

## 국내사면 조사·설계 실태에 관한 연구

이수곤, 김민성, 이경수, 정상훈 (서울시립대학교 토목공학과)

### 1. 서론

우리나라는 70%가 산지로서 매년 여름 폭우 시 빈번하게 발생하는 사면붕괴로 인하여 평균 60여명의 인명피해와 수천억원 이상의 경제적 손실과 많은 교통두절을 야기하고 있다. 이 중에서 많은 피해가 산지에 도로와 주택을 건설하면서 만들어지는 인위적인 절취사면들의 붕괴로 인하여 발생하고 있다. 절취사면들의 붕괴는 공사 후에도 많이 발생할 뿐만 아니라 절취공사 도중에도 절취사면의 평균 30%정도로 빈번하게 발생하여서 공사 지연 및 설계 변경의 주요 요인이 되고 있다. 붕괴 후에는 전문가들에 의하여 안전진단을 수행하고 보강공사를 수행하는데 보강공사 후에도 또다시 붕괴되어서 다른 전문가들의 안전진단 및 보강공사를 다시 수행하는 경우도 종종 있다. 그런데 절취사면은 폭우 시 붕괴가 되더라도 설계 보고서나 안전진단보고서를 작성한 기술자에게 책임을 묻지 않고 대부분 폭우로 인한 천재지변 탓으로 대부분 돌려지는 것이 우리나라의 실정이므로 부실설계는 고쳐지지 않고 계속되는 경향이 있다. 그러므로 본 연구에서는 빈번하게 발생하는 절취사면들의 근본적인 붕괴 원인을 분석하기 위하여 우리나라의 여러 정부기관들에서 제시한 절취사면을 위한 지질조사와 설계방법에 관한 설계 기준들을 검토하고, 아울러서 근래 우리나라에서 작성된 기존 절취사면 설계보고서의 설계 상태를 분석하였다.

### 2. 연구방법

빈번하게 발생하는 절취사면붕괴 원인을 분석하기 위해 대표적인 절취사면과 관련된 보고서 500여권을 수집하여 보고서가 작성된 절취사면들의 종류 별, 기관 별로 특성에 맞게 102권(재해영향평가서 31권, 안전진단보고서 34권, 설계보고서 37권)로 나누어 조사와 설계 시 적용할 입력 자료들을 고려한 검토기준에 따라 국내 사면관련 조사와 설계 기준 및 실제 설계에서 어떻게 사용되는지에 대해 연구를 수행하였다. 그림 1은 조사와 설계 시 적용하여야 할 사항들을 목록으로 만들었고, 이 도표를 이용하여서 각 보고서의 설계 상태를 분석하였다.

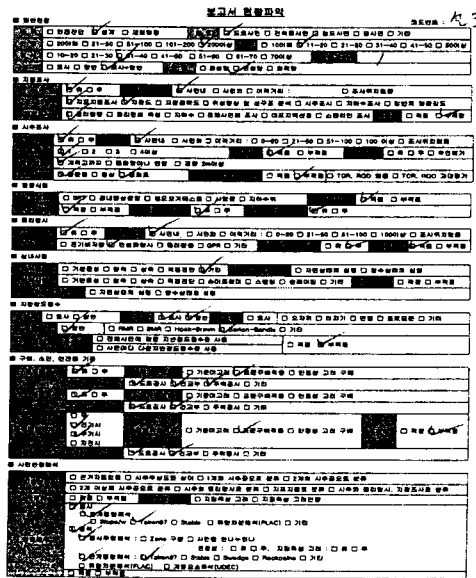


그림. 1. 조사 설계 시 적용해야할 검토기준서

### 3. 사면조사와 안정성 평가방법에 관한 기준 및 실제 설계 실태

#### 3. 1 지표지질조사(Field geological survey)

절취사면 공사를 수행할 예정지역의 지질 상태를 파악하기 위해서는 절취사면의 주변지역에서 관찰되는 노출된 암석표면에서 지표지질조사를 수행하여서 전체적인 지질 상태를 파악하는 것이 필요하다. 우리나라의 설계기준(표 1)에서도 지표지질조사의 범위와 대상을 제시하고 있다. 그러나 실제적으로 우리나라에서는 지표지질조사에 대한 중요성에 대한 인식부족으로 인하여 소홀히 다루어지고 있는 실정이다. 전체보고서의 1%에 해당하는 보고서만이 일반적인 지질 상태를 조사하고, 동시에 불연속면의 방향성과 연장성 및 발달간격, 암반)의 강도, 지하수 상태, 암석의 풍화 정도 등을 모두 고려한 충분한 조사를 수행하는 것으로 분석되었는데, 이 보고서 조차도 실제로 설계하면서는 불연속면의 방향성만을 주로 설계에 고려하고 다른 요소들은 특별하게 설계에 반영하지는 않았다.

