

암반 절취사면의 문제점 및 개선방향

Problem and Its Improvement of Rock Slope

김성환, Sung-hwan Kim

한국도로공사 도로연구소 수석연구원, Research Director, HRC, Korea Highway Corporation

1. 서론

산업기반시설의 확충이 요구됨에 따라 그 동안 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 시켰다. 미국의 경우에 1990년에 고속도로주변 산악지 유지보수 비용으로 1500억원(\$1.15억)을 사용한 바 있으며, 또한 일본의 경우도 6.1조원(\$47억)을 유지보수비용으로 지출한 바가 있다. 한국도로공사에서도 1997년 사면 유지보수 비용으로 52억을 사용했다.



그림 1.1 사면의 붕괴

암반사면은 지질구조에 따라 다양한 붕괴양상을 나타내므로 건설공사가 활발히 진행됨에 따라 많은 붕괴사례를 보이고 있다(사진 1.1). 특히 고속도로 공사에서 1995년에서 1999년 중반까지 2800개의 대상 사면 중에 500여 개의 사면에서 크고 작은 붕괴조짐을 보이거나 활동이 발생되어 보완 조치를 시행한 바가 있다. 이러한 현상으로 많은 공사 비용이 추가로 소요되었을 뿐만 아니라 공사기간도 연

장되었다. 또한 공용중인 시설물에서 발생한 붕괴현상은 사회 경제적인 많은 손실을 유발했다.

이러한 암반절취사면의 붕괴로 직간접적으로 사회적 경제적으로 손실이 유발되고 있다는 것을 알고 있으면서 실재적으로 실행되지 않고 문제점이 반복되고 있다. 이는 최소 공사소요예산으로 최대의 안정

성확보를 바라는 과정에서 미흡한 접근방법 때문이다. 합리적 지반조사를 근거로 일연의 설계 시공으로 체계적인 유지관리가 뒤 따라야한다.

본 논문에서는 지금까지의 적용되고 있는 사면관련 제반절차를 조사 분석하고 이들의 문제점과 그 개선방향을 기술한다.

2. 암반사면의 특성

암반(rock mass)은 암석(rock)에 절리나 단층 등 불연속면을 포함하는 비교적 큰 규모의 돌덩어리이다. 암반사면의 안정성은 암반 내에 발달하고 있는 이 불연속면에 의해 크게 좌우되며, 암반의 중요한 물리적, 역학적인 특성은 이들 불연속면의 기하학적인 형상, 크기, 분포의 함수가 될 수 있다(그림 2.1). 그러므로 암반사면의 안정성 평가는 불연속면의 분포, 형태, 공학적 특성에 의해서 결정되는데 이를 위해서는 암반 내에 분포하는 불연속면의 공학적인 성질을 정량적으로 파악하여야 한다.

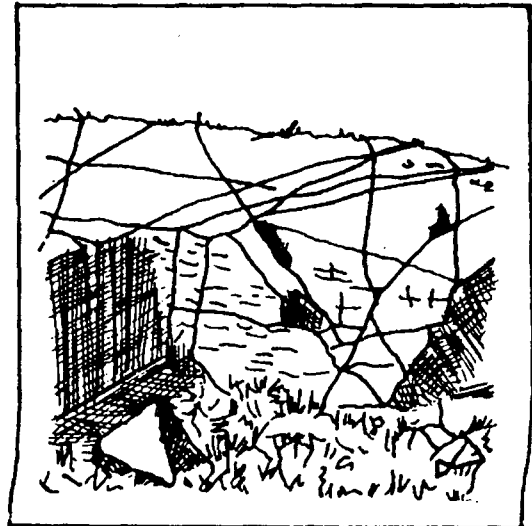


그림 2.1 절리면 발달 예

2.1 불연속면의 분포

고속도로의 절취사면은 도로건설에 의해 인공적으로 형성된 것으로 절취사면의 안정성은 환경적인 조건과 지질적인 요인에 의해 좌우된다. 지질적인 특성은 붕괴발생에 큰 영향을 줄 것으로 판단되며, 특히 암석종류에 따라 지질적인 특성을 달라지므로 암석종류는 붕괴를 일으키는 가장 중요한 요인이 된다. 전국 고속도로 주변의 암석 종류를 분석한 결과 화성암이 43.7%, 퇴적암이 24.6% 그리고 변성암이 31.7%를 구성하고 있는 것으로 나타났다. 전체 붕괴빈도 중 경기육괴의 편마암지대에서 46.7%를 차지하는 붕괴비율을 나타내고 경상분지를 이루는 퇴적암지대에서는 34.7%, 옥천고지향사대의 퇴적변성암에서는 10.6%, 영남육괴 암층에서는 8%의 붕괴 비율을 나타내고 있다. 표2.1은 암석종류별 불연속면의 특성을 설명한다. 또한 표2.2는 지체구조 및 암종별 활동경사를 분석한 것이다. 퇴적암으로 주로 구성된 경상분지지역에서는 매우 낮은 붕괴경사를 보인다.

2.2 암종별 사면높이

사면높이는 그 지역에 분포하는 산들의 형상과 밀접한 관계를 갖는데 전반적으로 지역에 따라 사면높이의 차이를 보인다. 절취사면의 높이를 퇴적암, 변성암, 화성암으로 대별하여 분포를 살펴보면 그림 2.2와 같다.

퇴적암에서는 20m 이하의 비교적 낮은 사면높이의 구릉지를 형성하는 경우가 많다. 특히, 구마고속도로 및 경부고속도로 대구-부산간에 많이 분포한다. 그러나 중앙고속도로의 경우는 20m 이상 되는 대절토 사면도 다량 분포하는 것으로 나타났다. 변성암의 경우는 비교적 높은 사면이 다량 분포하는 것으로

로 30-40m 정도의 사면 분포를 보인다. 그리고 화성암의 경우는 변성암보다는 다소 낮은 사면높이가 다량 분포를 보이는 것으로 나타났다.

