흥	122
1979. 8. 5-6	강원도 평창	23
1979. 8. 25-27	경상남도 진해	38
1985. 7. 5	부산 문현동	36
1987. 7. 27	서울 시흥동	20
1991. 7. 21	경기도 용인, 안성	45
1996. 7. 25-28	경기도 연천, 철원	57

사면재해는 자연에 적응해 지표가 안정화되는 과정이나 국토개발과 같은 인위적인 자연의 파괴과정에서 발생한다. 따라서 사면재해를 유발하는 요인도 다양하며 이러한 요인들은 서로 관련이 있기 때문에 어느 하나의 요인에 의하여 사면재해의 발생을 설명할 수는 없다. 사면재해는 강우, 지형, 지질, 토질, 임상 등의 자연적 요인과 국토개발에 따른 절, 성토 등 인위적 요인에 주로 영향을 받아 발생한다. 산사태의 발생에 대한 이해를 높이기 위해서는 이러한 요인들에 대한 자세한 고찰이 필요하다.



2.1 강우특성

강우는 사면재해의 발생에 가장 중요한 원인이다. 우리나라는 기상학적으로 다우 지역에 속하여 연평균 강우량은 1,200~1,400mm 정도이며, 강우는 매년, 지역마다 또는 계절적으로 다르게 발생하는 특성을 보인다. 그림 1.은 1916~1984년 까지 일 80mm 이상의 강우량을 월별로 나타낸 것이다.

우리나라의 강우는 대부분 6~9월에 편기되어 내리고 그 중에서도 7, 8월에 집중됨을 알 수 있다. 최근 우리나라에서는 지역적인 집중호우가 내리는 경우가 많아 사면붕괴 피해가 발생하는 경향이 있으며 이러한 집중호우는 이동성 저기압(강우전선), 열대성저기압(태풍)에 의하여 발생한다. 따라서 강우와 사면재해 발생과의 통계적인 연구를 통하여 강우량으로 사면재해의 발생을 예, 경보 할 수 있는 기준이

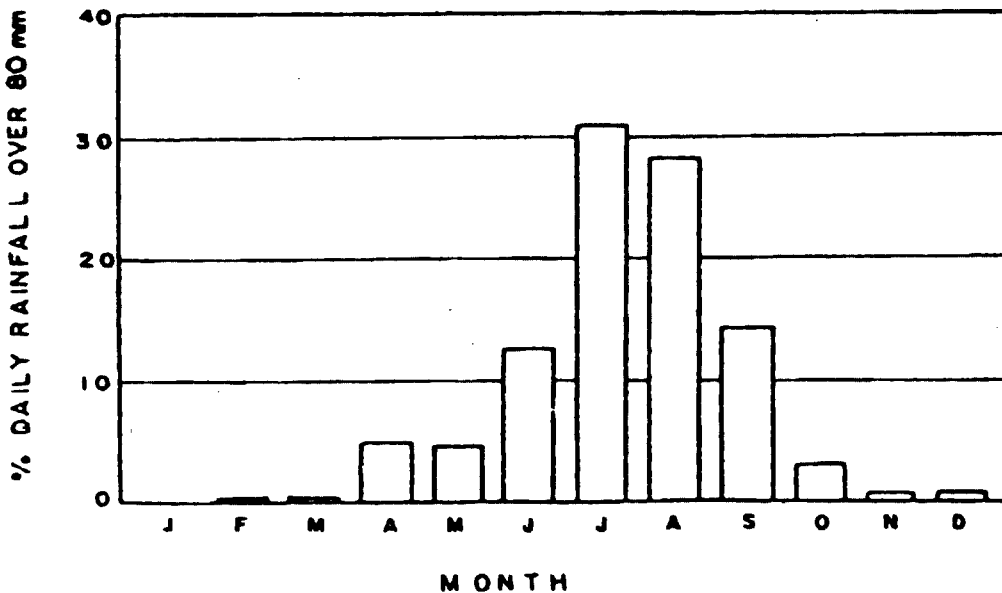


그림 1. 일강우량 80mm이상의 월별분포(1916~1984)(건설부, 1984)

연구자들에 의해 제안되는것데 시우량 30mm이상, 일우량 140mm이상이면 사면재해가 발생할 확률이 매우 높은 것으로 평가되었다.

그림 2는 1987년 발생한 3개월간의 누적강우량과 산사태의 분포를 나타낸다. 그림 2에 알수 있듯이 누적강우량이 많을수록 산사태의 규모도 비례하여 커졌음을 알수 있으며, 어느 한계강우 이상이 내리면 전국 어느곳에서도 산사태가 발생할 수 있음을 알 수 있다. 강우가 내리면 유출수에 의하여 지표면이 침식되고 침투수로 인하여 체체의 단위중량이 증가하며 토층과 암반층 사이에서 임시지하수위가 발전한다. 이러한 현상은 궁극적으로 사면의 안정성을 감소시켜 사면재해를 촉진시키는 원인이 된다.

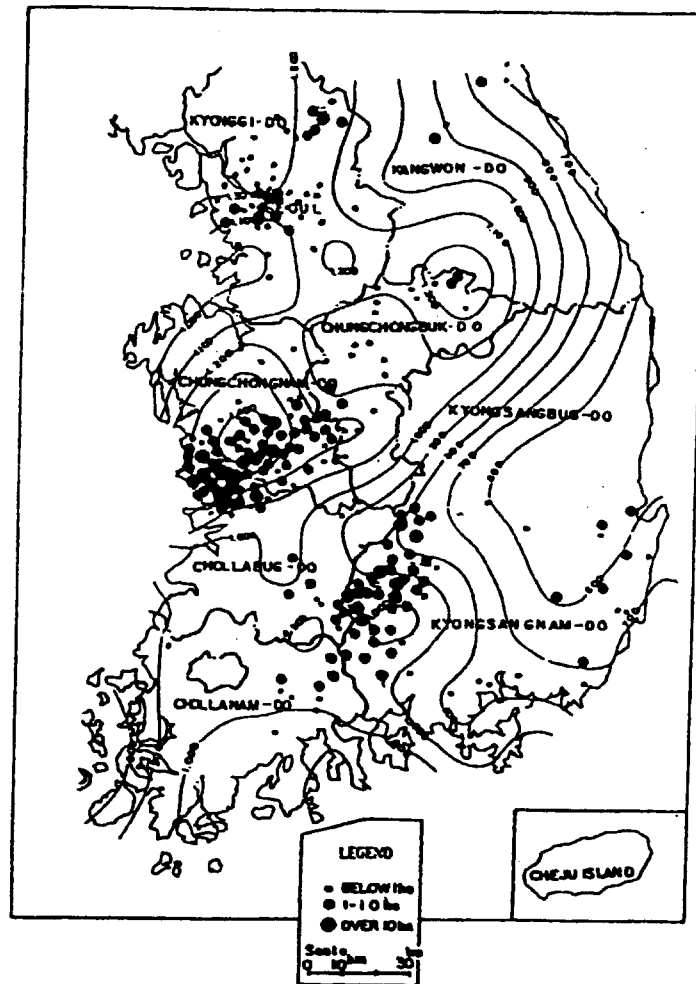


그림 2. 1987년 산사태의 분포와 3개월간의 누적강우량(건기원, 1989)

2.2 지질

우리나라의 사면재해는 토사층과 암반층의 불연속면에서 많이 발생한다. 우리나라를 형성하는 지질은 시생대로부터 중생대 시대의 암석으로 구성되어 풍화깊이가 얇은 특징을 보이며, 자연사면에서 사면파괴는 마치 산꺾질을 벗긴 것과 같은 형상을 보인다. 그림 3은 김옥준(1982)에 의해 작성된 한국의 지체구조이다. 이를 설명하면 다음과 같다.

- 경기육괴 : 한국에서 가장 오래된 경기편마암 복합체이며 심한 화강암화작용과 여러번의 변성작용을 받아 암상의 변화가 매우 심하다.

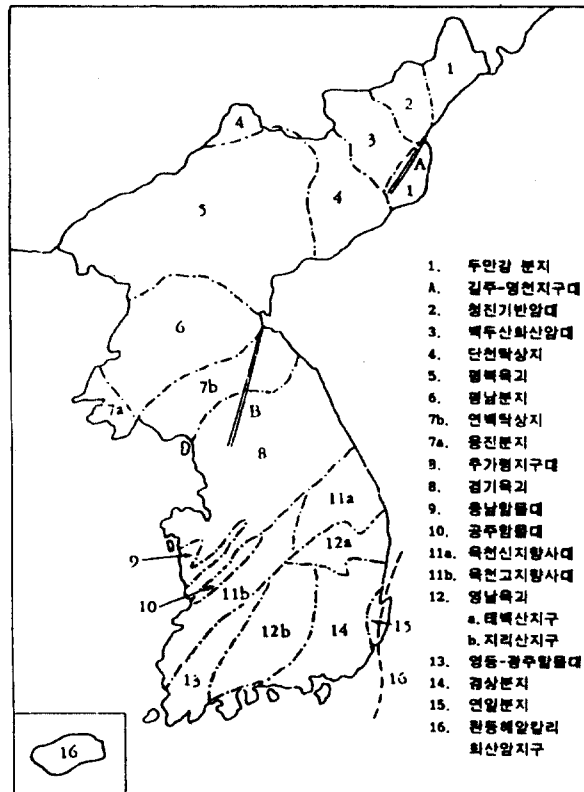


그림 3. 우리나라의 지체구조도(김옥준, 1982)

- 영남육괴 : 선캠브리아 누대의 오래된 암석으로 영남 북동부에서 지리산까지 넓게 분포하며 지리산지역은 변성암류가 분포하고 태백산지역은 운모편암, 규암이 분포한다.
- 옥천지향사대 : 충주에서 남서방향으로 이리까지 분포하며 주로 천매암, 운모편암, 규암, 사암, 점판암으로 구성된다.
- 경상분지 : 경상남북도에 분포하며 주로 퇴적암인 역암, 혈암, 이암의 호층으로 구성된다.
- 영일분지 : 포항의 주위에 소규모로 분포하며 제3기에 퇴적된 지층으로 아래에 역암과 상부에 혈암으로 구성된다.
- 화산암지구 : 제주도에 분포하며 제3기의 사암, 이암이 얇게 분포하며 그 위, 아래에 제 4기의 화산분출암인 조면암과 현무암으로 구성된다.

