

매리 땅밀림형 山沙汰의 發生特性에 관한 分析 (III)

— 斜面的 安定解析을 中心으로 —

朴在鉉^{1*} · 崔 敬² · 裴鍾淳^{3*} · 麻鎭燮⁴ · 李宗學⁵ · 尹豪重⁶

¹진주산업대학교, ²한국산지환경조사연구회,

³경상대학교 공과대학 건설공학부 토목공학과 교수, 경상대학교 공학연구원 연구원,

⁴경상대학교 농업생명과학대학 산림과학부, ⁵유비시스템, ⁶국립산림과학원

Analysis on the Characteristics of the Landslide in Maeri (III)

— With a Special Reference on Slope Stability Analysis —

Jae-Hyeon Park^{1*}, Kyung-Choi², Jong Soon Bae^{3*}, Ho-Seop Ma⁴,
Jong-Hak Lee⁵ and Youn Ho-Jung⁶

¹Department of Forest Resources, Jinju National University, Jinju, Gyeongsangnamdo 660-758, Korea

²Korean Society of Forest Environmental Research, Janghyeonri 472-866, Korea

³Prof., Dept. of Civil Eng., Division of Construction Eng., College of Eng., and Researcher, Engineering Research Institute, Gyeongsang National University, Jinju, Gyeongsangnamdo 660-701, Korea

⁴Division of Forest Science, Gyeongsang National University, Jinju, Gyeongsangnamdo 660-701, Korea

⁵Ubi System, Seongnam 461-200, Korea

⁶Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

요 약: 김해시 상동면 매리 산사태지의 발생특성을 밝히기 위한 일련의 연구를 진행중에 있으며, 본보에서는 지반 조사, 시추공내영상촬영, 탄성파탐사 및 실내시험 후 안정해석을 실시하였다. 안정해석결과, 영역 I 지역은 집중호우 시 땅밀림 산사태가 발생할 위험이 있으므로 계측기를 설치하여 지표의 변위발생을 모니터링하고, 변위가 발생할 경우 긴급복구가 필요한 지역으로 판단된다. 영역 II는 토사유실이 장기간 지속될 경우 붕괴(slope failure)가 예상되므로, 향후 지속적인 관찰과 보수가 필요할 것으로 사료된다. 영역 III은 상부로부터 침수되는 지표수 배제 및 상부 너덜(talus)지역으로부터 침투된 지하수의 배제를 위한 시공이 필요할 것으로 사료된다. 영역 IV는 현재 안정한 지역으로 가능하면 절취 등 훼손이 발생하지 않도록 하는 것이 바람직할 것이다.

Abstract: This study was carried out to analyse the landslide characteristics by ground investigation, borehole image processing system, field seismic test, laboratory test and ground stability analysis at the landsliding area occurred in Maeri, Sangdong-myeon, Gimhaesi, Gyeongsangnam-do. Region I needs to install data logger system to monitor a land displacement during the heavy rainfall events because the region can be liable to occur the land slide by land creeping. It is needed to restore rapidly, if the land displacement occurs in Region I. Region II needs to monitor and repair because of the possibility of slope failure by long-term soil loss. Region III needs constructions to remove ground runoff and ground water to be infiltrated from talus. Region IV where is a stable region, needs to be protected from land cutting or other man-made damage.

Key words : bore hole image processing system, field seismic test, land slide

서 론

우리나라에서 산사태는 산지 비탈에서 주로 집중호우로 인하여 흙이 포화되면 응집력을 잃어 일정 깊이의 흙층이 비교적 작은 규모로 급속히 무너져 내리는 중력침식

현상을 총칭한다(우보명 등, 1996a). 특히 이러한 산사태에 의한 피해가 증가일로에 있어 인공사면뿐 아니라 암반 절취사면에 대한 산사태 방지를 위한 예지시스템을 개발하고(임업연구원, 2003), 산사태 발생원인을 분석함으로써 기존의 산사태에 대한 문제점 및 개선방향을 강구하고 있다(강원대학교 산림과학연구소, 2003).

땅밀림형 산사태는 이동토괴의 규모가 크고, 이동속도

*Corresponding author
E-mail: pjh@jinju.ac.kr

는 매우 느린(0.01~10 mm/day) 특징을 가지고 있다(土木施設防災工法研究會, 1984; Varnes, 1984). 또한, 사면경사가 25~35° 정도인 집수사면에서 발생률이 높고, 지하수가 규칙적인 배열을 하는 경우 발생위험도가 증가되며(中村, 1981), 산사태 발생시에는 상부 지표면에 滑落崖 및 引張龜裂이 형성된다는 특징이 있다(廣住 등, 1990; 이영남, 1991). 땅밀림 산사태 발생시에는 토괴의 신축 및 매몰, 용기현상에 의한 계단상 지형이 발달하고(矢野, 1983), 도로의 변형, 구조물의 파괴, 수목의 이상성장 등의 뚜렷한 징후를 수반하기도 한다(久保田, 1985). 또한, 땅밀림형 산사태로 인한 침식 토사 및 암석 등이 계곡으로 유입되면 토석류로 발전할 수도 있다(池谷, 2004). 이러한 땅밀림 산사태에 대하여, 일본의 경우 대책공법기술의 역사가 깊고 발전되어 있으나, 우리나라에서는 발생사례가 적어 이에 대한 연구 및 기술 축적이 부족한 실정이다(우보명 등, 1996a; 1996b; 朴在鉉 등, 2003).

산사태를 일으키는 원인은 여러 가지로 생각할 수 있지만 이들 원인을 구분해 보면 산사태 발생에 직접적인 원인이 되는 誘因과 간접적인 원인으로 산사태 발생을 용이하게 하는 素因으로 구분할 수 있다. 직접적인 원인은 자연적 요인으로 강수, 지진, 태풍, 해일 등을 들 수 있으나 지진, 해일 등은 우리나라에서 관련성이 매우 적다(임업연구원, 2003). 1962년 이래 우리나라에서 발생한 중요한 산사태지의 연속강우량과 최대시우량이 밝혀진 자료에 의하면 연속강우량과 최대시우량의 하한치는 각각 216.6 mm(1962년 승주)와 31.5 mm(1977년 서울) 등으로 나타나고 있으며, 평균시우량도 최소 3.6 mm로써 적은 양 일지라도 장시간(3일 이상) 계속 될 경우 산사태가 발생되는 것으로 나타나고 있다(우보명 등, 1996a). 이 연구는 김해시 상동면 매리에서 발생한 산사태에 따른 사면의 안정성을 분석하고 그 복구 대책을 강구하였다.

연구 방법

1. 조사대상지의 위치 및 범위

조사대상지는 경상남도 김해시 상동면 매리 산 131-29번지 일원(朴在鉉 등, 2005)의 붕괴지 및 퇴적지(면적 약 1.5ha)와 피해지역에 영향을 미치는 주변지역으로, 산사태는 표고 40 m에서 60 m까지로 약 20 m의 표고차를 가지며, 산사태지의 평면적은 약 15,000 m²이다.

