

도로사면의 유지관리 문제점 및 개선방안

Maintenance Problems of Road Cut Slope and the Improvement

김 성환 Ph.D., Sung-hwan Kim¹⁾

I. 서론

사면의 안정성은 인간이나 자연의 활동이 자연사면의 예민한 균형상태를 파괴시킴으로서 역사 이래로 계속해서 직면해온 문제이다. 아시아나 유럽에서 수 세기동안 산사태에 대한 기록이 남아있다. 가장 오래된 산사태는 기원전 1767년 중국대륙 중앙의 호난지방에서 발생한 기록이다. 많은 국가들의 기록에 의하면 산사태는 막대한 경제적인 손실을 유발하였다. 특히 산업의 발달로 인구가 증가되면서 불안정한 구릉지에 거주지의 개발이 확대되고 산사태로 인한 인명, 야생동물의 피해와 주거지 산업시설, 농업, 임업, 수질 등에 악영향을 미쳐왔다. 따라서 산사태는 우리가 평소에 인식하고 있던 것보다 사회경제적으로 훨씬 더 큰 손실을 유발시킨다.

최근 산사태에 대한 인식이 많이 바뀌고, 안정대책 방법이 개발되고, 또한 경보체계가 개선됨에도 불구하고 전세계적으로 산사태 발생은 증가되고 있다. 21세기 또한 이러한 경향은 다음과 같은 원인 때문에 계속이어 질 것이다.

- 1) 산업화가 가속되고 사면붕괴가 가능한 비탈지역의 개발이 지속되고,
- 2) 사면붕괴가 가능한 비탈지역의 산림훼손이 지속되고,
- 3) 기후패턴의 변화로 국지적인 집중호우 증가.

국내에서도 그 동안 산업기반시설의 확충이 요구됨에 따라 많은 건설공사가 진행되어 왔다. 이런 건설공사는 산악지가 많은 국내 실정으로는 많은 절취사면이 생성되었다. 절취 사면은 산악지의 절개로 자연 훼손이 수반될 뿐만 아니라, 또한 크고 작은 산사태로 많은 재난을 유발 시켜왔다.

절취사면의 설계는 설계당시에 충분한 검토가 이루어지기 어려운 특성을 갖고 있다. 절취대상지역에 설계인자를 구하기는 시추조사를 위하여 현장 접근성이 어려울 뿐만 아니라, 지반의 지층구조가 복잡하여 소수의 지반조사로를 불연속면의 특성을 파악하는데는 절대적인 한계가 있다. 또한 설계시에 사면의 생애주기 고려한 설계가 이루어지지 못하고 우선의 시공조건만 고려한 설계가 되어 많은 사면의 문제점을 유지관리단계로 전가시키고 있다. 또한 유지관리 단계에서는 설계 시에 고려하지 못한 집중호우로 추가적인 많은 붕괴가 발생되고 있다.

한국도로공사 경북본부 기술처장

미국의 경우에 1990년에 고속도로주변 산악지 유지보수 비용으로 1,500억원 (\$1.15억)을 사용한 바 있으며, 또한 일본의 경우도 6.1조원(\$47억)을 유지보수비용으로 지출한 바가 있다. 한국도로공사에서는 최근 3년간(2000년-2002년) 사면 유지보수 비용으로 610억원을 사용한 바가 있다.

절취사면은 지질구조에 따라 다양한 붕괴양상을 나타내며 지역적인 집중호우로 유지관리 중에 많은 붕괴사례를 보이고 있다. 특히 고속도로 절취사면 유지관리에서 2000년까지 3,589개 사면이 공용 중에 있으며 이중에 675 개소에서 사면활동이 발생되어 유지보수공사를 시행한 바가 있다(그림1.1). 이러한 공용중인 사면의 붕괴는 많은 복구비용이 추가로 소요될 뿐만 아니라 인명피해 및 교통차단으로 인한 물류비 증가 등으로 직·간접적으로 사회 경제적인 많은 손실을 유발했다.

공용 중인 사면의 붕괴는 많은 인명피해와 직결된다. 또한 그 피해액이 상대적으로 크다. 그 동안 신설공사의 절취사면 안전성에만 많은 노력을 기울여 왔다. 그러나 이제는 소홀했던 공용 중인 사면의 안정성에 우리의 관심을 모아볼 시점이다.

본 논문에서는 절취사면의 유지관리단계에서 발생하는 제반실태를 조사 분석하여 이들의 문제점과 그 개선방향을 기술하고자 한다.

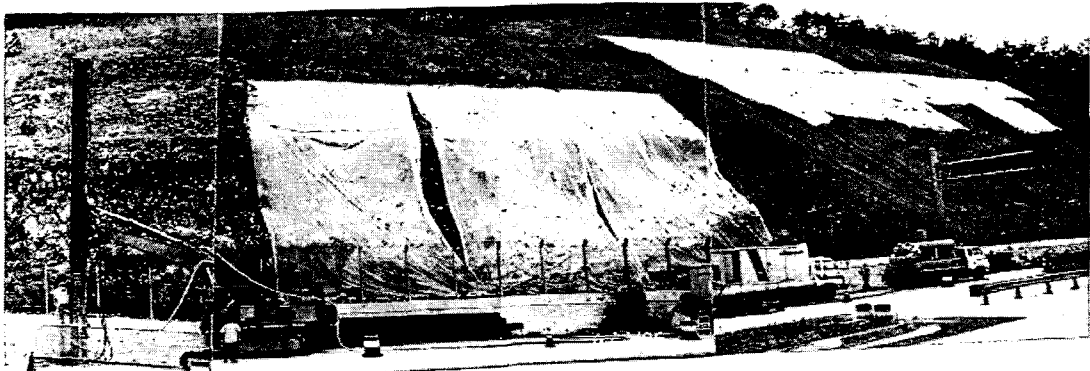


그림 1.1 공용중인 사면에서 붕괴 사례

II. 도로사면 현황

2.1 국내 고속도로 현황

국내의 고속도로는 1967년도 경인고속도로를 시작으로 1970년도에 경부고속도로가 완공되었으며 현재는 25개 노선에 약2,778km(민자 2개선 포함)의 고속도로가 사용 중에 있다(표 2.1 참조).

또한 국민의 편익증진 및 물류증대를 통한 경쟁력 확보를 위하여 계속적으로 신설 및 기존 고속도로의 확장사업이 계속적으로 추진되고 있다. 현재 신설중이거나 계획 중에 있는 구간은 서울외곽순환도로를 비롯하여 중부내륙고속도로 등 21개 노

선, 총 연장 1,275.3km 구간이며 확장 중 또는 확장계획중인 노선은 7개에 621.9km 구간, 민자유치 사업으로 건설 중인 공사구간은 270.8km으로 2004년도까지는 전 노선의 연장이 3,400km에 달할 전망이다(그림 2.1 및 표 2.2 참조).

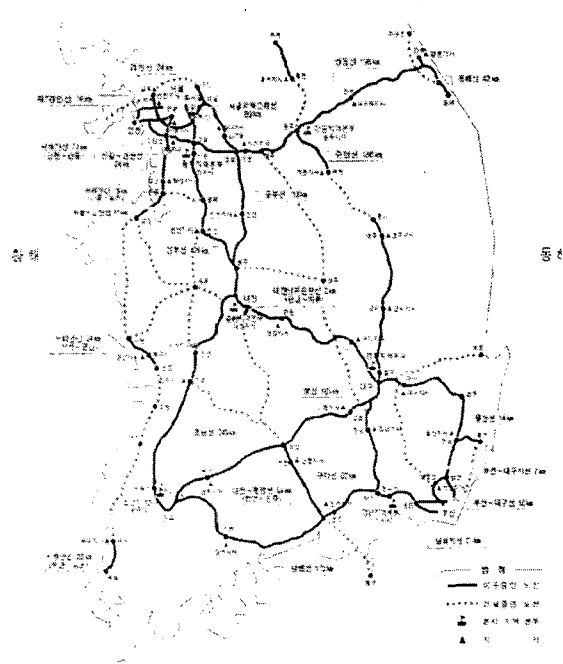


그림 2.1 고속도로 노선 및 건설계획

표 2.1 고속도로 현황(한국도로공사, 2002년 12월 현재)

노선번호	노선명	시점 ~ 종점	노선연장(km)	노선번호	노선명	시점 ~ 종점	노선연장(km)
고속국도 1호선	경부선	부산 ~ 서울	417.48	고속국도 100호선	서울외곽순환선	판교 ~ 판교	91.25
고속국도 10호선	남해선	순천 ~ 부산	169.32	고속국도 102호선	마산외곽순환선	함안 ~ 창원	16.15
고속국도 12호선	88올림픽선	고서 ~ 대구	183.03	고속국도 104호선	남해제2지선	남정 ~ 부산	20.60
고속국도 15호선	서해안선	목포 ~ 서울	340.61	고속국도 110호선	제2경인선	인천 ~ 안양	26.63
고속국도 16호선	울산선	연양 ~ 울산	14.30	고속국도 120호선	경인선	인천 ~ 서울	23.89
고속국도 20호선	익산포항선	익산 ~ 포항	2.61	고속국도 251호선	호남선지선	논산 ~ 회덕	53.97
고속국도 25호선	호남선	순천 ~ 논산	195.16	고속국도 300호선	대전남부순환선	서대전 ~ 산내	12.50
고속국도 35호선	중부선(대전통영선)	통영 ~ 하남	285.77	고속국도 451호선	구마선	현풍 ~ 대구	30.00
고속국도 37호선	제2중부선	마강 ~ 산곡	31.07	고속국도 551호선	중앙선지선	대동 ~ 양산	8.20
고속국도 40호선	평택음성고속도로	평택 ~ 안성	25.80	한국도로공사관리계			2,659.48
고속국도 45호선	중부내륙선	마산 ~ 양평	126.06	고속국도 130호선	인천국제공항선	인천 ~ 고양	36.55
고속국도 50호선	영동선	인천 ~ 강릉	234.39	고속국도 25호선	천안논산선	천안 ~ 논산	82.04
고속국도 55호선	중앙선	부산 ~ 춘천	288.87	민자유치고속도로 소계			118.59
고속국도 65호선	동해선	동해 ~ 속초	61.82	고속국도 총계			2,778.07