우리나라에서 사면재해의 발생에 대한 지질학적 영향은 두가지 요인, 지질구조적 요인과 암석학적 요인으로 설명될 수 있다.

(1) 지질구조적 요인

- 단층 : 단층에 의한 파쇄대는 풍화가 빨리 진행되어 연약한 층을 형성하고 지하수로 작용하여 사면재해의 발생을 촉진한다.
- 절리 : 암의 생성기인, 외부적 작용 등에 의해 생성되며 절리경사방향과 사면의 경사방향이 같은 경우 사면의 안전성은 감소한다.
- 풍화암 : 풍화도가 높을수록 단위중량과 마찰각이 감소하고 물을 많이 흡수하게 되어 전단저항력의 감소에 의한 사면파괴가 발생한다.

(2) 암석학적 요인

- 변성암 : 엽리방향과 절리가 사면의 안정성에 영향을 많이 주며 특히, 식생, 수분, 사면의 경사와 상호관련을 갖는다.
- 퇴적암 : 퇴적암중에서 특히 혈암이 투수성이 큰 사암, 석회암 등과 호층으로 구성된 경우 사면재해 발생 가능성이 크다.
- 화성암 : 변성암과 퇴적암에 비하여 가장 사면재해 발생도가 작은 암석이나 특히, 분출암에서 사면재해 발생 가능성이 높다.

2.3 지형

우리나라의 지형은 오랜 기간동안 지각이 융기와 침강을 거듭한 지각변동에 의하여 동쪽이 산악지형을 이루고 서쪽은 평야지대를 형성한다. 우리나라의 지질은 만장년기에 속하여 산악지의 지형은 경사가 심하며 서쪽으로 하천이 흘러나가면서 이를 따라 풍화와 침식이 진행되었다. 우리나라는 산지의 경사가 급하고 강우량이 계절적으로 편중되어 풍화를 받은 흩은 끊임없이 침식을 받아 산지의 풍화깊이는 얕은 특징을 보인다. 따라서 자연사면의 사면재해는 대부분 얕은 깊이에서 발생한다.

지형은 강우시 유출수와 침투수의 집·배수능력에 영향을 주기 때문에 사면재해의 발생에 깊은 관련을 갖고 있으며 자연사면에서 사면재해의 발생에 가장 중요한 요인은 경사도와 경사형이다. 즉, 사면재해는 사면의 경사형중 하강사면에서, 그리고 사면의 경사도가 30° 이상의 급경사면에서 발생한다.

2.4 임상

사면재해에 대한 임상의 영향은 항상 재해의 촉진과 억제에 이중성을 갖는다. 표 2.은 임상이 사면의 안정에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 임상은 사면안정에 수문학적 또는 역학적 영향을 준다. 수문학적 영향은 강우시 임상이 유출수와 침투수의 양을 변화시키는 것이고 역학적 영향은 토체의 하중증가와 전단강도 증가 등의 역할을 하는 것이다.

표 2. 식생이 사면안정에 미치는 영향

요 인	요인의 영향
○ 강우 침투에 의한 soil suction의 감소와 지하수위 상승	H, A
○ 나뭇잎의 강우차단효과와 수분흡수, 증발에 의한 유효강우의 감소	H, B
○ 뿌리의 보강재 효과에 의한 토층의 전단강도 증가	M, B
○ 뿌리의 수분흡수, 증산에 의한 토층의 수분감소	H, B
○ 나무하중 부가에 의한 연직력과 활동력 증가	M, A/B
○ 암탄면에 대한 뿌리의 썩기작용과 태풍시 나무의 인발에 의한 강우의 침투용이	M, A
○ 나무 뿌리에 의한 지지력 증가와 토층내 양카 및 지주역활	M, B
A. 사면안정에 역효과 H. 수문요인	B. 사면안정에 효과 M. 역학적 요인

2.5 절토, 성토

최근의 국토개발을 위한 인간의 활동, 즉 주택지나 산업지 조성, 광산개발, 수로의 변경, 도로나 철도건설 등에 의한 지반의 절토나 성토작업은 계속하여 증가하고 있다. 이러한 인간활동은 궁극적으로 지반내 응력의 변화를 초래하여 사면을 불안정하게 하는 요인으로 작용할 수 있다.

3. 사면재해의 파괴형태

우리나라에서 발생하는 사면재해는 자연사면과 절개사면이 서로 다른 파괴형태를 보이며 축대와 옹벽을 포함하는 사면은 절개사면으로 간주한다.

3.1 자연사면의 파괴형태

우리나라에서 자연사면의 활동은 대부분 얇은 깊이의 풍화토에서 발생하며 사면의 8~9부 능선에서 마치 산 깎질을 베타는 것과 같은 모양으로 5~30m 의 길이로 파괴가 발생한다. 파괴가 발생하면 붕괴된 흩덩어리와 나무는 유출수와 함께 아래로 사면을 침식하면서 흘러내리며 많은 피해를 유발한다. 즉, 자연사면에서 파괴는 상부의 평행활동(translational slide)으로 시작하여 유출수와 함께 토석류(debris flow)로 발전하는 특성을 보인다(그림 4.)

3.2 절개사면의 파괴형태

절개사면의 파괴형태는 자연사면과 다르며 사면을 부분적으로 절취하면 토피하중의 제거로 사면에 발달되어 있는 불연속면이 더 확장되는 특징을 보인다. 따라서 활동이 불연속면을 따라 발전할 수 있으며 이러한 사면에 대해서는 절리, 단층, 층리 등과 같은 지질구조적인 측면을 기초로 파괴형태를 고려하여야 한다. 절리가 규칙적으로 발전된 암반사면에 대해서는 사면파괴의 형태를 원형, 평면형, 쉼기형 및 전도형으로 분류하여 해석할 수 있으며 대부분 실제의 사면파괴 형태는 복합적인 형태를 보인다.(그림 5.)

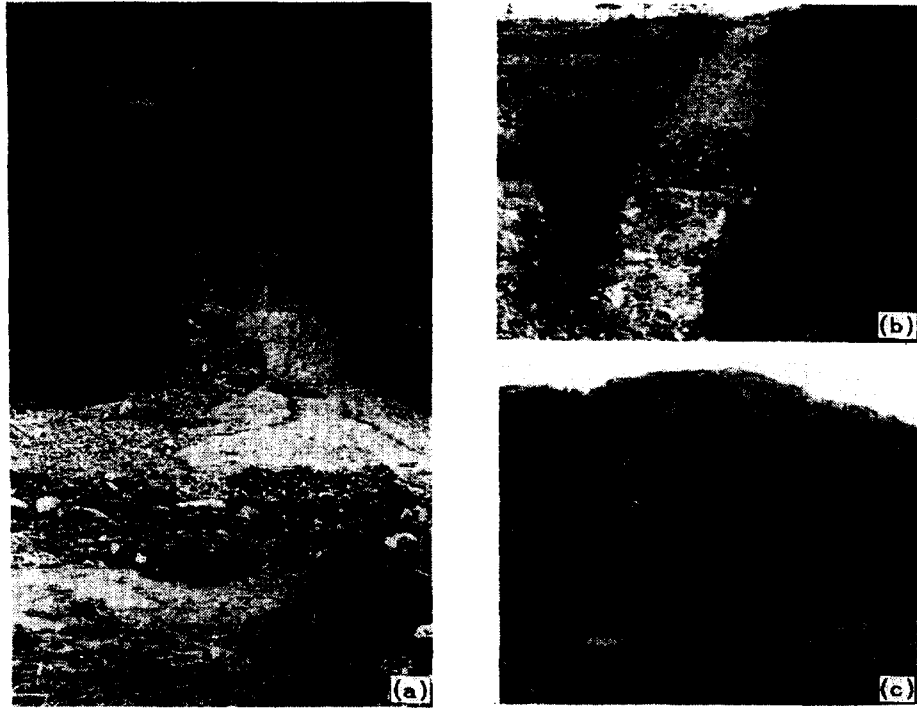


그림 4. 자연사면의 파괴형태(김, 1994)(a) 경기도 포천군 일동면 기산리
 (b) 강원도 화천군 화천읍 상2리, (c) 강원도 화천군 상성면 도농리

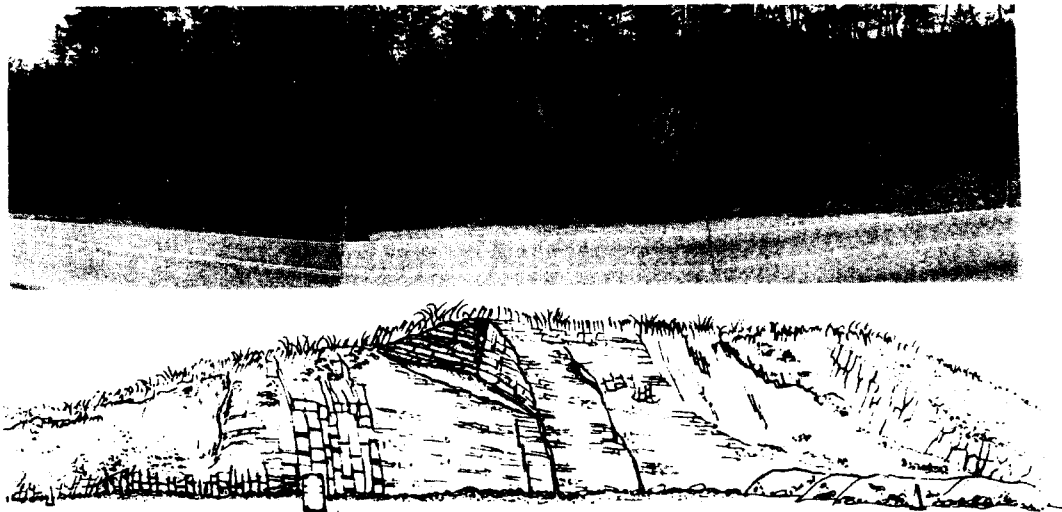


그림 5. 절개사면의 파괴형태(김, 1994)

