
암절토사면의 조사방법과 설계기준에 관한 고찰

○ 김 성 환 *

노 한 성 *

김 홍 중 **

I. 서론

전국토의 75%가 산악지로 이루어진 우리나라는 국토의 균형있는 발전과 효율적인 활용을 위하여 격자형 도로망을 구축하고 있다. 우리나라 고속도로 노선은 많은 부분이 내륙의 산악지형을 통과하며, 그림 1 과같이 현재 공용중인 16개 노선이 총연장 1650.1km에 달하고, 건설 계획은 10개 신설구간에 연장 1082.9 km과 8개 확장구간에 연장 398.9km으로 구성되어 있다. 이런 산악지형에서 건설된 기존 또는 신설고속도로는 크고 작은 많은 절토사면으로 구성되어 있다. 고속도로 건설구간에서 절토고 20m 이상의 대절토사면으로 기존노선에 2084개, 확장노선에 70개 그리고 신설공사구간에 238개가 시공되었다.⁽⁸⁾ 이러한 절토사면은 시공중에 붕괴되는 경우 많은 공사비가 추가로 소요될 뿐만아니라 공사기간도 연장된다. 또한 공용중에 사면이 붕괴되면 많은 교통체증을 유발시키고 또한 인명피해를 가져와 사회적인 문제를 유발시킬 수 있다. 신설 공사구간에서 지난 1991년 1월에서 1995년 5월 까지 조사된 대절토부 사면붕괴는 74개소에 달했으며, 이로인해 많은 공사비가 추가로 소요되었고 또한 공사기간이 많이 연장되었다.

이와같이 오랫동안 암절토사면의 활동파괴에 대한 문제점을 경험해 왔지만 아직까지 체계적인 조사-설계-시공-유지관리 시스템의 구축이 미흡한 실정이다. 따라서 도로건설 네단계를 체계적으로 정립하여 최적의 사면안정 조사방법 및 설계기준을 마련할 필요가 있다. 그러나 어느 한 연구기관에서 이 과제를 연구하기에는 다소 많은 시간과 인력이 소요되므로 이를 정부투자기관 연구소에서 공동으로 노력한다면 효율적인 사면안정 대책방안이 마련될 것으로 생각된다.

본 논문에서는 한국도로공사에서 현재 시행중인 암반사면 안정에 관한 조사방법 및 설계기준을 중심으로 소개한다.