표 2.1 암종별 사면의 특성

암종	분포고속도로	풍화특성	불연속면 발달특성	사면붕괴유형
화성암	경부, 88, 영동 중부, 남해 서해안, 중앙, 호남	<ul style="list-style-type: none"> 강한 강도특성 미세균열 심함 동결융해작용에 의해 쉽게 풍화 풍화심도 비교적 얇음 	<ul style="list-style-type: none"> 수직절리발달 절리면 비교적 치밀 절리면 거칠기 : Rough 높은 전단강도 	<ul style="list-style-type: none"> 낙석 평면파괴 토층유실 원형파괴 전도파괴
퇴적암	구마(하양층군) 남해, 경부 중부(국부적) 88, 중앙	<ul style="list-style-type: none"> 지표노출시 쉽게 풍화 하부에 호온펠스화 작용을 받은 경암질과 풍화를 받아 있는 연암층이 뚜렷한 경계면을 이룸(구마선) 암석강도의 이방적 특성을 보임 	<ul style="list-style-type: none"> 층리발달 층리면 경사 : 18-20° (구마선) 수평(남해선) 층리면에 점토층진(구마선) 절리면 거칠기 (Planar) 낮은 전단강도 	<ul style="list-style-type: none"> 평면파괴 암괴붕락 (세일의 차별적인 풍화에 의한)
변성암	경부, 중부, 영동 호남(옥천층군) 중앙, 서울외곽 서해안, 88, 남해	<ul style="list-style-type: none"> 단층과쇄대, 단층점토 등의 약선대의 존재가능성 큼 암반내에 열수 용액의 작용으로 인한 하부에 풍화대 존재가능성 큼 핵석형 풍화양상 풍화 심도 깊음 	<ul style="list-style-type: none"> 단층에 의해 붕괴 가능성이 큼(서해안, 서울외곽, 중앙춘천측) 복잡한 지질구조 단층과쇄대, 단층점토 등의 약선대의 존재여부를 주의 깊게 판단하여야 함 	<ul style="list-style-type: none"> 평면파괴 썩기파괴 원형파괴

표2.2 지체구조별 활동면의 경사분포

지체구조	주 암종	붕괴 각도	붕괴 경사
경기육괴	편마암	26° ~ 57°	1:2.0 ~ 1:0.65
	화강암		
옥천지향사대	편암	32° ~ 54°	1:1.6 ~ 1:0.73
	천매암		
영남육괴	편마암	40° ~ 50°	1:1.2 ~ 1:0.84
	규암		
	화강암		
경상분지	세일	15° ~ 50°	1:3.73 ~ 1:0.84
	사암		

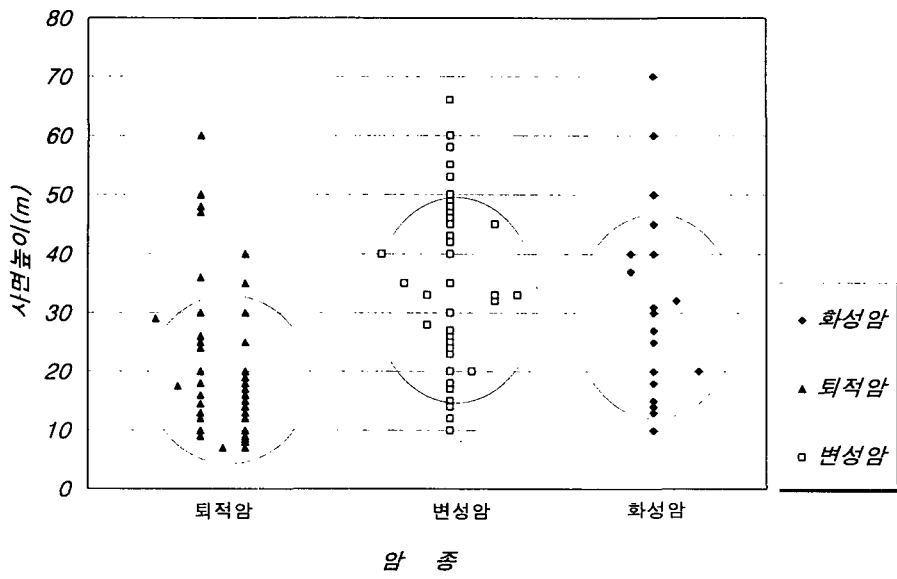


그림 2.2 암종에 따른 사면높이 분포

2.3 사면의 풍화깊이

암종별로 풍화대의 평균깊이를 살펴보면 표 2.3, 그림 2.3과 같은 결과를 얻을 수 있다. 풍화대의 깊이는 토층과 풍화암을 포함하는 깊이로서 퇴적암에서는 평균 6.0m의 분포를 보이는데 남동측의 경상퇴적 분지에서는 주로 분포하는 층에서는 약 5m를 나타낸다. 그리고 변성암을 이루는 사면에서는 8.5m의 풍화대 심도로 비교적 깊은 풍화심도를 보인다. 화성암을 이루는 사면에서는 평균 4.8m로 영동고속도로의 대관령구간에서는 매우 얇은 풍화심도를 보이나 원주-진부구간에서는 전반적으로 깊은 풍화심도를 보이는 것으로 나타났다.

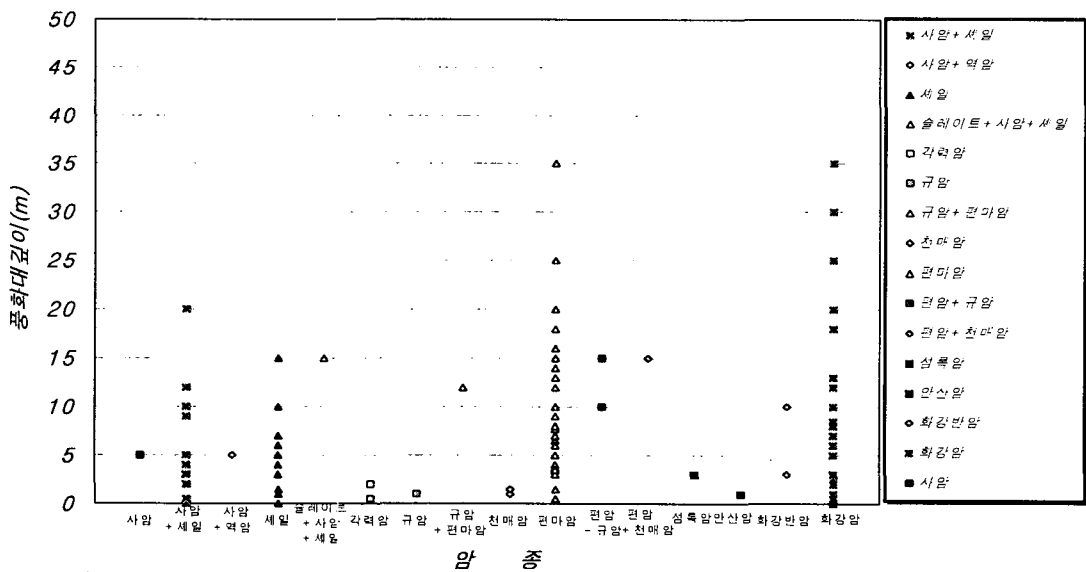


그림 2.3 암종별 풍화대 깊이

표 2.3 암종별 풍화대의 평균깊이

구분	암종	풍화대깊이 (m)	구분	암종	풍화대깊이 (m)	구분	암종	풍화대깊이 (m)
퇴적암	사암	5.0	변성암	규암	1.0	화성암	섬록암	3.0
	사암+세일	5.4		규암+편마암	12.0		안산암	1.0
	사암+역암	5.0		천매암	1.3		화강반암	6.5
	세일	4.1		편마암	10.6		화강암	8.6
	슬레이트+사암+세일	15.0		편암+규암	11.3			
	각력암	1.3		편암+천매암	15.0			
	평균	6.0		평균	8.5		평균	4.8

2.4 암종에 따른 사면붕괴유형

일반적으로 암석사면은 크게 평면파괴, 쉼기파괴, 전도파괴, 원형파괴의 네가지 붕괴유형을 갖는데 이는 퇴적암, 화성암 및 변성암에 따라 발달하는 불연속면의 특성에 차이를 보이므로 사면을 형성하는 암종과 매우 밀접한 관계를 갖는다. 조사된 사면은 화성암으로 화강암, 화강반암, 안산암, 섬록암, 퇴적암으로는 사암, 세일, 화산각력암이며 변성암으로는 편마암, 편암, 천매암, 규암으로 이루어진 사면이다. 전국에 분포하는 고속도로에서 발달하는 사면을 대상으로 조사된 암종에 따른 붕괴현황은 그림 2.4와 같다.