4. 사면재해의 발생 기구(mechanism)

사면재해는 사면을 구성하는 흙과 암석의 풍화로 인한 강도감소, 강우시 침투로 인한 토괴중량 및 간극수압 증가, 사면선단부의 침식 등으로 발생한다. 특히, 우리나라의 지형은 지반의 경사가 가파르고 표층이 얇은 특성을 가지고 있으며, 사면재해 지역을 현장답사해 보면 사면의 상단부에는 인장균열이, 사면내부에는 흠파이프(macropore)가 자주 발견된다. 이와 같이 발견되는 인장균열과 흠파이프는 사면에 집중강우가 발생하는 경우 사면내부에 큰 간극수압을 발생시켜 사면재해를 유발하는 것으로 사료된다. 본 절에서는 이러한 가정을 바탕으로 수행된 사면모형실험과 강우시 사면내의 부간극수압의 변화를 현장 계측한 결과, 실제 재해가 일어난 지역을 해석한 결과를 소개하고자 한다.

4.1 사면모형실험

사면내 균열의 존재가 사면파괴에 미치는 영향을 알아보기 위하여 사용한 모형실험장치는 그림 6.과 같다. 모형실험장치는 다양한 강우강도를 재현할 수 있는 강우

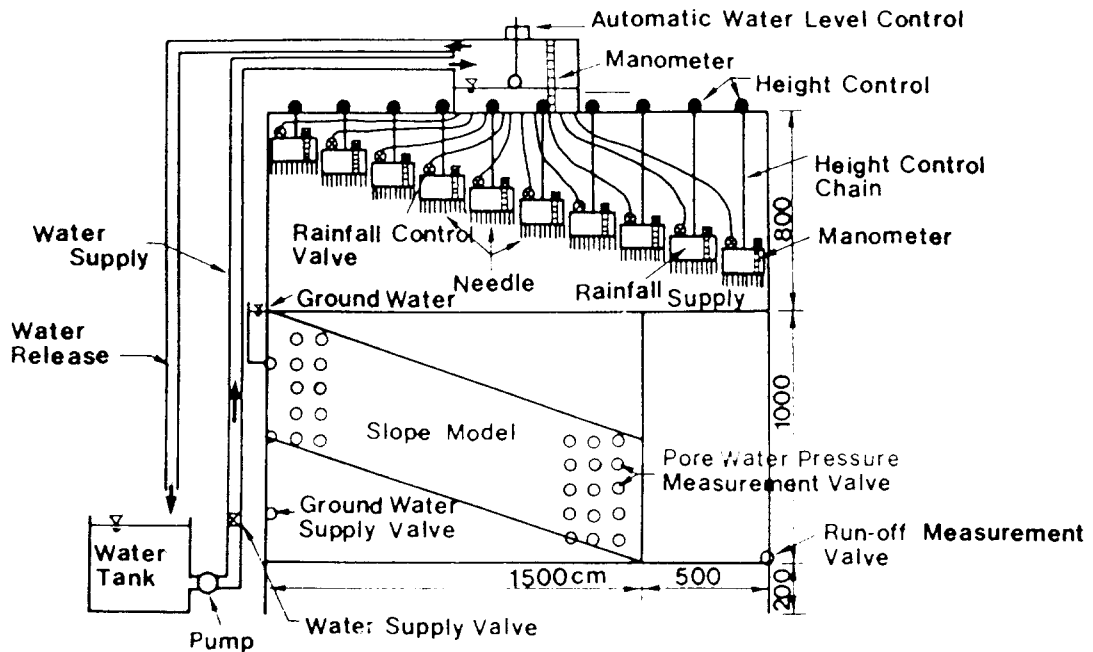


그림 6. 모형실험장치의 단면도

장치와 길이 200cm, 높이 100cm, 폭 20cm, 두께 8mm의 아크릴판으로 만들어진 사면모형장치, 사면내 간극수압의 변화를 측정할 수 있는 간극수압 측정장치로 구성되었다. 실험은 무한사면과 사면내 균열이 존재하는 사면으로 나누어 수행되었으며 사면으로의 침투능을 알아보기 위하여 강우강도에 변화를 주었다.

실험결과 무한사면에서 간극수압은 포화대가 사면의 바닥에 도달한후 급속한 증가를 보였으나 사면 두께의 약 60% 정도까지만 발전하였고 더 이상 증가하지 않았는데 이는 정상침투에 의하여 수압이 상실되는 것으로 사료된다. 한편 균열이 존재하는 사면에서는 균열층을 따라 빠른 침투가 사면바닥으로 발생하였으며 균열의 영향으로 간극수압이 사면의 두께보다 높은 값을 보였다(그림 7). 또한 tip의 위치에 따라 다른 간극수압이 나타났으며 사면하부에서 가장 큰 간극수압을 보여 사면을 불안정 상태로 만들음을 알 수 있다.

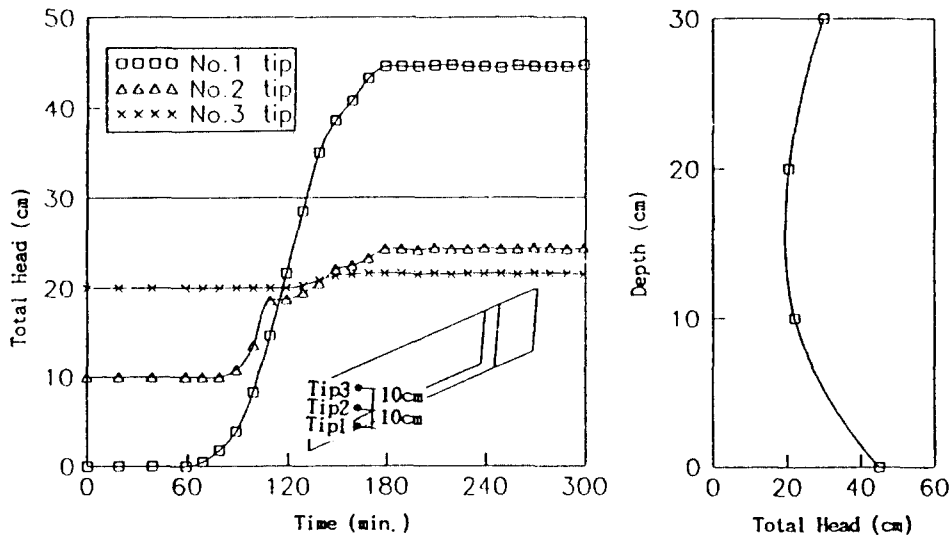


그림 7. 균열이 존재하는 사면에서 경과시간에 따른 전수두의 변화

4.2 현장계측

강원도 철원군 지역 사면 중, 96년 집중 강우시 산사태가 발생하였고, 향후에도 발생할 가능성이 상당히 높은 것으로 판단되며, 계측기 설치가 용이하고 장기간 안전하게 계측할 수 있는 사면을 선정하였다.

사면의 지층구조는 지표로부터 50 cm~70 cm까지 표토층, 70~110 cm의 풍화토

층, 풍화토층 하부는 풍화암층으로 단순한 층상을 이루고 있다.

자동 강우계, 피에조미터, 텐시오미터와 워터막, 경사계 등 5종 27개의 계측기를 2개 사면 3위치(A위치, B 위치, C위치)에 하절기 강우가 시작되기 전인 97년 6월 중순 설치 완료하였다(그림 8). 강우계는 수풀 혹은 지형, 지물에 영향을 받지 않도록 사면부근 평지에 설치하였다. 데이터의 습득 및 전송은 유선모뎀을 이용하여 원격 자동 제어 시스템으로 운영되었다.

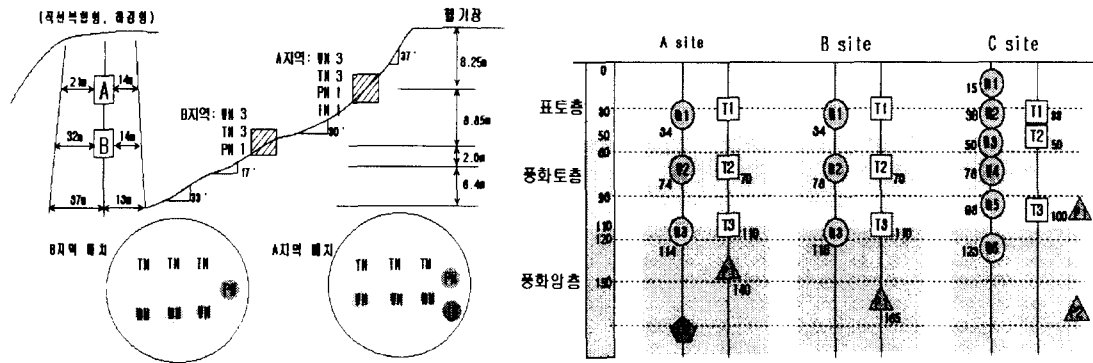


그림 8. 계측기 설치 개요

현장 계측은 강우시 평균 2분 주기로, 건기에는 평균 30분 주기로 실시되었는데, 계측기간 동안의 강우량 측정 결과 누적강우량은 평년보다 작은 368 mm였다. 일 강우량이 최대인 날은 8월 3일로 56 mm였으며, 일 강우량이 30 mm 이상인 강우가 7 차례 있었다. 시우량이 최대인 날은 8월 3일로 약 29 mm였다.