표 2.2 고속도로 신설 및 확장공사 구간

구분	노선	구간	총연장(km)	차선수	구분	노선	구간	총연장(km)	차선수
신설중 또는 신설계획 (민자구간 포함)	서울외곽순환	일산-퇴계원	32.3(민자)	6~8	확장중 또는 확장계획	경부선	한남-반포	1.9	8→10
	대전-당진	대전-당진	94.3(민자)	4		경부선	양재-기흥	28.8	8→10
	공주-서천	공주-서천	59.0	4		경부선	증악-옥천	5.4	4→6
	익산-장수	익산-장수	61.0	4		경부선	영동-김천	34.3	4→6
	김천-현풍	김천-현풍	62.0	4		경부선	김천-구미	12.9	4→6
	대전-통영	진주-통영	48.8	4		경부선	구미-동대구	60.8	4→8
	부산-울산	부산-울산	40.0	4		경부선	동대구-경주	54.0	4→6
	증부내륙	충주-상주	81.4	4		경부선	경주-연양	27.6	4→6
	증부내륙	여주-양평	36.6	4		경부선	연양-부산	40.5	4→6
	청원-상주	청원-상주	80.5	4		88선	옥포-성산	12.0	4→6
	대구-포항	대구-포항	68.4	4~6		88선	성산-담양	140.4	2→4
	평택-음성	평택-음성	31.3	6		88선	담양-고서	17.0	2→4.6
	고창-장성	고창-장성	17.2	4		구마선	금호-서대구	3.1	4→6.8
	목포-광양	목포-광양	101.1	4		동해선	강릉-동해	56.1	2→4
	무안-광주	무안-광주	41.5	4		영동선	호법-가남	15.0	4→6.8
	광주우회	장성-담양	27.3	4		영동선	신갈-호법	31.5	4→6.8
	대구-부산	대구-대동	82.1(민자)	4		호남선	논산-전주	24.7	4→6
	서울-춘천	서울-춘천	62.1(민자)	4~6		호남선	동광주-고서	5.9	4→6
	전주-광양	전주-광양	117.7	4		남해선	진주-마산	50.0	4→6.8
	주문진-속초	주문진-속초	43.6	4					
	남순천-동광양	남순천-동광양	13.0	4					
춘천-양양	동홍천-양양	74.1	4						
합	계(21개노선)	1,275.3		합	계(7개노선)	621.9			

2.2 고속도로 주변의 암종분포

고속도로 노선상(1,937.7km)의 암종 분포는 1:50,000 지형도 및 지질도를 참조하여 표 2.3과 같이 조사되었다. 표 2.3에서와 같이 화성암이 43.7%, 변성암 31.7%, 퇴적암 24.6%의 순으로 분포하는 것으로 나타났다. 이들은 비교적 다양한 암종으로 보이나 변성암, 화성암, 퇴적암중 주로 많이 분포하는 암종으로 변성암은 편마암, 편암, 화성암은 화강암, 퇴적암은 세일, 사암이 우세하게 나타난다. 특히 사암, 세일은 대부분 호층의 상태로 혼합되어 나타나며 일부 구간에서 역암이 혼합되어 나타나기도 한다(그림 2.2참조).

표 2.3 전국 고속도로의 암종분포

암 석 종류	연장 (km)	비율(%)	암 석 종류	연장 (km)	비율(%)	암석종류	연장 (km)	비율(%)			
화성암	화강암	713.5	36.8	퇴적암	사암,세일	374.2	19.3	변성암	편마암	532.7	27.5
	섬록암	55.4	2.9		세 일	43.6	2.3		편암,천매암	63.1	3.3
	안산암	31.1	1.6		석회암	21.6	1.1		점판암	15.9	0.8
	반 암	29.3	1.5		사 암	13.4	0.7		규 암	1.0	0.1
	암 맥	15.7	0.8		응회암	10.4	0.5		석회규산염 암	0.6	0.0
	마산암	2.5	0.1		역 암	8.4	0.4		흑연대	0.5	0.0
	규장암	0.1	0.0		돌로마이트	3.5	0.2				
					각력암	1.2	0.1				
43.7%	계	847.6	-	24.6%	계	476.3	-	31.7%	계	613.8	-
합 계									1937.7	100	

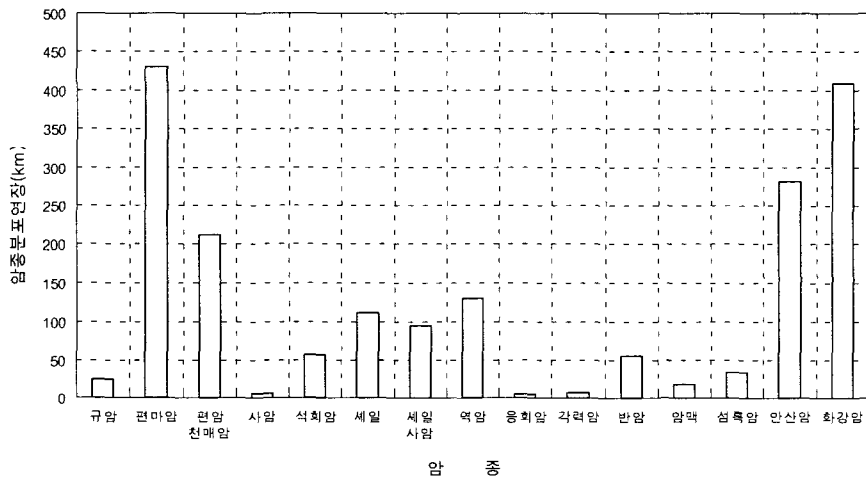


그림 2.2 고속도로 주변의 암종분포

2.3 고속도로 절취사면의 분포현황

2000년 말 현재까지 고속도로 주변에 분포하는 5m 이상의 절취사면은 총 3,589개, 그리고 공사중인 노선에서의 절취사면의 분포개소 수는 1,104개로 전체 사면개소 수는 약 4,781개에 달하고 있다. 또한 지속적인 고속도로의 신설 및 확장으로 인해 절취사면 수는 증가하고 있다.

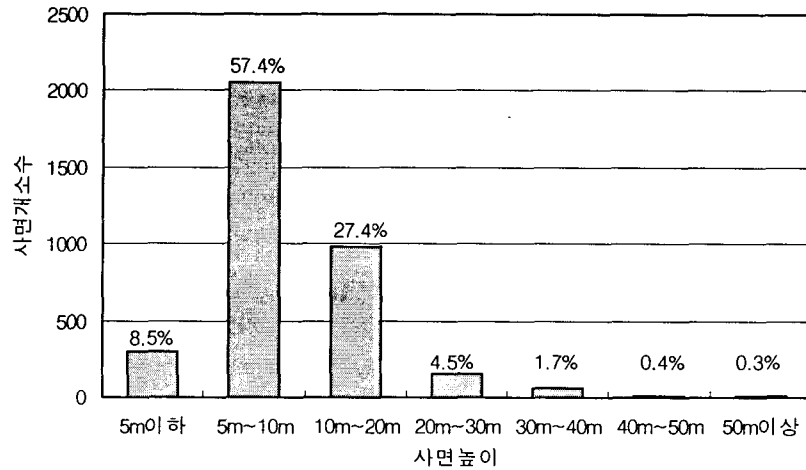


그림 2.3 고속도로 절취사면 높이별 분포비율

고속도로 구역내에 절취사면의 높이별 분포는 그림 2.3과 같다. 절취사면 중에 높이가 5m이하의 절취사면이 8.5%, 5~10m인 절취사면은 57.4%이며, 10~20m 높이의 사면이 27.4%이고, 40m 이상인 사면이 0.7%이다. 높이가 20m이하의 절취사면이 93.3%로 절취사면의 대부분을 차지한다. 그러나 사면 수직 높이가 40m 이상인 사면이 0.7%에 불과하지만 절취면의 높이가 높을수록 불안정성 요소를 많이 내포하고 있어 중점관리 대상사면이 된다.

2.4 절취사면의 거동 특성

암반사면의 과학적인 안정화 대책공법은 1970년대부터 수립되기 시작하여 지금은 많이 개선되어 신뢰할만한 공법이 정립되어 있다. 사면의 안정성에는 지반공학, 환경 및 안전문제와 시공방법 및 공사비 그리고 계약절차 등의 요소들이 복합적으로 작용한다.

절취사면의 활동은 내·외적 요인에 의해 복합적으로 발생된다. 그림 2.4는 사면의 활동단계를 시간경과에 따라 나누어 보았다. 초기활동은 주로 시공단계에서 절취로 인하여 하중조건이 변경되면서 발생하고, 다소 조정국면을 유지하다가 집중호우 등 유지관리단계에서 추가적으로 활동이 발생할 수 있다.

