집중호우를 고려한 절토사면의 안정성 확보를 위한 설계방안
Design Method for Stability in Cut-Slope under heavy rainfall

이풍희[1] Pung-Hee Lee, 김종흔[2], Jong-Heun Kim, 전경수[3], Kyung-Soo, Jeon

[1] 한국도로공사 설계처 처장, Director, of Highway Design, Korea Highway Corporation
[2] 한국도로공사 구조설계부 부장, Director, Dept. of Structural Design, Korea Highway Corporation
[3] 한국도로공사 구조설계부 과장, Assistant Director, Dept. of Structural Design, Korea Highway Corporation

SYNOPSIS : As the slope designs had simply followed some slope guidelines during 1960's~ 1970's, of which the main purpose was to estimate earth work quantities in the feasibility stage, slope failures had been experienced in Korea Highways.

Various site investigation methods for highway cut-slopes have been continuously developed, and major cut-slope failures caused by slope instability have rapidly reduced. The failure mode of recent cut-slope failures in highways during typhoon RUSA No.15. featured a debris flow in soil mass activated by flowing water. The study of the surface soil scour and the debris flow caused by heavy rainfall must be done to protect the cut-slope failures in the future

Key words : Cut-slope, Slope failure, RUSA, site investigation methods

1. 서론

절토 사면은 풍화도에 따라 토층, 풍화암, 연암 및 경암 등으로 개략 분류하고 있으나, 사면의 안정성 분석을 위해서는 다양한 공학적 물성치가 필요하다. 설계단계에서 수행하는 지반조사는 현재 조사기술의 한계로 인하여 해석에 필요한 완벽한 자료수집이 불가한 상태이며, 시공시 안정성 검토를 추가로 수행하여야 한다. 절토사면의 안정성 확보를 위해 고속도로와 같이 설계단계에서 철저한 지반조사와 시공중 전문가에 의한 안정성 검토를 수행한다면 대규모 암괴붕락과 같은 심각한 사면 붕괴는 예방이 가능하리라고 판단된다.

올 8월말 제15호 태풍RUSA로 전국 도로의 절토사면 붕괴는 큰 인명 및 재산피해가 발생하였다. 한국도로공사가 현재 관리하는 약 2,700km의 고속도로상에 존재하는 4,442개소의 절토사면중 붕괴가 발생한 곳은 4개소에 불과하여 상대적으로 피해가 작았다고 말할 수 있다. 금번 태풍 RUSA로 이한 고속도로상의 절토사면 붕괴 원인은 암반사면의 구조적 안정파악을 부실하게 하여 발생한 암괴의 붕괴가 아니라 집중호우로 인하여 포화된 토사가 흘러내린 붕괴였으며, 이것은 절토사면의 상부와 계곡부에서 집중호우로 발생된 유수압 및 지하수위 상승의 영향이 크다고 할 수 있다. 금번과 같은 산사태성의 토사유실을 예방하기 위하여는 집중호우로 인해 발생되는 유수압을 예측하고 효과적인 대책방안에 대한 설계기준을 신속히 수립하여야 한다.

2. 절토사면 설계를 위한 지반조사 및 설계기준

2.1 절토사면 지반조사 방법의 변천

절토사면의 경사는 설계 및 시공시 전문가의 검토를 걸쳐 최종사면 경사를 결정하여야 하며 암반의 지질학적 특성과 공학적 성질에 대한 분석 없이 획일적인 표준 절토경사를 제시하는 것은 공학적으로 중요한 의미가 없으며, 단순한 참고자료이다.

세계적으로 암반역학이라는 용어는 1956년부터 사용되기 시작하였으며, 1959년의 프랑스의 Malpasset 댐의 붕괴나 1963년의 이태리 Vajont댐의 저수지내 사면의 대형 붕괴사고를 계기로 하여 암반역학의 중요성이 크게 인식되어 1966년에 처음으로 국제 암반역학회가 조직되었다. 우리나라는 1960년대 경부고속도로가 건설된 이후 1970년대부터 절토사면의 안정성문제가 부각되기 시작하였으나, 1980년대 이전에는 경제개발단계에서 경제성, 촉박한 공기, 경험, 기술 및 절토사면의 이해 부족 등으로 충분한 조사 및 설계과정 없이 획일적인 비탈면 경사로 설계·시공되어 왔다. 이로 인해 매년 절토사면 붕괴가 발생되어 인명 및 재산피해를 가져와 이를 최소화하는 방안으로 1980년대 이후부터 본격적으로 과학적인 지반조사기법 및 설계기준을 보완 발전시켜 왔으며, 고속도로 설계시 2000년대 들어서는 그 동안의 축적된 기술을 바탕으로 합리적으로 조사빈도를 증가시키고 최신의 시험법을 과감히 도입하여 지반조사 기준을 크게 향상시켰다. 각 시대별 고속도로 설계시 지반조사 기준을 기술하면 다음과 같다.