본 결과에 의하면, 평면파괴가 전체 붕괴개소의 44%를 차지하며 변성암과 퇴적암에서 우세하게 발생하고 다음으로 낙석, 쉼기파괴, 토층유실의 순으로 나타났다. 평면파괴는 주로 사면과 유사한 방향의 지질구조에 의해 발생하는 것으로 퇴적암에서는 주로 층리가 변성암에서는 단층 및 절리가 주된 지질구조가 된다. 암석의 종류별로 붕괴양상을 도시하면 그림 2.5와 같다.

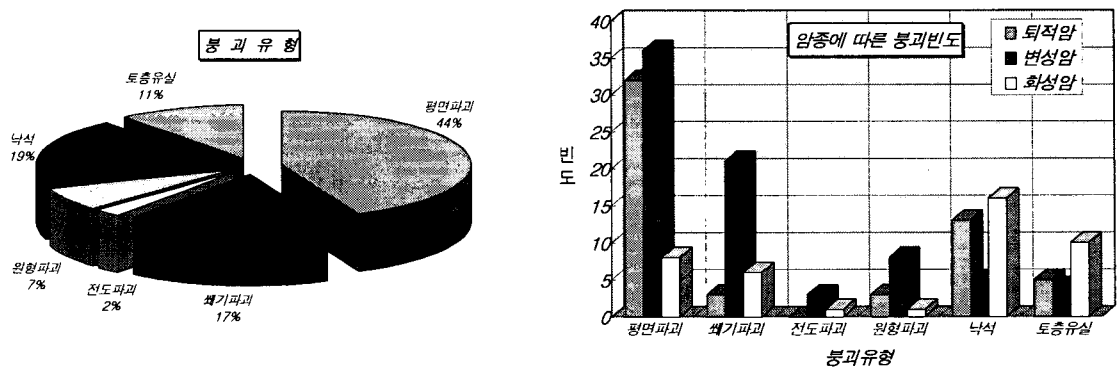


그림 2.4 암종에 따른 사면붕괴의 유형별 빈도

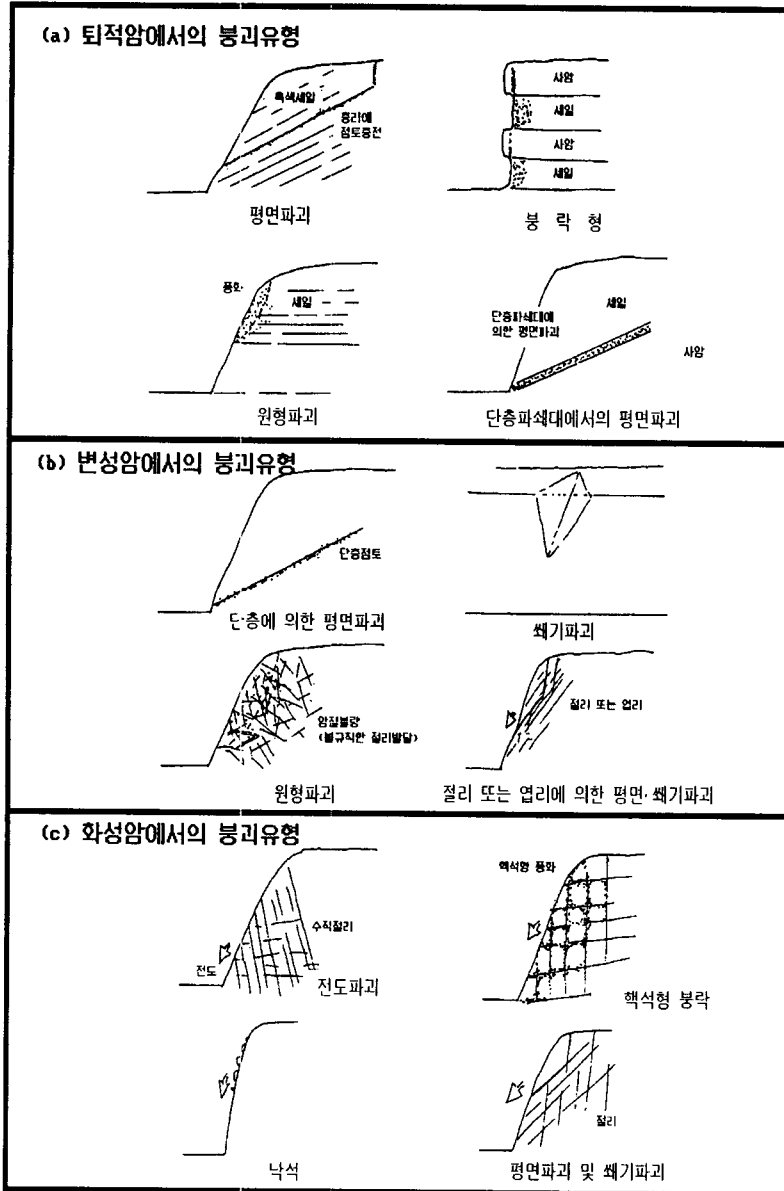


그림 2.5 암종에 따른 사면의 붕괴유형

2.5 지질구조에 따른 붕괴양상

암반사면의 붕괴는 암반에 발달하는 불연속면에 의해 좌우되며 사면붕괴의 주원인이 될 수 있는 불연속면으로는 절리, 엽리, 단층, 층리 등이 있다. 절리(Joint)는 모든 암석내에 분포하나 층리(Bedding)는 퇴적암, 엽리(Foliation)는 변성암중 편마암에서 발달하는 지질구조이고 단층파쇄대는 주로 변성암에서 우세하게 발달하는 지질구조이다.

조사된 사면중 특히 암반내에 발달하는 지질구조중 그림 2.6에서 보는 바와 같이 절리는 모든 암석에 발달하는 지질구조이므로 각 암종에 따라 비교적 고른 분포를 보인다. 층리는 퇴적암의 지질구조로 층리면에 의해 평면파괴가 주로 발생되었으나 세일층의 풍화로 인해 사암이 낙석되기도 한다. 그리고 엽리는 변성암의 지질구조로 인해 평면파괴 및 썰기파괴가 발생하기도 하며 단층에 의한 사면붕괴는 변

성암에서 우세하게 나타나고 있다. 그러나 변성암에서 암질불량으로 인한 붕괴양상도 빈번히 나타나고 있다.