표 3. 대표적인 일강우량 및 강우형태

날 짜	일 강우량	강우 지속시간	강우형태
1997. 6. 25	33 mm	12시간	2~3 시간에 집중된 강우
1997. 7. 1	50 mm	6시간	지속성 강우
1997. 7. 15	50 mm	8시간	지속성 강우
1997. 8. 3	50 mm	6시간	3 시간에 집중된 강우
1997. 9. 1	45 mm	2시간	지속성 강우

강우에 따른 각 층에서의 Matric Suction($U_a - U_w$)의 변화는 텐시오미터와 워터막으로 측정하였으며, 그림 9는 A 지역에 설치된 3개의 텐시오미터와 워터막 측정

결과이다.

얕은 깊이에 설치된 텐시오미터와 워터막일수록 강우시 반응이 빠르며, 초기 반응 후 Matric Suction이 최소로 떨어지는데 걸리는 시간이 짧았다. 본 계측지역에서 표토층의 Matric Suction은 텐시오미터 측정값으로 볼 때, 건조기간에는 최대 80 kPa까지 증가하고, 강우기간에는 최소 5 kPa까지 감소하였다.

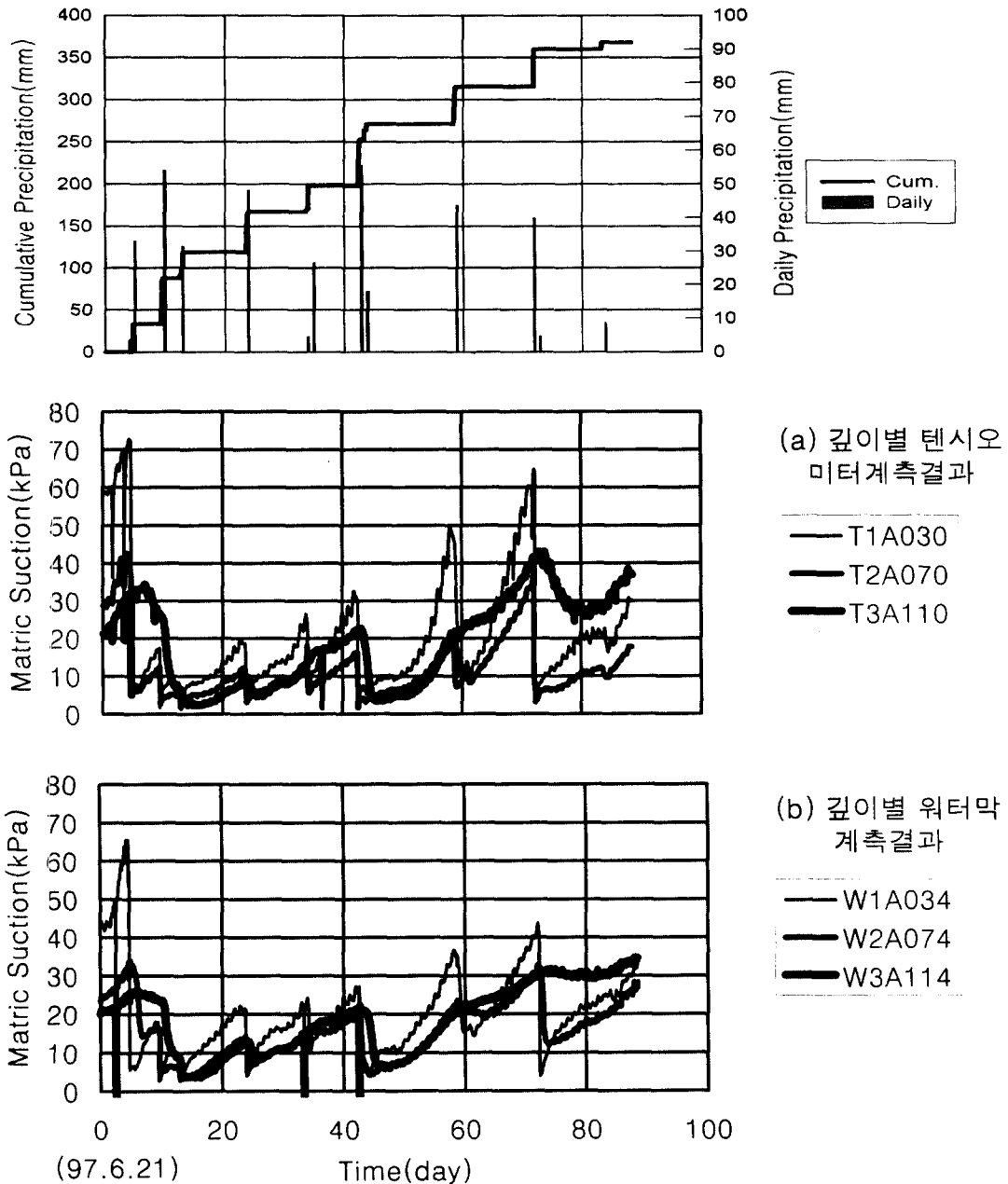
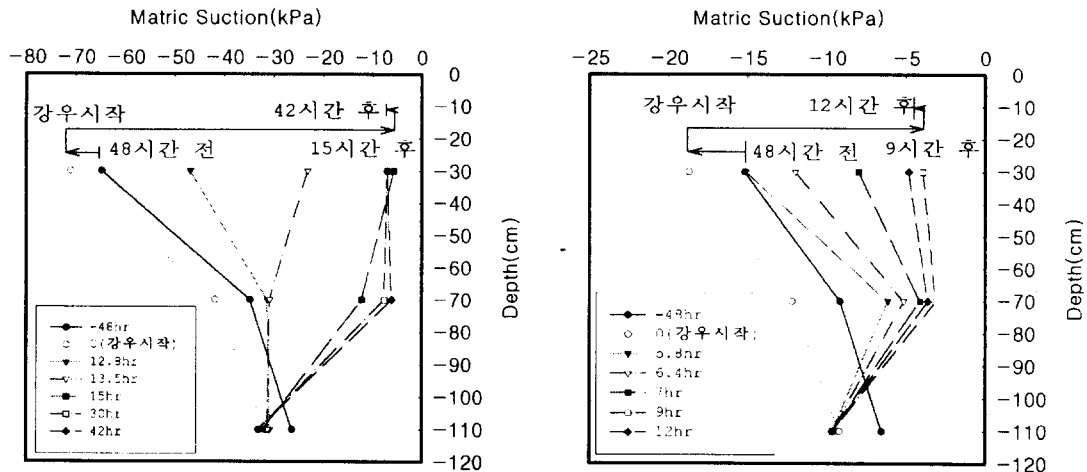


그림 9. A 위치 강우계측 결과 및 텐시오미터, 워터막 계측 결과

강우기간에도 Matric Suction이 5kPa정도는 유지되었다. Matric Suction은 6월 25일 가장 크고, 7월 15일 가장 작았다. 풍화토층의 Matric Suction의 변화는 최대 40 kPa에서 최소 5 kPa 범위 이내이었다.

현장 계측 결과 중 대표적인 강우 6월 25일 강우와 7월 15일 강우시 A 위치의 텐시오미터 측정 깊이별 Matric Suction 변화는 그림 10과 같다. 그림 10에서는 침투로 인한 깊이별 침윤영역이 시간에 따라 변화하는 과정을 볼 수 있는데, 6월 25일 강우보다 7월 15일 강우에 대한 침투속도가 빠름을 보여준다.



(a) A위치 깊이별 Suction 분포(6월 25일 강우) (b) A위치 깊이별 Suction 분포(7월 15일 강우)

그림 10. 강우시 깊이별 Matric Suction 분포

7월 15일 강우시 A 위치에서는 비교적 적은 일강우량인 50 mm정도에서도 70 cm 깊이까지 Matric Suction이 5 kPa정도까지 변화하지만, 30 cm 깊이에서 그 이하로 작아지지 않는 이유는 지표면 부근에서도 침투수로는 지반을 완전히 포화시킬 수 없음을 보여 준다.

강우시 깊이별, 위치별 침투 속도를 관찰할 수 있었으며, 침투 속도는 초기 함수비와 강우형태에 영향을 받음을 확인할 수 있었다. 표 4에 A 위치에서 6월 25일 강우와 7월 15일 강우시 깊이별 침투반응 종료 시간을 정리하였다.

표 4. 텐시오미터로 측정한 깊이별 침투 소요시간 (단위 : 시간)

깊이(cm)	6월 25일 강우	7월 15일 강우
30	15	9
70	42	12

강우에 대한 침투속도가 동일한 지역에서도 크게 차이나는 것은 수풀에 의한 차단효과, 지표면 상태, 흙의 비균질성, 지형 형상의 차이등이 복합적으로 작용한 것으로 판단된다.

본 계측이 실시된 지역은 96년 산사태가 발생하였던 지역이므로 98년에도 계측기 설치 사면에 대한 체계적인 조사와 불포화토의 투수시험 및 강도특성 시험을 실시하고 현장 계측도 계속 진행중이다.

