

집중호우시 군사시설물이 설치된 사면의 안정성평가에 관한 연구

A Study on the Slope Stability near Military Facility in Rainfall

이승호* · 황영철**

Lee, Seung Ho · Hwang, Young Cheol

Abstract

This research analyzed about various landslide causes and resettled items, which are fit to environment of army facilities, of safe estimating table of Korea Institute of Construction technology through the spot inspection data.

Analyzed relation with rainfall and slope failure occurrence for forecast slope failure appearance. Analyzed special quality of rainfall, topography, geological features that become occurrence factor of slope failure that happen in Kang-Won area come up with use of slope failure safety estimating table.

Wish to examine closely phenomenon of slope failure and regional special quality that appear in military bases area and consider countermeasure.

Keywords : Landslide, Rainfall, Safety Estimating Table, Slope failure

요 지

본 연구는 군사시설물 밀집지역에서 발생하는 산사태의 여러 원인을 분석하고 일반 설계에 적용되는 평가기준과 비교하여 군 실정에 적합한 사면붕괴 안전도 평가기준을 제시하고자 한다. 사면붕괴 발생을 예측하기 위해서 강우강도와 사면붕괴 발생과의 관계를 분석하였으며, 사면붕괴 안전성평가 기준표를 이용하는 것을 제시함과 아울러 강원산간 ○○지역에서 발생한 사면붕괴의 발생요인이 되는 강우, 지형, 지질 등의 특성을 파악하고, 군부대 주둔지역에서 나타나는 사면붕괴의 파괴현상과 지역적인 특성을 구명하고자 한다.

주요어 : 산사태, 강우, 안전도 평가기준, 사면붕괴

* 정회원 · 상지대학교 건설시스템공학과 부교수 · 공학박사

** 정회원 · 상지대학교 건설시스템공학과 전임강사 · 공학박사

1. 서론

우리나라는 대륙과 해양성 기후의 교차점에 위치하는 지리적 요건으로 인한 기상이변으로 매년 평균 22.4회의 자연재해가 발생되고 있는바 이러한 자연재해의 주요원인으로 호우, 폭풍, 벼락, 태풍 등을 들 수 있다. 우리나라의 자연재해는 모두 강우와 관련된 것으로 홍수, 사면붕괴가 연례행사처럼 되풀이되고 있으며 최근에는 엘니노(Elnino)현상에 의한 이상 기상현상으로 재해가 자주 일어나고 있다.

특히, 2002~2003년도 중부지방의 기습적인 집중호우로 인해 창군 이래 강원산간 ○○지역 부대에서 많은 재산피해가 발생하였다. 군에서는 군의 전력 및 전술상 홍수재해 및 사면붕괴에 노출되기 쉬운 지형에 군 시설물을 배치하여야 하는 경우가 많아 이로 인해 매년 상습적으로 홍수 및 사면붕괴의 피해를 입고 있는 실정이다. 이러한 현실에 비추어 군 실정에 적합한 재해 위험지역 평가 및 예측방법과 재해 방지대책에 대한 연구의 필요성이 제기되었다.

본 연구는 2002년 6월부터 2003년 9월까지의 기간 중에 계속된 집중호우로 많은 피해를 입은 강원도 군부대 지역의 사면붕괴 현장조사 자료를 분석하고 재해방지 대책을 강구하는데 주안을 두고 있다. 강원산간 ○○지역의 사면붕괴는 1일 최대 450mm이상, 3일간 800mm이상의 강우가 특정 지역에 집중되어 내림으로서 사면의 표면 침식 및 지표수의 흐름에 의한 침식이 진행되어 사면붕괴가 발생되었고, 조성직후에 식생을 충분히 하지 않은 장대사면, 보호공이 설치되지 않은 사면 및 노면수가 집중되고 있는 도로의 곡선과 같은 곳에서 사면붕괴가 많이 발생되었으며, 파괴된 토사가 물과 함께 토석류(debris flow)의 형태로 발전하여 주거지역을 덮치면서 많은 인명피해가 발생하였다. 특히, 산악지형에 위치한 군부대에서 많이 발생하였는바, 이는 군부대주위에 조성된 병커, 교통호 등이 사면붕괴 발생의 주요 요인인 것으로 판단된다. 사면붕괴의 파괴현상은 유수에 의한 침식, 평행활동 및 토석류의 형태를 이루었으며 대부분 얇은 표토층에서 발생하였다.

따라서, 군 실정에 적합한 사면붕괴 정보, 사면붕괴의 안전도 평가기준을 제시하고, 사면붕괴 발생을 예측하기 위해서 강우강도와 사면붕괴 발생과의 관계를 분석하여 군부대 지역에서 발생하는 사면붕괴에 대해 예측·경보할 수 있는 것이 상당히 의미있는 것으로 판단된다.

본 연구는 사면붕괴 발생가능 지역을 측정하는 방법으로

단순히 지형학적인 기준에 의해서 선정하는 것과 사면붕괴 안전성평가 기준표를 이용하는 것을 제시함과 아울러 강원산간 지역에서 발생한 사면붕괴의 발생요인이 되는 강우, 지형, 지질 등의 특성을 파악하고, 군부대 주둔지역에서 나타나는 사면붕괴의 파괴현상과 지역적인 특성을 규명하고자 한다.

2. 사면붕괴의 유발 요인

사면붕괴는 강우, 지형, 지질, 토질, 입상 등의 자연적 요인과 국토개발에 따른 절토, 성토 등 인위적인 요인에 주로 영향을 받아 발생한다. 그 중 강우에 의한 요인이 대표적이며 이에 대한 자세한 고찰이 필요하다.

기후적 측면으로 보면 열대지역과 한대지역의 경계지역에 위치하고 있으며 강우전선, 고기압, 저기압 등의 통과가 빈번하다. 따라서 기후적 특색에 따라 다음과 같은 특징을 보인다.