* 한국도로공사 도로연구소 지반연구실 선임연구원

** 한국도로공사 도로연구소 지반연구실 연구원

高速道路現況 및 計劃

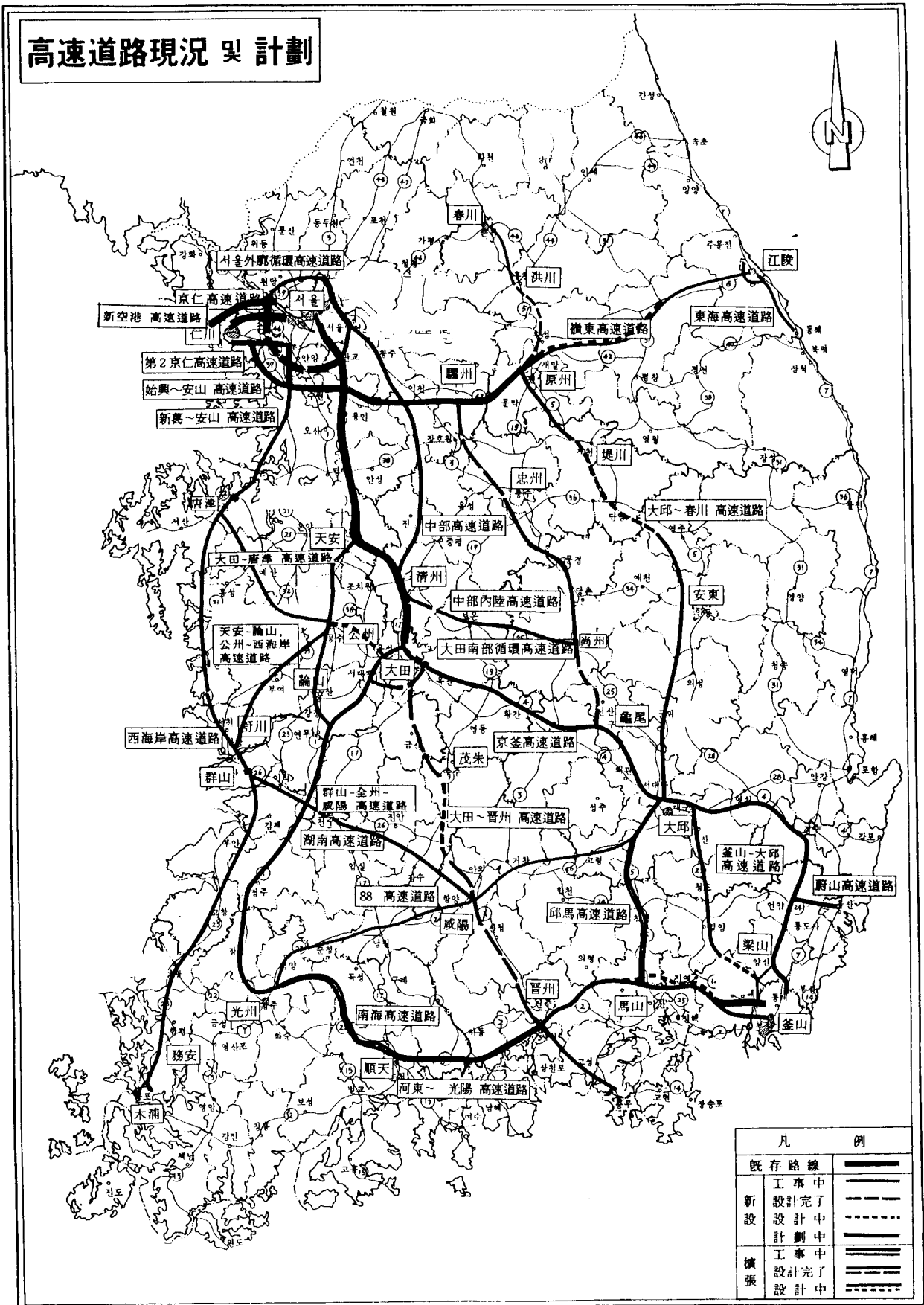


그림 1 고속도로 노선 현황

II. 암절토 사면의 조사방법

도로 절토사면이 붕괴되면 예상보다 많은 보수비용이 소요된다. 또한 교통두절로 사회 경제활동에 큰 손상을 줄 뿐만아니라 인명피해를 초래할 수 있어 그 미치는 영향은 매우 크다. 따라서, 도로의 기능을 장기간 안전하게 유지하기 위해서는 그림 2와 같이 체계적이고 합리적인 절토사면의 분석과정을 거쳐야하며, 노선 조사 및 설계단계에서 보다 신뢰도가 높은 안정된 절토사면 구배가 결정되어야 한다.