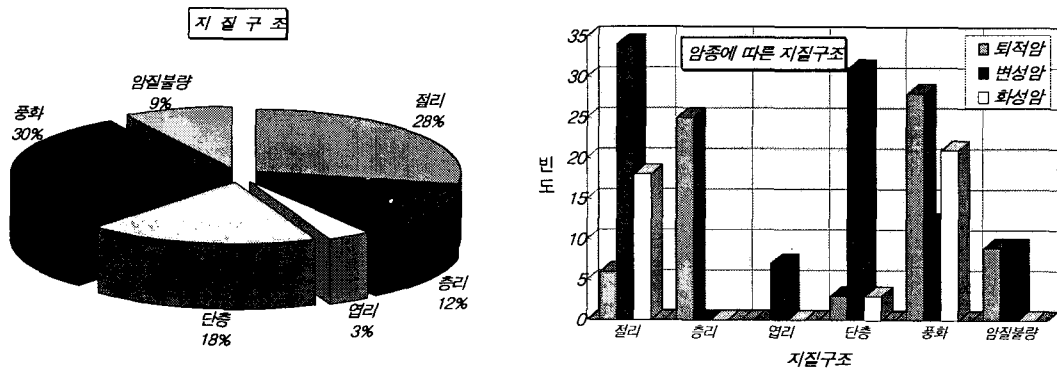


그림 2.6 지질구조에 의한 붕괴양상

도로연구소 지반연구실에서 현장기술자문을 통하여 직접 적용된 최근 5년간의 사면보강공법사례를 분석하였다. 표 2.4 및 2.5와 같이 고속도로사면에 적용된 사면안정화공법으로는 사면경사완화, 록볼트, 소일네일, 쇼크리트공, 옹벽공, 표면보호공 등 다양한 공법이 적용되었다. 이들 공법은 일반적으로 몇가지의 공법을 함께 사용하기도 한다.

표 2.4 고속도로사면에 적용된 보강공법

적용공법 \ 암종	계	화성암	퇴적암	변성암
사면경사 완화	88	9	34	45
Rock anchor	6	1	4	1
Rock bolt 또는 Soil nail	6	2	2	2
Rock bolt+표면보호공	2	1	1	0
쇼크리트	10	3	1	6
옹벽	11	0	7	4
녹생토	15	7	7	1
낙석방지망	11	4	4	3
콘크리트 격자블록	3	1	0	2

표 2.5 붕괴유형에 따라 적용된 사면안정화 공법

구분	유실	낙석	세굴	평면 파괴	췌기 파괴	원형 파괴	전도 파괴	계
사면경사완화	4	8	0	51	19	5	1	88
숏크리트	3	7	0	0	0	0	0	10
콘크리트격자	3	0	0	0	0	0	0	3
옹벽	1	1	0	5	2	2	0	11
Rock Anchor	0	0	0	5	1	0	0	6
Rock Bolt + Soil Nailing	0	0	0	2	0	2	1	5
Rock Bolt + 표면보호공	0	1	0	0	0	1	0	2
낙석방지망	0	8	0	3	0	0	0	7
녹생토	5	6	3	0	1	0	0	15
암괴제거	1	8	0	4	0	0	0	13
배수시설	1	0	0	0	0	1	0	2

3. 암반사면의 안정성 확보를 위한 문제점

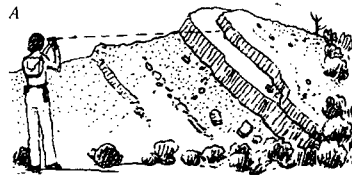
암반사면은 자연재료로 이루어진 복잡한 형상을 갖고 있다. 일반 콘크리트재료나, 강제처럼 인위적인 재료(man-made material)와는 달리 그 특성을 파악하는데는 많은 한계가 있다. 특히 암반사면은 수억년 연륜이 쌓여 형성된 것이라 변화무상하기 이를 데 없다. 그러나 전문지식과 첨단장비를 활용하여 심오한 자연의 원리를 알기 위하여 많은 노력을 해왔다. 이러한 노력에도 불구하고 사면의 안정성이 확보되지 않는 문제점을 조사 기술한다.

3.1 지반조사

지반조사란 설계에 필요한 물성치를 파악하기 위한 가장 기본적인 단계이다. 암반사면에서는 지반조사란 불연속면의 특성을 파악하는 것으로 볼 수 있다. 현행 적용되고 있는 지반조사는 발주방식에 따라 많은 현저한 수준차이를 보이고 있다. 다음은 일반설계과 경쟁설계로 구분되는 발주방식에 따른 지반조사의 문제점을 기술한다.

일반발주방식은 발주처에서 기본설계를 실시하여 기본노선을 정하고 이를 기초로 실시설계를 실시하여 시공을 위한 기본자료를 만든다. 이 실시설계를 기준으로 최종적으로 가격경쟁에 의하여 시공자가 결정된다. 일반발주방식은 설계자와 시공자가 달라서 설계자의 판단이 시공자에게 전달되기 어렵다. 무

엇보다 발주처의 제한된 예산으로 충분한 지반조사비의 반영이 어려워 시공 중에 잦은 설계변경을 유발한다. 설계 중에 해결되어야 할 많은 요소들이 건설의 최종단계인 시공자에게 전가되고 있는 실정이다. 현행 사면관련 지반조사는 그림 3.1과 같이 크게 3가지 방법을 적용하고 있다. 절취사면의 조사는 대부분 시추조사에 의존하고 있다. 따라서 현재 주어진 조사 방법만으로는 사면안정성 판단을 위한 기본자료로 활용할 수 없다(표3.1). 그래서 대부분의 설계물성치는 발주처에서 제공되는 지방서의 표준 값을 적용하고 있다.



• 지표지질 조사



• 시굴(Test pit)



• 시추조사

그림 3.1 일반설계에 적용되는 지반조사 방법

표 3.1 일반설계에 의한 지반조사 사례

<p>▷ 총연장: 5.87 km, 8개사면, 지반조사보고서 997쪽</p> <p>▷ 현장조사 방법</p> <p>지표지질조사 : 1식</p> <p>시추조사 : 33회</p> <p>시험굴 조사 : 12회</p> <p>▷ 실내시험</p> <p>일축압축강도 : 12회 - 탄성계수, 포아손비</p> <p>▷ 해석</p> <p>평사투영 : 지표지질조사 자료 이용</p> <p>한계평형해석 : PCSTABLE 원호파괴 가정</p> <p>▷ 문제점</p> <p>주향 및 경사 값의 근거 없음</p> <p>불연속면의 전단강도 값을 추정하여 사용함</p> <p>현장조사 및 실내시험 값을 전혀 적용하지 않음</p>

경쟁발주방식(턴키발주)은 지반조사 설계 및 시공을 동일업체에 지정하여 설계와 시공이 일관성 있게 이루어지도록 한 발주방식이다. 지반조사 예산이 시공업체의 재량에 따라 할당되고, 지반조사에 대한

중요성이 인식되어 양적 질적으로 많은 수준이 개선되었다. 표 3.2와 같이 암선 결정이나, 불연속면의 방향 및 전단강도를 확인하기 위한 지반조사가 많이 반영되었다. 그러나 아직 많은 양의 지반조사에도 불구하고 설계에 조사된 물성치를 적용하지 못하고 지침서의 대표물성치를 적용하는 경우가 많다. 또한 지반조사를 경쟁적으로 과다하게 수행하여 예산낭비와 환경보존의 문제점을 낳고 있다.