2. 조사방법

산사태 발생사면의 안정성을 검토하기 위하여 지하수위 및 지층 구성상태를 파악하고 제반 지반공학적 자료를 수집하기 위하여 8개 지점에서 유압 회전수세식 시추기(조사구경; NX 76 mm)를 사용하여 시추조사를 실시하였다. 또

한, 지표지질을 조사하였고, 본 조사지역에 분포하는 지하수위와 이의 변화에 따른 수압 및 유효상재하중을 고려하기 위하여 공내 지하수위를 측정하였다. 시추조사는 각 시추공에 있어서 시추시의 굴진속도, Slime의 상태, 순환수의 색조, 표준관입시험에 의해서 채취된 시료 및 N값 등을 근거로 하여 지층 분포상태를 확인하고, 각 지층별 순서와 지층의 두께를 조사하였다. 아울러 붕괴면의 위치 확인 후 교란층과 원지반층의 지질특성을 파악하고, 붕괴면 하부나 원지반에서는 Core의 회수율을 높이기 위하여 Triple Core Barrel을 이용, 원지반 시료를 채취 시추주상도를 작성하였다. 표준관입시험은 원위치시험에서 구한 N값으로부터 지반의 상대밀도, 내부마찰각, 연경도, 일축 압축강도, 지반의 지지력 등을 산정하였다. 이 시험은 한국산업규격(KSF-2318)에 의거 시추작업과 병행하여 지층이 변하거나 또는 동일 토층일 경우 1.5 m 간격으로 연속성 있게 실시하였고, 이때 구성성분을 파악하기 위하여 교란된 시료도 함께 채취하였다. 시험방법은 Rod 선단에 Sampler를 부착하여 64 kg의 추를 76 cm 높이에서 자유 낙하시켜 샘플러가 총 45 cm를 관입하는데 필요한 타격회수를 측정한 후 시추주상도에 기입하였다. 표준관입시험시 채취된 시료 중 대표적인 시료에 대해서 실내시험을 수행하였으며, 나머지는 함수비의 변화가 없도록 시료병에 넣어 조사명, 조사일자, 공번, 시료채취심도, N값, 토질명 등을 기재한 라벨을 붙여 시료 표본 상자에 정리 보관하였다(건설교통부, 2002). 시추공내 지하수위 측정은 시추작업이 완료된 후 3차례에 걸쳐 KSF-2319의 규정에 따라 24, 48, 72시간 이상 경과 후 지표면 밑으로부터 시추공 내에 형성된 지하수면까지 수직 거리를 3회 이상 측정한 후 폐공 처리하였다(전성기, 2001). 시추공내 영상촬영(BIPS : Borehole Image Processing System)은 지하 암반의 균열상태를 직접 영상으로 확인할 수 있고, 암반의 불연속면이나 균열 및 압질상태를 명확하게 규명하고 현장 조사 자료에 대한 다양한 지질정보를 파악하기 위하여 3개소에 대하여 실시하였다. 시추공 간의 조사되지 않은 산사태지의 고결도와 파쇄, 균열의 다소, 풍화 정도 등 지질을 파악하기 위하여 탄성과 탐사를 실시하였다. 흙의 함수비시험은 KSF 2306, 비중시험은 KSF 2308, 액·소성한계 시험은 KSF 2303, 체분석시험은 KSF 2309, 입도시험은 KSF 2302의 방법으로 분석하였으며, 사면안정해석은 Pc Stable5M을 이용하였다(전성기, 2001).

결과 및 고찰

1. 영역별 사면안정성 분석

사면안정성 분석 대상의 지역은 4지역으로 구분하고, 이

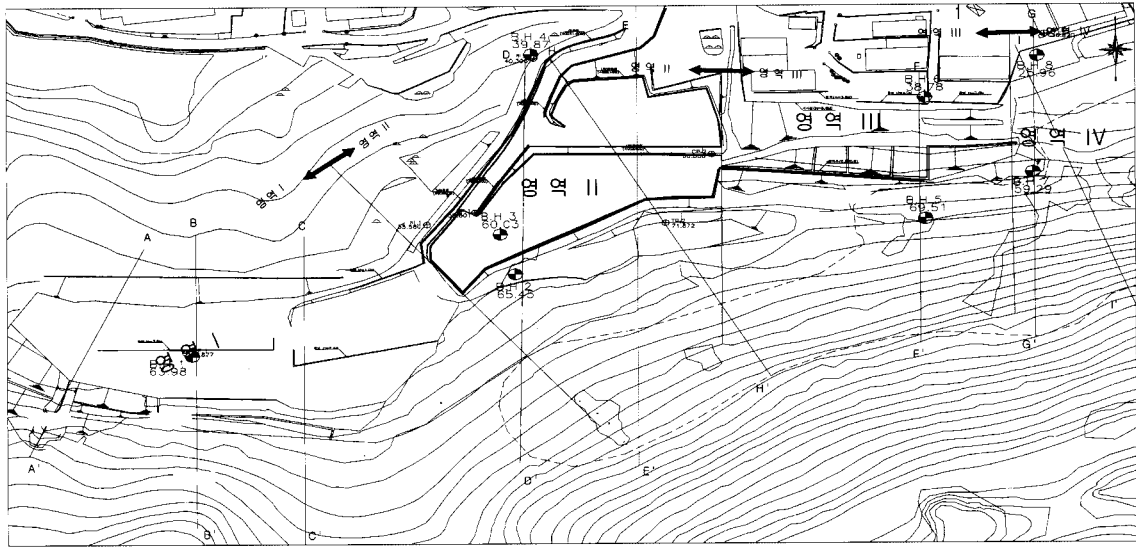


그림 1. 조사대상지 영역 구분 및 사면안정성 구분 단면도.

에 대해 안정성 검토를 실시하였다. 산(남쪽방향)을 바라 보면서 오른쪽에서부터 영역 I로 시작해 영역 IV까지 구분하였다. 영역 I 지역은 매리 A지구(1호지~13호지)와 매리 B지구(14호지~22호지)로 사면활동이 발생한 지역이며, 영역 II 지역은 창신산업 및 석원기계 공장부지 조성을 위해 구조물 설치 후 정지 작업한 구역이며, 영역 III 지역은 사면활동 후 사면보강공이 시행된 지역이며, 영역 IV 지역은 너덜지구이다. 각 영역별로 사면안정 상태를 검토하였으며, 영역 구분도는 그림 1에 도시하였다. 이때 사면안정성 분석 단면은 영역 I은 A-A', B-B'단면, 영역 II는 H-H'단면, 영역 III은 F-F'단면, 영역 IV는 I-I'단면으로 구분하였다.