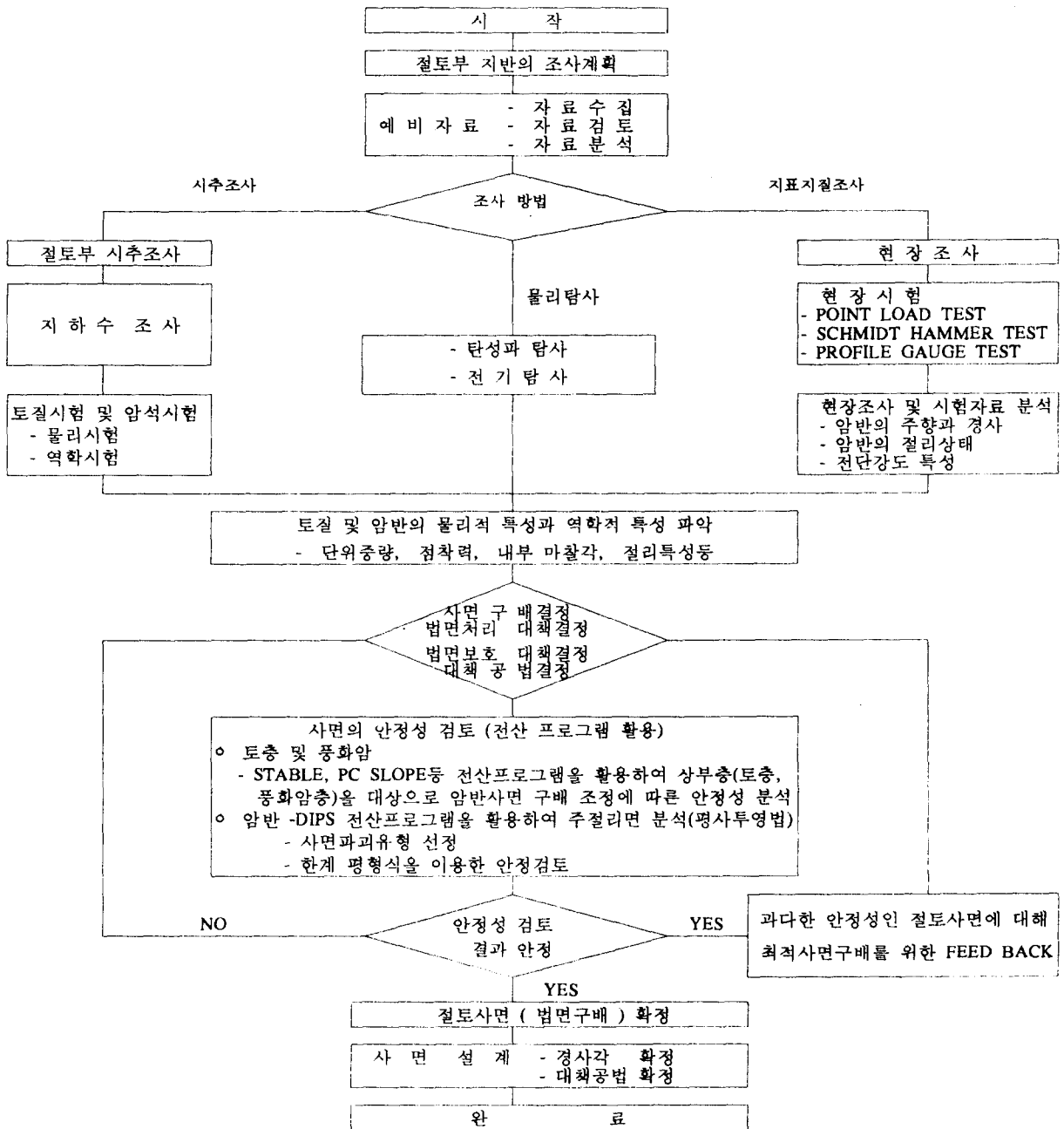


그림 2 절토사면의 구배결정 과정⁽⁵⁾

2.1 조사단계

암절토사면에 필요한 조사단계로는 예비조사, 본조사, 시공중조사, 공사완료후의 조사, 그리고, 절토사면 파괴시 조사를 들 수 있다. 이 조사순서를 도로건설 흐름과 대별시키면 그림 3 과 같다.

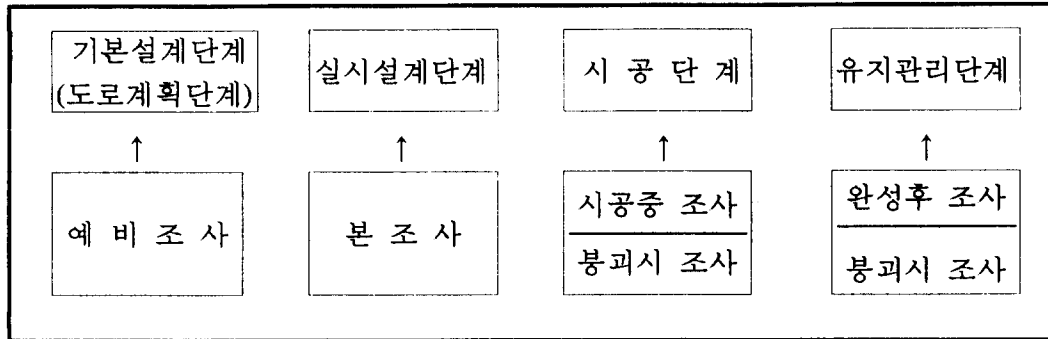


그림 3 도로건설의 흐름 및 조사순서

예비조사는 계획노선 부근 사면의 붕괴발생위험이 있는 지역의 분포를 기존자료조사, 현지답사로 개략적인 위험도를 판정하고, 본조사를 위한 기본자료를 만든다. 그 결과 붕괴다발지역, 토석류다발지역, 현재변형을 일으키고 있는 지역 또는 슬라이딩 발생가능이 큰 지역등은 가능한 피하여 노선을선정하여, 도로건설 계획을 세울 필요가 있다.