(1) 1960 ~ 70년대(경부, 영동, 동해 고속도로)

① 절토부 시추(Boring)
② 시굴조사(Test Pit)
③ 지표지질조사
④ 절토사면의 안정과 지하수침투의 상태 조사

(2) 1980년대(중부고속도로)

① 절토부 시추(Boring) : 절토부 개소 당 1개소 이상
② 시굴조사(Test Pit) : 1개소/250m
③ 탄성파탐사 : 대절토구간(지표면탐사)
④ 지표지질조사

(3) 1990년대

1990년대부터 절토사면에 대하여 설계단계부터 체계적인 분석을 위하여 지반조사 기준을 크게 강화하였다.

표 2.1 1990년대 지반조사 세부사항

구 분	내 용	비 고
지표지질조사	- 암반의 풍화상태, 절리의 방향성, 연속성, 간격 및 거칠기 등 - 충진물의 분포상태 - 단층선 등의 구조대 발달 여부	
시추조사	- 지층 분포상태 - 절리면의 발달상태(절리간격 및 경사각) - 암석코아의 강도 및 R.Q.D - 파쇄구간의 존재여부	절토부 개소당 2개소 이상
탄성파탐사	- 탄성파속도의 분포에 의해 지하지질구조 및 파쇄대의 존재여부 파악 (Cross Hole Test)	절토고 20m 이상 구간 시행
현장시험	- Schmidt Hammer Test - Point Load Test - Profile Gauge Measurement	
실내시험	- 토성시험 : 함수비, 비중, 입도 및 액·소성 한계 등 - 암석시험 : 일축압축강도(풍화암:추정, 연암 및 경암:실측), 절리면 전단강도(c, ϕ 추정)	
평사투영해석	- 사면방향 및 절리특성에 따른 안정성 검토	
한계평형해석	- 사면의 안전율 계산 : 개략조사한 절리면 방향 및 추정한 c, ϕ 값을 이용	
안정성 검토	- 평사투영해석 및 한계평형해석결과에 의한 보강공법 및 사면경사결정	

(4) 2000년대

시추조사를 수행하기 전에 지표지질조사 및 물리탐사 결과에 따라 각 지역의 붕괴위험도에 따라 조사빈도를 합리적으로 결정하고 최신의 시험방법을 설계에 도입하여 가능한한 시험결과에 따라 안정성 해석을 할 수 있도록 조사기준을 강화하였다.

표 2.2 2000년 이후 지반조사 세부사항

구 분	내 용	비 고
지표지질조사	- 암반의 풍화상태, 절리의 방향성, 연속성, 간격 및 거칠기 등 - 충진물의 분포상태, - 단층선 등의 구조대 발달 여부	
시추조사	- 지층 분포상태, - 절리면의 발달상태 (절리간격 및 경사각) - 암석코아의 강도 및 R.Q.D, - 파쇄구간의 존재여부	암종 및 붕괴특성 고려 4등급 분류 (최대4공, 최소1공)
탄성파 또는 전기비저항탐사	- 물리탐사에 의해 개략의 지질구조 및 파쇄대의 존재여부 파악	절토고 20m 이상 구간 시행
현장시험	- Schmidt Hammer Test, - Point Load Test - Profile Gauge Measurement - 시추공전단강도시험 : 풍화암층 c, ϕ 측정 - 화상정보시험 : 절리면방향 측정	
실내시험	- 토성시험 : 함수비, 비중, 입도 및 액·소성 한계 등 - 암석시험 : 일축압축강도(풍화암:점하중시험으로 측정, 연암 및 경암:실측), 절리면 전단강도(c, ϕ 측정)	
평사투영해석	- 사면방향 및 절리특성에 따른 안정성 검토 (절리면 방향:상세입력, 내부마찰각:실측치 입력)	
한계평형해석	- 사면의 안전율 계산: 실측한 절리면 방향 및 실측한 c, ϕ 값을 이용	
안정성 검토	- 평사투영해석 및 한계평형해석결과에 의한 보강공법 및 사면경사결정	