1) 지층구분 및 토질정수

현사면의 지층 구분을 위해 시추조사, 시험굴 및 탄성파 시험 결과를 이용하였고, 이를 고려하여 각 단면의 지층을 구분하였다. 또한, 사면 안정성 검토에 적용된 지반

표 1. A-A' line의 붕괴지역을 역해석한 결과 지반의 강도 정수.

토층 구분	단위체적중량 (ton/m ³)	내부마찰각 (°)	점착력 (ton/m ²)
붕적토	1.80	25	1.5
풍화토	1.90	30	2.5

표 2. 현장시험 및 실내시험에서 구해진 지반강도 정수.

조사지역	단위체적중량 (ton/m ³)	내부마찰각 (°)	점착력 (ton/m ²)
TP-1	1.642	27.3	1.3
TP-2	1.660	25.8	1.1
TP-3	1.684	26.2	1.0

강도 정수는 원래 현장시험을 통하여 구한 결과를 적용하는 것이 바람직하나 본 검토에서는 붕적토층(퇴메움층)을 제외하고는 지반강도 정수가 구해지지 않았다. 따라서 본 검토에서 적용된 지반강도 정수는 A-A' Line인 경우, 붕적토층과 풍화토층은 역해석을 통해 구해진 지반강도 정수(표 1)를 적용하였고, B-B' Line, F-F' Line, H-H' Line, I-I' Line의 경우 붕적토층(퇴메움층)의 지반강도 정수는 현장시험 및 실내 전단시험을 통해 구해진 지반강도 정수(표 2)를 적용하였으며, 풍화토층의 지반강도 정수와 A-A' Line의 역해석 결과를 비교 검토한 결과 A-A' Line의 역해석 결과가 신빙성 있는 것으로 나타나 A-A' Line의 역해석 결과를 적용하였다. 암층(풍화암, 연암, 경암)에 대한 지반강도 정수는 절리면에서의 암석 전단시험을 실시하

표 3. 사면활동 안정 검토시 적용된 지반정수.

토층 구분	단위체적중량 (ton/m ³)	내부마찰각 (°)	점착력 (ton/m ²)
붕적토	1.66	25	1.0~1.3
풍화토	1.90	30	2.5
풍화암	2.20	30	10.0
연암	2.30	40	10.0
경암	2.40	45	10.0
자갈 및 진석 (너덜 지구)	2.00	45	0.0

표 4. 경암층의 실내시험을 통한 지반강도 정수(절리면을 따라 실험).

공번	심도 (m)	내부마찰각 (°)	점착력 (ton/m ²)
BH-3	31.4	35.6	2.30
BH-5	27.1	36.1	2.10
BH-7	39.2	33.4	0.24

표 5. 현장 보링을 통한 TCR, RQD 지수.

조사지층	TCR(%)	RQD(%)	N값
A-영역	풍화암층	-	-
	연암층	20~100	0~11
	경암층	-	-
B-영역	풍화암층	-	50/10
	연암층	35~90	5~74
	경암층	85~100	36~100 (평균 80%이상)

여 내부마찰각과 점착력을 산출하였으나, 이 값을 적용하기에는 많은 문제점을 안고 있다. 즉 사면의 활동 검토 단면과 암석의 절리 방향이 일치하지 않기 때문이다. 따라서 암층의 지반강도 정수는 TCR값과 RQD값을 이용하여 암층을 분류하였고, 이에 따라 지반강도 정수값(표 3~5)을 적용하였다.

2) 기준(최소)안전율

사면안정 해석시 기준안전율은 지역과 공사내용, 사면의 중요도, 사면 파괴시 주변에 미치는 영향 및 경제성 등에 따라 다르며, 사면안정 해석에 앞서 최소안전율 선정은 매우 중요한 의미를 지닌다(전성기, 2001). 최소 안전

표 6. 최소안전율.

구분	최소안전율	참조	
절토	건기	$F_s \geq 1.5$	- NAVFAC-DM7.1 : 하중이 오래 작용할 경우 - 일본 도로공단(도로설계요령) - 한국도로공사: 일축, 삼축압축시험으로 강도를 구한 경우
	우기	$F_s \geq 1.1 \sim 1.2$	- 영국 National Coal Board
성토	축조 기간중	$F_s > 1.2$	- 일본 토질 공학회
	공용 개시후	$F_s > 1.3$	- 일반적인 구조물인 경우 - 한국 도로공사

표 7. 최소안전율.

구분	지하수	적용 최소안전율
구배조정단면(건기)	미고려	$F_s = 1.5$
현사면(우기)	고려	$F_s = 1.3$
구배조정단면(우기)		

표 8. 역해석 및 실내시험의 토질정수.

종류	단위체적중량 (ton/m^3)	내부마찰각 ($^\circ$)	점착력 (tom/m^2)	
역해석	표토층	1.8	25	1.5
	풍화토층	1.9	30	2.5
실내시험	풍화토층	1.53	31	2.3

율을 계산함에 있어서 지하수의 흐름과 토질의 물리적, 역학적 성질, 즉 전단강도를 어떻게 보는가에 따라 안전율은 상당한 차를 보인다. 제시된 기준안전율에 대한 적용 기준은 표 6, 7과 같으며, 사면안정 해석에 있어 적용된 기준(최소)안전율은 집중호우에 의해 지하수위 상승에 대한 고려(우기)는 1.3, 현 지하수위를 고려할 경우(건기)의 안전율은 1.5를 적용하였다.

3) 각 지역별 사면안정 해석결과

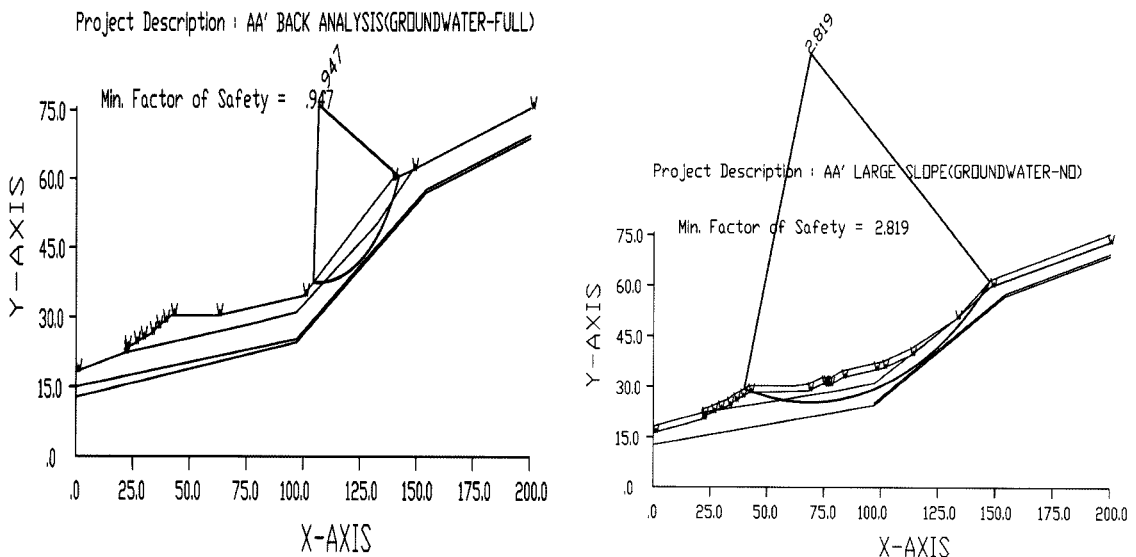


그림 2. A-A' 라인 역해석(기준안전율 $F_s = 1.30$, 산출안전율 $F_s = 0.947$, 좌)와 A-A'라인 현사면 현지하수위시 대사면 검토(기준안전율 $F_s = 1.50$, 산출안전율 $F_s = 2.819$, 우).