본조사는 현지답사, 시추조사, 탄성과탐사에 의한 지질조사 및 변위계, 경사계 등을 이용한 계측조사의 실시로 붕괴기구의 추정과 그 안정도를 검토하고 동시에 조사 결과를 기초로 적절한 대책공법을 실시설계에 반영한다.

시공시조사는 당초 설계조건과 상이한 붕괴양상이 발생한 경우에 즉시 설계시공법을 변경하여 사면붕괴를 방지시켜야 한다. 더우기 사면 붕괴위험이 있는 곳에는 계측조사를 실시하여 사면의 변동상황을 조기에 정확히 파악하여 사면파괴를 사전연에 방지할 필요가 있다.

완성후의 조사는 공용중인 도로에 육안관찰 또는 계측조사로 사면의 거동을 조기에 발견하고, 거동이 관측되는 경우 즉시 주변현지답사를 실시하며 필요한 교통규제등 위험방지 긴급수단을 강구한다. 조기붕괴가능성이 없는 경우는 계측조사로 사면붕괴 방지대책을 세워 통행규제등 위험방지의 긴급수단을 강구한다.

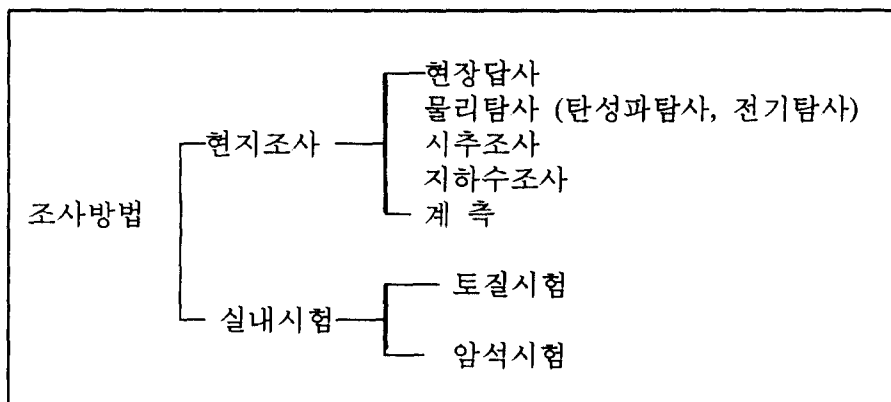
붕괴시 조사는 시공중 또는 공용중에 사면붕괴가 발생한 경우 조기에 현지답사, 보링을 실시하며 지질조사 및 계측조사를 통하여 붕괴기구를 검토하여 복구대책에 필요한 기초자료를 습득한다.

앞에서 언급한 바와같이 사면안정을 위한 각단계별 조사목적과 내용이 상이하다. 따라서 절토면 경사를 결정하기 위해서는 본조사에서 얻은 조사 결과에만 의존하지 말고 공사단계별로 필요한 조사항목을 적절히 시행해야 한다.

2.2 조사내용

암절토부의 구성특성을 확인하기위한 조사방법으로는 표 1 과 같이 현지조사와 실내시험으로 나눌수 있다. 예비조사단계에서는 주로 기존 지질자료 수집 및 분석, 항공사진 판독, 현장답사를 실시하여 이를 개략조사에 이용한다. 본 조사단계에서는 실시설계에 필요한 지질자료를 얻기 위한 것으로 표 1 에 나열한 조사항목을 중심으로 상세한 조사를 실시한다. 이 단계에서 비탈면의 풍화정도, 층리, 균열, 절리면의 방향과 비탈면의 방향과의 관계를 종합적으로 검토하여 비탈면의 경사가 합리적으로 결정되어야 한다.

표 1 조사방법의 분류



현재 대절토부의 사면경사는 주로 시추조사와 암석시험 결과에 의존하여 결정되고 있다.⁽²⁾

2.3 절토부 현장조사빈도

절토고가 20m 이상인 사면을 대절토사면이라 한다. 이 대절토부는 별도의 사면안정성을 검토하여 사면안정 대책공법을 제시하여야 한다.⁽⁵⁾ 이를 위하여 현장지표지질조사, 물

리탐사 및 시추조사로 암반의 질리, 풍화상태등을 분석하여 암반의 불연속성을 파악하고 또한 암석시험으로 기본 물성치를 확인한다.