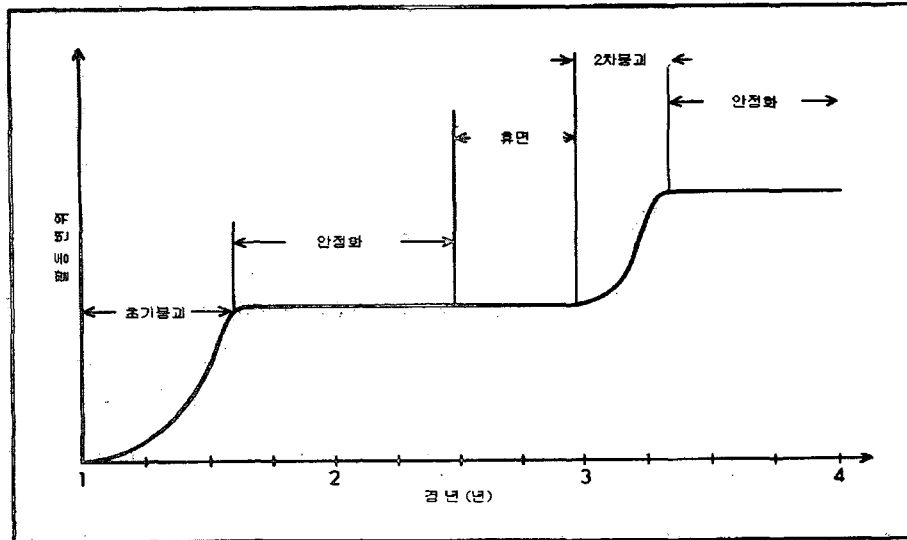


그림 2.4 경년별 사면의 활동단계(TRB,1996)

III. 도로사면의 유지관리 실태

3.1 우리나라의 강우특성 및 사면의 계동

세계적으로 엘니노현상이 발달하고 온실효과가 확산됨에 따라 지구의 기후패턴이 바뀌고 있다. 우리나라의 강수량은 중부지방은 1,100~1,400mm, 남부지방은 1,000~1,800mm로 경북지역은 1,000~1,200mm이며, 경남해안 일부지역은 1,800mm 정도, 제주도지방은 1,450~1,850mm이다. 계절적으로는 연 강수량의 50~60%가 여름에 집중적으로 내린다. 그림 3.1과 3.2는 서울지방의 경년별 온도분포와 강우량의 분포를 각각 보여준다. 그림에서와 같이 첨두점이 많이 나타나는 것을 볼 수 있으며, 이것은 국지적인 집중호우가 발달되어 사면슬라이딩이 많이 발생되고 있다는 것을 의미한다.

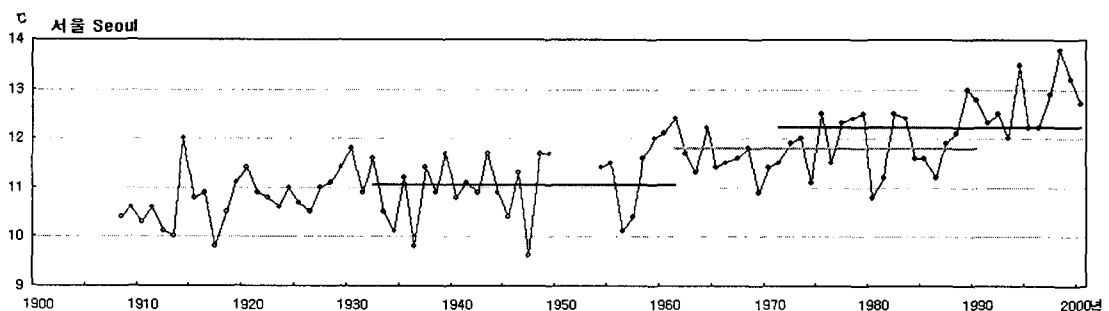


그림 3.1 서울지방 온도분포(기상청제공)

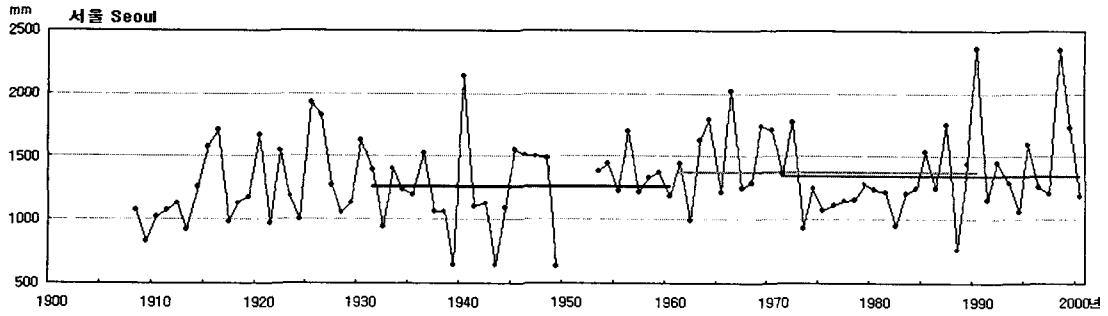


그림 3.2 서울지방 강우분포(기상청제공)

그림 3.3은 강우침투수가 어떻게 지하수위를 높여 간극수압을 증가시키는지를 보여준다. 표토가 잔적토로 이루어진 사면의 경우에는 투수계수가 10^{-4} - 10^{-5} cm/sec 정도이며, 강우에 의한 간극수압이 민감하게 나타난다. 그림 3.4는 강우와 피조미터 수위의 관계를 보여준다. 이런 침투수는 건조한 표토에서 나타나는 suction 현상을 제거시켜 점착력이 감소되어 얇은 사면파괴가 발생된다. 그림 3.5는 강우시에 깊이 에 따라 포화도와 간극수압의 변화를 보여준다. 강우로 인하여 양의 간극수압으로 바뀌면서 표토의 전단강도가 급격히 저하한다. 특히 폭우이후에는 간극수압이 증가 하여 사면 슬라이딩이 많이 발생하게 된다.

사면유지관리 시에 강우는 사면안정성에 영향을 미치는 매우 주요한 요소이다. 강우는 사면에 다음과 같은 영향을 미친다.

1. 간극수압을 일으켜 응력조건을 변화시킨다.
2. 사면구성 재료의 단위중량을 바꾸고,
3. 사면 내·외부에 침식을 일으키고,
4. 사면구성 재료의 광물성분을 변경시킨다.

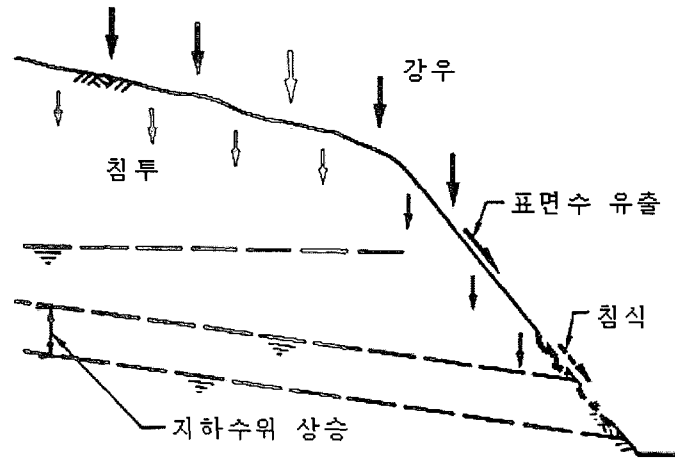


그림 3.3 강우에 의한 수계변화

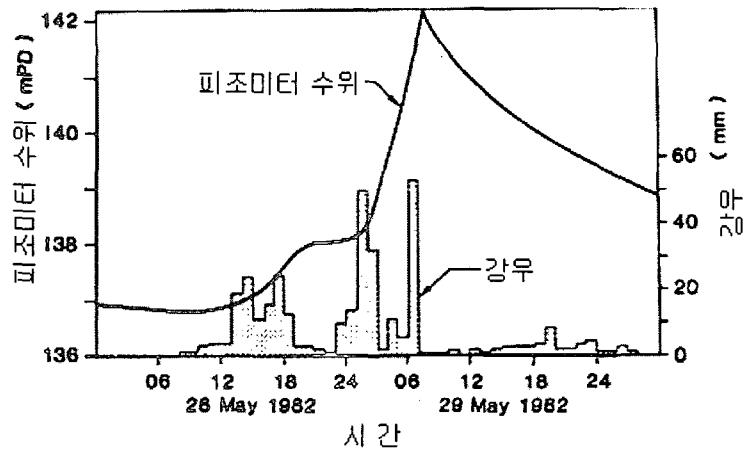


그림 3.4 강우량과 피조미터의 변화 예(GCO, 1984)