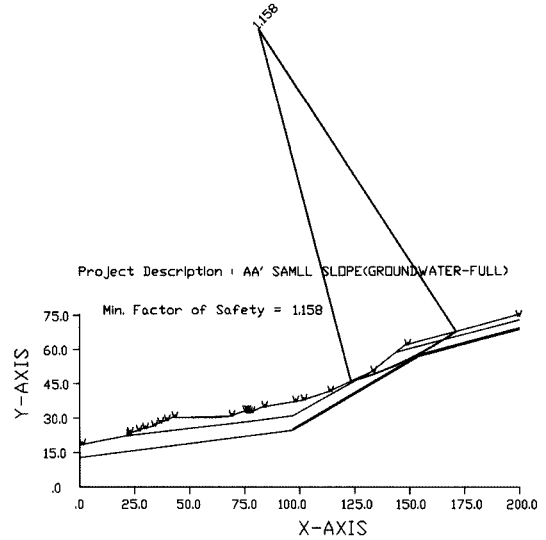
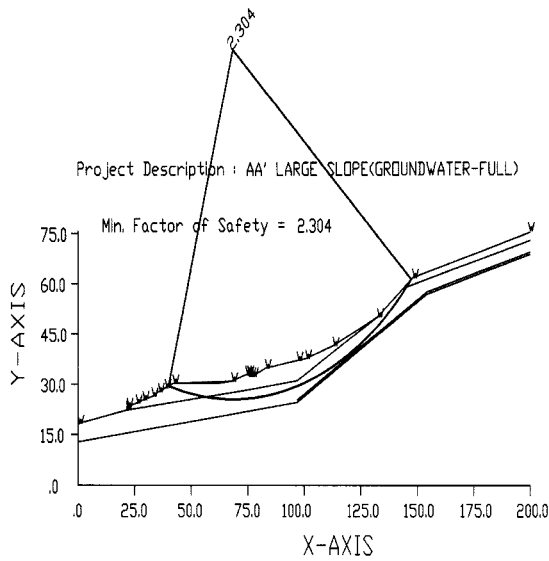


그림 4. A-A'라인 현사면 지표까지 포화시 상부소사면 검토(기준안전율 $F_s = 1.30$, 산출안전율 $F_s = 1.158$).

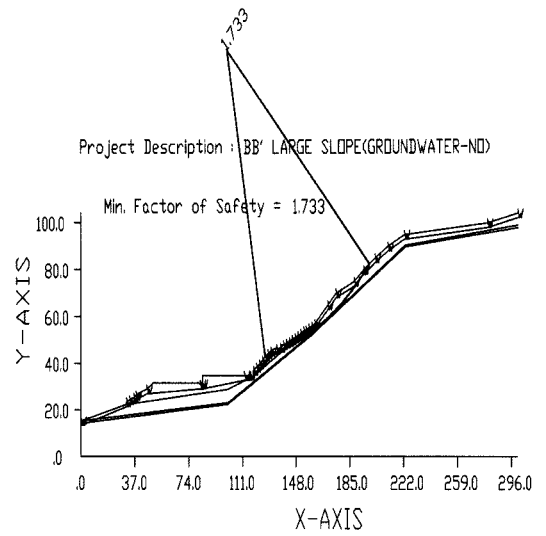
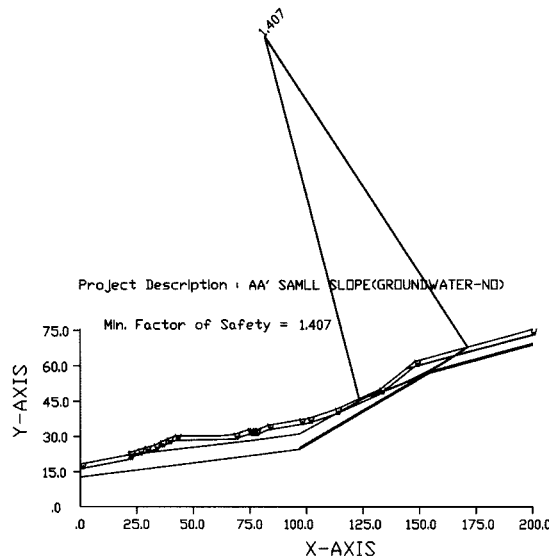


그림 3. A-A'라인 현사면 지표까지 포화시 대사면 검토(기준안전율 $F_s = 1.30$, 산출안전율 $F_s = 2.304$, 좌)와 A-A'라인 현사면 현지하수위시 상부소사면 검토(기준안전율 $F_s = 1.50$, 산출안전율 $F_s = 1.407$, 우).

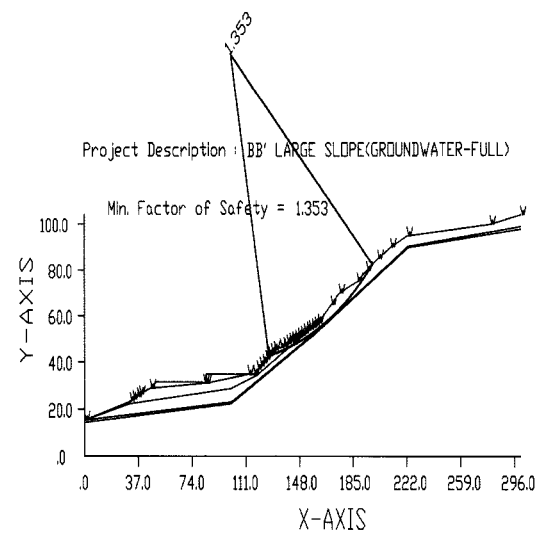


그림 5. B-B'라인 현지하수위시 대사면 검토(기준안전율 $F_s = 1.50$, 산출안전율 $F_s = 1.733$, 좌)와 B-B'라인 지표까지 포화 대사면 검토(기준안전율 $F_s = 1.30$, 산출안전율 $F_s = 1.353$, 우).