지역 \ 구분		개략조사	시추조사 및 현장시험	실내시험
A급	본조사	지표지질조사, 전기비저항 탐사	- 시추조사 3공(1공에 대하여는 풍화암층을 3중관 샘플러 시용 불교란시료 채취, 시추공 전단강도 시험) - 시추공 화상정보 시험(BIPS, ABI 등)	-일축압축강도 또는 점하중 시험 -중요 절리면 전단시험
	추가조사	-	- 이중관 시료채취기를 이용한 시추조사 1공 - 시추공 화상정보 시험(BIPS, ABI 등)	-일축압축강도 또는 점하중 시험
B급	본조사	지표지질조사, 전기비저항 탐사	- 시추조사 2공(1공에 대하여는 풍화암층을 3중관 샘플러 시용 불교란시료 채취, 시추공 전단강도 시험) - 시추공 화상정보 시험(BIPS, ABI 등)	-일축압축강도 또는 점하중 시험 -중요 절리면 전단시험
	추가조사	-	- 이중관 시료채취기를 이용한 시추조사 1공 - 시추공 화상정보 시험(BIPS, ABI 등)	-일축압축강도 또는 점하중 시험
C급	본조사	지표지질조사, 전기비저항 탐사	- 시추조사 2공(1공에 대하여는 풍화암층이 5m이상인 경우 3중관 샘플러 사용 풍화암층 불교란시료 채취, 시추공 전단강도 시험) - 시추공 화상정보 시험(BIPS, ABI 등)	-일축압축강도 또는 점하중 시험 -중요 절리면 전단시험
	추가조사	-	- 이중관 시료채취기를 이용한 시추조사 1공 - 시추공 화상정보 시험(BIPS, ABI 등)	-일축압축강도 또는 점하중 시험
D급	본조사	지표지질조사, 전기비저항 탐사	- 시추조사 1공 보링(풍화암층이 5m이상인 경우 풍화암층을 3중관 시추기를 이용하여 불교란시료 채취) - 시추공 화상정보 시험(BIPS, ABI 등)	-일축압축강도 또는 점하중 시험
	추가조사	-	- 이중관 시료채취기를 이용한 시추조사 1공 - 시추공 화상정보 시험(BIPS, ABI 등)	-일축압축강도 또는 점하중 시험 -중요 절리면 전단시험

2.2 연대별 절토사면 설계기준

지표지질조사, 시추조사 및 실내실험 등에 의해 결정된 물성치를 사용하여 붕적토, 풍화잔류토와 같은 토층, 절리가 많이 발달되어 원형파괴가 예상되는 풍화암에 대하여 한계평형해석에 의한 사면안정해석을 실시하며, 암층으로 구성된 비탈면의 경우 평사투영해석에 의해 붕괴 형태 및 붕괴가능성을 판단하고 블록파괴에 대한 한계평형해석을 수행하여 절토경사 또는 보강공법을 결정한다. 다음 표 2.3~2.7은 지반의 개략적인 분류에 의한 연대별 절토경사 기준을 정리한 것이다.

표 2.3 1970년대 절토 사면 설계기준(도로설계요령(한국도로공사, 1976))

원지반의 토질		성토고	경 사	비 고
경 암			1:0.3 ~ 1:0.8	
연 암			1:0.5 ~ 1:1.2	
모 래			1:1.5 ~	SW, SP
사 질 토	밀실한 것	5m 이하	1:0.8 ~ 1:1.0	SM, SC
		5~10m	1:1.0 ~ 1:1.2	
	밀실하지 않은것	5m 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	
		5~10m	1:1.2 ~ 1:1.5	
자갈 또는 암괴섞인 사질토	밀실한 것 또는 입도분포가 좋은것	10m 이하	1:0.8 ~ 1:1.0	GW, GM GC, GP
		10~15m	1:1.0 ~ 1:1.2	
	밀실한 것 또는 입도분포가 나쁜것	10m 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	
		10~15m	1:1.2 ~ 1:1.5	
점토 및 점성토		0~10m,	1:0.8 ~ 1:1.2	ML ,MH, CL, OL, CH
암괴 또는 옥석섞인 점성토		5m 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	GM, GC
		5~10m	1:1.2 ~ 1:1.5	

표 2.4 1980년대 절토사면 설계기준(구조물 기초 설계기준(건설교통부, 1986년))

자연상태의 토질		땅깍기 높이	경 사
경 암			0.3 ~ 0.8
연 암			0.5 ~ 1.2
모 래	SW, SP		1.5 이상
사 질 토	다져진 상태 SM, SC	5m 이하	0.8 ~ 1.0
		5 ~ 10m	1.0 ~ 1.2
	느슨한 상태 SM, SC	5m 이하	1.0 ~ 1.2
		5 ~ 10m	1.2 ~ 1.5
사력질 흙, 암괴 또는 호박돌이 섞인 사질토	다져진 상태 또는 입도분포가 좋은 흙 GW, GM, GC, GP	10m 이하	0.8 ~ 1.0
		10 ~ 15m	1.0 ~ 1.2
	다져진 상태 또는 입도분포가 나쁜 흙 GW, GM, GC, GP	10m 이하	1.0 ~ 1.2
		10 ~ 15m	0.8 ~ 1.2
점토 · 점성토	ML, MH, CL, CH, DC. DH	10m 이하	1.2 ~ 1.5
암괴 또는 호박돌이 섞인 점성토	GM, GC	5m 이하	1.0 ~ 1.2
		5 ~ 10m	1.2 ~ 1.5