연평균 강수량이 1,370mm의 아시아 계절풍 지대에 속하며, 하계에는 온난다습한 북태평양 고기압의 남동풍의 온순기후의 영향으로 강수량이 많은 우기가 되고 동계에는 한랭한 북서풍인 시베리아 고기압의 영향으로 건기와 우기의 구별이 뚜렷하다.

이러한 기후적 특징과 4월~7월에 걸쳐 강우를 내리는 온대성 저기압, 8월~9월에 내습하는 열대성 저기압(태풍) 및 이동성 고기압에 의한 영향과 북태평양 고기압과 오호츠크 고기압에 의한 장마로 인한 특징이 있다. 그림 1과 같이 강수는 년 평균 강수량의 약 66%가 6월~9월에 집중강수의 형태로 나타나고 있다. 이때 집중되는 강수는 그 형태나 규모에 따라 다음과 같이 크게 두 가지로 나타날 수 있다. 그 하나는 집중호우 형태인 이동성 저기압에 의한 영향(강우전선)이고 다른 하나는 강우강도에 영향을 받는 태풍에 의한 집중호우의 형태로 구별할 수 있다. 이러한 특징들은 모두 짧은 기간에 걸쳐 강수가 집중되므로 사면붕괴나 하천 범람등의 피해를 유발시키는 요인이 된다. 즉 6월~7월 사이에 발생하는 강수는 오호츠크 고기압과 북태평양 고기압의 강세로 대표적인 우기를 나타내고 있다. 또한 장마전선과 이때 형성되는 기압골 사이로 중국대륙에서 형성된 이동성 저기압이 서해를 지나 다습해지면서 집중호우를 유발시킨다. 따라서 연평균 강수중 대부분이 이러한 경우에 발생하고 이때 년 평균 강수량의 약 10% 정도가

내리며 재해를 유발시키게 된다. 한편 태풍은 북태평양 동서쪽 해상에서 발생하게 되는데 사면붕괴는 주로 이 시기에 많이 발생하게 된다.

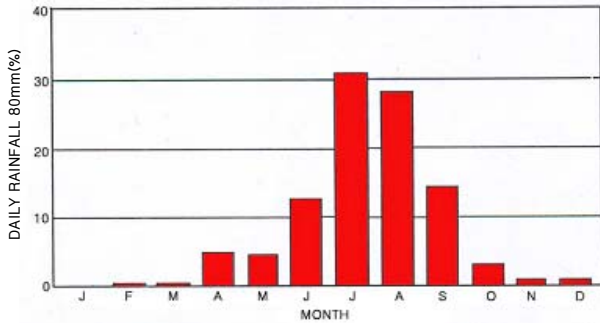


그림 1. 일 강우량 80mm 이상의 월별 분포(건설부, 1988)

따라서 강수와 사면붕괴 발생과의 통계적인 연구를 통하여 강우량으로 발생을 예측·경보할 수 있는 기준이 연구자들에 의해 제안되었는데, 시우량 30mm 이상, 일우량 140mm 이상이면 사면붕괴가 발생할 확률이 매우 높은 것으로 평가되었다.

강우가 내리면 지표면이 침식되고 침투수로 인하여 자체의 단위중량이 증가하며 토층과 암반층 사이에서 임시 지하수위가 발전한다. 이러한 현상은 궁극적으로 사면의 안전성을 감소시켜 사면붕괴를 촉진시키는 원인이 된다.

3. 평창·영월 군부대 지역 사면붕괴 형태 분석

3.1 연구대상지역 현황

강원산간 지역의 사면붕괴는 2002년 6월부터 2003년 9월 사이의 지역적인 집중호우로 인하여 발생하였다. 특히 ○○지역의 강수량은 5일 동안 내린 강우가 연 강수량 1534.4mm의 1/3을 넘었으며 88년이래 최다 강수량을 기록하였다.

○○지역의 이번 사면붕괴로 군부대에서 피해가 많이 발생하였다. 이는 피해지역 산지에 군부대가 많이 산재해 있었기 때문이다. 특히, 군부대 지역에는 군작전을 위한 전술기지(병커, 관측소, 장비기지 등)와 여러 가지 기능의 건물과 전술도로 및 교통호 등이 구축되었으며, 건물이 신축되기 위해 산능선이나 정상부에 인위적인 절토·굴토작업이 이루어졌다.

3.2 지형 및 지질

이번 조사지역의 지질은 한반도 중부지역의 지질구조대 지역에 해당되며, 특히 강원도지역은 크게 변성퇴적암류와 화성암류가 분포한다. 조사지역은 그림 2와 같이 화강편마암과 퇴적암(조선누층군)이 주로 분포하고 군부대 지역에는 변성도가 낮은 사질편마암(sandy slate)과 암회색 혈암(dark greyshale) 및 운모질 천매암(mica phyllite)이 분포하는 것으로 조사되었다. ○○지역은 경기육괴의 변성암 복합체를 기반암으로 하여 이를 관입한 주라기 화강암이 넓게 분포하고 조사지역을 참고한 곳은 상부에 화강암 풍화토층을 갖는 화강암반과 비교적 가파른 기복을 보이는 변성암으로 구성되어있다.