(1) 영역 I

가. A-A' 단면

(가) 역해석에 의한 토질정수

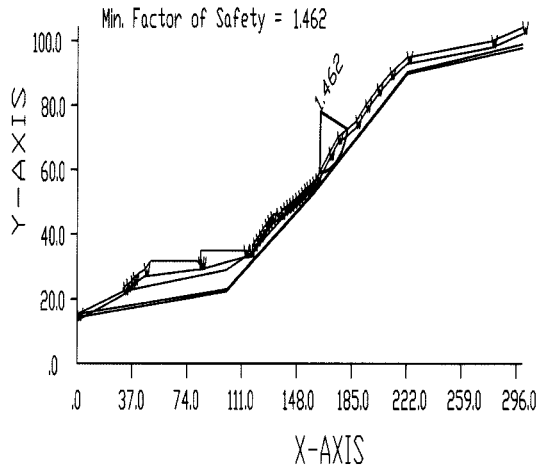
영역 I 지역은 이미 사면붕괴가 일어난 지역으로 현재 2차에 걸쳐 사면붕괴가 진행된 곳이다. 따라서 이 대상지 사면의 토층분포를 육안으로 구별이 가능하며, 토질정수는 역해석에 의해 추정함이 바람직하다. 추가적으로 사면의 일부를 샘플링해서 실내시험 한 결과 역해석의 토질정수가 타당성이 있어 역해석에 의한 토질정수를 사면안정해석에 적용하였다(표 8). 이때 대사면은 사면 전체를 일괄 해석할 때, 소사면은 사면의 일부를 해석할 때 사용하였다.

나. B-B' 단면

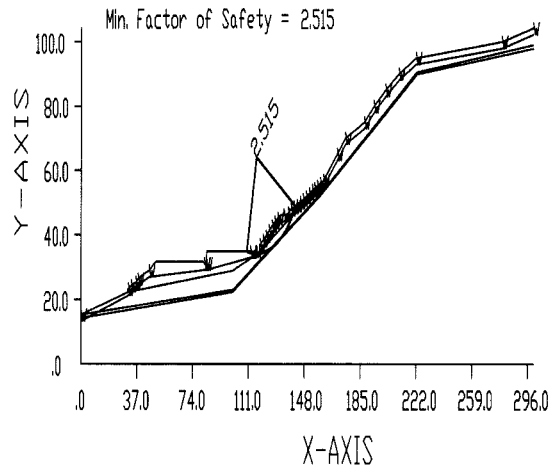
2) II 영역

가. H-H' 단면

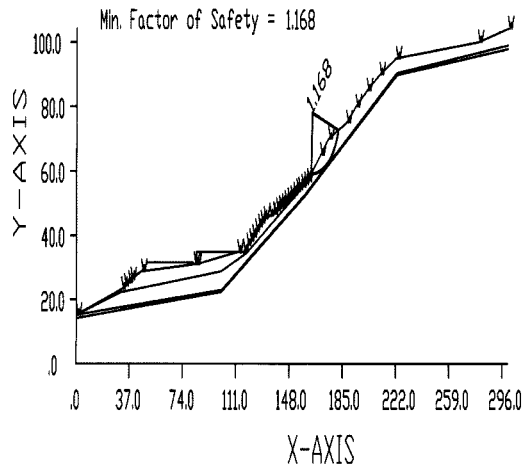
Project Description : BB' SAMLL UPPER SLOPE(GROUNDWATER-ND)



Project Description : BB' SAMLL LOW SLOPE(GROUNDWATER-ND)



Project Description : BB' SAMLL UPPER SLOPE(GROUNDWATER-FULL)



Project Description : BB' SAMLL LOW SLOPE(GROUNDWATER-FULL)

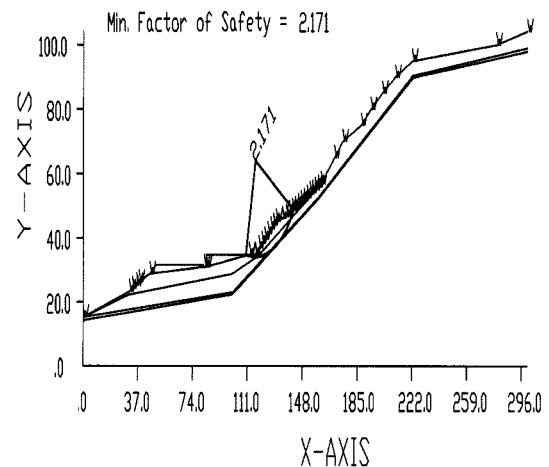


그림 6. B-B'라인 현지하수위시 상부소사면 검토(기준안전율 $F_s = 1.50$, 산출안전율 $F_s = 1.462$, 좌)와 B-B'라인 지표까지 포화시 상부소사면 검토(기준안전율 $F_s = 1.30$, 산출안전율 $F_s = 1.168$, 우).

그림 7. B-B'라인 현지하수위시 하부소사면 검토(기준안전율 $F_s = 1.50$, 산출안전율 $F_s = 2.515$, 좌)와 B-B'라인 지표까지 포화시 하부소사면 검토(기준안전율 $F_s = 1.30$, 산출안전율 $F_s = 2.171$, 우).

3) III영역

가. F-F' 단면

4) IV 영역

가. I-I' 단면

(4) 사면 안정성 해석

각 지역별 안정성 검토결과를 요약하면 다음과 같다. 사면안정 해석을 보다 정확하게 수행하기 위해 시추조사, 시추공내영상촬영(BIPS), 탄성과 탐사 및 현장조사 등의 결과를 종합적으로 고려하여 공학적인 분석에 의한 지층 구조의 재분류를 실시하였다.

1) 영역 I

2) 영역 II

3) 영역 III

4) 영역 IV

사면안정 해석 결과, 영역 I의 A-A' 단면에서 현지하수위 및 지표포화시 대사면은 안정한 것으로 분석되었으나, 상부 소사면은 불안정한 것으로 분석되었다. 또한, B-B' 단면의 대사면과 하부소사면은 안정하고, 상부소사면은 불안정한 것으로 분석되었다. 영역 II에서는 H-H' 단면의 대사면은 안정하고, II-A는 지표포화시 불안정하며, II-B는 안정한 것으로 분석되었다. 한편, 영역 III에서 F-F' 단면의 대사면은 안정하고, 영역 IV의 대사면도 안정한 것으로 분석되었다.