표 2.5 1990년대 절토 사면 설계기준(도로설계요령(한국도로공사, 1992))

원지반의 토질		땅깎기 높이	경 사	분류기호 (통일분류)
모 래	밀실하지 않고 입도분포가 나쁜것		1:1.5 ~	SW, SP
사 질 토	밀실한 것	5m 이하	1:0.8 ~ 1:1.0	SM, SP
		5~10m	1:1.0 ~ 1:1.2	
	밀실하지 않고 입도분포가 나쁜것	5m 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	
		5~10m	1:1.2 ~ 1:1.5	
자갈 또는 암괴섞인 사질토	밀실하고 입도분포가 좋은것	10m 이하	1:0.8 ~ 1:1.0	SM, SC
		10~15m	1:1.0 ~ 1:1.2	
	밀실하지 않거나 입도분포가 나쁜것	10m 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	
		10~15m	1:1.2 ~ 1:1.5	
점 성 토		0~10m,	1:0.8 ~ 1:1.2	ML ,MH, CL, CH
암괴 또는 호박돌 섞인 점성토		5m 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	GM, GC
		5~10m	1:1.2 ~ 1:1.5	

암반 구분 (굴착난이도)	암반 파쇄 상태		경 사	소단설치	비 고
	T.C.R*	R.Q.D*			
리 핑 암	5% 이하	0%	1 : 1	H=5m마다 소단 1m	(*BX 시추기준) NX 시추일 때는 TCR과 RQD %가 BX 시추일 때보다 높은 것으로 고려한다.
발 파 암	10~20%	0~5%	1 : 0.8	H=10m마다 소단 1~2m	
	30% 이상	10~20%	1 : 0.7	〃	
	50% 이상	30% 이상	1 : 0.5	H=20m마다 3m	

표 2.6 2000년대 깍기 비탈면 설계기준(한국도로공사, 도로설계요령, 2001년)

원지반의 토질		땅깎기 높이	경 사	분류기호 (통일분류)
모 래	밀실하지 않고 입도분포가 나쁜것		1:1.5 ~	SW, SP
사 질 토	밀실할 것	5m 이하	1:0.8 ~ 1:1.0	SM, SP
		5~10m	1:1.0 ~ 1:1.2	
	밀실하지 않고 입도분포가 나쁜것	5m 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	
		5~10m	1:1.2 ~ 1:1.5	
자갈 또는 암괴섞인 사질토	밀실하고 입도분포가 좋은것	10m 이하	1:0.8 ~ 1:1.0	SM, SC
		10~15m	1:1.0 ~ 1:1.2	
	밀실하지 않거나 입도분포가 나쁜것	10m 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	
		10~15m	1:1.2 ~ 1:1.5	
점 성 토		0~10m,	1:0.8 ~ 1:1.2	ML, MH, CL, CH
암괴 또는 호박돌 섞인 점성토		5m 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	GM, GC
		5~10m	1:1.2 ~ 1:1.5	

암반 구분 (굴착난이도)	암반 파쇄 상태 NX 시추시 (BX)		굴 착 난이도	경 사	소단설치	비 고
	T.C.R(%)	R.Q.D(%)				
풍화암 또는 연·경암으로 파쇄가 심한 경우	20% 이하 (5% 이하)	10% 이하 (0%)	리핑암	1:1.0~ 1:1.2	H=5m마다 1m 폭	• 최하단기준 매 20m 마다 3m 소단설치 • 발파암과 리핑암 사이에는 소단을 설치하지 않음 • 소단사이에 토사와 리핑암 구분선이 발생시 많은 쪽 비탈면 경사를 적용
강한 풍화암으로 파쇄가 거의 없는 경우와 대부분의 연·경암	20~40% (10~30%)	10~25% (0~10%)	발파암 (연 암)	1:0.8~ 1:1.0	H=10m마다 1~2m 폭	
	40~60% (30~50%)	25~50% (10~40%)	발파암 (보통암)	1 : 0.7		
	60% 이상 (50% 이상)	50% 이상 (40% 이상)	발파암 (경 암)	1 : 0.5	H=20m마다 3m 폭	

3. 고속도로 절토사면 결정 과정

한국도로공사에서 수행하는 고속도로 설계, 시공 및 유지관리시 사면경사 결정과정은 그림 3.1과 같으며, 각 단계별 세부사항은 다음과 같다.