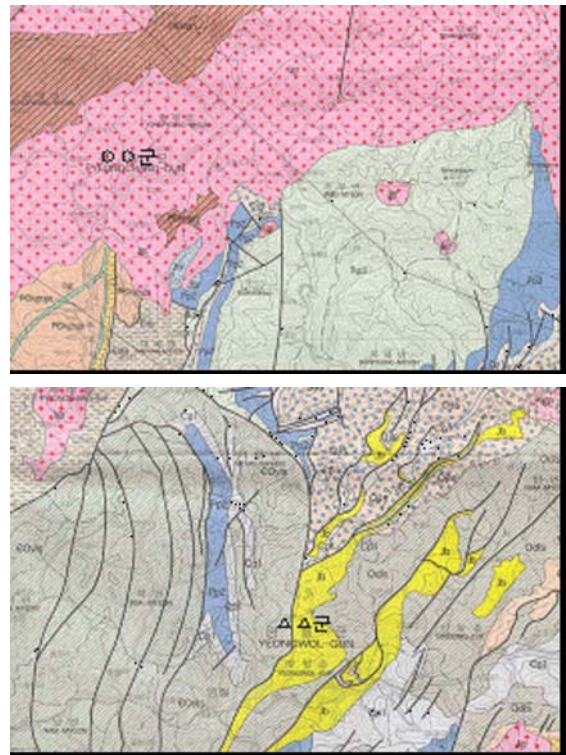


그림 2. ○○지역의 지질

3.3 사면붕괴 요인

○○군부대 지역에서 발생한 사면붕괴는 지형상 산지인 중상부 부분이 약 30°이상의 급격한 경사를 갖는 자연사면으로 구성되어 있어 항상 사면활동의 잠재성을 포함하고 있다. 한국의 사면붕괴의 가장 중요한 요인은 강우이며 이번 사면붕괴시 또한 많은 양의 강우가 짧은 시간에 국지적

으로 내렸다. 강우가 내린 표토층으로 침투가 발생하여 지반의 포화도가 높아지며 따라서 사면의 유효응력이 감소하고 사면을 구성하는 표토층의 자중이 증가하여 사면붕괴가 발생한다. 특히, 조사 자료를 분석한 지역은 나무와 관목이 제거되어 지표유출이 많았으며 낮은 곳으로 모아진 유출수는 약한 부분을 침식하면서 흐른다는 것을 알았다. 침식이 발생하면 점차 사면이 불안정하게 되어 사면의 파괴를 유발하게 됨과 동시에 조사한 지역은 군 작전을 위한 막사, BOQ, 배수로, 전술도로 등과 교통호·개인호 등이 산능선 정상부 등에 구축되어 있고, 이때 사면의 인위적인 절토, 성토, 굴토 작업이 이루어져 사면의 안전성을 크게 감소시켰으며 사면 불안정 주요요인이 되었다.

○○지역의 사면붕괴를 강우와 사면붕괴의 발생시점으로 해석하면 그림 4와 같이 1, 2일 전부터 선행강우가 있었으며, 사면붕괴는 최대시우량 후 1~2시간 내에 발생하였음을 알 수 있다.

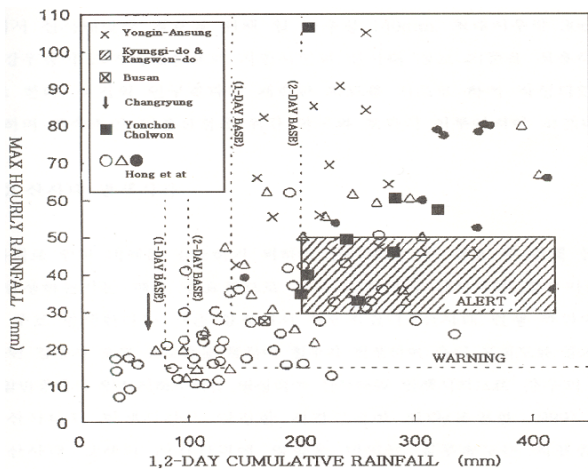


그림 3. ○○지역 붕괴발생 일강우량과 최대시우량

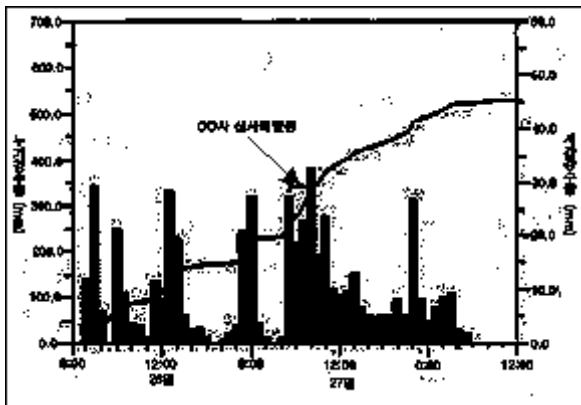


그림 4. ○○지역 강우와 사면붕괴 발생

4. 사면붕괴 안전도 평가기준

사면붕괴로 인한 피해를 경감하기 위한 일련의 과정으로 사면붕괴의 발생이 예상되는 지역을 선정하여 그 가능정도를 평가하는 것은 매우 중요하다. 잠재적인 파괴가능 지역의 선정과 평가에는 지형학적, 지질학적, 기상학적, 지반공학적인 요인들이 모두 고려되어 대상지역의 특성에 맞는 기준이 제시되어야 한다.

사면붕괴 위험지역을 선정하는 일은 개인의 주관적인 생각이 개입될 요건을 갖추고 있다. 또한 대상 지역이 넓고 대부분 경사가 급하고 접근하기 어려운 산지로 전 지역을 방문 선정하는 일은 현실적으로 어렵다. 따라서 본 연구에서는 지형도를 이용하여 대상지역을 선정하는 지형학적인 선정기준방법을 사용하였다.

4.1 사면붕괴 안전도 평가표 작성

국내에서 주로 이용되는 안전도평가표는 산림청의 임업연구원과 홍콩의 위험사면 선정기준을 바탕으로 수정·보완된 한국건설기술연구원의 안전도 평가표가 있으나 본 연구의 평가대상이 군부대 지역이므로 이 지역에 맞는 수정된 평가표의 작성이 요구되었다.

본 연구에서는 건설기술연구원의 안전도 평가기준표 중 ○○군부대 지역 사면붕괴에 적용할 수 없는 항목 p)사면저부로부터 구조물, 도로, 운동장과의 거리, q)사면의 상·하부상태, r)예상되는 피해구조물, s)위험피해 요소와 예상피해점수 산정식은 군 시설과 무관하므로 제외시켰으며, 나머지 항목 a)~o)를 적용하여 군 시설물 사면붕괴 안전도 평가표를 작성하고자 한다. 이중 c)사면상부 경사각 또는 사면상부 구조물 항목과 l)사면상부에 물이 고일 수 있는 조건 항목을 군 실정에 맞도록 재구성하였다.