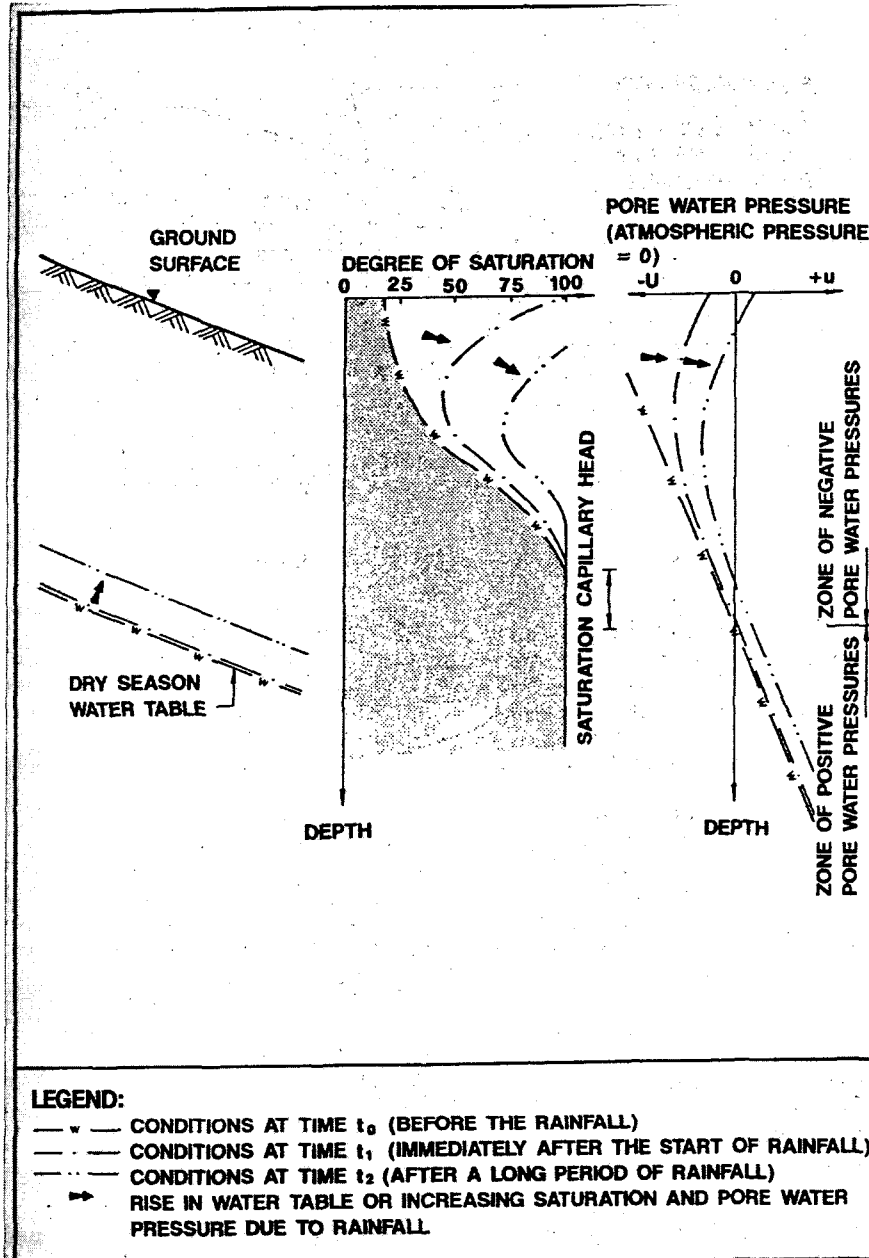


그림 3.5 강우량과 간극수압, 포화도의 변화(GCO, 1984)

3.2 절취사면 유지보수 현황

우리나라의 절취사면은 여름철 강우로 인하여 부분적인 유실과 붕괴가 자주 발생하고 있다. 절취사면의 붕괴나 표면유실은 단순한 집중호우 등 강우특성에 따라 발생되지만 그 정도나 빈도 등은 절취사면의 기하학적 형상이나 지역의 지질, 암종의 분포특성에 복합적으로 영향을 받게 된다.

미국 캘리포니아 주에서 슬라이딩 발생원인을 조사 분석한 결과 표 3.1과 같은 결과를 얻었다. 분석 결과에 의하면 유리관리 단계에서 사면 붕괴를 유발시키는 주된 요소로는 강우, 동결-융해, 암반균열, 바람, 융설, 유출수 등을 들 수 있다. 이 요

인들을 종합하면 슬라이딩을 발생시키는 여러 요인 중에 70%가 물과 관련이 된다.

표 3.1 유지관리 사면의 붕괴원인(TRB, 1996)

원인	발생율(%)
강우	30
동결-융해	21
암반균열	12
바람	12
음설	8
유출수	7
기타	10

현재 공용 중에 있는 고속도로 노선상에서의 유지보수 현황을 조사하였다. 공용중 노선의 유지보수 관리 대상 사면은 총 3,579개소이며 이 중에 675개소에서 슬라이딩이 발생하여 보수되었다(그림 3.6).

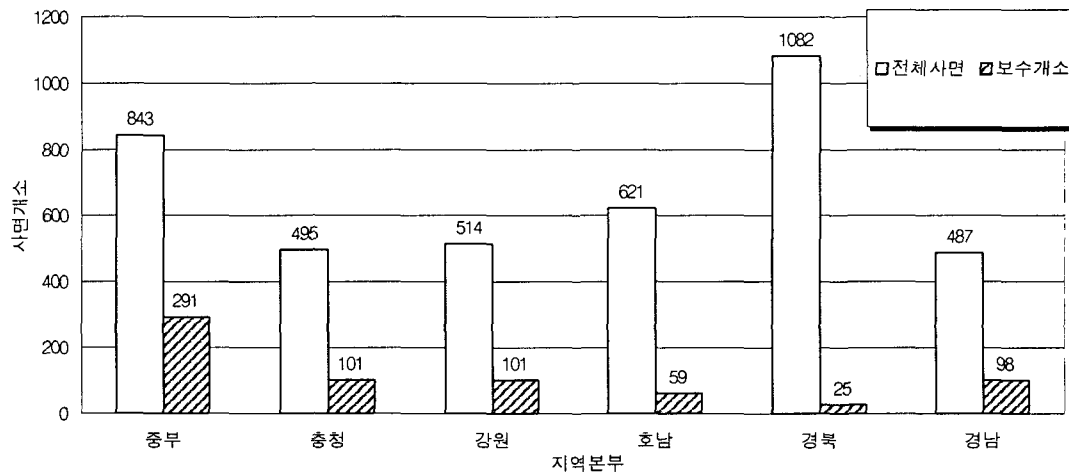


그림 3.6 지역별 전체사면에 대한 보수사면개소

표 3.2 지역별 주요 유지보수내역

보수내역	A본부	B본부	C본부	D본부	E본부	F본부
토사절취(m ³)	61,117	7,162	1,100.6	6,392	-	173,951
암절취(m ³)	230	-	529	10,955	3,300	79,597
토사성토(m ³)	8,565	1,568	13,348	10,813	-	-
사면정리(m ²)	34,007	3,192	415.9	2,746	2,965	-
포장(m ²)	-	-	-	-	-	7,178
포장(m ²)	168	412	179	590	1,525	-
산마루도수로(m)	2(414m)	1(80m)	2	3	(80m)	6(609m)
방호시설(개소)	-	-	-	-	-	46
역지말뚝(공)	-	269	46	348	-	2,452
옹벽(m)	160	-	2,304	-	-	-
석축쌓기(m ²)	169	735	332.8	833	-	3,148
계비옹벽(m ³)	-	-	-	-	-	2,292
계단식옹벽(m ³)	-	660	69	-	-	-
제단식옹벽(m ³)	125	-	132	131	-	143
암탈이(m ²)	14,687	21,824	14,550	12,664	1,140	21,146
점검로(m)	515	2,292	205	204	2,013	2,123
낙석방지망(m ²)	471	157	1,116	181	-	5,071
낙석방책(m)	1,494	932	763	1,665	348	9,415
블록설치(m ²)	560	-	406	1,429	50	2,190
배수로설치(m)	-	119	-	84	-	44
배수로설치(m)	-	-	133	2,915	-	-
Soil Nail공	-	180	-	-	-	-
앵커(공)	1,498	180	-	18,388	-	132
록볼트(공)	2,465	8,126	1,971	11,411	204	-
말뚝박기(m ²)	43,768	7,175	15,449.9	3,541	120	-
숏크리트(m ²)	11,029	5,532	528	11,788	-	-
숏크리트(m ²)	-	84	74	6,891	763	-
녹생토(m ²)	2,112	4,987	568	5,301	-	-
Net공법류(m ²)	-	-	-	-	-	1
Seedspray(m ²)	-	-	-	-	-	9
른생공법(m ²)	-	-	-	-	-	1
메블이기(m ²)	320	-	-	-	-	59,915
계측기(식)	-	-	-	-	-	-
부대공(식)	-	-	-	-	-	-
집수정(개)	-	-	-	-	-	-
기타(녹화 ; m ²)	-	-	-	-	-	-
유지보수사면개소	291	101	101	59	25	98

표3.2에서 언급한 유지보수 내용을 사면안정공법별 분포로 표시하면 그림 3.7과 같다. 사면경사완화, 낙석방지망, 암괴제거, 식생공, Rock Bolt나 Soil Nail공, Rock Anchor공, 숏크리트공, 옹벽공 등이 적용되었는데 그 중에서 가장 많이 적용된 공법으로는 사면경사완화 공법으로 전체에서 50% 이상을 차지한다.

사면안정대책공중에 경사완화공법은 사면에 불안정한 요인을 제거하여 주는 방법으로 고속도로 주변의 용지보상비가 저렴하고 비교적 경제적이며, 향후 유지관리가 용이하다는 점에서 가장 많이 적용되고 있는 공법이다.

다른 공법들의 적용사례는 비슷한 비율로 사용되었는데 그 중에서 암괴제거나 낙석방지망공, 숏크리트 등 비교적 소극적인 공법이나 적용하기 쉬운 공법이 많이 적용되었다.

일본에서는 사면안정공법으로 Rock Anchor나 Rock Bolt, 억지말뚝공과 같은 적극적인 사면안정공법의 적용사례가 많으나 국내의 경우, 시공사례가 그다지 많지 않다. 이는 현장기술자들의 사면안정공법에 대한 인식부족으로 적용이 미흡하나 향후 이들 공법을 적극적으로 적용할 필요가 있다.