3.1. 설계단계

한국도로공사에서는 기존의 고속도로 절토사면 및 붕괴 사례를 Database화하여 노선 선정시 계획노선이 대절토구간 및 절취사면 붕괴발생위험이 있는 지역을 가능한 피하도록 하고 있다. 불가피한 절취지역에 대하여는 기존 지질자료의 분석, 지표지질조사 및 물리탐사를 통하여 붕괴위험도를 고려하여 지역을 4개의 등급으로 분류하고 각 등급에 적합한 조사빈도를 규정하였으며, 최신의 시험방법을 도입하여 사면안정해석에 필요한 대부분의 물성치를 실험으로 구하고 있다.

3.2. 시공단계

설계단계에서 적용하는 현재의 지반조사 기술로는 사면안정해석에 필요한 모든 정보를 구하는 것은 불가능하므로 시공시 절토사면에 존재하는 절리면의 방향, 경사, 마찰각 및 연속성을 파악하여 설계단계의 경사 및 보강공법으로는 안정성 확보가 곤란한 사면에 대하여는 지반분야 전문가의 검토를 거쳐 절토경사조정 또는 보강공법을 보완하여 시공토록 하고 있다. 한국도로공사에서는 연구소의 전문인력 뿐만 아니라 외부 전문가에게 의뢰하여 사면안정에 대한 검토를 수행하고 있다.

3.3. 유지관리단계

절토사면은 시간이 지남에 따라 풍화, 우수 등의 요인으로 안정성의 변화가 초래된다. 절토사면에 대하여는 안정성평가를 실시하여 표3.1과 같이 분류하고 해빙기 및 풍수해 우려시기에 점검을 수행하고 있다. 각 절토사면의 형상 및 현황, 지질학적 조건, 공학적 안정성, 붕괴이력, 보강대책 등에 대한 database를 구축하고 있다. 또한, 고속도로 지형 유지관리 시스템(HGIS, Highway Geographic Information System)을 구축하고 절토사면 붕괴 다발지역 및 취약지점 등의 조회가 가능하도록 하고 있어 절토사면 유지관리에 만전을 기하고 있다.

표 3.1 절토사면 분류 기준

등급	분류기준
1등급	안정점수 50~60, 공사준공 3년이내로 지속적인 관찰 필요지점, 강우시 관찰필요지점
2등급	안정점수 40~50, 공사준공 5년이내로 수시 관찰 필요지점, 강우시 관찰 필요지점
3등급	안정점수 30~40, 공사준공 5년경과하였으나 관찰 필요지점, 강우시 관찰 필요지점

※안정점수 : 사면높이 및 경사, 절리 방향 및 경사, 풍화정도 등을 고려한 평가 점수(낮을수록 안정)