4.3 사면재해 지역의 해석

1991년 7월 집중호우로 사면재해가 발생한 용인군내 사면을 현장답사하여 균열이 사면에 발달한 창리의 사면을 해석하였다. 이 지역은 표층이 약 40cm 두께이며 사면 상부 38° 부터 활동이 시작되었다. 해석결과는 균열이 물로 포화되지 않은 경우는 사면의 하단부에만 포화대가 일부 형성되지만 균열이 물로 포화된 경우는 사면 하부의 투수성이 큰 층부터 전경사면에 걸쳐 높은 간극수압이 형성되어 사면재해 발생 위험이 커짐을 알 수 있다. 그림 11은 침투해석을 근거로 안정해석을 수행한 결과를 나타낸 것으로 균열이 물로 채워짐으로서 안전율이 급격히 낮아져 사면파괴가 발생함을 나타내고 있다.

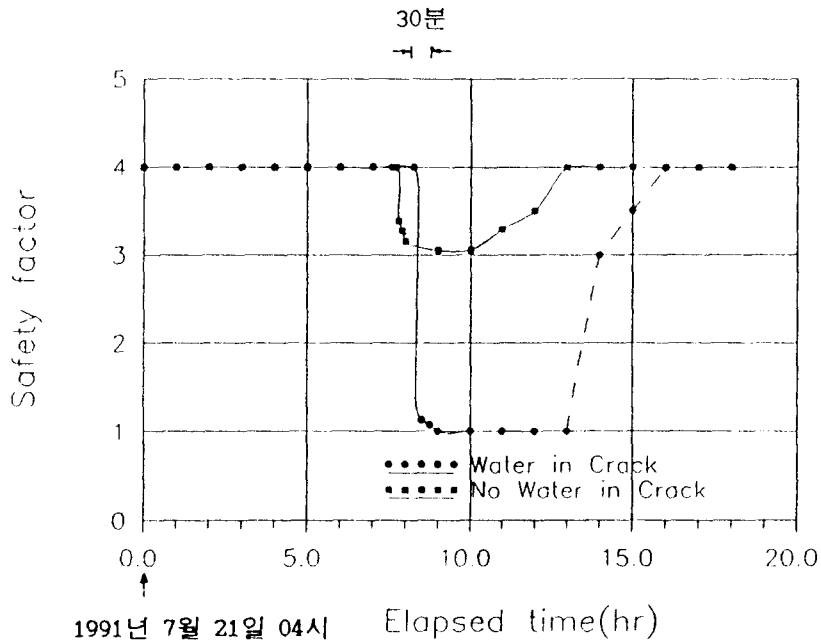


그림 11. 시간에 따른 안전율의 변화

5. 사면재해의 예지 기술

사면재해로 인한 피해를 경감하기 위하여 연구자들은 사면재해에 위험한 지역을 선정하는 방법을 제안하였다. 이러한 재해 위험지역은 사면재해를 일으키는 주요인자와 재해 발생과의 관계를 이용한 사면재해의 예, 경보시 중점적으로 관리된다.

5.1 재해 위험지역의 선정과 평가

사면재해를 방지하기 위하여 미리 재해에 위험한 지역을 선정하여 그 위험성 (risk)을 평가하는 것은 매우 중요하다. 사면재해 가능지역의 선정과 평가에는 재해에 영향을 미치는 지형학적, 지질학적, 기상학적, 지반공학적 요인들이 모두 고려되어 대상지역의 특성에 맞는 적절한 기준이 제시되어야 한다.

(1) 사면재해 가능지역의 선정

사면재해의 위험지역을 선정하는 일은 개인의 주관적인 생각이 개입될 요건을 갖 추고 있다. 또한 대상지역이 넓고 대부분 경사가 급하고 접근하기 어려운 산지로 전 지역을 방문 선정하는 일은 현실적으로 어렵다. 따라서 대상지역에 대하여 쉽게 구할 수 있는 지형도를 이용하여 대상지역을 선정하는 지형학적인 방법은 매우 유용하다. 사면재해에 위험한 지역을 선정하는 기준은 다음과 같다.

- 산지의 8~9부에서 경사가 완경사에서 급경사로 변하는 변곡점의 하부
- 산지내 계곡의 최상부로 배수로와 연결되는 부분
- 산지에 위치한 인공구조물(도로, 교통호, 병커 등)의 측단 하부

최근에는 데이터 베이스 첨단기법인 GIS(지리정보체계)를 이용하여 사면재해에 영향을 미치는 요인을 대상으로 화상, 통계, 문자 및 수치와 같은 4가지 형태의 자료를 이용하여 재해 위험지역을 미리 예측 관리하는 연구가 수행되고 있다. 이러한 시스템이 완성되면 향후 사면에 대한 획기적인 관리가 이루어질 것이다.

(2) 사면재해의 안전도 평가

사면재해의 위험지역이 선정되면 그 지역에 대한 현장조사를 통하여 파괴 가능성을 평가한다. 사면재해의 안전도 평가는 대상지역의 특성이 고려되어야 보다 정확한 평가를 수행할 수 있다. 그러나 현실적으로 얻는 자료의 한계와 평가기준을 비전문가가 사용하는 등의 문제가 있으므로 이를 고려하여 작성하여야 한다.

우리나라에서는 산림청, 건설부, 국방부 등에서 사면재해의 안전도 평가표를 작성하여 사용하고 있으며 국립방재연구소에서는 위험사면에 대한 재원의 효율적인 사용을 위하여 사면의 안전도에 예상피해액을 고려한 재원의 투자우선순위 평가를 위한 프로그램을 개발하였다.

① 건설기술연구원의 안전도 평가표

홍콩의 위험사면 선정기준과 최의 안전진단법을 34개소의 현장에 적용하면서 나타난 문제점을 해결하는 방향으로 건기원에서는 새로운 안전도 평가표를 제안하였다. 안전도 평가표는 홍콩의 위험사면 선정기준을 바탕으로 국내의 지질 및 구조물의 종류 등을 고려하고 자연사면에도 적용할 수 있도록 피해점수의 가중치를 수정하여 제안되었다.

건기원의 사면평가 기준은 위험사면의 정밀조사나 사방공사의 투자우선순위를 결

정하는데 사용될 수 있으며 우리나라의 사면에 범용으로 사용할 수 있게 만들어 졌다. 그러나 사면파괴는 지역에 따라 다른 파괴특성을 나타내는 경우가 많으므로 본 평가기준은 각각의 이용목적에 따라 수정·보완하여 사용되어야 한다.

② 국방부에서 사용하는 안전도 평가표

국방부에서는 군부대의 특수한 사항을 고려한 새로운 안전도 평가표를 작성하여 사용하고 있으며 건설기술연구원에서 작성한 안전도 평가표를 바탕으로 특히, 경기 북부지역의 사면재해에 적용할 수 있도록 항목을 검토하고 가중치를 수정하여 새로운 안전도 평가표를 작성하였다.

③ 국립방재연구소의 투자우선순위를 위한 전문가 시스템

퍼지집합(fuzzy sets)은 인간의 표현방식을 따르고 특히, 입력값이 정성적으로 표현되는 경우 더욱 장점을 발휘할 수 있다. 퍼지전문가 시스템은 기존의 전문가 시스템과 유사한 구조를 가지고 있고 기존의 전문가 시스템이 2진 논리에 기초하여 rule에 정의된 입력값과 출력값의 경우만 처리할 수 있는 것에 대하여 퍼지 전문가 시스템은 rule에 근사한 입력값에 대하여 근사한 추론 결과를 낼 수 있는 장점이 있다. 따라서 본 연구에서 다루는 사면의 안전성 평가에 사용되는 항목이 정성적인 판단을 요하는 경우가 많으므로 안정성 평가에 퍼지이론을 이용하면 전문가 시스템의 장점인 전문가의 경험, 지식처리를 구현하면서 좀더 불확실성에 대한 처리의 효율이 좋은 시스템을 개발할 수 있다.

a. 퍼지 전문가 시스템의 구성

개발된 전문가 시스템은 그림 12.와 같은 구성으로 만들어졌다. 본 전문가시스템은 퍼지룰베이스를 이루는 부분이 4개의 그룹, 즉, 본사면, 주변사면, 지반재료, 배수 등으로 구성되었다는 특징이 있다. 데이터 입력은 직접입력과 파일입력이 가능하도록 하였으며 추론결과도 화면출력과 파일출력이 가능하도록 구성되었다.