현재 대절토부의 암반특성을 확인하기 위하여 표 2 와 같이 250 m간격으로 시험굴 (test pit)를 시행하고, 대절토부 개소당 1개이상의 시추조사를 실시함을 원칙으로한다.⁽¹⁾ 시추지점의 선정은 그림 4 와 같이 행한다. 이 그림에서와 같이 시추는 종단계획고 아래 1m 깊이까지를 원칙으로 하며, 시추조사시 수집된 암석시료를 사면안정검토 분석자료 로 활용한다.

표 2 시추조사 빈도⁽¹⁾

조사 항목	최소 조사빈도	심 도	비 고
시험굴 (test pit) 시 추 조 사	250 m 절토부 개소당 1개소이상	1 - 2 m 계획고하 1 m	BX규격이용

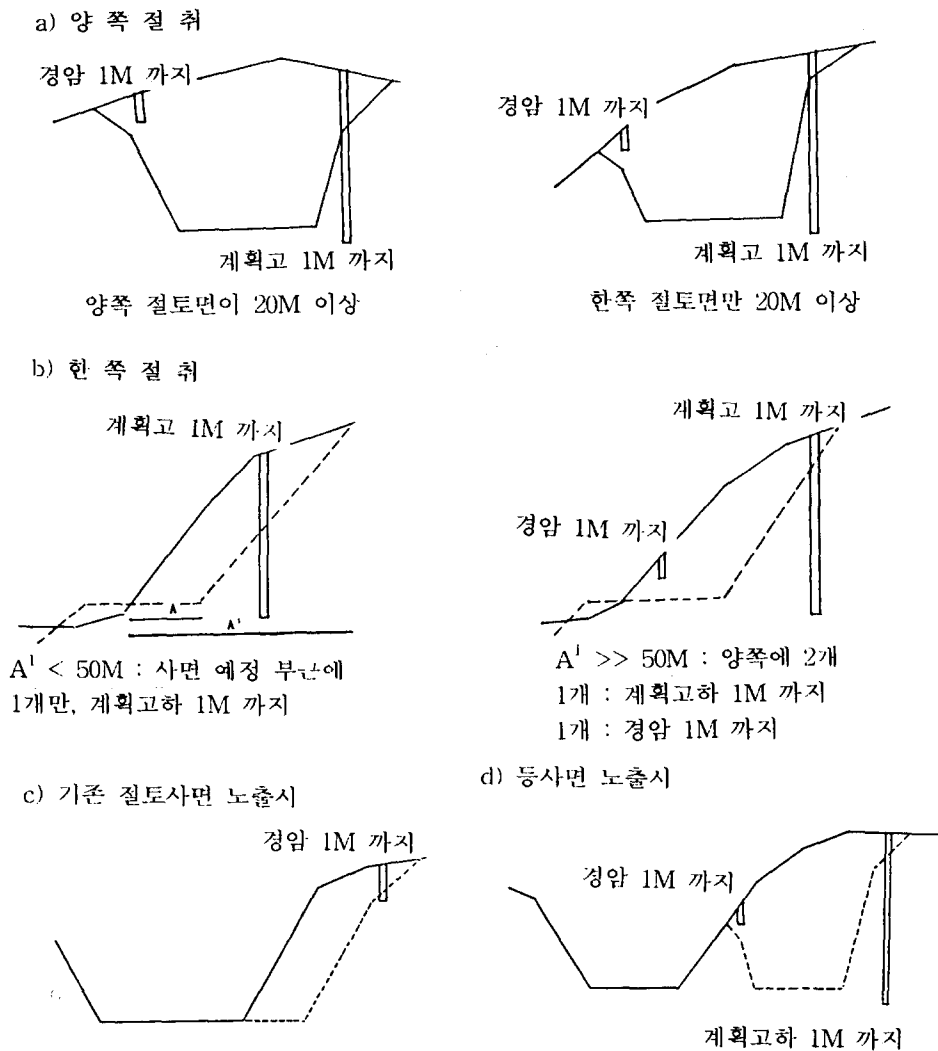


그림 4 시추지점의 위치⁽²⁾

Ⅲ. 암절토 사면의 설계기준

대절토 사면의 설계는 현장지표지질조사, 현장물리탐사 및 시추조사자료를 면밀히 분석하여 사면의 안정성을 검토하고 그 결과를 토대로 사면의 구배, 비탈면 보호대책 공법 등을 결정하여야 한다. 사면안정해석시 사용되는 해석법에 대해서는 그림 2 와 같이 적용하며 토사, 풍화대, 파쇄암층의 균질정도등 사면의 구성특성을 고려하여 보다 적절한 안정해석을 실시하여야 한다. 암석분류기준, 사면절취 표준구배등에 대한 우리공사의 설계 기준은 다음과 같다.

3.1 암석의 분류기준

국내에서는 암석을 역학적 특성과 탄성파의 속도에 따라 극경암, 경암, 보통암, 연암, 풍화암으로 분류한다. 일축압축강도와 탄성파 속도를 이용한 암석의 분류기준은 표 3과 4 와 같다.⁽⁷⁾ 그런데, 도로공사에서는 토공작업의 난이도에 따라 토사, 리핑암, 발파암으로 분류하여 토공작업의 기준으로 잡았다.^(1, 3, 4) 이 분류를 위하여 표준관입시험치, 암석의 풍화정도, 탄성파 속도등을 종합적으로 고려한다. 현장시험결과를 이용한 풍화잔류토층과 풍화암층의 구분은 표준관입저항치 $N=50/15\text{cm}$ 를 기준으로 하며, 탄성파속도로는 (P파)900~1000m/sec정도가 되며 이는 토사와 리핑암의 경계가 된다. 풍화암층과 연암층은 코아회수율(15~25%) 또는 탄성파속도(P파=1800m/sec)를 기준으로 구분되며 이는 리핑암과 발파암의 경계에 적용할 수 있다.