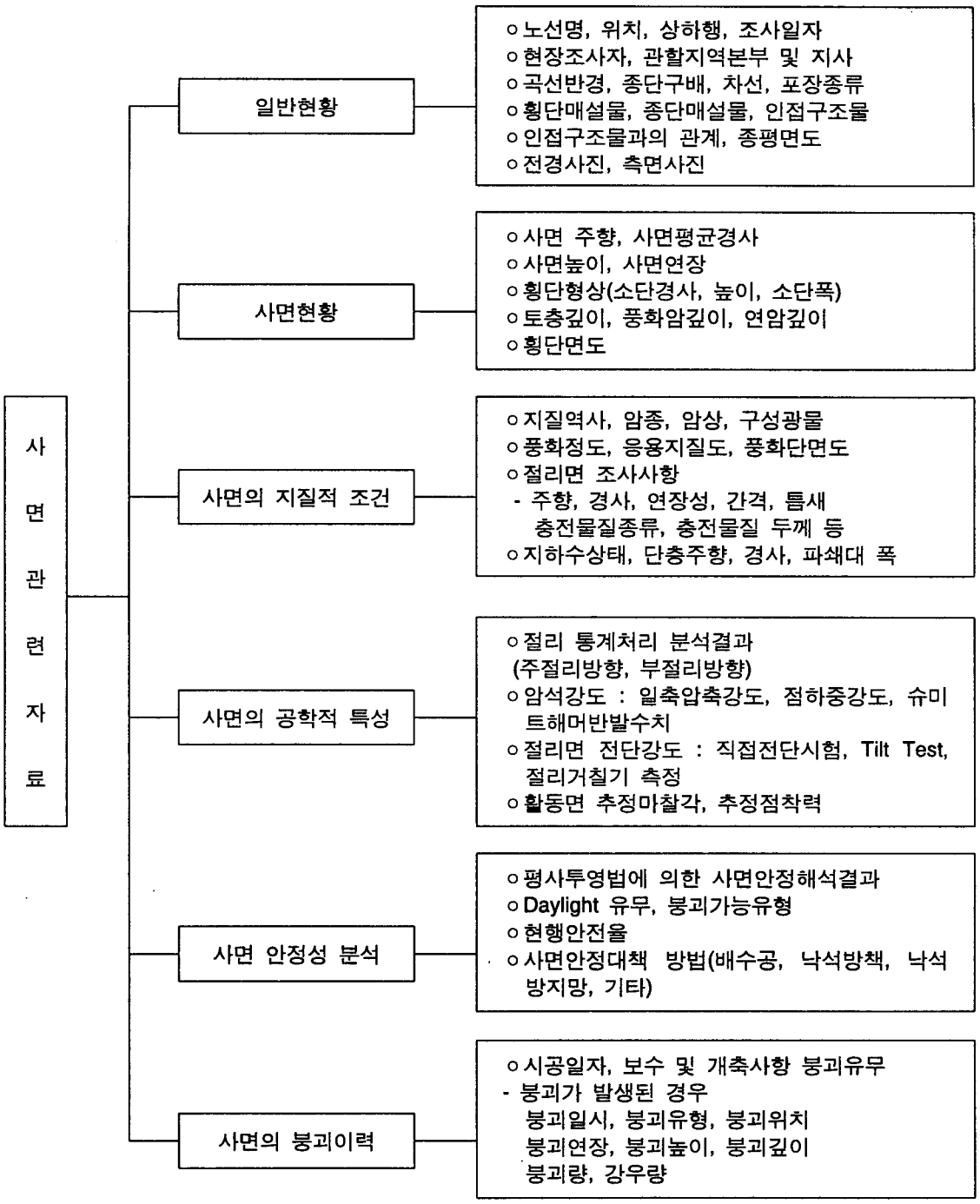

그림 3.1 고속도로 지형 유지관리시스템 입력 자료

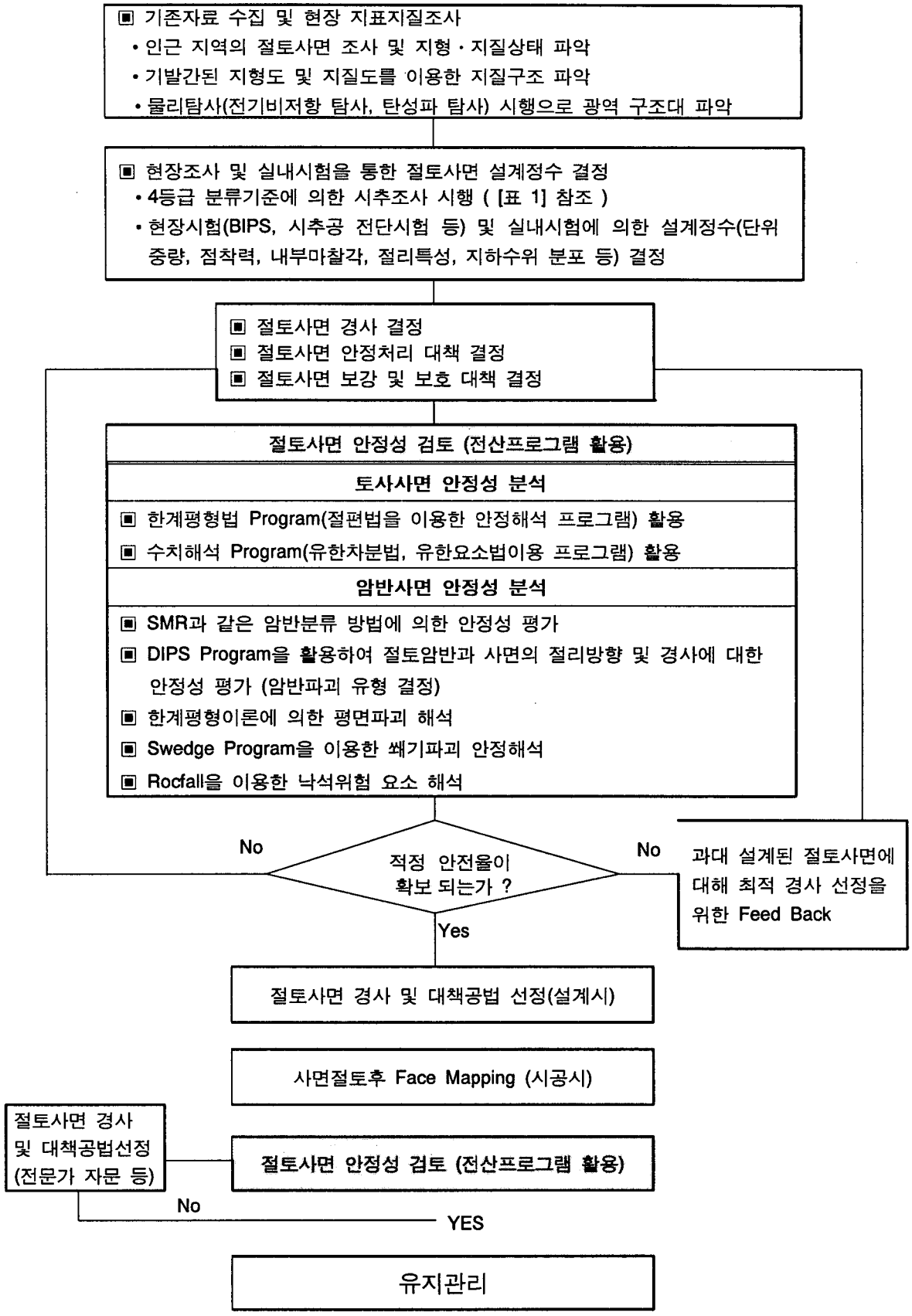

그림 3.2 고속도로 절토사면 경사 결정 과정

4. 태풍 RUSA로 인한 고속도로 피해현황 및 향후 대책

4.1 고속도로 피해현황

금번 제15호 태풍 RUSA로 인해 고속도로에 발생된 절토사면 붕괴는 대규모 암괴붕괴가 아닌 기상관측이래 최대의 강수량을 보인 집중호우로 발생한 토사유출인 것으로 조사되었다. 표 4.1은 태풍 RUSA로 인한 고속도로 절토 사면 붕괴사고 현황 및 원인을 표로 정리한 것이며, 사진 4.1과 4.2는 88선과 영동선에서 발생된 붕괴사고 현장사진을 나타낸 것이다.

표 4.1 태풍 RUSA로 인한 고속도로 피해현황

노 선	위 치	피해현황	피해 주요원인	준공년도
경부선	102(서울방향)	절토부 유실 600㎡ 차량1대(경미)	포화된 토사의 전단응력이 감소되었으며, 빠른 유수로 인해 토사면에 세굴이 발생하여 토사가 고속도로로 흘러내림	1970
88선	78.8(양방향)	절토부 유실 100㎡	집중호우로 고속도로 절토부 뒤편 산지부의 표토층이 산하부 절토사면 아래로 유실되어 포화된 토사와 나뭇가지 등이 고속도로 절토부로 흘러 내림	1984
동해선	50.0(동해방향)	절토부 유실 4,500㎡	집중호우로 고속도로 절토부 뒤편의 산지부가 부분적으로 유실되면서 포화된 토사, 고사목, 나뭇가지, 바위 등이 고속도로 절토부 사이의 계곡으로 흘러 내려와 고속도로에 퇴적	2001
영동선	223.9(강릉방향) 대관령 7터널	절토부 유실 1,800㎡	집중호우로 포화된 토사가 흘러내림	2001