표 5. 건기원의 사면안전도 평가기준

요 소	점 수	요 소	점 수	요 소	점 수
a) 사면 높이, H (무제한)	흙사면 = $H \times 1$ 암사면 = $H \times 0.5$ 혼합사면 = $H \times 1$	j) 지질	변성암 = 10 화강암 = 10 분출암 = 10 제3기암류 = 10 퇴적암 = 0 상기암 상부에 붕적층으로 피복된 경우는 5점 가산	r) 예상되는 피해 구조물	병원, 학교 주거지역, 공장 2 농경지, 운동장 1.0 고속도로, 국도 1.0 지방도로 0.5 확트인 경우 0
b) 사면 경사각 (20)	자연사면 절개사면 절개사면 (암사면)(이외사면) $\geq 36^\circ=10, 90^\circ=10, \geq 60^\circ=20$ $\geq 31^\circ= 8, \geq 80^\circ= 8, \geq 55^\circ=15$ $\geq 26^\circ= 5, \geq 70^\circ= 5, \geq 45^\circ= 5$ $\geq 21^\circ= 3, \geq 60^\circ= 2, \geq 35^\circ= 3$ $\geq 20^\circ= 0, \leq 60^\circ= 0, \leq 35^\circ= 0$	(15) k) 불투수성 사면에 대한 지표수의 배수로	(15) 전혀없음 = 15 50%(부분적) = 8 나쁨 = 5 양호 = 0	(2)	
c) 사면상부의 경사각 또는 사면상부 도로유무 (15)	상부경사각 도로유무 $\geq 45^\circ = 15$ $\geq 35^\circ$ 또는 고속 국도 = 10 $\geq 20^\circ$ 또는 지방도로 = 5 $\leq 20^\circ = 0$	l) 사면상부에 물이 고일수 있는 조건 (5)	사면상부에 물이 고일수 있는 여건이 형성된 경우 = 5	s) 위험피해요소 (1.25)	인구밀집지역이나 산사태에 의해 구조물의 붕괴가 예상 1.25 그외 1.0
d) 옹벽이 있는 경우 (무제한)	옹벽의 높이 (m) $\times 2$	m) 사면에 배수로 (10)	전혀 없거나 완전하지 못함 = 10 완전하나 균열이 있는 경우 = 10 완전한 경우 = 0	(1.25)	
e) 임분경급 (15)	미림목지 = 10 유수림 = 10 소경목 = 10 중경목 = 0 상기중 임지의 이용상태가 변경된 경우 5점 첨가	n) 물을 이동시킬 수 있는 시설 (5)	높이 "H" 내에 있으면 = 5 없으면 = 0	불안정 점수 $= \sum(a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n, o)$ 예상피해점수 $= S[20 r (1.5(a+d) - p) / 1.5(a+d) + 40 r \{(a+d) - p\} / (a+d) + (q r) + 2(a+d)]$	
f) 횡단면형 (10)	요형 = 10 평행형 = 10 절형 = 0	o) 용수상태 (절개사면) (15)	위치 극심 보통 사면중간 15 10 내지상부 사면하부 10 5 자연사면인 경우 용출수를 확인 15	종합점수 = 불안정점수+예상피해점수	
g) 사면상태 (10)	느슨한 암편이 있는 경우 = 10 파괴의 징후가 있는 경우 = 10 사면상태가 불량 = 5	p) 사면저부로부터 구조물, 도로, 운동장과의 거리(m) (무제한)	구조물 = 실제거리 도로 = 거리 + 2 운동장 = 실제거리 또는 1/2H 농경지 = 실제거리 또는 1/2H		
h) 사면과 옹벽과의 결합상태 (10)	불량 = 10 보통 = 5 양호 = 0	q) 사면의 상하부상태 (20)	사면의 상단부에 확장사면이 있는 경우 = 0.5 사면의 상하단에 확장사면이 있는 경우 = 20		
i) 사면방향과 일치하는 절리 (5)	사면방향과 일치하는 절리가 있는 경우 = 5				

주 : ()는 각 요인별 획득할 수 있는 최고점수

표 6. 사면의 안전도 평가 기준표

요 소	점 수	요 소	점 수
a) 사면높이 (20)	흙 사 면 = 높이(m) x 1 토사와 암의 혼합사면 = 높이(m) x 1	f) 횡단면형 요 형 = 15 직선복합형 = 15 철 형 = 0 종단면형 (30) 하강형 = 15 상승복합형 = 5 평행형 = 0	
b) 사면경사각 (20)	자연사면 절개사면 $\geq 36^\circ = 10, \geq 60^\circ = 20$ $\geq 31^\circ = 8, \geq 55^\circ = 15$ $\geq 26^\circ = 5, \geq 45^\circ = 5$ $\geq 21^\circ = 3, \geq 35^\circ = 3$ $\leq 20^\circ = 0, \leq 35^\circ = 0$	g) 식생상태 초지 및 관목(직경 1cm 이하) = 10 소 경 목(직경 5-7cm) = 5 중 경 목(직경 10-15cm) = 0 (15) 군전술상 벌목이 수행된 경우 = 5	
c) 사면상부로 부터 유수집수 또는 집수지 형성 조건 (40)	유출수 집수조건 및 사면으로 강우의 직접 침투조건 = 20 교통호, 병커 = 20 전술도로 = 15	h) 지질 화강암 = 5 변성암, 퇴적암, 분출암 = 10 (20) 암의 상부에 봉적층이 피복된 경우 = 5 사면방향과 일치하는 암석의 절 리가 있는 경우 = 5	
d) 사면에 배수로 (10)	전혀 없거나 제기능을 못하는 경우 = 10 완전한 경우 = 0	i) 사면상태 느슨한 암편이 있는 경우 = 10 사면상부에 다수의 균열 발견 = 10 사면 상태가 침식발생 우려가 있는 경우 = 5 (10)	
e) 사면내 용출수 여부 (15)	자연사면 사면내에 용출수 확인 = 15 절개사면 위치 극심 보통 사면중간 용출수 = 15 = 10 사면하부 용출수 = 10 = 5	j) 구조물 사면상 기존구조물(옹벽, 석축등) 에 균열, 기울어짐 발생 = 높이(m) x 2 (15) 불안정점수 = $\Sigma(a,b,c,d,e,f,g,h,i,j)$	

주 : ()는 각 요인별 획득할 수 있는 최고점수이며, 한 요인이 여러개의 항목으로 나뉘는 경우는 각 항목의 최대점수를 모두 더하여 얻은 값을 그 요인에서 얻을 수 있는 최고점수로 한다.

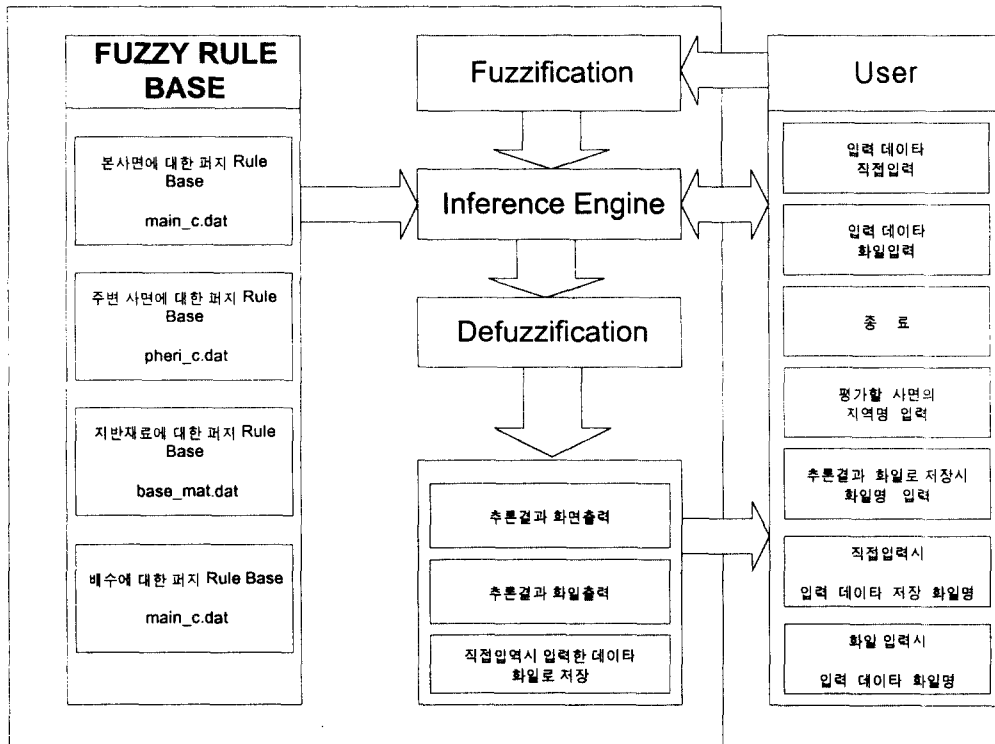


그림 12. 사면에 대한 RISK 평가 전문가 시스템의 구성도

b. 현장조사 data의 적용성 평가

전문가 시스템의 적용성을 평가하기 위하여 현장조사 data을 이용하여 시스템의 적용성을 알아보았다. 샘플은 1997년 8월 집중호우에 의하여 많은 피해를 입은 경기북부지역의 붕괴 및 붕괴우려가 매우 큰 사면 41개소와 강원도 일대의 도로 절개 사면 36개소를 선정하였다. 각 사면에 대해서는 붕괴시 예상되는 피해에 대한 명목 금액과 인명손실을 고려하여 투자우선순위를 결정하였다.

경기북부지역의 41개소의 붕괴 및 붕괴우려가 매우 큰 사면과 강원도의 도로 절개사면에 대하여 시스템을 적용한 결과는 그림 13.과 같다.

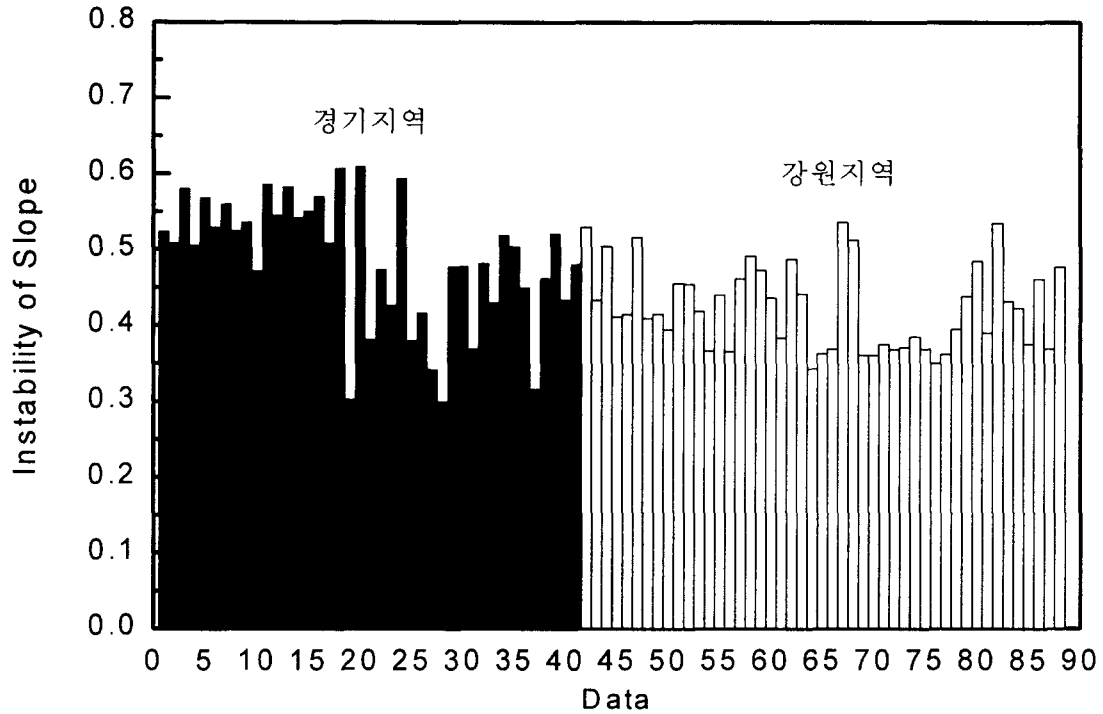


그림 13. 사면의 건전도 분포도

현장적용 결과로부터 대체로 경기북부지역의 사면의 불안정성이 붕괴가 우려되는 도로 절개사면보다 더 큰값을 나타냄을 알 수 있었으며 사면전방의 예상 피해구조물에 대한 명목금액과 예상 인명손실을 고려하여 평가된 대상사면의 투자우선순위를 표 7.과 같이 결정할 수 있다.