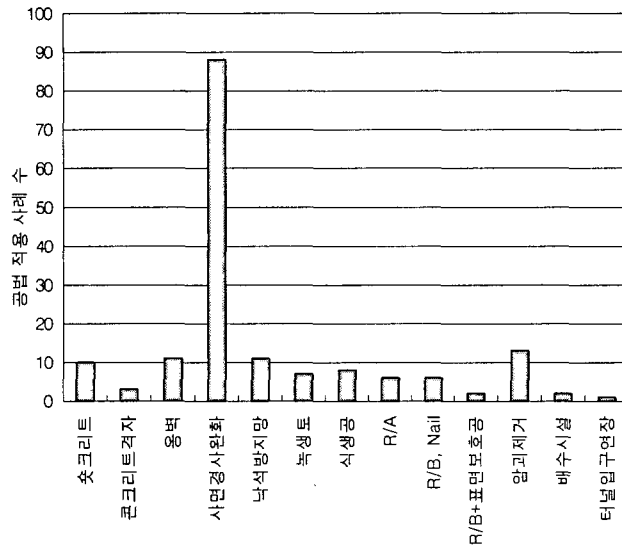


그림 3.7 고속도로 절취사면에 적용된 사면안정공법

3.3 사면붕괴시 사회경제적 손실

사면 슬라이딩은 직·간접적으로 많은 피해를 유발한다. 직접피해는 붕괴사면의 복구비, 인명피해와 물적피해 등이 있으며, 간접피해로는 피해지역 주변의 산업시설, 농지, 산림 등의 훼손과 도로의 경우 교통차단으로 인한 물류비 증가 및 생태계 영향이 있다. 간접피해비용은 계산하기가 어려우나 직접피해액보다 상대적으로 많이 소요되는 것으로 평가되고 있다.

도로사면 붕괴 시에 발생하는 간접피해 중에서 도로물류비 손실액을 그림 3.8과 같이 계산하였다. 이 계산에서는 경부고속도로 왜관근방의 사면이 붕괴하여 하행선 2차선이 전면 차단됨에 따라 발생하는 물류손실비용을 산정해 보았다. 교통량은 2001년 7월 자료를 이용하여 시간대별 교통차단 시에 발생하는 물류손실비를 계산하였다. 2시간 차단시에 2억원 손실이 있고, 4시간 차단 시에는 6억원 이상, 또한 24시간(1일) 차단 시에는 124억원 손실이 발생하였다.

미국의 경우에 매년 고속도로주변 산악지 유지보수용 직접보수비용으로 1,500억원(\$1.15억)을 사용한 바 있으며, 또한 일본의 경우도 6.1조원(\$47억)을 유지보수비용으로 지출한 바가 있다. 한국도로공사에서도 최근 3년간 사면 유지보수 비용으

로 610억원을 사용했다. 예를 들면, 미국 워싱턴주 20번국도(그림 3.9)에서는 1989년 터널입구부에 쉼기파괴를 일으켜 2주일간 교통이 두절되고, 약 12억의 경제손실을 입은바 있다. 또한 한국도로공사에서는 그림 3.10과 같이 2002년 8월 홍수 시에 88 고속도로에서 1만 m³ 규모의 슬라이딩이 발생하였다. 이로 인하여 10일간 교통이 두절되고, 복구비로 2억원이 투입된바가 있다.

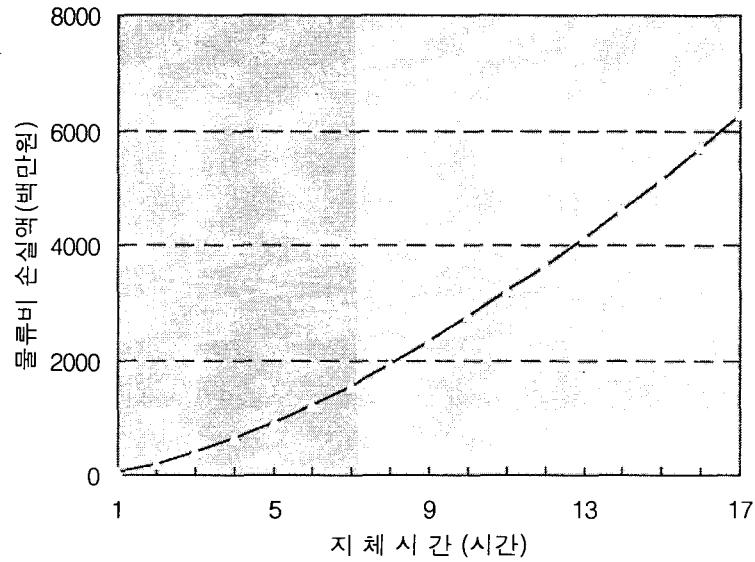


그림 3.8 도로차단 시간별 물류손실 비용

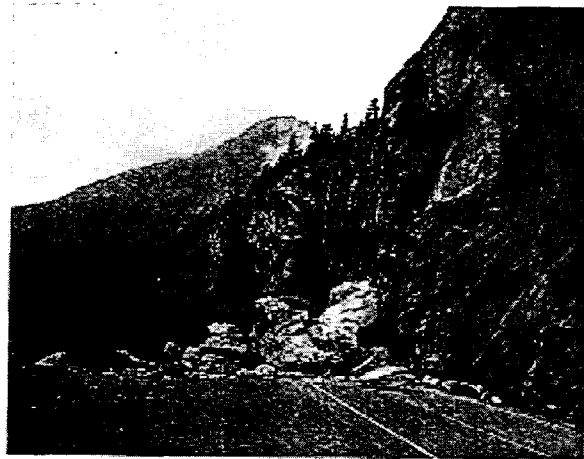


그림 3.9 미국의 도로사면 붕괴사례
(워싱턴 주 20번 국도)



그림 3.10 슬라이딩 발생 사례(88고속도로, 2002.8)

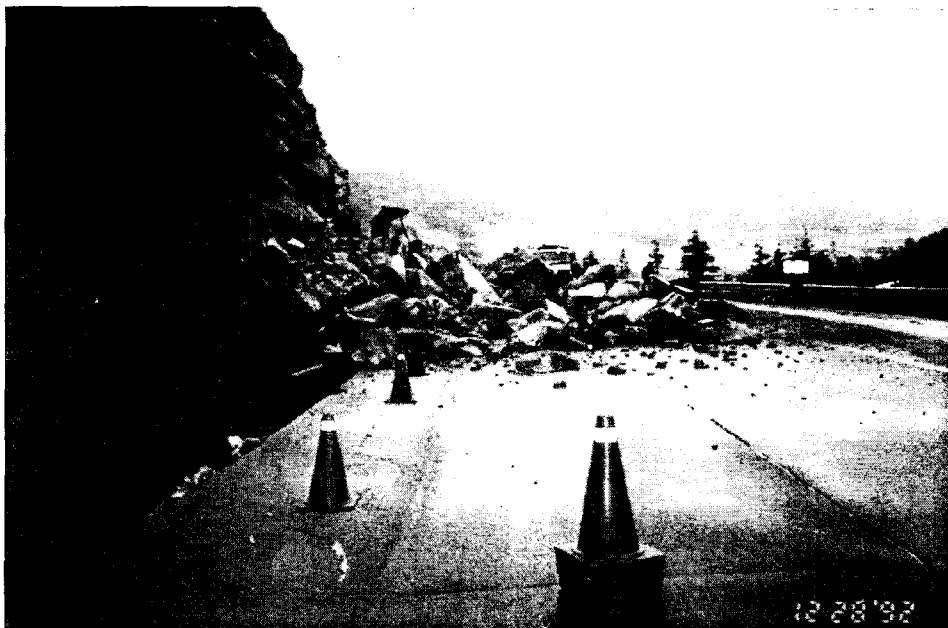


그림 3.11 도로사면 붕괴사례(구마고속도로, 1992)

3.4 사면 유지관리 현황

여름의 집중호우기간 중에 도로 주변의 많은 사면에서 붕괴가 발생된다. 높은 절취 사면의 경우에는 1차로 붕괴가 발생되면 추가적인 2차 붕괴가 발생하는 사례가 많다. 따라서 공용 중인 절취면은 녹화가 된 상태이므로 붕괴가 발생되면 절취

사면의 전반적인 조사가 불가능해 진다(그림 1.1). 그래서 암반사면의 특성을 가장 정확히 파악하기 위해서는 시공 중에 절개된 절개상태에서 조사하는 것이 가장 좋다. 특히 절리면 또는 파쇄대의 규모, 위치 및 방향을 가장 정확하게 확인할 수 있다. 따라서 시공완료 단계에서 절개면의 상태를 조사하여 보관하는 절차가 필요하다.

암반사면의 안정성 평가에 있어서 고려해야 할 중요한 요소는 사면을 구성하고 있는 암반의 공학적 또는 기하학적 구조이다. 암반내의 불연속면과 굴착면의 경사 및 방향사이의 기하학적 관계는 암반의 활동과 붕괴여부를 결정하기 때문이다. 그러므로 현장조사시에는 지형, 토질 및 지질조사, 대상사면의 공학적인 특성, 지반의 물성과악, 지하수상황, 녹화공 및 식생상태, 단층파쇄대 존재여부, 산사태 발생여부, 과거 붕괴가 많이 일어난 지역 또는 약한 암질로 이루어진 지역인지의 여부와 강우시 표면수의 흐름 등을 파악하는 것이 매우 중요하므로 이에 대한 자세한 현장조사가 이루어져야 한다.

그러나 현재 대부분의 사면유지관리기관에서 수행되고 있는 절취사면의 관리는 주로 풍수해에 의한 복구실적만을 다루고 있어 공학적인 자료로 활용하기에는 매우 미흡한 것으로 판단된다. 표 3.3과 그림 3.12는 현재 사용되고 있는 절취사면 관리대장 중 비교적 많은 공학적 정보를 기입하도록 한 관리대장의 한 예를 나타낸 것이다. 그러나 비교적 많은 공학적 정보를 입력하도록 되어 있으나, 유지관리 업무에 필요한 내용은 누락되어 있다. 단순 숫자 입력표로 사면을 관리하면 관리자가 실제 사면의 활동상태 또는 관리상태를 파악하기 어렵다. 특히 잦은 인사이동으로 지금까지 사용되어 오던 자료관리 시스템으로는 사면 현상을 파악하기는 매우 어려운 실정이다.

표3.4는 미국의 주 도로청에서 사용되고 있는 사면유지관리 기록양식 한 사례를 보여준다. 현장실무자가 쉽게 작성할 수 있게 선택형 중심의 양식을 만들었고, 대상사면의 사진을 첨부하여 관리자의 이해를 돕고있다.