아울러 조사지역의 공내 지하수위는 EL(+) 25.1~66.2 m에 분포하는 것으로 나타났다. 따라서 시추지점인 BH-5, 6지역과 BH-7, 8지역의 지하수위를 검토하면 산정상부의 지하수위가 지표면과 가깝고 산 하부에서 깊게 분포하는 것으로 나타났다. 이는 상부의 포화된 지하수가 하부로 유

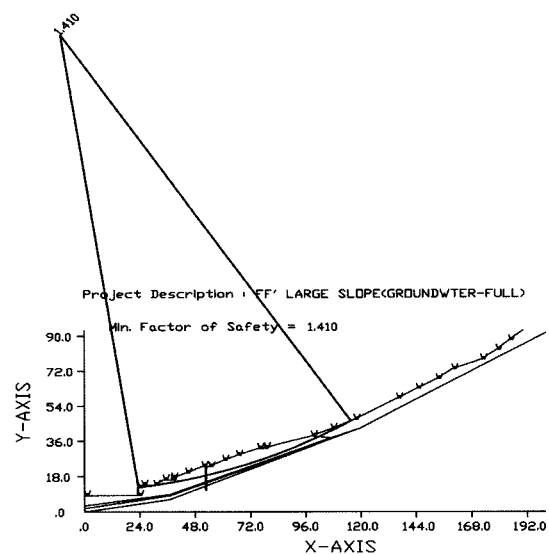
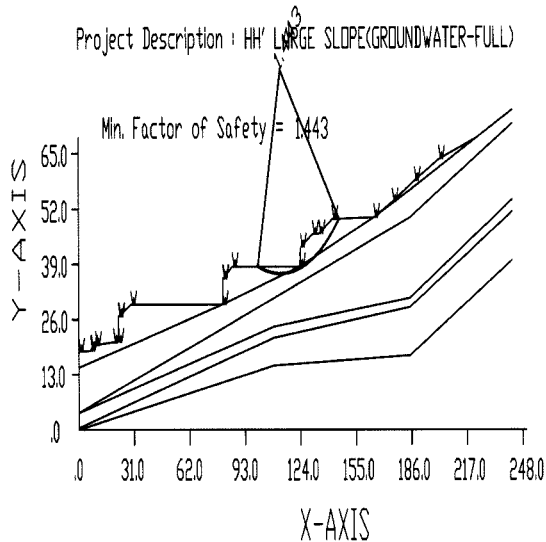
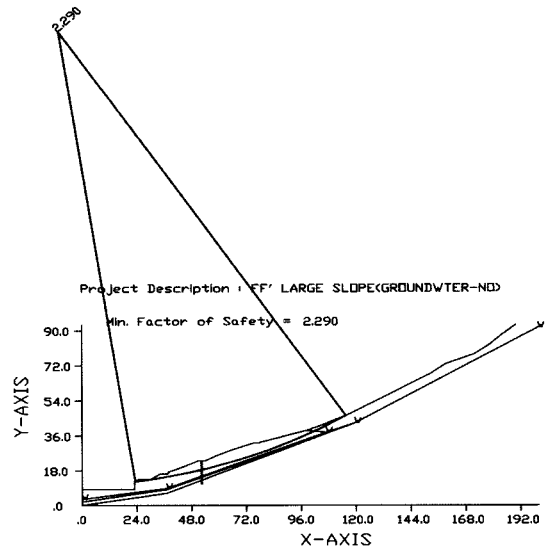
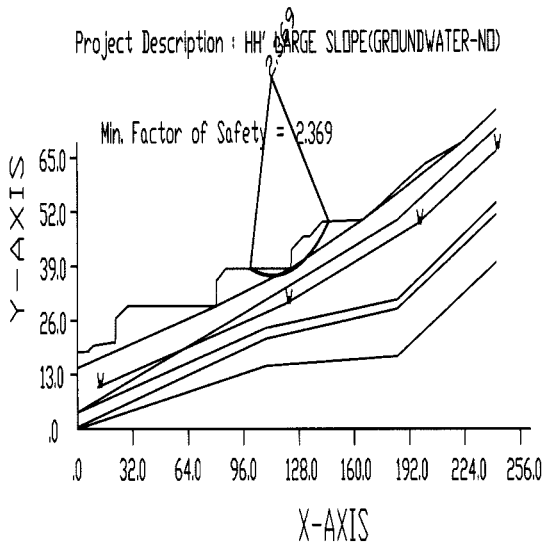


그림 8. H-H'라인 현지하수위시 대사면 검토(기준안전율 $F_s = 1.50$, 산출안전율 $F_s = 2.369$, 좌)와 H-H' 라인 지표까지 포화시 대사면 검토(기준안전율 $F_s = 1.30$, 산출안전율 $F_s = 1.443$, 우).

그림 9. F-F'라인 현지하수위시 대사면 검토(기준안전율 $F_s = 1.50$, 산출안전율 $F_s = 2.290$, 좌)와 F-F'라인 지표까지 포화시 대사면 검토(기준안전율 $F_s = 1.30$, 산출안전율 $F_s = 1.410$, 우).

입됨을 나타내는 것으로 본 지역의 사면 검토시 배수공법 및 관리에 특별히 유의하여야 함을 의미하는 것이다. 한편, 시추공내영상촬영(BIPS) 결과 암반의 불연속면의 방향은 사면방향과 같고, 경사가 50~60도 정도의 절리군이 확인되었다. 이를 사면의 현 상태와 비교한 평사투영해석 결과, 평면 및 전도파괴, 썩기파괴에 대하여 안정한 것으로 확인되었다.

(5) 사면안정 대책

영역 I A-A' 단면 지역의 사면활동에 대한 안정성 검토 결과, 사면상부 천단부분의 애추부분이 불안정하며, 이미 붕괴된 사면내부와 선단의 안전율은 기준안전율을 보다 높아 붕괴가능성이 적으나, 상부에서는 사면붕괴가 일어나는 것으로 산정되어, 위험도 I로 분류하였다. 현재 산마루에는 사면 내로 들어오는 유입수를 우회시키기 위해 양쪽

으로 도랑내기를 시공한 상태이며, 사면 내 용출수와 지반형태로 보아 하부에 불투수층이 존재하고, 사면복구시 용출수에 대한 대책이 필요하다. 아울러 상부사면의 보강공으로 구조물공, 앵커공 등을 적용할 수 있으며, 사면완화공 + 마대(또는 돌망태) 쌓기 + 사면녹화공이 적절하다고 판단된다.