5.2 강우를 이용한 사면재해의 예, 경보

강우는 우리나라에서 재해 발생의 가장 중요한 요인으로 강우와 사면재해 발생의 상관성을 규명하여 예, 경보자료로 사용되어 왔다. 이는 사면재해가 지형, 지질, 기상 등 많은 원인들이 복합적으로 작용하여 발생하므로 과거 사면재해 발생의 자료를 해석하여 이 결과에 지형, 지질, 기상 등의 인자들을 포함시킬 수 있기 때문이다. 사면재해에 영향을 미치는 강우는 누적강우량, 일강우량, 최대시우량 등이다.

표 7. 경기북부지역의 대상사면에 대한 투자우선순위 결정

장 소	우선순위		파급도	명목 금액	인명 손실	risk(재산)		risk(인명)	
	건전도								
1. 용인덕성리	0.524	16	0.27	9500	0	1339.9	5	0	23
2. 용인창리	0.509	19	0	800	0	0	40	0	23
3. 용인완장리	0.581	6	0.83	21000	0	10168	1	0	23
4. 안성묘봉리	0.506	20	0	6000	0	0	40	0	23
5. 용인학일리	0.568	8	0.71	7500	0	3034.2	2	0	23
6. 안성미산리	0.530	14	0.71	4000	0	1510.2	4	0	23
7. 안성쌍지리	0.560	9	0.93	5500	0	2860	3	0	23
8. 용인석천리	0.525	15	0.28	1500	0	220.76	34	0	23
9. 연천배후사면	0.536	13	0.614	300	0	98.76	37	0	23
10. 연천00진입로	0.472	26	0.11	500	0	26.54	39	0	23
11. 연천00일대	0.586	4	1	500	0	293.20	31	0	23
12. 연천도로사면	0.545	11	0.543	300	0	88.95	38	0	23
13. 철원빛사면	0.583	5	0.81	2000	21	945.9	9	9.93	7
14. 철원벉커앞사면	0.542	12	0.90	1500	0	733.96	16	0	23
15. 벉커좌측사면	0.551	10	0.904	1500	0	746.95	13	0	23
16. 철원막사뒷사면	0.570	7	0.90	2000	2	1025.94	7	1.03	22
17. 철원00사면	0.509	18	0.93	300	0	141.23	35	0	23
18. 화천취사장사면	0.607	2	0.85	2500	30	1294.7	6	15.54	2
19. 00 소초	0.303	38	0.97	2000	30	590.14	19	8.85	9
20. 포대막사뒷사면	0.609	1	0.57	2000	50	692.42	17	17.31	1
21. 막사뒷사면	0.382	33	0.91	1000	30	349.52	29	10.49	5
22. 막사측사면	0.474	25	0.93	1000	20	443.29	25	8.87	8
23. 막사뒷사면	0.427	31	0.95	1000	10	404.69	27	4.05	14
24. 막사아래사면	0.594	3	0.96	1000	10	571.45	21	5.71	11
25. 막사전후사면	0.38	34	0.97	2000	10	735.55	15	3.68	16
26. 00뒷사면	0.417	32	0.99	2000	5	824.83	12	2.06	21
27. 양구막사뒷사면	0.342	36	0.95	1000	15	324.39	30	4.87	12
28. 00소초	0.300	39	0.97	2000	10	584.74	20	2.92	17
29. 00소초 00통문	0.478	24	0.93	300	0	133.92	36	0	23
30. 00소초 막사	0.478	24	0.94	500	0	225.23	33	0	23
31. 0연대00소초	0.369	35	0.93	2000	30	688.97	18	10.33	6
32. 0소대0소초1	0.482	22	0.91	2000	5	880.52	10	2.2	20
33. 0소대0소초2	0.430	30	0.93	1000	10	399.39	28	3.99	15
34. 수색0중대	0.519	18	0.93	2000	30	970.41	8	14.56	3
35. 0소대0소초3	0.504	21	0.93	1000	10	471.49	24	4.71	13
36. 00대대	0.450	28	0.83	2000	30	742.31	14	11.13	4
37. 00대대후사면	0.316	37	0.87	2000	10	549.35	22	2.75	18
38. 00중대00소초1	0.462	27	0.90	1000	0	417.14	26	0	23
39. 00중대00소초2	0.521	17	0.93	1000	5	485.57	23	2.43	19
40. 00연대00소초	0.434	29	0.95	2000	20	826.23	11	8.26	10
41. 제논차고	0.481	23	0.97	500	0	232.78	32	0	23

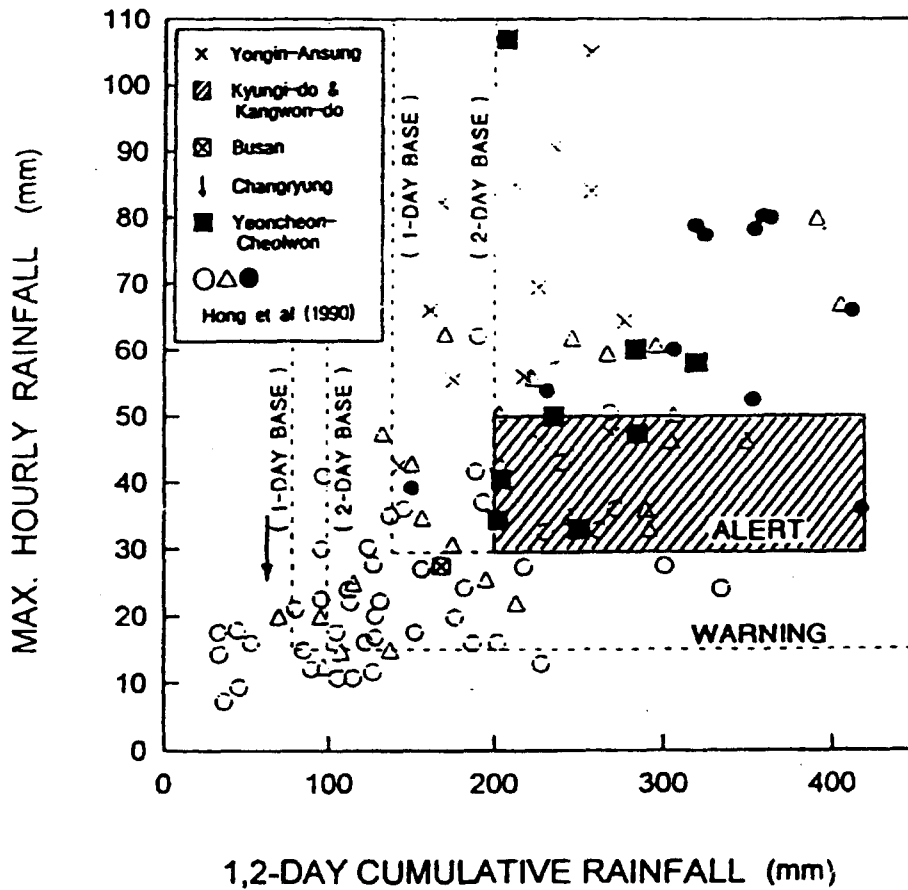


그림 14. 누적강우량, 일강우량, 최대시우량과 산사태의 발생

그림 14.는 홍 등이 과거 10년간의 자료를 해석하여 산사태 발생이 2일 최대누적 강우량과 최대시우량으로 잘 표현된다고 판단하여 제안하였다. 여기에 김(1994)은 1990년 경기, 강원 산사태, 1991년의 용인, 안성 산사태 등의 자료를 추가하여 표 8. 과 같이 자연사면을 대상으로 강우량에 의하여 사면재해의 발생을 예, 경보할 수 있는 기준값을 제안하였다.

표 8. 사면재해의 예, 경보를 위한 기준

	산사태 주의보	산사태 경보
2일 연속강우량(mm)	100	200
일강우량(mm)	80	140
최대시우량(mm)	15	30

6. 사면재해 대책공법

사면재해의 보호공법은 재해의 발생요인을 잘 파악하여 대상지역의 지질학적, 지형학적 및 지반공학적 특성에 따라 가장 효과적인 공법을 선택하여야 한다. 본 절에서는 사면보호공법을 현재 사면안전성은 확보되어 있으나 우수의 침투, 세굴 등에 의하여 사면안전율이 감소되는 것을 방지하기 위한 안전율유지법과 사면안정성이 확보되지 못할 것이 예상되는 사면에 안전율을 증가시켜주는 안전율증가법의 두 가지로 구분하여 알아본다. 전자는 사면파괴를 발생시키는 직접요인으로부터 사면을 보호하는 소극적인 대책공법이라 할 수 있으며 후자는 사면파괴의 잠재적 취약성을 개선시키려는 적극적인 대책공법이라 할 수 있다.