사진 4.1 88 고속도로 78.8km (광주방향)

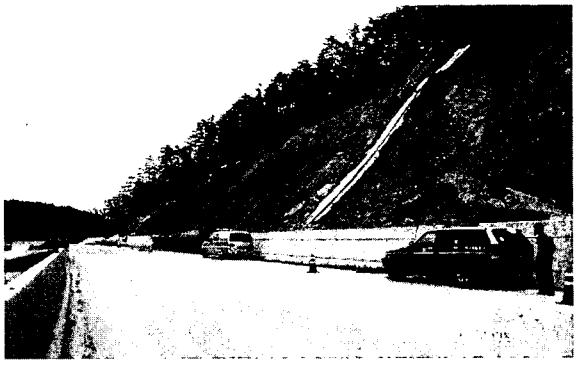

사진 4.2 대관령 7터널

4.2 향후 대책

지하수위를 타당하게 고려하는 것은 우기시 사면 안정에 매우 중요하다. 우기시 표면 토사의 포화심도에 대하여도 정립된 이론이 없어 설계시 논란이 되어오고 있으나, 표토 및 풍화암 층의 투수계수와 상시 지하수 흐름을 파악하여 유선망을 작도하고 이를 근거로 우기시 지반의 지하수위심도를 결정하는 것이 바람직하다고 판단된다. 수풀이 우거져 보통의 장마기간에 안정한 상태로 유지된 지역이 최근의 이상 집중호우로 인해 발생한 산사태성의 사면 붕괴는 지표면의 유수압을 고려하지 않고 지하수위 심도의 변화만을 고려하는 방식으로는 해결될 수 없다고 판단된다. 집중호우시 유속은 지반의 경사, 강우 강

도, 강우 지속시간 및 나무등의 유수흐름을 억제할 수 있는 지장물에 따라 다양하게 나타난다. 금번 고속도로 사면에서 발생한 토사 유출도 집중호우로 발생된 급류가 표토를 유실시켜 발생한 것으로 이를 방지하기 위해서는 지형에 따라 매우 다양하게 나타나는 유수압을 정확히 예측하여야하나 현재 이를 정확히 예측할 수 있는 기법이 정립되어있지 못한 실정이다. 유수압에 의한 사면 붕괴는 적절한 배수 시설과 연약한 표토의 보강방법을 함께 고려하여야 하며, 무분별한 표토의 보강은 더 큰 환경피해를 일으킬 수 있다. 우기시 지하수위 고려방법과 집중호우로 인한 유수압의 예측기법에 대한 연구를 적극 추진하여 집중호우로 인한 인명 및 재산피해 예방이 시급한 실정이다.