노선선정을 위한 기본설계 시에 지반 조사자의 참여가 이루어지지 않고 있다. 노선선정 시에 지형 및 지질을 고려하여 선형결정을 하는 것이 절대적으로 필요하다. 그림 3.2와 같이 우측방향으로 노선이 잡히면 절취면의 경사를 불연속면의 경사각과 일치시켜야 하므로 많은 공사비가 예상된다.

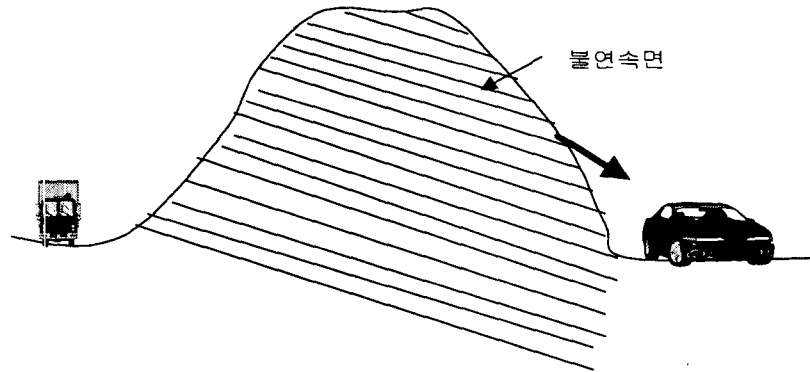


그림3.2 노선의 위치에 따른 불연속면의 영향

표 3.2 경쟁설계에 의한 지반조사 사례

▷ 현장조사 방법	
지표지질조사 : 1식	공내재하시험 : 1공
시추조사 : 21공	Televiewer : 1공
시험굴 조사 : 4개소	시추공전단시험 : 3공
BIPS : 4공	탄성과탐사 : 1890m
DHT탐사 : 2공	X-Ray 회절분석: 3회
▷ 실내시험	
실내토질시험 : 2회	
삼축시험 : 5회	
일축압축강도 : 14회	
절리면 전단 : 5회	
▷ 문제점	
현장조사 및 실내시험 값의 적용이 미흡함	

암반사면의 안정성은 불연속면의 특성에 좌우된다. 일반적으로 불연속면의 특성을 파악하기 위해서는 절리의 방향, 간격, 연결성, 굴곡, 강도, 틈새, 충전물질, 투수, 수 및 암괴의 크기를 조사할 필요가 있다. 그러나 지금까지 조사방법으로는 어느 한가지 요소도 제대로 파악되지 않은 상태에서 설계가 이루어지고 있다.

또한 시추조사시에 시추조사는 대절취사면에 1~2개의 소구경(사면연장이 200 m 이내 1공, 500m 이내 2공)의 시추조사자료를 활용하여 암석의 종류와 풍화상태 및 불연속면의 발달상태를 판단하는 것을

주목적으로 한다. 현행 적용되고 있는 시추조사에서는 시추심도, 시추조사 개수 및 위치 등이 미흡하여 불연속면의 발달특성을 파악할 수 없다. 또한 시추장비(장비종류, 비트, 코아배럴, 시추구경) 및 시추기술자의 숙련도에 따라 조사정도가 크게 차이가 나므로 이들에 대한 기준이 필요하다. 물리탐사 및 지표지질조사에 대한 인식의 부족으로 시추조사와 병행하여 수행되지 못하고 있는 실정이다.

3.2 설계

절취사면의 표준경사 기준은 표 3.3과 같이 암반의 굴착난이도의 구분기준을 적용하고 있다. TCR 또는 RQD 값을 고려하여 발파암의 경사기준을 조정하여 적용하고 있으나 암반사면에서 가장 중요한 절리의 경사 및 경사방향을 고려하지 못하고 암석강도를 기준으로 절취경사가 결정되고 있다. 따라서 현재 적용되고 있는 조사기준에 따라서 결정되는 표준경사기준은 한계가 있다. 무엇보다 넓은 면적에서 상세한 조사를 실시할 경우에 조사비용이 공사비용에 차지하는 비율이 높기 때문이다.

“설계는 고치면 된다”거나, “붕괴가 일어나기 전에는 절대 설계변경이 불가능하다”는 서로 상반된 사고방식을 갖고 있다. 제한된 설계기간과 미흡한 지반조사 자료로 완벽한 설계를 하기는 어렵다. 따라서 시공 중에 보완하도록 시공사에게 떠넘기는 격이 된다. 이와는 반대로 우리나라의 건설환경으로 볼 때 건설공사(암반절취사면 공사) 중에 붕괴가 일어나지 않는다면 설계서에서 제안한 기준을 벗어나기 어렵다. 이것은 설계서에 제시된 대로만 시공하여야 하고, 일단 사면이 붕괴되어야 설계변경 조치를 받을 수 있다.

설계에 적용되는 불연속면의 경사 및 전단강도 값을 기존자료의 대표치를 원용하여 사용하는 경우가 많다. 또한 각종 설계와 관련한 설계자문이 많이 이루어지고 있으나 설계가 끝날 무렵에 설계자문을 받아 수정이 어려운 때가 많다.

표 3.3 암반절취사면의 표준경사 기준

구 분	절취사면 경사 기준									
	한국도로공사		한국토지공사		한국수자원공사		대한주택공사		일본도로협회	
토 사	0~5m	1:1.2	0~5m	1:1.2	토사	1:1	0~5m	1:1.2	토사	1:0.8 ~ 1.5
	5m이상	1:1.5	5m이상	1:1.5			5m이상	1:1.5		
리핑암	-	1:1	-	1:1	풍화암	1:0.5	0~5m	1:1	연암	1:0.5 ~ 1.2
							5m이상	1:1.2		
발파암	TCR*	1:0.5~ 0.8	-	1:0.5	암	1:0.3	연암	1:0.8	경암	1:0.3 ~ 0.8
	RQD		경암				1:0.5			

*발파암의 사면경사는 지표지질조사, 시추조사 결과를 분석한 후에 적용함

평사투영해석법은 비교적 간편하고 신속하다는 이점 때문에 현업에서 많이 이용되고 있으나, 현장조사자료와 설계자간에 조사결과에 대한 개념을 공유하지 못할 경우에 잘못된 설계가 되기 쉽다. 따라서 평사투영법의 활용에 대한 인식이 부족하다.