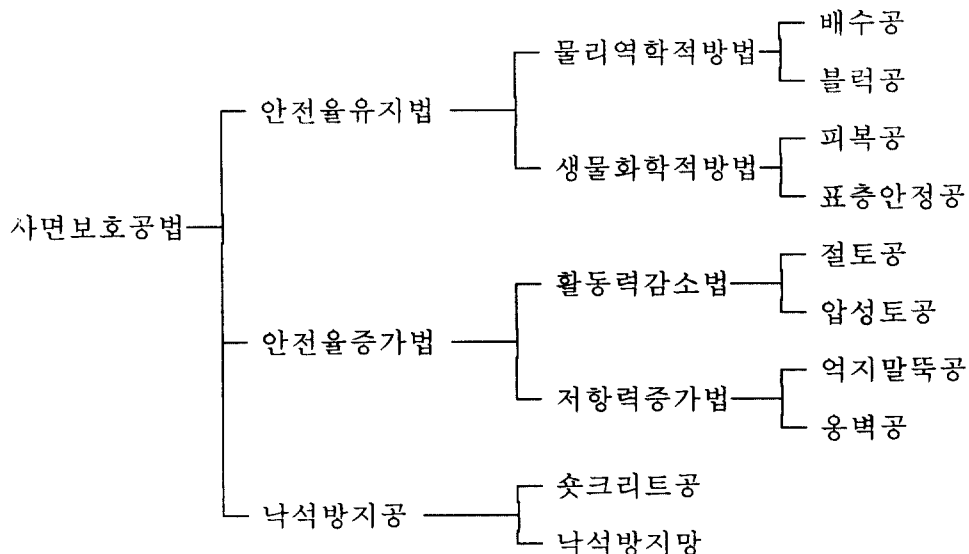


그림 15. 사면보호공법

6.1 안전율유지법과 안전율증가법

사면이 안정한 상태라도 강우의 침식작용과 지표면의 풍화작용 등에 의하여 파괴가 발생할 수 있다. 또한 지중에 침투된 물은 지반을 포화시켜 활동력을 증가시키고 저항력을 감소시켜 파괴를 유발한다. 이러한 자연적인 요인의 영향을 최소화시키는 공법을 안전율유지법이라 한다. 안전율유지법은 물리역학적방법과 생물화학적방법으로 구분하며 물리역학적방법으로는 수로공과 블록공이 있고 생물화학적방법으로는 피복공과 표층안정공이 있다.

사면재해의 안정도 평가표에 의하여 잠재적인 사면재해 발생지역으로 선정되면 이를 방지하기 위한 대책이 수립되어야 한다. 대책에는 사면의 활동력에 대해 저항력을 증가시키는 방법과 사면의 활동력을 감소시키는 방법이 있다. 저항력을 증가시키는 방법에는 말뚝, 옹벽 등을 사용하는 방법이 있으며 활동력을 감소시키는 방법은 사면상부의 흙을 제거시키는 배토공과 사면의 경사를 완만하게 하는 방법이 있다.

6.2 대책공법의 선정기준

사면의 대책공법의 선정은 대상사면의 규모, 구배, 지형조건, 지질조건 및 주변여건 등에 대한 충분한 사전조사결과를 토대로 이루어져야 하고 복구공사를 위한 보호공법 선정의 경우에는 이외에 별도로 붕괴의 원인을 고려하여 보호공법을 선정해야 한다. 실제적인 공법선정이나 적용에 있어서는 사면의 종류별로 제시된 선정기준의 적용외에도 타사면의 선정기준중 해당되는 판단항목을 고려하여 최종적인 공법의 선정이나 기타 병용공법의 선정을 행하는 것이 바람직하다.

일반적으로 대책공법의 주체는 안전율유지공법으로 하고 안전율증가공법은 주로 직접 주거지역 및 중요시설 등을 보호하기 위한 경우에 한해 사용한다. 활동면이 활발하게 움직이고 있다고 판정될 경우에는 원칙적으로 안전율증가법을 쓰지 않고 안전율유지법을 선행하여 사면의 활동을 경감한 후 보강한다.

점성토지반으로 사면경사가 1:1.2, 모래나 사질토로 1:1.5 보다 완만한 경우는 식생공만으로 침식이나 표층유실을 어느정도 방지할 수 있다. 사면의 경사가 급해지면 사면틀공이나 블록공 등의 병용이 요구된다. 용수가 많은 사면에서는 지하배수구나 수평배수공 등의 지하배수시설을 적극적으로 도입하여 사용한다.

절토후 풍화가 빠른 암에서는 풍화가 진행하여도 사면파괴가 일어나지 않을 정도로 사면경사를 확보한후 식생공을 행하거나 표면수를 투수시키지 않는 사면보호공을 적용한다. 또한 상부에 세굴이 가능한 지역은 배수로를 설치하여 준다. 낙석의 위험이 있는 사면경사가 급하고 높은 사면에서는 식생공과 병용하여 부석의 억제로서 낙석방지공을 씌우거나 노면에의 낙석을 저지하는 낙석방지책을 설치한다. 또한 균열이 많고 용수가 없는 연암의 경우는 슛크리트공이 적합하다.

7. 결 론

우리나라는 매년 사면재해로 인하여 많은 피해를 겪고 있으며, 우리나라의 사면들은 대부분 안정성을 확보한 사면이라도 풍화가 심하게 진행되거나 지진, 태풍 등 기상이변과 같은 외적상황이 악화되면 항상 파괴에 이를 가능성이 있다. 따라서 사면재해로 인한 피해를 경감하기 위하여는 사면재해를 유발하는 요인과 그 발생 기구의 규명과 더불어 사면재해를 예측할 수 있는 적절한 예, 경보체계의 구축이 필요하다. 또한 위험사면에 대하여 적절한 보호공법을 수행하고 지속적으로 사면의 유지관리에 관심을 기울여야 한다.

1. 우리나라의 가장 중요한 사면재해 유발 요인은 강우이며 모형실험, 계측 및 해석결과와 같이 사면에 강우가 내리면 침투가 발생하여 사면토층의 포화도가 증가하며 사면의 안전율은 감소한다. 지속적인 침투가 진행되면 임시지하수위가 형성되고 간극수압을 유발하여 파괴에 이르게 된다. 특히, 사면에 균열 및 흩파이프가 존재하면 강우시 사면내로 빠른 침투를 보이고 사면파괴를 촉진한다.
2. 사면재해의 예상지역을 선정하기 위하여 최근에는 GIS가 이용되고 있으며 강우를 이용한 산사태의 예, 경보 기준은 간단하면서도 매우 효율적인 것으로 평가받고 있다. 사면에 대한 안정성 평가를 수행하기 위하여 산림청, 건설부, 국방부 등에서 사면의 안전도 평가표를 작성 사용하고 있으며, 방재연구소에서는 재원의 적절한 투자를 위한 사면의 투자우선순위 평가방법을 개발하였다.
3. 사면의 안정성에 대한 평가에서 그 위험도를 판정할 수 있으며 위험정도에 따라 적절한 보호공법을 선정하는 기준이 연구자들에 의하여 제시되었다. 대책공법은 안전율유지법과 안전율증가법으로 구분되어 사용된다.

상기의 연구결과는 최근까지 국내에서 수행된 결과를 요약한 것으로 사면재해로 인한 피해를 경감하기 위해서는 계속적으로 사면파괴 지역의 현장답사와 문헌조사, 현장 계측 및 해석, 사면파괴의 예, 경보, 위험도 작성, 보호공법 등과 같은 종합적인 연구를 수행하여야 한다.

참고문헌

1. 김상규(1994), "한국에서 발생하는 지반활동", (Pre-session) Proc. North-East Asian Symposium on Landslides and Debris Flows, Seoul.
2. 김상규, 임희대, 이영휘(1995), 산사태 및 사면재해에 관한 연구, 한국과학재단.
3. 현대건설기술연구소(1997), 산사태의 안전도 평가 및 대책.
4. 건설기술연구원(1989), 절개면의 안전진단 및 보호공법.
5. 건설기술연구원(1998), 위험 절개면 및 축대의 조사 및 투자우선순위 결정방법 연구.
6. 동국대 산업기술대학원(1997), 산사태, 토질 및 암반사면의 안정해석, 대책공법.
7. 산림청(1993), 산사태 위험지 조사 판정 요령.
8. 행정자치부(1998), 제 3회 방재행정세미나.
9. Brand, E.W.(1984), "Relationship between Rainfall and Landslides in Hong Kong," Proc. 4th Int. Symposium on Landslides, Vol. 1, Toronto, pp.377~384.
10. GCO(1995), Guide to Slope Maintenance, Geotechnical Engineering Office.
11. GCO(1996), Investigation of Some Major Slope Failures between 1992 and 1995, Geotechnical Engineering Office.
12. Jang, Y.S., S.K. Kim, S.M. Shin, and J.Y. Ryu(1994), "A Study on the Landslides and Their Shape of Failure in Youngin-Ansung County," Proc. North-East Asian Symposium on Landslides and Debris Flows, Seoul.
13. Kim, S.K.(1991), "Recent Natural Slope Disaster due to Heavy Rainfall in Korea," Proceedings Asian Semina on Slope Disaster Kumamoto '91, pp.47~74.
14. Kim, S.K., Y.S. Jang, H.S. Seo, and S.G. Han(1994), "Failure Mechanisms of the Landslides in Youngin-Ansung County," Proc. North-East Asian Symposium on Landslides and Debris Flows, Seoul.