○○군부대 지역은 항목 c) 내용 중 고속도로와 지방도로는 존재하지 아니함으로 군 시설과 관련 있는 전술도로와 교통호, 병커로 내용을 수정하여 평가를 실시하고자 한다.

먼저 고속도로와 전술도로와의 차이점을 분석하면 다음과 같다.

- 고속도로 : 구체화된 계획으로 체계화된 공법에 의해 전문 공사업체에 의해 완벽한 시공기술로 시공한 도로로 차선폭, 횡단구배, 종단구배, 곡률반경 등을 고려하여 다

짐과 각종도로와 연계된 구조물 설치와 각종 법면에 대한 법면처리 및 배수처리시설 등의 정확한 공법에 의해 시공된 완벽한 도로라 할 수 있다.

- 전술도로 : 군용 전술도로는 군 작전상 여러 가지 제한조건과 악조건 하에서 산악지형에 시공된 도로가 많다. 전술도로는 충분한 노면 다짐 실시가 미흡한 비포장이 대부분이며, 횡단구배의 유지미흡으로 노면 배수처리가 미흡한 실정이고 도로시설 공사 시 각종 구조물인 암거/교량의 용량 부족과 도로의 측구배수로 설치가 다수 미흡한 실정이며, 절토지역 법면처리인 옹벽, 산마루측구, 사태방지망, 잔디식재, 사면보호블록, 식생토 등이 미흡하게 시공되어 있고, 또한 물이 모이는 낮은 지역 배수시설인 맨홀 암거, 횡배수관 미설치와 용량부족이 대부분이며 전술도로에서는 비포장 도로가 대부분이며, 중차량통과가 많으므로 법면 유실방지를 위해 노면을 여유있게 만들어야 함에도 불구하고 노면이 부족한 실정이다.

이상과 같이 고속국도와 전술도로의 차이점을 분석했으며 사면상부 경사각과 상부 구조물 시공 유·무를 조사대상지역 자료 분석한 6곳 지형에서 살펴본 결과는 표 1과 같음을 알 수 있다.

표 1. 사면 상부구조물 시공 유·무 및 사면 상부경사각

구 분	막사 배후면	전술 도로	연병장 전사면	배수로 사면일대	P.X 측면	BOQ
상부 구조물	교통로	전술 도로	병 커	전술도로	P.X 측면	BOQ 배수로
상부 scrap 경사	50°	38°	50°	48°	54°	40°

본 연구에서는 고속국도와 전술도로 분석에서 살펴본 바와 같이 고속국도와 전술도로는 차이가 많이 있고, 사면붕괴 발생 가능성이 군의 전술도로가 높으므로 전술도로에 불안정 점수를 5점 더 부여하여 사면붕괴 발생을 최소화하도록 본 연구에서는 기존 평가표에 전술도로를 포함한 군부대지역 평가표를 작성하였다. 군부대 지역 사면 대부분이 자연사면을 절토하여 시설물을 설치함으로 사면상부에 구조물이 시공되어 있으며, 사면 상부 경사각은 최소 38°~54°까지 경사각을 이루고 있음을 알 수 있다. 본 연구에서는 c) 항목의 불안정 점수를 기존의 한국건설기술연구원의 안전도 평가표의 값을 적용하여 평가하며, 1)항목은 군부대 지역에서 사면붕괴는 대부분이 집수지에서 발생하였으

므로 사면 상부에 군사시설물인 교통호, 병커 등 강우가 암반면으로 직접 침투 조건을 갖추면 불안정 점수를 많이 부여하는 것이 타당하다고 판단하였다. 본 연구에서는 한국건설기술연구원에서 부여한 5점 보다 많은 점수를 부여해야 할 것으로 판단되어 10~20점으로 상향하여 평가하였다.

평가법의 배점은 각 국가기관별 평가항목을 살펴보면 위험도 항목의 경우는 84.5%이며 피해도 항목은 15.5%로 나타나고 있다. 특이한 사항은 일본 건설성과 한국도로공사의 기준에 의하면 항목의 배점을 두지 않고 사면의 현황에 주안점을 두고 있다는 것이며, 군사시설물이 위치한 사면은 더욱 그 문제가 심각하다. 따라서 이러한 종합적인 사항을 감안하여 5점 이상의 추가적인 배점 증가가 필요하다.

표 2. 한국건설기술연구원의 사면 안전도 평가기준표

요 소	점 수
a) 사면 높이, H(20)	흩 사 면 = H×1 암 사 면 = H×0.5 혼합사면 = H×1
b) 사면 경사각(20)	자연사면 절개사면 절개사면 (암사면) (이외사면) ≥36°=10, 90°=10, ≥60°=20 ≥31°= 8, ≥80°=8, ≥55°=15 ≥26°= 5, ≥70°=5, ≥45°= 5 ≥21°= 3, ≥60°=2, ≥35°= 3 ≥20°= 0, ≤60°=0, ≤35°= 0
c) 사면상부 경사각 또는 사면상부 도로유무(15)	상부경사각 도로 유무 ≥45° = 20 ≥35°또는 고속국도 = 10 ≥20°또는 지방도로 = 5 ≥20° = 0
d) 불안정한 옹벽 (무제한)	옹벽의 높이(m) ×2
e) 임분경금(15)	미림목지 = 10 유 수 림 = 10 소 경 목 = 10 중 경 목 = 0 군 전술상 벌목이 수행된 경우 5점 첨가
f) 횡단면형(10)	요 형 = 10 직선복합형 = 10 철 형 = 0
g) 사면 상태(10)	느슨한 암편이 있는 경우 = 10 파괴의 징후가 있는 경우 = 10 사면 상태가 불량 = 5
h) 사면과 옹벽의 결함 상태(10)	불 량 = 10 보 통 = 5 양 호 = 0

표 2. 한국건설기술연구원의 사면 안전도 평가기준표(계속)