3.3 시공

기존의 지반조사방법에 의한 자료를 바탕으로 설계된 암반사면은 시공 중에 많은 문제점을 야기시킬 수 있다. 최근 고속도로 공사현장에서 시공중이나 완료 후에 사면 붕괴가 발생된 사례가 무려 200여 건이나 되었다. 한 예로, 공사완료 후에 사면붕괴된 사례를 보면 추가적인 공사비는 24억이(한 곳에서 발생한 경우) 소요되어 많



그림 3.5 시공중 붕괴 사례

은 경제적인 손실뿐만 아니라 공사기간이 지연되는 사례가 발생하였다. 따라서 설계기간 중에 지반조사 자료를 이용하여 절취사면의 특성을 파악하는데 한계가 있다. 암반 절취면의 특성은 시공 중에 절개면에서 가장 정확하게 파악이 된다. 공사중 시공면을 확인하는 보완조사 절차가 필요하다.

암반절취 사면의 마무리면은 풍화에 매우 민감하다. 특히 마무리면의 과발파로 인한 파쇄영역이 큰 경우에 더욱더 외부 환경에 크게 영향을 받는다. 현재 표준시방서에는 절취사면에 대한 발파기준이 제시되어 있지 않으나 설계지침 등에서 제안한 일반발파방법에 따라 발파를 실시하고 있다. 그러나 사면 내부의 암반 발파시에는 일반발파 기준을 따르는 것이 타당하나, 최종 마무리면에도 동시에 적용함으로써 과다한 발파에너지가 마무리면에 적용된다. 이로 인하여 그림 3.6과 같이 마무리면에는 무수한 균열이 상존하여 낙석을 유발시키거나 풍화가 급속도로 진행되어 추가적인 붕괴를 유발한다.

3.4 유지관리

여름의 집중호우기간 중에 도로 주변의 많은 사면에서 붕괴가 발생된다. 높은 절취 사면의 경우에는 1차로 붕괴가 발생되면 추가적인 붕괴가 발생하는 사례가 많다. 따라서 공용 중인 절취면은 녹화가 된 상태이므로 붕괴가 발생되면 절취사면의 전반적인 조사가 불가능해 진다(그림 3.7). 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.

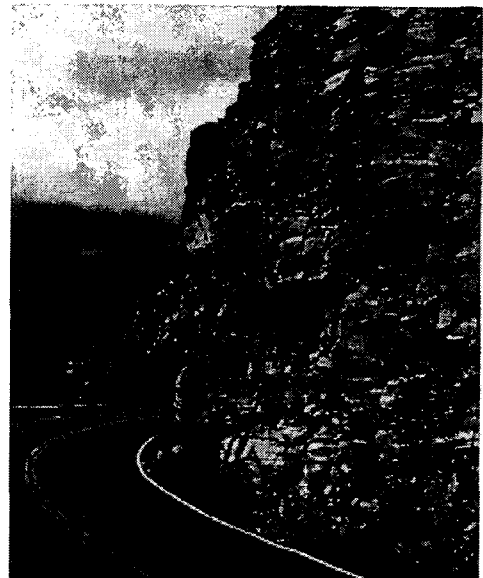


그림 3.6 과발파 사례

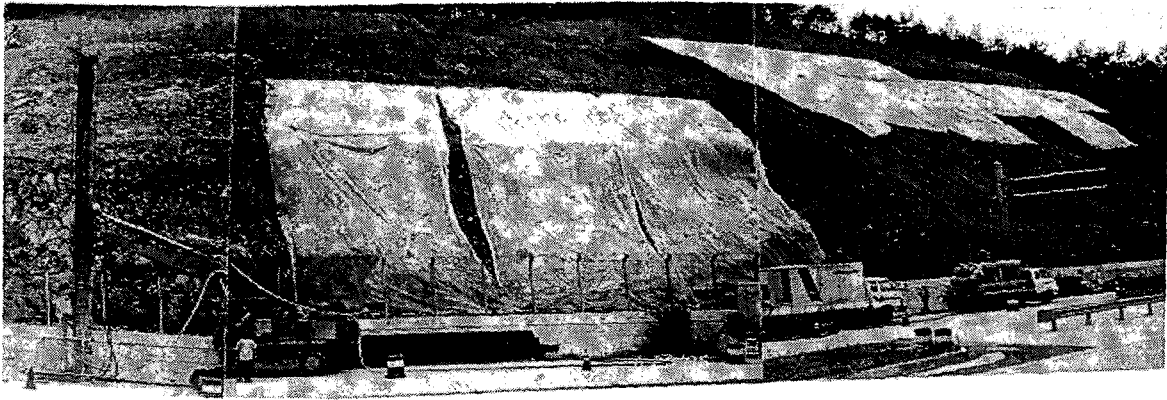


그림 3.7 공용중인 사면에서 붕괴 사례

소단 배수로 및 산마루 측구는 사면주변의 지표수를 모아 처리하여 사면의 안정성을 높이는데 있다. 그림 3.8과 같이 잘못된 배수로의 설치로 침수정의 기능을 하여 표면수를 모아 사면내부로 침투시켜 사면의 안정성을 저해하는 역할을 한다. 현장에서 발생하는 많은 붕괴가 소단을 기점으로 발생하고 있다.

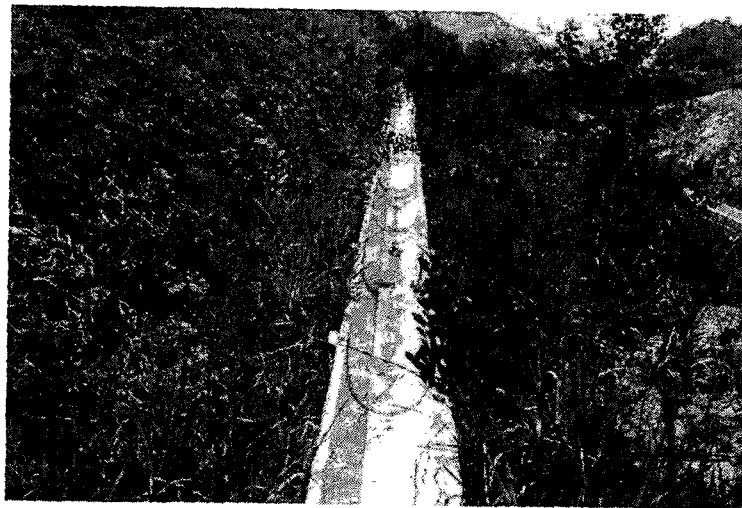


그림 3.8 소단배수로의 설치 전경

4. 암반사면의 안정성 확보를 위한 개선방향

4.1 조사 방법

암반사면의 지반조사의 궁극적인 목적은 안정성 확보를 위한 보강대책의 수립이다. 이를 위하여 표 4.1과 같이 사면의 지층 특성을 파악하고 불연속면의 특성 및 전단강도 값을 정확히 구하는 것이다. 이를 위하여 그림 4.1과 같이 BIPS 장비와 지표지질조사, 물리탐사 결과를 활용하여 절취면의 경사를 결정하고, 실내외시험을 통하여 절리면의 전단강도를 정확히 산정하여 보강대책을 수립하여야 한다. 설계

단계에서 BIPS나 시추조사자료1~2곳의 지점 정보이기 때문에 사면전체의 불연속면의 특성을 평가하는 것은 어려움이 따른다. 따라서 지표지질조사를 병행하여 불연속면의 자료에 대한 신뢰성을 높여야 한다. 특히 노선선정을 위한 기본조사 시에 절취대상 사면의 지질구조를 파악하여 불연속면이 도로방향으로 놓이지 않도록 하여야 한다.