표 3.3 절취사면 조사양식 예(한국도로공사)

분류번호	좌절도	C. F. R	노선명	작성년월일				
구간	봉구		STA.	상하	상·하	변태사면번호		
거점	이경		GPSX	사업소	시공사			
			GPSY	관할본부	관할지사			
행정구역				기입자			전화	
노면표고	결 취 형 상	편석전상		중요특단 대상물				
곡률		양측사면		충돌대설물				
노적폭		한측사면		원점 구분				
포상종류	중단구배							
사면방향	사면 수직고			년월	이유	변경전의 권도영상(도면)		
사면연장	사면 평판구배	도리 높이 및 방향	내리			노면	평판 구배	
사면경면도(구분도)				사면측면도(사면형상)				
사면 연장 비	방법	연장	작성년월	연장 포수	년월	연상	연원	포수·계측
	I							
	II							

절취사면 관리대장 (대장관리)

지사: [군위] 노선: [중앙선] 행선지: [이정(Km)] 12.471 ~ 12.731 분류번호: 6140018

절취사면 대장 | 소단,비탈면 보호공 | 비탈면 피해현황 | 비탈면 복구현황 | 비탈면 현황 사진

기점번호: _____ 주소: [칠곡군 동명면 금암리] 작성일자: _____ 담당자: [조명규]

인접구조물: _____ 구조물위치: _____ 방척길이(m): 0.0 방척높이(m): 0.0

사면길이(m): 577 사면높이(m): 577 사면면적(m²): 0

토층구배: 0.0 리징암: 0.0 발파암 구배: 0.0

산대부속구: _____ 소단배수로: _____ 절취수로: _____

조경현황

선형: [] 녹화방법: _____

용백: _____ 용백상단수종: _____

시정좌표(X): 0.0 시정좌표(Y): 0.0 종점좌표(X): 0.0 종점좌표(Y): 0.0

암종: [] 암종2: [] 평가: [] 해제일자: _____

진체소견

그림 3.12 절취사면 관리대장 사례(경북본부)

표3.4 미국의 절취사면 관리대장 사례

LANDSLIDE			LANDSLIDE ZONE			MOVEMENT		
SLIDING <input type="checkbox"/> FALL <input type="checkbox"/> FLOW <input type="checkbox"/> CREEP <input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/> widespread slides <input type="checkbox"/> unmappable slides <input type="checkbox"/> potential slides			Occur <input checked="" type="checkbox"/> Probable <input type="checkbox"/> very rapid <input type="checkbox"/> rapid <input type="checkbox"/> slow <input type="checkbox"/> very slow <input type="checkbox"/>		
<input checked="" type="checkbox"/> rotational <input type="checkbox"/> predisposed <input type="checkbox"/> sheet slide			<input type="checkbox"/> debris <input type="checkbox"/> earth <input type="checkbox"/> mud			<input type="checkbox"/> debris <input type="checkbox"/> bedding		
MORPHOMETRY						STABILITY CONDITIONS		
original thick 50 present thick 20		C.C. length 370 C.C. distance 300		total ground area total map area $\approx 80,000$ map area $\approx 65,000$		first movement <input type="checkbox"/> very old last movement <input type="checkbox"/> Jan. 1973		
C.C. length 300 volume $\approx 2,800,000$		C.C. distance 300 debris overlap 85%		CROWN <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> single <input type="checkbox"/> multiple		age recent <input type="checkbox"/> old <input checked="" type="checkbox"/> fossil <input type="checkbox"/>		
<input checked="" type="checkbox"/> present <input type="checkbox"/> reduced <input type="checkbox"/> absent		repose angle 470 400 400		SNEAR PLANE <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> single <input checked="" type="checkbox"/> multiple <input type="checkbox"/> successive		degree of stabit. active <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> stabilized <input type="checkbox"/> dormant		
area <input type="checkbox"/> with instab. parts <input checked="" type="checkbox"/> M 8 A		minor scarps <input checked="" type="checkbox"/>		CHEST-CROWN DIST. <input type="checkbox"/> LUNAR CRACKS <input type="checkbox"/> TONGUE <input type="checkbox"/> length <input type="checkbox"/> width <input type="checkbox"/>		degree of develop. incip. <input type="checkbox"/> advanced <input checked="" type="checkbox"/> exhausted <input type="checkbox"/>		
ADJUTERIOUS CONDITIONS			POSSIBLE CAUSES			CORRECTIVE MEASURES - YES NO		
SURFACE WATER SLOPE DRAINAGE <input checked="" type="checkbox"/> into landslide <input type="checkbox"/> off landslide <input type="checkbox"/> not estimable			2) eros. <input checked="" type="checkbox"/> M 4 <input type="checkbox"/> climate <input type="checkbox"/> unloading at toe <input type="checkbox"/> slope <input type="checkbox"/> loading at head <input type="checkbox"/> angle			<input type="checkbox"/> afforestation <input type="checkbox"/> drainage		
SLIDE DRAINAGE <input type="checkbox"/> present <input type="checkbox"/> absent <input type="checkbox"/> stagnant waters			3) lithology <input type="checkbox"/> morphology <input type="checkbox"/> weathering <input type="checkbox"/> earthquake			<input type="checkbox"/> surface - <input type="checkbox"/> underground <input type="checkbox"/> soil removal		
GROUND WATER ground water seeps <input type="checkbox"/> springs <input type="checkbox"/>			4) structures <input type="checkbox"/> human activities <input type="checkbox"/> layering <input checked="" type="checkbox"/> faults <input type="checkbox"/> cuts <input type="checkbox"/> permeability grad. <input type="checkbox"/> abandon			<input checked="" type="checkbox"/> gabions - <input type="checkbox"/> walls <input type="checkbox"/> loading at toe - <input checked="" type="checkbox"/> dams <input type="checkbox"/> soil hardening - <input type="checkbox"/> anchorage		
<input type="checkbox"/> impeded drainage			<input type="checkbox"/> deforestation <input type="checkbox"/> cultivation			<input type="checkbox"/> geotechnical investigations		
SKETCH						REMARKS		
						THE VILLAGE DOES NOT APPEAR IN DANGER BECAUSE LANDSLIDES, IN THIS LOCALITY, OCCUR IN PAST GEOLOGY AND IN THE RECENT FRUSTRATED PART OF SITE ROCKS ONLY.		
DEBRIS SILTY CLAYSTONE EPIDOTE SCHISTS DAMAGED MAIN ROAD RECENT LANDSLIDE M8A (ACTIVE) GABBIONS ACQUEDUCT S. GIACOMO VILLAGE OLD LANDSLIDE M8 (DORMANT) LANDSLIDE ZONE M6 PINTA STREAM EROSIONAL AREA 114 FAULT 1-2						ACTIVE LANDSLIDE (IN RED) DORMANT LANDSLIDE (IN BLACK)		
FILM n. 5 PHOTO n. 13-14						B		

3.5 도로사면의 배수시설

도로사면은 소단배수로, 산마루측구 그리고 도수로의 배수시설로 구성되어 있다. 도로사면의 배수시설은 사면으로 유입되는 표면수를 한 곳으로 모아 배수시킴으로써 표면수가 사면내부로 침투되는 것을 최소화시켜 사면의 안정성을 향상시킨다. 따라서 사면배수시설은 사면에 분산되는 표면수를 가능한 빠른 시간에 모아서 집중적으로 배출 시켜야한다.

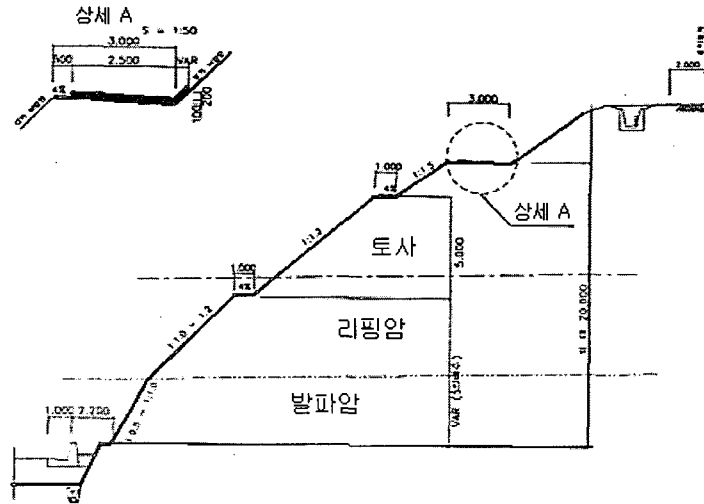


그림 3.13 도로사면 배수시설

소단배수로는 발파암의 각기높이 20m마다 3m폭의 L형 라이닝을 타설하여 설치되고, 리핑암과 토사구간에는 5m 높이마다 1m 폭의 소단을 설치한다. 그러나 그림 3.12와 같이 배수로를 설치하거나 또는 자연지반 배수로가 설치되어 배수로가 오히려 표면수를 모아 사면내부로 침투시켜 사면의 안정성을 저해하는 역할을 한다. 현장에서 발생하는 많은 붕괴가 이와 같이 소단을 기점으로 일어나고 있다.



그림 3.14 소단배수로의 설치 예

산마루측구(그림 3.15)는 사면 배후의 산지에서 유입되는 우수를 받아 집수정으로 배수시키는 시설로 비탈어깨에 U자 홈 등의 배수시설을 설치한다. 그림에서와 같이 유입수가 사면내부로 침투시키지 않고 측구로 잘 유입되도록 관리되어야 한다.