표 3 강도에 의한 암석의 분류⁽⁷⁾

구 분	일축압축강도 (kg/cm ² , 건조 상태):UCSd	점하중강도 (kg/cm ²):PLSd	슈미트해머 수치(SHV)	급속흡수율 (%):QAI	비고 (해머에 의한 타격)
극경암	1800이상	88이상	60이상	0.24이하	큰 해머로 타격시 튕기며 용이하게 깨어지지 않는다.
경 암	1300~1800	56~88	51~60	0.47~0.24	큰 해머로 타격시 약간 깨진다.
보통암	1000~1300	37~56	44~51	0.80~0.47	큰 해머로 타격시 균열을 따라 크게 떨어진다.
연 암	700~1000	18~37	34~44	1.65~0.80	보통 해머로 타격시 비교적 용이하게 깨어진다.
풍화암	300~700	0~18	10~34	9.25~1.65	보통 해머로 용이하게 소편으로 깨어지며 때로는 손으로도 쪼개진다.

표 4 탄성과속도에 따른 암석의 분류⁽⁷⁾

암석의 구분	그룹	자연상태의 탄성과속도 V(km/sec)	암편의 탄성과속도 V(km/sec)	암편내압강도 c (kg/cm ²)	비 고
풍화암	A	0.7~1.2	2.0~2.7	300~700	내압강도 1. 시편:5cm입방체 2. 노건조:24시간 3. 수중침윤:2일
	B	1.0~1.8	2.5~3.0	100~200	
연 암	A	1.2~1.9	2.7~3.7	700~1,000	4. 내압시험 5. 시험방법(가압방향)
	B	1.8~2.8	3.0~4.3	200~500	
보통암	A	1.9~2.9	3.7~4.7	1,000~1,300	Z축(결면에 수직 탄성과속도가 가장 느린 방향)
	B	2.8~4.1	4.3~5.7	500~800	
경 암	A	2.9~4.2	4.7~5.8	1,300~1,600	1.시편:두께15~20cm 상하면이 평행면 2.축정방향 X 축 (탄성과속도가 가장 빠른 방향) (결면에 평행)
	B	4.1이상	5.7이상	800이상	
극경암	A	4.2이상	5.8이상	1,600이상	

3.2 절취사면 구배의 설계기준

기존 고속도로의 절취사면 구배는 표 5 와 같다. 발파암 사면은 사면내 절리등의 유무에 상관없이 암석의 강도에 따라 절취각도를 일률적으로 1 : 0.5로 결정되었다.