경쟁설계를 위한 지반조사는 과열경쟁으로 인하여 필요이상의 지반조사가 시행되고 있다. 1개의 노선에 5-6개 조사팀이 투입되어 중복조사가 이루어지고 있다. 따라서 중복과다 조사를 방지하기 위해서는 발주방식을 바꾸거나 설계회사 사이에 지반조사 자료를 상호 공유하는 방법을 검토해 볼 필요가 있다.

표 4.1 지반조사 항목 및 적용내용

항 목	조사 내용	설계에 적용 목적
시추 조사 물리탐사	지층심도 확인 지층특성 파악	최적 비탈면경사 결정 보강공법 및 보호공법 선정
지표지질조사 BIPS 조사 절리면전단강도 시험	불연속면의 방향 및 특성 불연속면의 강도정수 산정	



그림 4.1 개선된 지반조사 방법

4.2 설계

암반사면의 설계는 해당사면의 지반조사에 의한 지반물성치를 이용하여 설계하여야 한다. 당연한 원

칙이지만 그렇지 않은 경우가 많다. 단순한 지반조사 보고서의 물성치만으로는 완전한 설계가 될 수 없다. 반드시 설계자도 현장답사를 통하여 현장정보를 충분히 고려한 설계가 이루어져야 한다.

설계는 고치지 않는 것을 원칙으로 하여야 한다. 물론 설계단계에서 지반특성을 완벽하게 파악하는 것은 한계가 있다. 완벽한 설계로 시공자에게 책임을 전가시키지 않도록 하여야 한다. 미흡한 조사를 보완하기 위하여 시공 중에 전문가에 의한 정밀조사를 실시하여 표준경사를 재조정하는 것이 보다 합리적이다.

4.3 시공

암반 절취면의 특성은 시공 중에 절개면에서 가장 정확하게 파악할 수 있다. 설계단계에서 지표지질 조사, 시추조사 또는 물리탐사 등으로 사전에 추정했던 불확실한 사항을 시공 단계의 절취된 사면에서 바로 확인할 수 있다. 즉, 넓은 면적에서 현재 적용되고 있는 시추조사방법으로는 정확히 절리면의 규모나 위치 방향 및 그 특성을 규명하기는 어려우므로 공사 중에 절취된 면을 보고 추가적인 판단을 실시하여야 한다. 따라서 절취사면은 절개상태에서 전문가에 의한 보완조사로 안정성 평가를 받아 조기에 사면 붕괴를 방지하는 절차가 필요하다. 이런 업무는 감리단의 업무에 편입할 수 있다.

암반사면의 마무리면 발파는 제어발파법을 적용하여야 한다. 과발파는 인위적인 불연속면의 생성으로 모암의 안정성을 크게 저하시킨다. 과발파로 인한 모암의 손상을 최소화시켜 낙석 또는 붕괴를 방지해야 한다. 그림 4.2와 같이 사면 마무리면은 제어발파를 적용하여 사면의 안정성을 향상시킨 예를 보여준다.

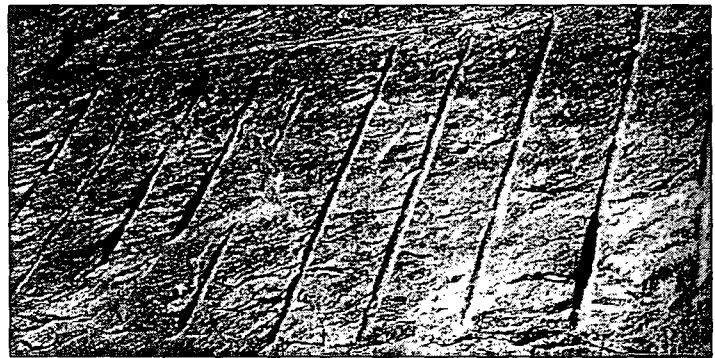
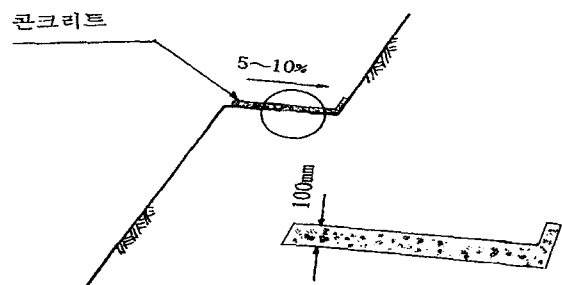


그림 4.2 제어발파에 의한 마무리면의 예

공용중인 사면이 붕괴되었을 때 안정대책을 세울 때 많은 어려움이 있다. 지반조사를 처음부터 새로 해야 될뿐만 아니라 이미 사면이 피복이 되어 있어 완벽한 조사가 되기 어렵다. 따라서 시공완료 단계에서 절개면의 상태를 Mapping하여 유지관리 자료로 활용하여야 한다. 절취사면을 근접 촬영한 사진



그림 4.3 소단배수로 및 산마루측구 설치예



과 사면특성 자료를 확보하여 데이터베이스를 구축한다. BIPS등의 장비를 이용한 조사가 이루어진 사면의 경우에는 시추공벽의 촬영 사진을 보관하면 더욱더 유용한 자료가 될 수 있다. 한국도로공사에서는 지금까지 조사된 자료를 체계화하여 사면유지관리 시스템을 구축하고 있다. 또한, 정확한 마무리면의 mapping 자료를 획득하기 위하여 현장감리단에게 업무를 부여한다.