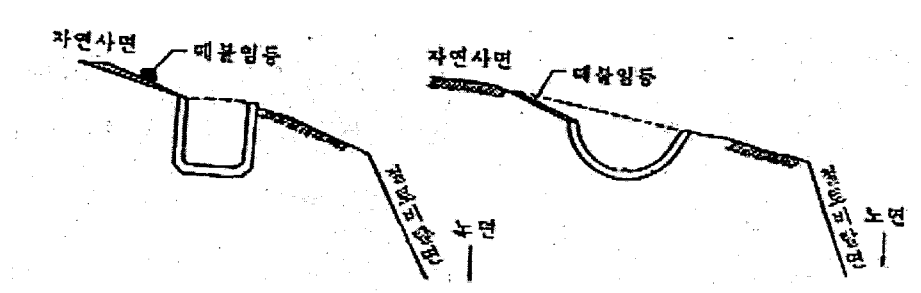


그림 3.15 산마루 측구

도수로는 소단배수로와 산마루측구에서 집수된 표면수를 도로면까지 유도하여 배수시키기 위하여 설치된다(그림 3. 16과 17).

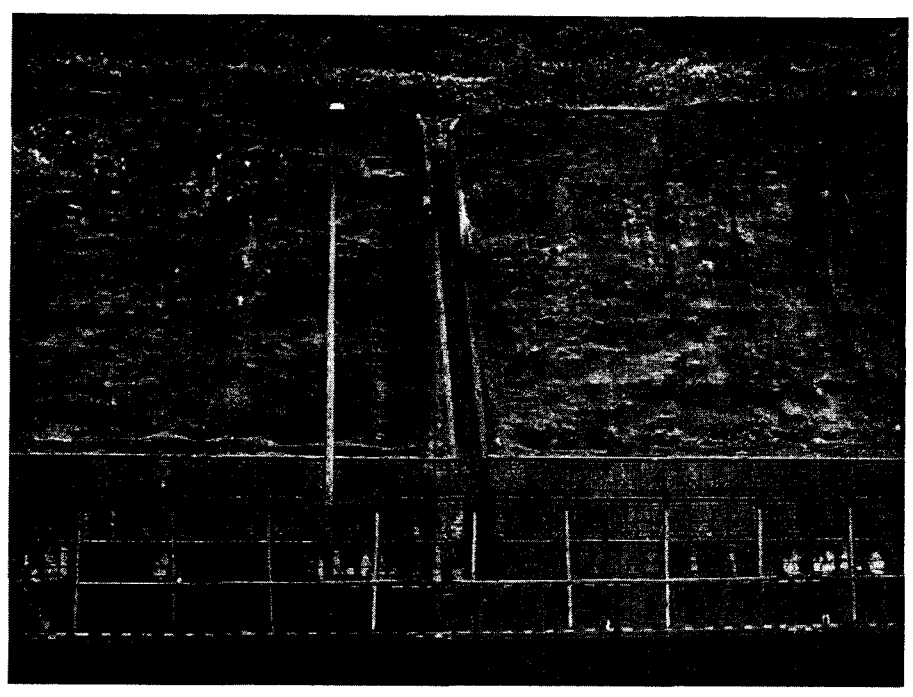


그림 16 도수로 설치 예



그림 3.17 도수로 배수 예

IV. 도로사면의 유지관리 개선방안

도로사면의 유지관리업무를 효율적으로 수행하기 위해서는 다음 요소를 고려하여야 한다.

- 1) 사면의 이력 관리,
- 2) 사면의 물 관리,
- 3) 관리자 직무교육 프로그램 개발,
- 4) 사면붕괴 예보시스템 구축

4.1 사면의 이력관리

유지관리의 생명은 유지관리 대상 구조물의 자료관리이다. 사람의 건강관리도 역시 그 사람의 건강기록부의 관리가 매우 중요하듯이 유지관리업무에서도 대상구조물의 이력관리가 매우 중요하다. 유리관리란 신설공사와는 다르게 상대적으로 대상 구조물이 어떻게 변해 가는지를 파악하고, 어떤 시점에서 보수공사를 해야할지를 결정한다. 따라서 유지관리 업무를 전담하는 기관은 반드시 시설된 구조물의 초기자료와 경년별 거동상태를 잘 파악하여 그 자료들을 관리하고 있어야한다. 특히, 사면구조물의 유지관리 업무는 사면안정성에 영향을 미치는 요소를 잘 관리해 두어야한다. 사면의 안정성에 영향을 미치는 영향인자는 시간의 경과에 따라 크게 변화를 보이며, 문제 발생 시에 이러한 인자들의 이력을 잘 활용할 수 있어야한다.

한국도로공사 경북지역본부에서는 관할 지역내의 사면을 효율적으로 관리하기 위하여 사면관리 프로그램(GCCP)을 개발하였다. GCCP 프로그램은 사면의 일반현황, 절취사면 현황, 사면 Mapping, 수계현황, 붕괴 및 보수 현황을 관리한다. 이 프로그램은 사면관리자 중심으로 흠어져 있는 각종 자료를 한곳에 모으고, 업무인수인계 시에 다음 관리자가 현황과약을 쉽게 할 수 있도록 시각적인 그림 및 사진 자료를 편집하도록 하였다(그림 4.1과 4.2).

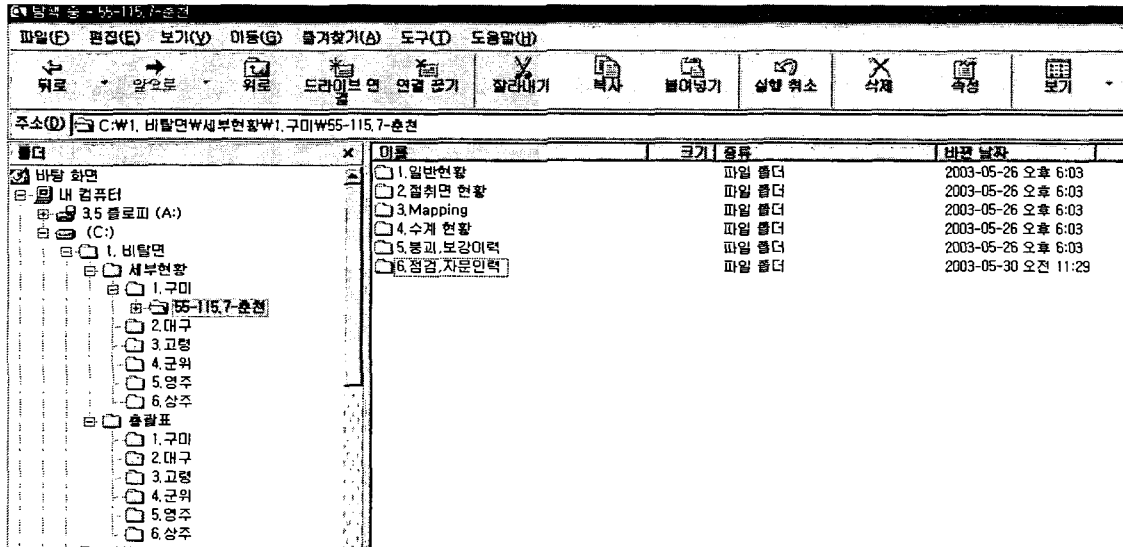


그림 4.1 GCCP 프로그램 파일 예

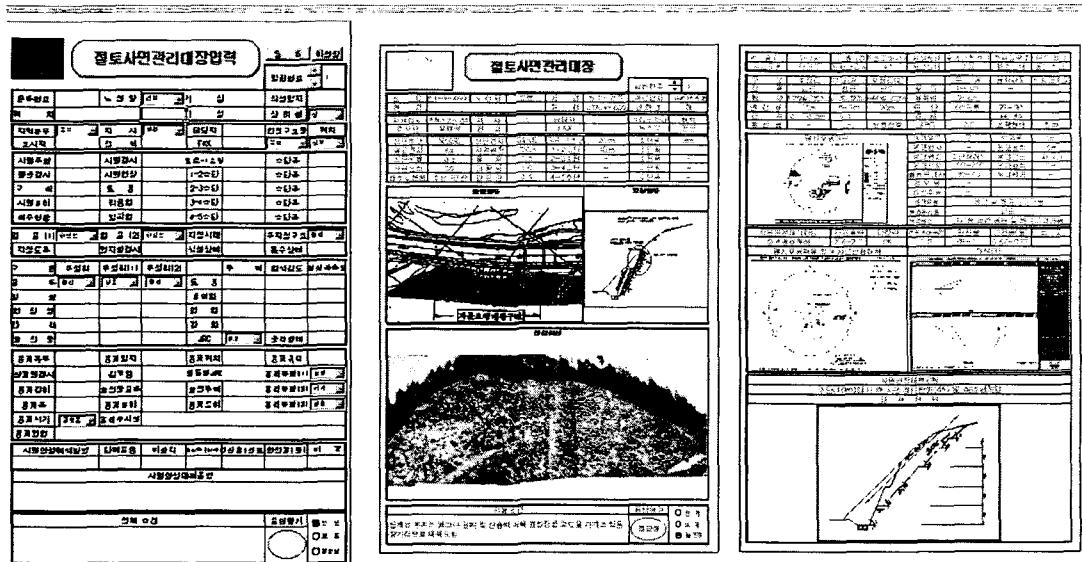


그림 4.2 사면유지관리를 위한 DB 구축

4.2 사면의 물 관리

사면의 유지관리 업무는 물과의 전쟁이다. 도로암반사면의 안정성에 영향을 미치는 요인으로는 내적인 요인과 외적인 요인으로 구분된다. 내적 요인으로는 암반

의 물성치와 불연속면의 특성을 들 수 있으며, 외적요인으로는 바로 강우 또는 지하수의 '물'이다. 짧은 시공기간에서는 주로 내적인 요인에 많은 영향을 받으나, 장기간에 걸쳐 유지관리 되는 사면은 외적인 요인인 물에 의한 영향을 매우 크게 받는다. 따라서 유지관리 업무를 전담하는 기술자는 사면의 유역특성에 따른 물의 분포현황을 잘 파악하고 있어야 한다. 특히 강우 시에 집수되는 다량의 표면수를 단시간에 배수시킬 수 있는 체계적인 배수시설이 필요하다.