요 소	점 수
j) 절 리(5)	사면 방향과 일치하는 절리가 있는 경우 = 5
j) 지 질(15)	변 성 암 = 10 화 강 암 = 5 분 출 암 = 10 제3기 압류 = 10 퇴 적 암 = 10 상기암 상부에 붕적층으로 피복된 경우는 5점 가산
k) 불투수암반 사면에 대한 지표수의 배수로(15)	전혀 없음 = 15 50%(부분적) = 8 나 뚝 = 5 양 호 = 0
l) 사면 상부에 물이 고일 수 있는 조건(5)	사면 상부에 물이 고일수 있는 여 건이 형성된 경우 =5
m) 사면에 배수로(10)	전혀 없거나 완전하지 못함 = 10 완전하나 큰 균열이 있는 경우 = 10 완전한 경우 = 0
n) 물을 이동시킬 수 있는 시설(5)	높이 H 내에 있으면 = 5 없으면 = 0
o) 용수 상태(절개사면) (15)	위치 극심 보통 사면중간 = 15 = 10 사면하부 = 10 = 5 자연사면인 경우 용출수 확인 = 15
p) 사면저부로부터 구조물 도로운동장 과의 거리(m)(무제한)	구조물 = 설계 거리 도 로 = 거리+2 운동장 = 실제거리 또는 1/2H 농경지 = 실제거리 또는 1/2H
q) 사면의 상부하 상태(20)	사면의 상단부에 확장사면이 있는 경우 = 0.5 사면의 상하단에 확장사면이 있는 경우 = 20
r) 예상되는 피해구조물(2)	병원, 학교 주거지역, 공장 2 농경지, 운동장 10 고속도로, 국도 10 지방도로 0.5 확트인 경우 0
s) 위험 피해 요소(1.25)	인구밀집 지역이나 사면 붕괴에 의해 구조물의 붕괴가 예상 1.25 그 외 1.0
불안정 점수 = $\sum \{a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n, o\}$ 예상피해점수 = S 종합점수 = 불안정점수 + 예상피해점수	

표 3. 군부대 지역 사면 붕괴의 안전도 평가표

요 소	점 수
a) 사면 높이, H(20)	흙 사 면 = $H \times 1$ 암 사 면 = $H \times 0.5$ 혼합사면 = $H \times 1$
b) 사면 경사각(20)	자연사면 절개사면 절개사면 (암사면) (이외사면) $\geq 36^\circ = 10, 90^\circ = 10, \geq 60^\circ = 20$ $\geq 31^\circ = 8, \geq 80^\circ = 8, \geq 55^\circ = 20$ $\geq 26^\circ = 10, \geq 70^\circ = 5, \geq 45^\circ = 20$ $\geq 21^\circ = 10, \geq 90^\circ = 2, \geq 35^\circ = 20$ $\geq 20^\circ = 10, \leq 90^\circ = 0, \leq 35^\circ = 20$
c) 사면상부 경사각 또는 사면상부 구조물(20)	상부경사각 도로 유무 $\geq 45^\circ$ 전술 도로 =20 $\geq 35^\circ$ 교통호, 벙커(고속국도)= 10 $\geq 20^\circ$ 교통호, 벙커(지방도로)= 5 $\geq 20^\circ = 0$
d) 불안정한 옹벽 (전도, 균열)	옹벽의 높이(m) $\times 2$
e) 임분경급(15)	미림목지 = 10 유 수 림 = 10 소 경 목 = 10 중 경 목 = 0 군 전술상 벌목이 수행된 경우 5점 첨가
f) 횡단 면형(10)	요 형 = 10 직선복합형 = 10 철 형 = 0
g) 사면 상태(10)	느슨한 암편이 있는 경우 = 10 파괴의 징후가 있는 경우 = 10 사면 상태가 불량 = 5
h) 종단면적(20)	하 강 형 = 20 상승복잡형 = 5 평 행 형 = 0
i) 절 리	사면 방향과 일치하는 절리가 있는 경우 = 5
j) 지 질 (기반암)(15)	변 성 암 = 10 화 강 암 = 5 분 출 암 = 10 제3기 압류 = 10 퇴 적 암 = 10 상기암 상부에 붕적층으로 피복된 경우는 5점 가산
k) 불투수암반 사면에 대한 지표수의 배수로(15)	전혀 없음 = 15 50%(부분적) = 8 나 뚝 = 5 양 호 = 0

표 3. 군부대 지역 사면 붕괴의 안전도 평가표(계속)

요 소	점 수
l) 사면 상부에 집수지, 암반면에 직접 강우 침투 조건	사면 상부에 집수지 형성 및 교동호, 벙커 등 강우가 암반면으로 직접 침투 조건 = 10~20
m) 흙사면에 배수로(10)	전혀 없거나 완전하지 못함 = 10 완전하나 큰 균열이 있는 경우 = 10 완전한 경우 = 0
n) 물을 이동시킬 수 있는 시설(상수관등)(5)	높이 H 내에 있으면 = 5 없으면 = 0
o) 용수 상태(절개사면)(15)	위치 극심 보통 사면중간 = 15 = 10 사면하부 = 10 = 5 자연사면인 경우 용출수 확인 = 15
불안정 점수 = $\sum \{a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n, o\}$	

4.2 안전도 평가 기준 비교

표 4, 표 5, 그림 5는 건설기술연구원의 사면 안전도 평가기준과 군부대 지역 사면붕괴 안전도 평가기준을 이용하여 평창·영월 군부대 지역의 사면붕괴에 대한 안전도 평가 비교표이다. 평가점수는 객관성을 고려하여 한국건설기술연구원 사면 안전도 평가 기준에서 P)~S) 항목은 제외하였다. 이는 객관성뿐만 아니라 군 실정에 적용하기 부적절하기 때문이다.