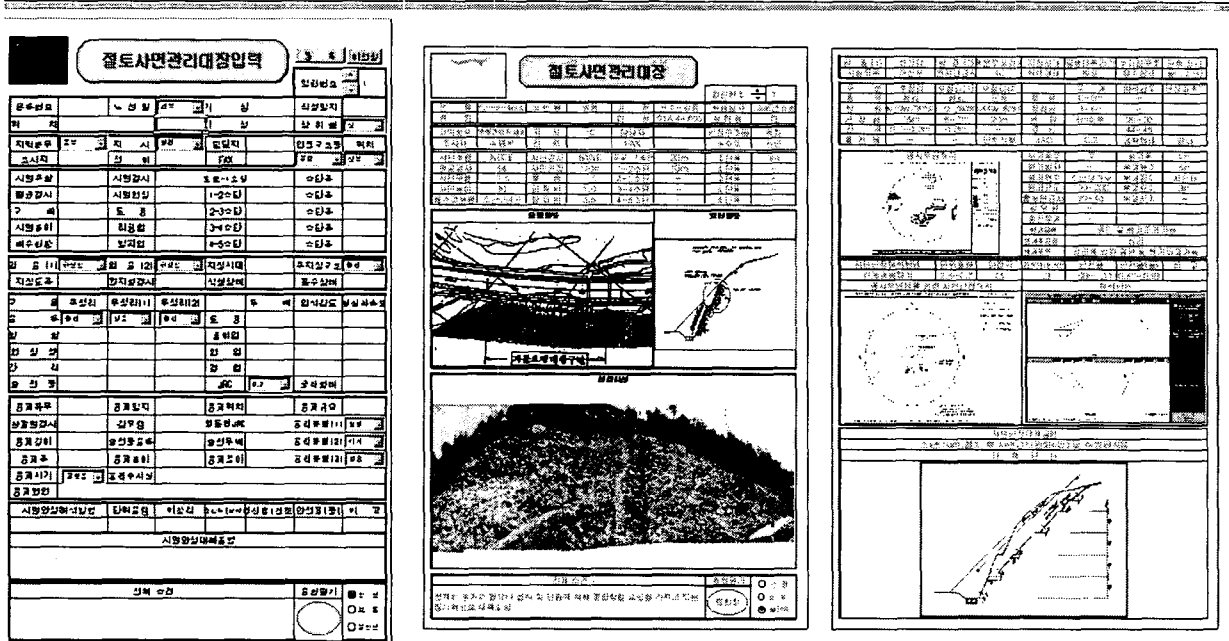


그림 4.4 사면유지관리를 위한 DB 구축

4.4 연구결과의 지방서 반영

일본도로공단의 경우에 지방서 전담팀이 구성되어 있어 매년 표준지방서를 개정하고 있다. 이는 새로운 공법 및 연구결과를 지방서에 반영하여 경제적이며 안전성을 높이는 건설기술을 선도하겠다는 취지이다. 우리의 경우 사뭇 다르다. 우리 국내의 경우는 지방서의 개정작업이 일부기관에 의해 주도되며, 주관기관은 개정작업을 짧은 기간 중에 이루어지기 때문에 자료수집이 충분하지 못한 상태에서 이루어진다. 또한 개정 주기가 3년에서 5년이 넘는 경우가 많아 새로운 공법을 적기에 현장에 적용하기에는 많은 어려움이 있다. 더구나 지방관련 내용이 체계적으로 연구되지 않아 많은 기준이 외국 기준을 그대로 인용되고 있다.

지방서의 수준이 그 나라의 건설기술 발전을 좌우한다. 매년 수백 편의 연구논문이 쏟아져 나오지만 정작 주위담을 그릇이 부족하거나, 주위담을 만한 것이 없다면 슬픈 일이다. 연구를 위한 연구로 끝나지 않고 항상 실무에 적용될 것을 염두에 두어야 할 것이다. 무엇보다 지방서 전담팀을 구성하고 지방서 기준에 관한 지속적인 연구로 건설기술의 수준을 향상시킬 필요가 있다.

4.5 실무자 교육 강화

학교를 떠나 현장업무를 하다보면 이론적인 배경이나 분야별로 깊이 있는 지식을 습득할 기회가 많지 않다. 더욱이 최근 신공법에 관한 지식을 습득하기는 더 어려운 실정이다. 현재 학회 또는 전문기관에서 산발적으로 실무자 교육을 실시하고 있다. 교육내용 또한 백화점 식으로 진열되어 있어 토목관련한 상식적인 지식을 습득하는데 불과하다. 체계적인 교육 프로그램의 개발이 시급하다. 현장을 가보면 실무자들이 들은 풍월은 많아 대책공법에 관한 의견들은 분분하나 실제적인 결론을 도출하는 데는 많은 어려움이 있다. 따라서 이러한 체계적인 실무교육을 통하여 우리 현장 기술자들의 기술수준을 향상시킬 필요가 있다.

전문분야별 강의 교재를 표준화시킬 필요가 있다. 매번 강사가 바뀔 뿐만 아니라 강사에 따라 교육내용이 달라서 체계화되어 있지 않다. 교육용 교재를 일관성 있게 작성하여 계속 수정보완하여 표준화된 실무교육교재가 작성되어야 한다. 또한 전문분야별로 비디오 테이프를 제작하여 현장실무자들이 현장에서 실무교재로 사용할 수 있도록 해야 한다. 무엇보다 우리나라의 건설기술 발전은 기능공이 이끌어간다고 해도 과언이 아니다. 이런 중요한 위치에 있는 우리 기능공에게 건설시공의 기본개념을 심어줄 교육프로그램이 전혀 없다는 것이다. 그래서 이들을 위한 재교육 프로그램을 개발하여 이들의 참여를 유도해야 한다.

5. 결론

암반 절취사면의 안정성은 국내 건설공사의 시작과 동시에 많은 관심을 보였던 분야이다. 이러한 관심에도 불구하고 절취사면의 안정성 확보에 어려움이 있다. 다음은 절취사면의 안정성 확보를 위한 개선사항을 요약한다.

- (1) 절취사면의 조사방법을 개선하여야 한다. 기존의 조사방법으로 불연속면의 특성을 파악하기는 어렵다. 따라서 목적에 맞는 조사방법을 적용하여 지반물성치를 파악하여야 한다.
- (2) 대상사면에서 얻은 지반 물성치를 설계에 적용 하여야 한다. 조사자료의 신뢰성이 낮아 지침서 등에서 제시하는 참고값을 적용하지 말아야 한다. 또한 설계자가 현장을 답사하여 지반조사자의 의견을 충분히 설계에 반영하여야 한다.
- (3) 시공 중에 전문가에 의한 보완조사를 받는 절차가 있어야 한다. 설계단계에서 적용되는 지반물성치는 신뢰도가 낮다. 따라서 추가적인 붕괴를 방지하기 위해서는 시공단계에서 전문가에 의한 보완조사자료에 의해 안정성을 재평가하여야 한다.
- (4) 마무리면의 제어발파 적용하여야 한다. 또한 현재 적용되고 있는 발파기준으로는 절개지 마무리면에 과발파를 유발하여 추가적인 붕괴의 위험이 많다. 마무리면은 제어발파를 적용하는 것이 바람직하다.
- (5) 그 나라의 기술수준은 시방기준의 수준에 따라 좌우된다. 지속적으로 시방기준을 연구하여 시방수준을 향상시켜야 한다. 또한 체계적인 교육프로그램의 개발로 기술자들의 기술 수준을 향상시켜야 한다.

유럽과 같이 자연사면을 절개하여 자연을 훼손시키지 말고 절취사면 대신에 터널로 대체하는 방안도 검토해볼 필요가 있다.

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