그림 4.3은 절취사면의 체계적인 배수시설의 예를 보여준다. 산마루측구는 유입되는 표면수가 배수구 하부로 침투되지 않도록 측구주변에 녹생(그림 4.3 참조)을 시키거나 시멘트 모르타르(그림 4.5)로 치부를 잘하도록 한다.

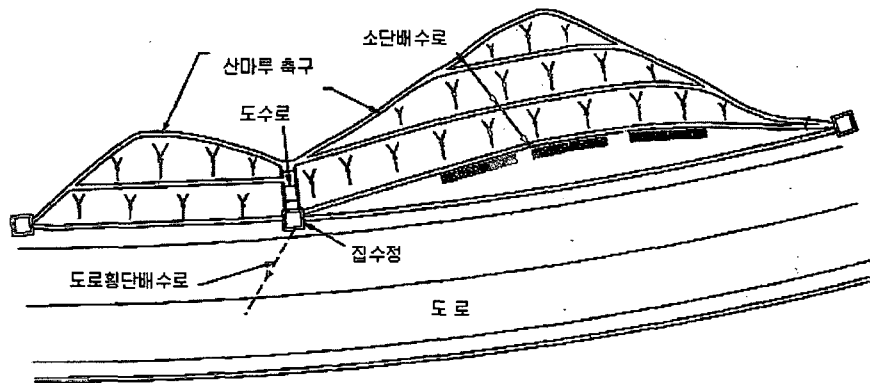


그림 4.3 사면배수시설 설치 예



그림4.4 산마루측구 설치 예

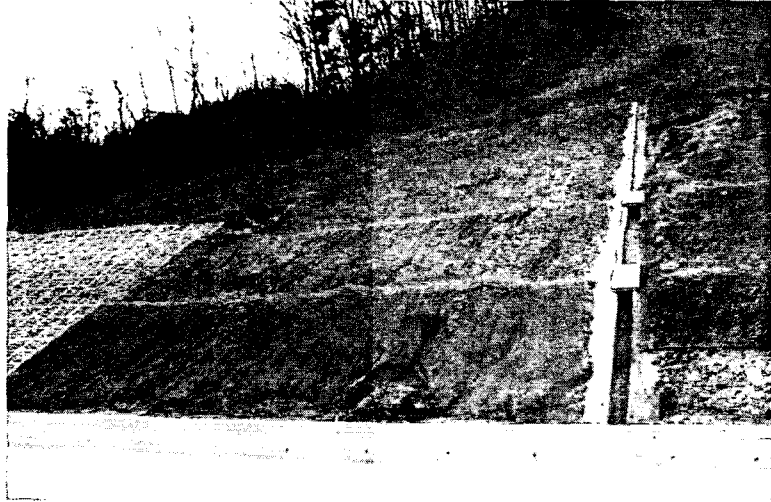


그림 4.5 도수로 설치 예

4.3 사면관리자 직무교육 프로그램 개발

사면 유지관리 업무를 담당하는 기술자는 암반역학에 대한 지식이 필요하다. 최근 대학에서 암반역학관련 교과목을 편성하는 곳이 있고, 또한 학회 등에서 유사한 교육프로그램을 제공하고 있다. 학회 등에서 제공하는 교육 프로그램은 이론적이거나, 특정공법 위주의 내용이 많거나, 또는 실무자 수준에서 다소 어려운 내용이 많아 현장실무자가 이수하기는 어려운 실정이다.

부끄러운 이야기이지만 잦은 이동으로 담당분야에 대한 전문 지식이 부족한 관리자들도 많다. 이것은 본인의 잘못이 아니라 관리자의 업무 영역이 전문화되어 있지 않기 때문에 토목 전문분야를 섭렵할 수는 없다. 따라서 현장 분야별 필요한 전문 지식을 집약하여 실무자에게 제공되어야한다. 즉, 사면관리자 수준에 맞는 집약된 맞춤형 교육프로그램을 개발할 필요가 있다. 우리관내에서는 사면유지관리 자료구축(GCCP)을 위한 실무자 교육 시에 제공하기 위한 실무자 맞춤형교육 프로그램을 개발하였다.

4.4 사면붕괴 예보시스템 개발

사면은 자연재료로 구성된 구조물이므로 지반의 성질이 다양하다. 첨단 과학적인 장비와 해석기법을 도입하더라도 사면특성을 완벽하게 파악하여 안전한 시공을 실시하는데는 한계가 있다. 따라서 유지관리 단계에서 사면붕괴의 위험성이 항상 내재하고 있다. 즉, 절취사면은 다른 토목구조물에 비하여 장기 안정성이 매우 낮다. 따라서 사면구조물에서는 다른 토목구조물에 비하여 붕괴예보시스템이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 그러나 많은 기술자들이 그 필요성은 인정하고는 있었으나 1) 계측기의 내구성문제, 2) 실시간 거동을 탐지하는 것, 또한 3) 넓은 사면공간

에서 경제적으로 붕괴거동을 탐지할 수 있는 시스템 구축이 어려워 사면유지관리 계측시스템을 구축하지 못하고 있었다.

그 동안 한국도로공사 지반연구실에서는 낙석방지망에 계측기를 부착하여 사면 붕괴시 발생하는 초기 움직임을 감지하여 도로 주행 운전자에게 미리 경보를 주어 인명피해를 최소화하기 위한 경보시스템을 개발 해왔다.

그러나 최근에 이러한 3가지 문제점을 동시에 해결할 수 있는 사면유지관리 계측시스템 개발에 많은 연구가 진행되고 있다. 그림 4.5는 사면 유지관리 계측시스템 개념도를 보여준다. 인장철선(Fiber optical wire)을 넓은 사면에 설치하고 이들의 상대적인 변위를 실시간으로 감지하여 무선전화로 관리시스템에 전달되면 이 실시간 거동 자료는 분석되어 인터넷으로 관리자에게 전달되어 관리자가 어느 곳에서든 거동을 확인 할 수 있으며, 또한 이용자(운전자)에게 실시간 정보를 제공하여 인명 피해를 최소화시킬 수 있다.

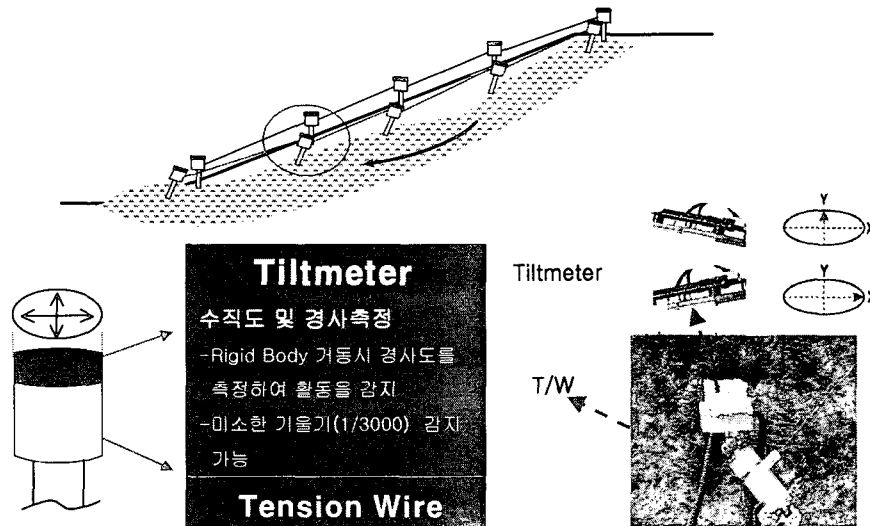


그림 4.6 사면붕괴 예보시스템(금오공대 제공)

V. 결론

도로사면은 다른 토목구조물에 비교하여 안정성이 낮은 편이다. 정기 구조물 안전점검 시에 지적사항의 70%이상이 사면의 안정성에 관한 사항이다. 지금 까지 많은 시간을 투자하여 사면관련 연구를 수행해 왔으나 이러한 현장의 문제점을 해결하는데는 역부족이었다. 이러한 도로사면의 안정성을 확보하기 위한 우리 현장의 유지관리 업무를 재점검해 볼 필요가 있다.

도로사면의 유지관리 업무를 효율적으로 수행하기 위해서는 사면의 이력을 체계적으로 관리하고, 사면구역의 수계를 정밀하게 파악하여 배수시설을 체계적으로 구축하고, 관리자가 사면에 관한 전문지식을 습득하도록 교육기회를 제고하며, 사면 붕괴 예보시스템을 구축하여 운전자의 인명피해를 최소화 시켜야 한다.

이제는 유지관리분야의 연구에 많은 관심을 쏟아야 할 때이다. 무엇보다 사면의 유지관리업무는 사면내에 유입되는 표면수를 효과적으로 처리할 수 있어야한다. 기존의 배수체계를 재검토하여 효율적인 배수체계를 구축하기 위한 많은 연구가 필요하다.

참고문헌

1. 김 성환(1999), “고속도로 사면안정 대책”, 대한토목학회, 토목기술강좌, Vol. 2 NO.2
2. 김 성환(1998), “암반절취사면의 관련기준 및 시공특성에 관한 고찰”, 한국지반공학회, '98가을 학술발표회 논문집 II.
3. 유 병욱(1998), “암반절취사면의 안정성 평가 및 대책에 관한 연구”, 한양대학교, 박사학위논문
4. Geotechnical Engineering Office, Geotechnical Manual for Slopes, Hong Kong, 1984
5. TRB, Landslides-Investigation and Mitigation, TRB Special Report 247, 1996.