표 4. 한국건설기술연구원의 안전도 평가기준 점수분포

구 분	막사 배후면	전술 도로	연병장 전사면	배수로 사면일대	P.X 측면	BOQ 전사면
a	20	20	20	20	20	20
b	10	10	10	10	10	10
c	15	10	15	15	15	10
d	0	0	0	0	0	0
e	10	10	5	5	5	10
f	5	10	15	15	15	5
g	10	10	10	10	10	10
h	0	0	0	0	0	0
i	0	0	0	0	0	0
j	15	10	15	15	15	15
k	15	15	5	5	15	8
l	0	0	0	0	0	5
m	10	10	10	10	10	10
n	0	0	5	5	0	5
o	0	0	0	0	0	0
불안정점수	110	110	95	95	110	98

표 5. ○○군부대 지역 안전도 평가기준 점수분포

구 분	막사 배후면	전술 도로	연병장 전사면	배수로 일대사면	P.X 측면	BOQ 전사면
a	20	20	20	20	20	20
b	10	10	10	10	10	10
c	20	20	20	20	20	20
d	0	0	0	0	0	0
e	10	10	5	5	5	10
f	10	15	15	15	15	10
g	10	10	10	10	10	10
h	0	5	5	5	5	0
i	0	0	0	0	0	0
j	15	10	15	15	15	15
k	15	15	5	5	15	8
l	0	0	0	0	0	20
m	10	10	10	10	10	10
n	0	0	5	5	0	5
o	0	0	0	0	0	0
불안정점수	120	125	120	120	125	143

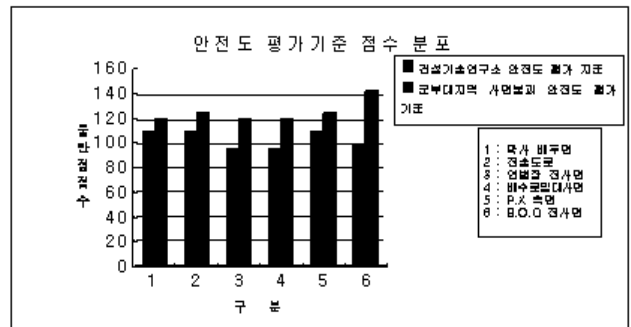


그림 5. 불안정 점수 비교표

○○군부대지역의 현장조사 지역 6개소의 한국건설기술연구원 기준 점수 분포는 최소 95~최대 110이였으며, 군부대 지역 사면붕괴 안전도 평가표 점수 분포는 최소 120~최대 143의 불안정 점수분포로 나타났다. 이는 군부대 지역내 절·성토, 굴토 등이 사면붕괴발생을 촉진하는 요인으로 작용하고 있음을 알 수 있다. 따라서 군부대 지역의 불안정 점수 분포에 따라 군부대지역에 알맞은 사면붕괴 발생 가능성 기준을 정하고자 한다. 현재 한국건설기술연구원에서 적용하고 있는 사면 평가기준은 다음 표 6과 같이 향후 위험사면의 정밀조사나 개량의 우선순위를 검토하는데 이용하도록 제시된 것으로, 우리나라 사면에 범용으로 적용하여 사용하고 있다.

표 6. 한국건설기술연구원의 사면평가 기준(1989)

불안정점수	사면평가 기준
불안정 점수 > 150	A 사면붕괴 위험성이 대단히 크다.
150 > 불안정점수 > 100	B 사면붕괴 위험성이 크다.
100 > 불안정점수	C 사면붕괴 위험성이 작다.

본 연구에서는 사면붕괴 발생 가능성 판단 기준을 표 7과 같이 설정하기로 하였다. 표 7은 군부대 지역에 발생하는 사면붕괴에 적합하도록 본 연구에서 설정하였으며, 한국건설기술연구원의 항목보다 5개의 항목의 삭제로 불안정점수를 줄여서 적용하였다.

표 7. 군부대 지역 사면붕괴 발생 가능성의 판단기준

판단기준	사면붕괴 발생 가능성
불안정 점수 > 110	A 사면붕괴 발생 가능성 매우 크다.
110 > 불안정점수 > 90	B 사면붕괴 발생 가능성 크다.
90 > 불안정점수	C 사면붕괴 발생 가능성 작다.

4.3 안전도 평가 신뢰성 검토

안전도 평가기준에 대해 수치해석 및 한계평형해석을 이용하여 신뢰성을 확인하고 군사시설물 보강시 가장 많이 사용되는 보강방법들을 비교 검토하여 토사사면의 안정성 확보에 가장 유리한 안정화 방안을 연구하고자 한다. 해석 대상은 기존의 사면 안전도 평가기준과 군부대 지역 사면붕괴의 안전도 평가표의 불안전 점수차가 큰 BOQ가 위치한 사면을 선정하였다. BOQ 하부사면은 높이 15m 정도의 토사사면으로 40°의 경사를 이루고 있다.

유한차분법을 이용한 사면안정 해석시 사용된 강도정수는 표 8과 같으며, 현장 조사시 채취한 시료에 대해 실내시험을 통하여 결정된 것이다.

표 8. 유한차분해석 적용 강도정수

구분	단위 중량 (t/m ³)	탄성 계수 (t/m ²)	프라이송비 (v)	점착력 (t/m ²)	마찰각 (°)
지반	1.8	60400	0.35	1.0	35
구조물	2.5	2323790	0.18	2.5	40

해석 모델은 Mohr-Coulomb 모델로 탄소성해석을 하였으며, 해석시 구속조건으로는 하부지반을 고정하였으며, 하중조건으로는 중력과 구조물의 중량을 적용하였다. 또한 지하수 고려시에는 지하수위가 일정하게 유지된다고 가정

한 상태에서의 지하수 지표면까지 포화된 상태에서 사면안정 해석을 하였다. FLAC에서 지하수를 모델링할 경우에는 간극수압이 자동적으로 계산되며, 유체의 체적계수, 물의 밀도와 인장한계가 전체 격자에 대해 지정되어 지하수면을 정의한 영역 하부는 정수압 상태로 가정하였다.