표 5 기존고속도로 노선의 절취사면 구배⁽⁵⁾

구분	높 이	노 선							비 고
		호 남 고속도로	중 부 남 해 고속도로	판교-구리 산갈-반월 고속도로	대구-춘천 대전-진주 고속도로	수원-남이간 확장고속도로	신갈-원주간 확장고속도로	고서-순천 고속도로	
토사	0 ~ 5m	1:1	1:1.2	1:1.2	1:1.2	1:1.2	1:1.2	1:1.2	5 m 마다 소단1m설치
	5m이상	1:1	1:1.5	1:1.5	1:1.5	1:1.5	1:1.5	1:1.5	
리핑암		1:0.6	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	
발파암		1:0.5	1:0.5	1:0.5	1:0.5	1:0.5~ 1:1	1:0.5~ 1:1	1:0.5~ 1:1	절토20m마다 소단 3 m

현재 우리공사에서 적용하고 있는 절토사면의 표준사면구배는 표 6 과 같다. 암절토 사면의 구배는 비탈면의 풍화정도, 층리, 절리, 균열의 크기정도 및 비탈면의 방향과의 관계를 조사하여 종합적으로 검토하여 결정되어야 하나, 실질적으로는 이것을 정량적으로 판단하기 곤란하다. 이러한 이유에서 법면의 구배는 시공결과를 감안한 경험적인 요

소들에 의해 결정되고 있는실정인바 표 6 과 같이 암석강도에 의한 표준사면 구배기준을 우선 적용하고 있다. 그러나 잔류토층과 풍화암은 절취에 따른 하중제거로 쉽게 이완되고 지표에 노출되면 풍화작용이 급속히 진행됨을 감안하여 유지, 보수측면에서 사면 경사를 표준구배 범위에서 보다 완만한 쪽을 선택하는 것이 적합하다. 또한 절취작업시는 단층이나 파쇄대가 발달하였거나 절리가 사면내측으로 경사져 활동이 예상될 경우에는 분포암석에 대한 지질구조의 특성을 고려하여 현장여건에 적합한 절취구배를 조정함이 타당할 것으로 판단된다.

표 6 절취사면 표준구배^(1, 3)

구 분	흙각이 높이	암반 파쇄상태		구 배	소 단 설 치	비 고
		TCR	RQD			
토 사	0-5m	-	-	1 : 1.2	H=5M마다 소단 1m설치	
	5m이상	-	-	1 : 1.5		
리 핑 암		5% 이하	0 %	1 : 1		
발 파 암*	10 - 20%	10 - 20%	0 - 5%	1 : 0.8	H=10M마다 소단1-2m설치	BX시추기준
	30%이상	30%이상	10 - 20%	1 : 0.7		
	50%이상	50%이상	30%이상	1 : 0.5	H=20M마다 소단 3m설치	

* 발파암의 사면구배는 지표지질조사, 사면안정검토, 시추조사(TCR,RQD)결과를 분석후 적용함.

3.3 암발파공법의 적용기준

건설공사에서는 불가피하게 수행되는 발파의 영향으로 소음, 진동, 비석등의 환경공해를 발생시킨다. 이를 경감시킬 수 있는 적정 발파공법의 적용이 필요하다. 암발파에서는 진동속도와 발파공법의 적용기준을 제한하고 있다.

진동속도 제한기준

일반적으로 시공시 진동속도는 0.5cm/sec로 제한사용하고, 세부 허용기준치는 표 7과 같다.

표 7 진동속도 제한기준⁽¹⁾

건축물의 종류	허용진동치(cm/sec)
○ 유적, 고적등의 문화재	0.2
○ 결합이 있는 건물, 빌딩이나 균열이 있는 주택	0.5
○ 균열이 있고 결합이 없는 건물	1.0
○ 회벽이 없는 공업용 콘크리트 구조물	1.0 ~ 4.0

발파공법 적용기준

공사의 효율성과 민원발생 방지를 위하여 진동허용속도 0.5cm/sec를 기준으로 할 때, 표 8과 같은 발파공법 적용기준을 적용한다.