5. 결론

1) 고속도로에서 절토사면경사를 결정하기 위한 지반조사는 1960년대 시추조사 및 시험굴조사와 같은 초기단계로 시작하여 계속 발전되어 왔으며, 2000년대에 들어서는 그 동안의 축적된 기술을 바탕으로 합리적으로 조사빈도를 증가시키고 최신의 시험법을 과감히 도입하여 지반조사 기준을 크게 향상시켰다. 1980년대부터 시공 및 유지관리에서도 큰 발전이 이루어져 태풍 RUSA와 같은 기록적인 강우에서도 약 4,400개소의 절토사면 중에서 불과 4개소만 붕괴가 발생한 것으로 판단하면 고속도로 절토사면관리가 철저히 이루지고 있음을 알 수 있다.
2) 제15호 태풍 RUSA로 인해 고속도로에 발생된 절토사면 붕괴는 대규모의 암괴 붕괴가 아니라 기상관측이래 최대를 기록한 집중호우로 발생한 토사 유출로 분석되었다.
3) 집중호우시 발생되는 유수압의 예측기법 및 대책공법에 대한 체계적인 연구가 수행되어 최근 급증하는 이상기후에 대비한 설계법의 개발이 필요하다.
4) 각 절토사면에 지반조사, 설계, 시공, 유지관리 단계에서 조사, 분석된 자료를 데이터 베이스화하고 체계적으로 관리하여 절토사면의 설계, 시공유지관리 기술발전에 사용될 수 있도록 해야한다.

참고문헌

1. 건설부, 한국도로공사, (1974), "서울-부산간고속도로 건설지", pp.139-143.
2. 건설부, 한국도로공사, (1976), "영동-동해고속도로 건설지", pp.218-224.
3. 건설부, 한국도로공사, (1988), "중부고속도로 건설지", pp.211-220.
4. 노병돈, (2002), "재해예방을 위한 절취사면의 안전점검", 2002년도 사면안정 학술발표회 -사면안정 조사 및 대책-, 한국지반공학회, pp. 63-79.
5. 노한성외 4인, (1999), "한국도로공사의 절토사면 유지관리시스템", 1999년도 사면안정위원회 학술발표회 논문집, 한국지반공학회, pp.176-185.
6. 도로공사 종합감리공단, (1998), "지반기술검토사례집".
7. 유병옥, (1997), "암절취면의 안정성 평가 및 대책에 관한 연구", 한양대학교 박사학위논문, pp. 4-58.
8. 이승호, 황영철, 이재기, 지영환, 심정훈,(2002) "강원도 절개사면의 파괴특성 분석", 2002년도 사면안정 학술발표회 -사면안정 조사 및 대책-, 한국지반공학회, pp. 111-120.
9. 정형식, 유병옥,(1996), "지질특성에 따른 암반사면 붕괴유형연구", 한국지반공학회지, 제 12권, 제6호, pp. 155-169.
10. 한국도로공사, (1976), "도로설계요령", 제2권, pp.54-58.
11. 한국도로공사, (2002), "암석특성에 따른 절토사면 구배결정 기준연구", 2000년도 연구보고서, 한국도로공사 도로연구소
12. 한국도로공사, (1998), "설계실무자료집", 제1권, pp. 590-619.
13. 한국도로공사 설계처, (2000), "설계실무자료집", pp. 124-140.
14. 한국지반공학회(1994), "사면안정", 지반공학시리즈 5. 구미서관.
15. Charles, A. K., (1999), "Rock Slope Engineering", Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.

16. Goodman, R. E., (1989), "Introduction to Rock Mechanics", second edition, John Willey & Sons
17. Harrison, J. P., (2000), "Engineering Rock Mechanics Part2 Illustrative Worked Example", Elsevier Science Ltd.
18. S. K. Kim, Y. S. Jang, H. S. Seo & S. G. Han(1994), "Failure Mechanisms of the Landslides in Yongin-Ansung County", Proc. of the North-East Asia Symp. and Field Workshop on Landslides and Debris Flows, Seoul, Korea, 1994, pp.107-117.
19. R. FELL, T. G. CHAPMAN and P. K. MAGUIRE(1991), "A model for prediction of piezometric levels in landslides", Slope stability engineering developments and applications, ICE, pp.37-42.