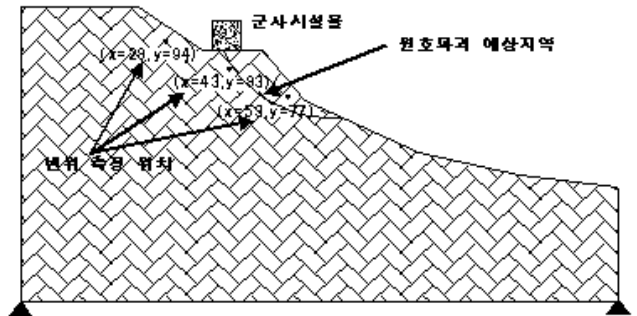


그림 6. 연구대상사면 해석 모델링

4.3.1 유한차분법 해석 결과

해석 결과는 구조물 하부, 구조물이 설치된 상부사면과 하부사면의 변위를 관찰하였으며, 구조물이 설치된 하부사면만을 보강하여 보강시의 변위를 관찰하였으며 상부사면은 미보강 하였다. 이는 구조물의 영향을 받을 것으로 예측되는 하부사면의 변위와 보강시의 변위를 측정하기 위해서이다. 해석결과 각 단계별 변위는 사면 절취시에 지하수 미고려시 수평방향 변위는 최대 5cm, 수직방향 변위는 최대 9cm였으며, 지하수를 고려한 경우는 수평방향 변위는 최대 2cm, 수직방향 변위는 최대 9.2cm로 해석되었다. 구조물 설치시에는 지하수 미고려시 수직방향 변위는 최대 6cm, 수평방향 변위는 최대 2cm, 지하수를 고려할 경우 수직방향 변위는 최대 5cm, 수평방향 변위는 최대 3cm로 해석되어 막사 측면부 사면이 변형을 일으키는 것으로 해석되어 한국건설기술연구원의 평가기준보다 본 연구에서 제시한 평가표가 더 신뢰성이 있음을 알 수 있었다.

표 9. 유한차분법해석 결과

(단위 : m)

구분	변위 측정 좌표	지하수위 미고려		지하수위 고려	
		수직 방향 변위	수평 방향 변위	수직 방향 변위	수평 방향 변위
토사면 절취	x=28, y=94	9.057e-2	5.982e-3	9.260e-2	6.888e-3
	x=43, y=83	1.169e-1	2.206e-2	1.210e-1	2.973e-2
	x=53, y=77	6.377e-2	1.216e-2	7.736e-2	2.391e-2
구조물 설치	x=28, y=94	6.278e-2	1.642e-2	5.810e-2	1.263e-2
	x=43, y=83	3.651e-2	2.216e-2	2.696e-2	3.267e-2
	x=53, y=77	2.540e-2	9.228e-3	3.248e-2	2.296e-2

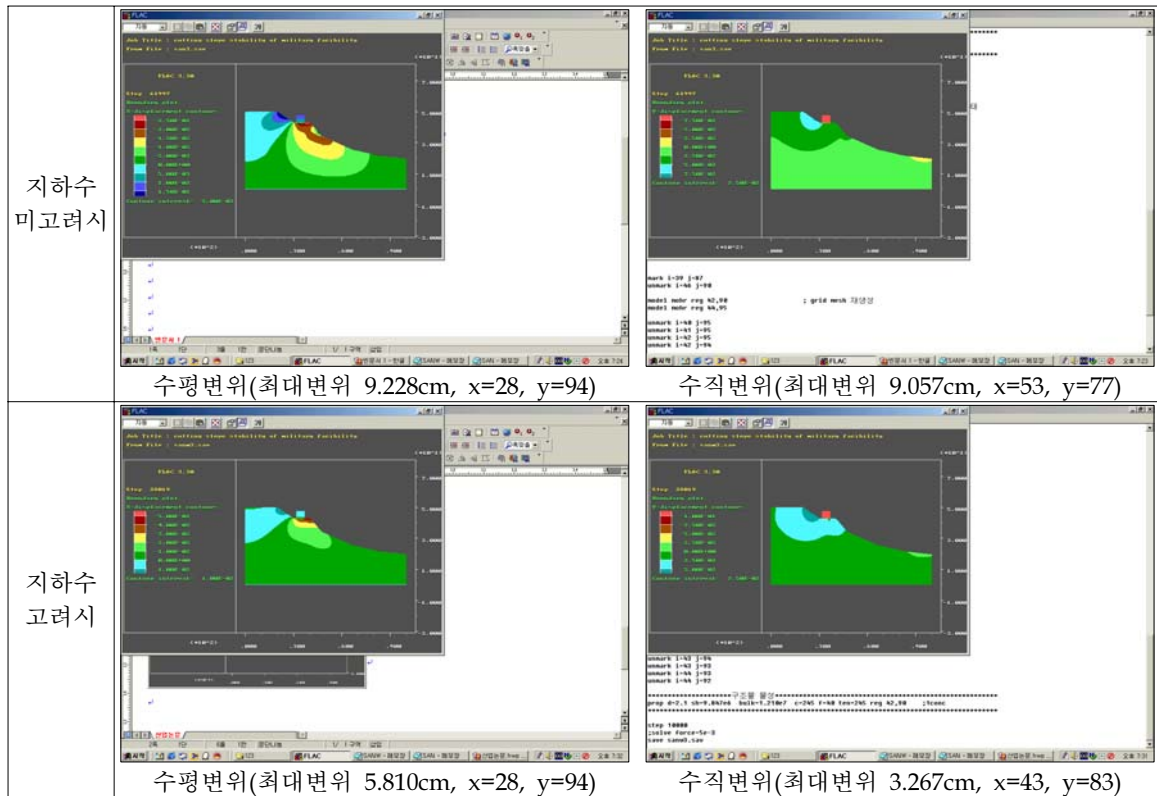
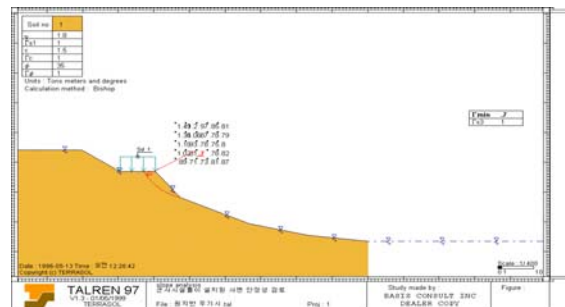