표 8 발파공법 적용기준⁽¹⁾

구 분	발 파 원 과 의 거 리			비 고
	30 m이내	30 - 60 m	60m이상	
소음 및 공기에 영향이 없을 경우	브레이크파쇄공법	미진동 발파공법	일반발파	
소음 및 공기에 영향이 있는 경우	무진동파쇄공법	미진동 발파공법	일반발파	

발파시행시 발파진동 계측기를 설치하여 허용기준치를 상회하지 않도록 하여야 한다.

3.4 비탈면 보호공

비탈면 보호는 표 9와 같이 식생공을 원칙으로 하며⁽¹⁾, 식생공만으로 비탈면의 안정을 확보할 수 없는 경우에는 지질, 구배안정성, 경계성, 미관, 유지보수 기타상황을 충분히 고려하여 적절한 보호공을 설치한다.

표 9 비탈면 보호공법⁽¹⁾

구 분	보 호 공	비 고
흙쌓기 비탈면	줄 때	떼붙임
절 토	토 사	떼붙임
	리핑암	씨앗 뿜어붙이기

IV. 결론

현재 암절토 사면의 범면구배는 경험적인 요소들에 의해 결정되거나 암석강도에 의한 표준사면구배 기준을 적용하고 있는 실정이다. 이러한 기준은 절토사면의 풍화정도나 주절리군의 영향을 고려하지 못하고 사면구배가 결정되기 때문에 시공중 또는 공용중에 사면붕괴 발생의 위험성이 항상 내재되어 있다. 그러므로 대절토 구간에서는 본조사 단계에서 암반역학적인 관점에서 탄성과 탐사, 시추조사등의 공학적인 조사와 시험을 실시로 암반불연속면의 특성을 파악하여 보다 합리적인 암반사면 구배가 결정되어야 한다. 최근 공사현장에서 암반의 절취구배를 완화하기 시작 하였으나 실제로는 많은 효과가 없으므로 사면의 붕괴 위험성이 다소 남아 있다. 그래서 합리적이고 신뢰성이 높은 사면설계를 위해서는 다음 사항을 고려할 필요가 있다.

- 20m 이상의 대절토부에서는 반드시 탄성과 탐사를 실시하여 파쇄대등 불연속면의 존재를 사전에 확인하여 사면구배를 결정함으로써 공사중, 유지관리에 대규모 사면 파괴가 발생하지 않도록 해야한다.
- 경암으로된 암반이라도 불연속면으로 인한 붕괴의 위험이 없으면 1 : 0.5보다 더 급한 구배라도 안전하나 경암이라도 불연속면으로 인한 붕괴 위험이 예상되면 구배를 1:0.5보다 낮추거나 보강공법을 시행하는 것이 바람직하다. .
- 초기의 사면 설계단계에서는 국부적인 암반의 안정성을 판단하기 보다는 전체적인 암반의 해석이 중요하므로 여러 단계의 조사에 의해 나온 결과를 가지고 대표적인 불연속면의 공학적인 특성을 고려하여 평사투영법을 시행한다.
- 평사투영법에 의해 불안정한 것으로 판단된 사면은 한계평형식을 이용하여 안정성을 분석한다.
- 토층 및 풍화암층에 대해서는 한계평형식에 의한 수치해석프로그램을 사용하여 복합적으로 사면구배의 안정해석을 수행한다.
- 현재 사용되는 사면구배의 설계기준은 경험에 의한 일반적인 구배로 암반의 지질 및 절리상태에 따라 과다 및 과소한 구배가 될 수 있으므로 사면안정계산의 FEED BACK작업을 통하여 경제적이고 합리적인 구배를 결정해야 한다.

참고문헌

1. 한국도로공사, 설계기준:중앙고속도로 안동-영주간 4차선 확장공사, 1994. 11.
2. 한국도로공사, 고속도로건설공사 실시설계용역과업지시서, 1995.
3. 한국도로공사, 도로설계요령 제2권 토공 및 배수편, 1992. 12.
4. 한국도로공사, 고속도로공사 일반시방서, 1990. 12.
5. 한국도로공사, 설계 실무자료집, 1994. 1.
6. 한국도로공사, 토질조사보고서, 시흥-안산간 고속도로건설공사 실시설계, 1992. 10.
7. 건설부, 표준품셈, 1994.
8. 한국도로공사, 기술자문사례집 : 지반분야, 1994. 12.