I영역 B-B' 단면 지역은 과거에 식생으로 사면보호공을 실시한 지역으로 현재 표층의 토사 유출이 심하며, 부분적으로 소규모의 사면유실이 진행되어, 위험도 II로 분류된 사면이다. 현재 사면 내 산마루 측구가 존재하며, 이 곳은 상시 물이 흐르는 것으로 판단된다. 이 측구는 사면 내로 직접 유입되는 유입수는 배수시키지 못하므로 반드시 사면 내에 추가적인 산마루 측구 및 소단측구를 설치해야 하며, 피복공은 사면녹화공, 돌망태 및 블록공법 등이 적

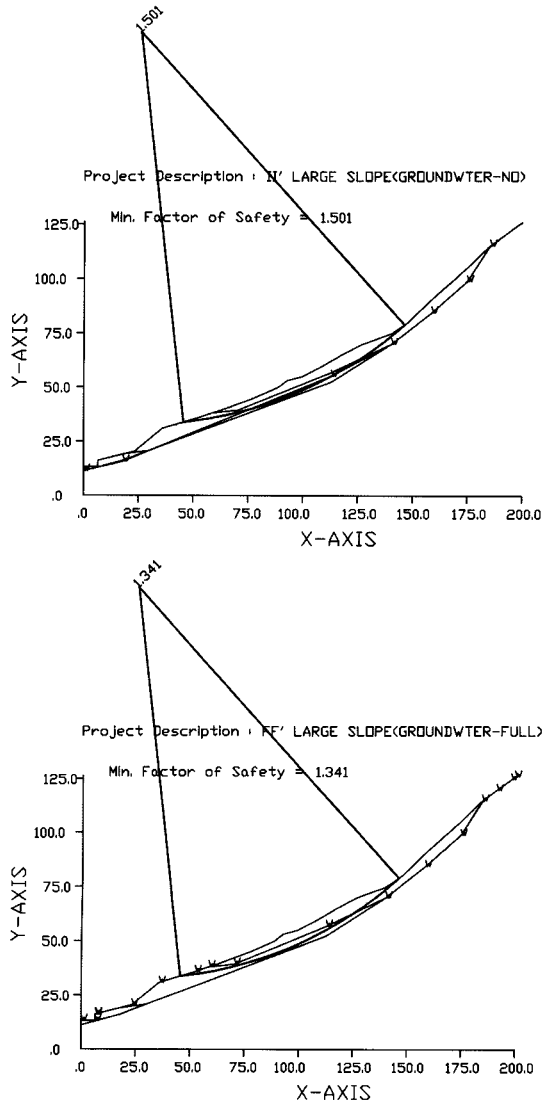


그림 10. H-H' 라인 현지하수위시 대사면 검토(기준안전율 $F_s = 1.50$, 산출안전율 $F_s = 1.501$, 좌)와 H-H' 라인 지표포화시 대사면 검토(기준안전율 $F_s = 1.30$, 산출안전율 $F_s = 1.341$, 우).

표 10. 영역 II의 안정성 검토결과.

H-H' 단면				
	구분	산출 안전율	기준 안전율	비고
대사면	현지하수위	2.369	1.5	안정
	지표포화시	1.443	1.3	안정

표 11. 영역 III의 안정성 검토결과.

F-F' 단면				
	구분	산출 안전율	기준 안전율	판정
대사면	현지하수위	2.290	1.5	안정
	지표포화시	1.410	1.3	안정

표 12. 영역 IV의 안정성 검토결과.

영역 IV I-I' 단면				
	구분	산출 안전율	기준 안전율	비고
대사면	현지하수위	1.501	1.5	안정
	지표포화시	1.341	1.3	안정

용 가능하다. 영역 II H-H' 단면 지역은 전체 사면활동은 일어나지 않고 구조물 하단에 연해서 일어나는 소사면 활동의 경우 지표 포화시에는 불안정한 지역으로 위험도 III으로 분류된 지역이다. 따라서 보강공으로는 연직차단 + 수평배수층 형성이 적합할 것으로 판단된다. 영역 III F-F' 단면 지역은 전체 사면활동 우려가 없는 것으로 산정되었으나 상부의 너덜지구에서 사면으로 유입되는 지하수를 적극적으로 배수할 필요가 있는 지역으로 위험도 III으로 분류된 지역이다. 보강공은 불필요하고, 이미 사면에 시공된 명거 또는 암거를 너덜지구까지 연장하여 지하수 및 지표수 배체가 필요하며, 용출 흔적이 있는 지역은 우선적으로 명거 또는 암거를 설치해야 한다.

영역 IV F-F' 단면 지역은 너덜지구로 사면활동에 대한

표 9. 영역 I의 안정성 검토결과.

A-A' 단면				
	구분	산출 안전율	기준 안전율	판정
대사면	현지하수위	2.819	1.5	안정
	지표포화시	2.304	1.3	안정
상부 소사면	현지하수위	1.407	1.5	불안정
	지표포화시	1.158	1.3	불안정

B-B' 단면				
	구분	산출 안전율	기준 안전율	판정
대사면	현지하수위	1.733	1.5	안정
	지표포화시	1.353	1.3	안정
상부 소사면	현지하수위	1.462	1.5	불안정
	지표포화시	1.168	1.3	불안정
하부 소사면	현지하수위	2.515	1.5	안정
	지표포화시	2.171	1.3	안정

안전율이 거의 기준안전율과 같게 산출되었다. 따라서 향후 너덜하부에 공사 또는 지형변경 등 환경적 변화가 발생시에는 위험해질 수 있으므로, 이 때는 세밀한 검토가 필요하다

I 구역의 상단부에는 너덜이 분포하고 있어 강우시 상부로부터 흘러내리는 지표수가 지중수로 전환되고 있기 때문에 침투수에 의한 붕괴위험성이 상존하고 있는 지역이다. 땅밀림 현상이 발생된 지점 주변은 봉적토층과 풍화토층 깊이가 2.9~9.8m로 위치에 따라 다르게 분포하고 있으며, 지하수위는 현 표고에서 0.9m에서 9.5m 하부에 있기 때문에 땅밀림 발생지에 비하여 다소 안전하다고 판단된다. 그러나 이 지역 역시 땅밀림의 위험성이 존재하고 있다. 이 지역에서 사면안정을 위해서는 산지 상부로부터 흘러내리는 지표수를 집수하여 배출시키는 지표수 배제공과 지중으로 침투된 지하수 배제공, 그리고 사면상부로부터의 토압을 지지할 수 있는 억지공법이 필요하다. 지표수 배제공으로는 돌림수로내기와 산비탈 수로내기가 유용하며, 지하수 배제공으로는 속도랑내기와 보링속도랑내기가 적합하고, 억지공법으로는 축대벽과 억지말뚝공이 가장 효과적이라 판단된다. 돌림수로내기는 사면 상부 마산암 분포지역에 반원관을 이용하며, 산비탈수로 내기는 돌림수로 하단부에, 중수로와 횡수로는 지반이 단단하지 못하므로 콘크리트 수로를 설치한다. 지하수 배제를 위해서는 지하수 분포 위치가 얕은 지역에는 압거공을 설치하며, 깊은 곳은 보링속도랑내기가 적합하다.

II 구역은 봉적토층과 풍화층이 14.2m 이상 26.5m까지 깊게 형성되어 있으나 사면의 횡단면형이凸형이어서 배수가 용이하며, 축대벽이 설치되어 있고 지하수위도 현 표고에서 9.5m 이하로 깊게 형성되어 있어서 비교적 안정지대로 사면 상부 절취 사면에는 흙막이공사와 돌림수로내기, 산비탈수로내기만으로 충분하리라 생각된다.