그림 7. 대상사면 유한차분해석결과

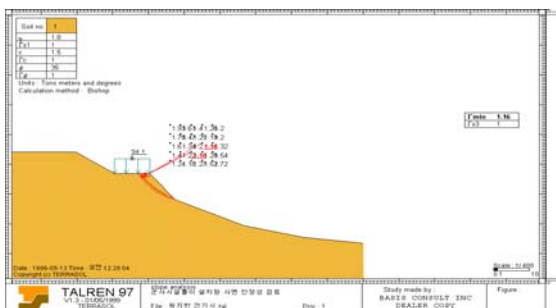
4.3.2 한계평형해석 결과

도로설계요령의 절토사면 지하수위 적용기준을 이용하여 건기시 목표 최소안전율은 1.5, 우기시 최소안전율은 1.2로 적용하였다. 지층은 토사로 단일 지층이며 수위는 만수위로 가정하였고 구조물은 단위중량 $2.5 t/m^2$ 을 하중으로 적용하였다. 한계평형해석 결과 건기시 1.16, 우기시 0.7로 기준안전율을 만족하지 못한 것으로 해석 되어 기존의 안전도 평가기준과는 달리 붕괴 가능성이 큰 것을 알 수 있었다.



(b) 우기시 $F_s = 0.7$

그림 8. 대상사면 한계평형해석 결과



(a) 건기시 $F_s = 1.16$

5. 결 론

본 연구는 평창·영월 군부대 지역에서 발생한 사면 붕괴 자료 연구를 통해 사면붕괴 발생요인을 고찰하였다. 또한 산사태 예측·경보 기준과 기존의 산사태 안전도 평가표를 분석하여 현실정에 적합한 안전도 평가표를 작성하였으며, 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- (1) 평지보다 산악지형에 위치한 군부대에서 사면붕괴가

다수 발생하였으며, 파괴형상은 유출수에 의한 침식, 평행활동 및 토석류 형태가 대부분이었다.

- (2) 본 연구에서는 한국건설기술연구원의 안전도 평가기준을 군 시설물이 위치한 지역에 적합하도록 항목 및 부가 점수를 재조정하였다. 한국건설기술연구원의 안전도 평가표 항목은 19개의 항목으로 구성되어 있으며 이중 p), q) r), s) 항목은 산악지형에 위치한 군 시설물과 무관한 경우가 많아 상기 항목을 제외시키고 15개 항목으로 조정하였다. 그리고 나머지 항목에 대해 군 실정에 적합하도록 불안정 점수를 10~20점으로 상향 조정하여 군시설물이 위치한 6곳을 선정 안전도 평가를 실시하였다.
- (3) 한국건설기술연구원의 안전도 평가표를 이용하여 대상사면을 평가한 결과 불안정 점수는 최소 95~최대 110이었으며, 본 연구에서 제시한 평가표를 이용한 결과는 최소 120~최대 143으로 나타났다. 한국건설기술연구원의 안전도 평가 결과 사면붕괴의 위험성이 작을 것으로 검토 되었으나 본 연구에서 제시한 안전

결과를 얻을 수 있었다. 이와 같은 결과의 신뢰성을 검토하기 위해 수치해석 및 한계평형해석을 실시하였다.

- (4) 본 연구에서 제시한 안전도 평가표의 신뢰성을 검토하기 위해 한국건설기술연구원의 안전도평가표와 본 연구에서 제시한 안전도 평가표로 연구대상 지역의 사면을 평가하고 불안정 점수의 분포차가 큰 BOQ 전사면을 대상으로 수치해석 및 한계평형해석을 실시하였다. 검토 결과, 최대 5~9cm의 변형을 일으켰으며, 한계평형해석 결과 기준안전율을 만족하지 못하는 것으로 해석되어 본 연구에서 제시한 안전도 평가표의 신뢰성을 검증할 수 있었다.

감사의 글

본 논문은 상지대학교 2001년 대학종합평가대비 논문지원연구비로 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

(접수일자 : 2004년 10월 15일)

참 고 문 헌

1. 김영목(1990), 강우로 인한 사면 불안정, 한국지반공학회, 제 7권, 제 3호, pp. 53~64.
2. 이승호(2002), 강원도 산악도로 절개사면의 파괴특성 분류에 관한 연구, 한국지반공학회 사면안정 학술발표회, pp. 111~120.
3. 한국과학기술원(1994), 내사면 파괴 특성을 고려한 토사사면의 안정해석 및 보강기법 시스템, 건설교통부.
4. 김상규(1994), 한국에서 발생하는 지반활동, East Asia Symposium and Field Working on Land slides and Derbis Flows.
5. 국립방재연구소(2002), 사면붕괴 유형별 원인과 저감대책 연구.
6. Ching, R. K., Sweeney, D. J. and Fredlund, D. G.(1984), Increase in factor of safety due to soil suction for two Hong Kong slopes, Proc. 4th Int. Symp. Landslides, Toronto, Canada, pp. 617~624.
7. De Natale, J. S.(1991), Rapid Identification of Critical Slip Surfaces : Structure, Journal of Geotechnical Engineering, pp. 1568~1589.
8. Duncan, J. M.(1996), State of the art : Limit equilibrium and finite element analysis of slopes, ASCE, J. Geotechnical Engineering, pp. 577~596.
9. Yagi, N., Yamagami. t. and Jiang, J. C.(1999), Slope Stability Engineering, Vol. 2, A, A. Balkema.

도 평가 결과는 사면붕괴가 클 것으로 검토 되어 상반된