III 구역은 풍화토층이 11.8m 정도 깊게 형성되어 있으며, 지하수위도 현 표고에서 2m 하부에 존재하고 있어 산지훼손 붕괴의 우려가 높은 지역이다. 현재 공장부지 조성을 위하여 사면이 훼손되어 있으며, 사면안정을 위하여 흙막이 공사가 곳에 따라 설치되어 있으나 기초가 불안한 상태이기 때문에 침식방지 효과는 있었으나 땅밀림 억지에 큰 효과를 주지는 못한다. 이 지역은 계류가 비교적 길게 형성되어 있고 집수유역 하단부에는 상수가 나오는 지역으로 지하수의 흐름이 많은 지역으로 추정된다. 따라서 이 지역 상류에는 계통적인 계간공사를 실시하여 침투수를 최대한 억제하고 공장부지 조성지 사면 훼손지는 보다 큰 규모의 축대벽을 설치해야 한다. 계곡 중, 상부지역은 세부 설계시 시추조사를 병행하여 봉적토층과 풍화토층 깊이가 깊은 경우에는 억지말뚝공을, 깊지 않을 경우에는 콘크리트 축대벽을 설치하는 것이 효과적이다.

IV 구역은 산사태가 발생한 지역으로 역시 풍화토층이 12m에 달하며, 지하수위는 2m 하부에 존재하고 있다. 특히 이 지역은 사면 상부 A지역에서 봉적토 땅밀림 현상이 발생하는 지형인 다구형 凹형 대지상지형이 발달되고 있어 상부에서 땅밀림 현상이 진행되고 있음을 암시해 주고 있다. 이 땅밀림 현상 말단부와 인접한 지역에서 산사태가 발생한 것은 이와 무관하지 않다고 생각된다. 정밀 설계시 이 지역에 시추조사를 통하여 확인해 볼 필요가 있으며, 확인될 경우 현재 산사태지역 훼손사면에는 억지말뚝공으로 땅밀림 현상이 확대되는 것을 막아주어야 하며, 진행 중인 땅밀림 지역에서의 지하수 배제공사도 실시되어야 한다. 또한, 이 지역은 땅밀림 산사태 발생 가능성이 높으므로 항구복구공사 이전에 신속계 등을 이용하여 땅밀림 산사태 진행 가능성에 대하여 면밀히 관측하여 피해 발생 가능성에 대처할 필요가 있을 것으로 사료된다.

결론

이 연구는 김해시 상동면 매리 산사태지의 발생특성을 밝히기 위한 일련의 연구로 본보에서는 지반조사, 시추공 내영상촬영, 탄성파탐사 및 실내시험 후 안정해석을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 영역 I 지역은 향후 집중호우시 땅밀림 산사태가 발생할 위험이 있으므로 계측기를 설치하여 지표의 변위발생을 모니터링하고 변위가 발생할 경우 긴급복구 등 조치가 필요한 지역으로 판단된다. 또한, 지형학적 측면에서 볼 때, 오랜 기간에 걸쳐 서서히 땅밀림 산사태 현상이 지속적으로 발생하고 있는 지역이기 때문에 장기적으로는 산사태 방지공사를 실시할 필요가 있을 것으로 사료된다.
2. 영역 II는 토사유실이 장기간 지속될 경우 붕괴가 예상되므로, 향후 지속적인 관찰과 보수가 필요할 것으로 사료된다.
3. 영역 III은 상부로부터 집수되는 지표수 배제 및 상부 너덜지역으로부터 침투된 지하수의 배제를 위한 시공이 필요할 것으로 사료된다.
4. 영역 IV는 현재 안정한 지역으로 가능하면 절취 등 훼손이 발생하지 않도록 하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

인용문헌

1. 강원대학교 산림과학연구소. 2003. 산사태 발생원인 및 예방대책에 관한 연구. 산림청. 563pp.
2. 건설교통부. 2002. 구조물 기초 설계기준. 320pp.
3. 朴在鉉, 崔敬, 李壽坤, 麻鎬燮, 李宗學, 禹保命. 2003. 內三邑 땅밀림형 山沙汰의 發生特性에 관한 分析 (I) -地形 및 地質特性을 中心으로 -. 한국임학회지 92(3): 246-

- 253.
4. 朴在鉉, 崔敬, 裴鍾淳, 麻鎬燮, 李宗學. 2005. 매리 땅밀림형 山沙汰의 發生特性에 관한 分析 (I) - 地形 및 地質特性을 中心으로 -. 한국임학회지 94(2): 인쇄중.
 5. 우보명, 박재현, 최형태, 전기성, 김경훈. 1996a. 휴석동 땅미끄러짐 산사태의 발생특성에 관한 연구(I) - 땅미끄러짐 산사태지구의 지형 및 지표층위특성 -. 한국임학회지 85(4): 565-570.
 6. 우보명, 박재현, 최형태, 전기성, 김경훈. 1996b. 휴석동 땅미끄러짐 산사태의 발생특성에 관한 연구(II) - 땅미끄러짐 산사태지구의 지질 및 수문특성 -. 한국임학회지 85(4): 571-576.
 7. 이영남. 1991. 산사태(지반공학과 자연재해 II). 대한토질공학회지 7(1): 105-113.
 8. 임업연구원. 2003. 산지개발에 따른 산사태 발생특성 및 산지토사재해 예지 시스템 개발. 농림부. 306pp.
 9. 전성기. 2001. 실무자를 위한 사면안정화 설계실무편람. 과학기술. 278pp.
 10. 최 경. 2001. 산사태 예보와 위험지 판정기술. 방재연구 3(4): 15-27.
 11. 한국도로공사. 2000. 도로설계실무편람(토질 및 기초). 한국도로공사. p. 6.
 12. 池谷浩. 2004. 土石流災害. 岩波新書. 222p.
 13. 廣住富夫, 阿部宗平, 野田猛, 瀬戸俊彦. 1990. トウマングン(インドネシア)の地すべり災害. 新砂防 42(6): 57-59.
 14. 久保田宏. 1985. 平谷地すべり地内における水路工の破壊の現況と補修. 治山林道研究發表論文集 20: 203-209.
 15. 矢野 勝. 1983. 小豆島當賓地區北原地すべり. 治山林道研究發表論文集 18: 200-203.
 16. 中村俊彦. 1981. 地すべり發生豫知についての研究(I). 治山林道研究發表論文集 16: 162-163.
 17. 土木施設防災工法研究會. 1984. のり面及び斜面災害復舊工法. 山海堂.
 18. Varnes, D.J. 1984. Landslide hazard zonation : A review of principle and practice. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. pp. 9-59.

(2005년 6월 1일 접수; 2005년 7월 5일 채택)