표 1. 지표지질조사(Field mapping) 기준(건설교통부, 2006)

구분	설계시 조사항목	
일반비탈면	토질상태, 노두의 발달상태, 용수상황, 지질구조	노선경계에서 100~150m
대규모비탈면		노선경계에서 200~300m

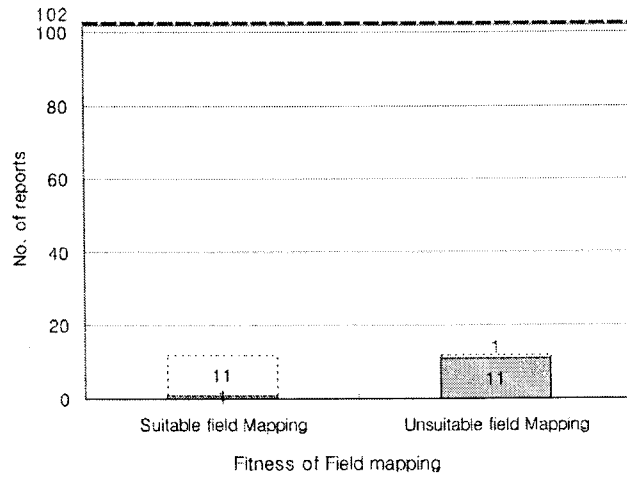
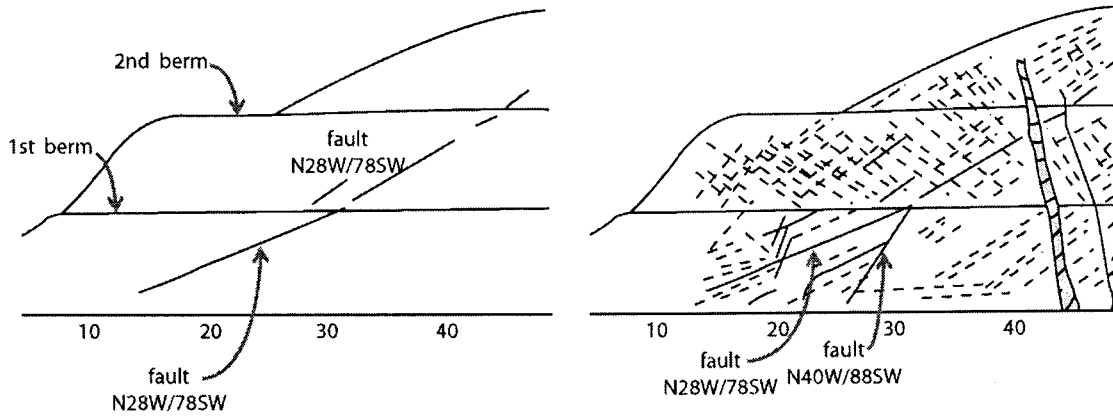


그림 2. 지표지질조사의 적절성 분포도



지표지질조사의 적절성 분포도(A)

지질조사 자료가 충실하여 적합(B)

그림 3. 지표지질조사

### 3. 2 시추조사(Borehole investigation)

시추조사는 지표면에서부터 시작하여 지층 및 지하수위등의 다양한 지질정보를 분석할 수 있는 가장 합리적인 조사방법(Abramson, 2002)이므로 많은 공수와 충분한 심도그리고 적절한 위치에서의 조사가 필수적이다. 하지만 우리나라의 일반적인 시추조사 기준은 표 2에서와 같이 대상사면의 규모에 따라 시추공을 1~2개, 시추심도를 계획고 2m아래까지라고 명시하고 있다. 하지만 대상이 되는 절취사면에서 시추를 시행할 위치에 대한 구체적인 지침이 없기 때문에 일반적으로 절취사면 내에 시추하는 경우 수십m나 멀리 떨어져서 시추조사를 하고 그 결과로 지층 모델링을 수행하는 경우가 많아서 신뢰도가 크게 떨어진다.(그림 4 & 6) 또한 시추개수와 시추깊이도 불충분하다.(그림 5 & 7) 절취사면 내에서 1개의 시추조사를 수행하여 그 자료에 근거하여 지표면의 지형과 비슷하게 지층 상태를 파악하기 때문에 부정확하게 추정하는 경우가 많다. 또한 시추 깊이도 대부분이 암반 경계선만을 확인할 정도로 짧기 때문에 그 하부에서 발달하는 단층, 파쇄대, 핵석과 같은 지질 상태를 충분히

파악할 수가 없다. 전체보고서 중 2%(2권)의 보고서에서만 충분한 시추심도와 위치, 시추공수를 만족하는 것으로 분석되었다.

표 2. 시추조사기준(건설교통부)

적용기준	
•	높이 20m미만 비탈면, 1개소 시추 연장이 긴 경우는 200m 마다 1회 추가
•	대표 단면에 대하여 비탈면 경계부 위치에서 부지계획면아래 2m까지 시추(물리탐사를 실시하여 시추위치를 결정할 수도 있음)
•	규격 : NX크기로 전구간 코어시료회수

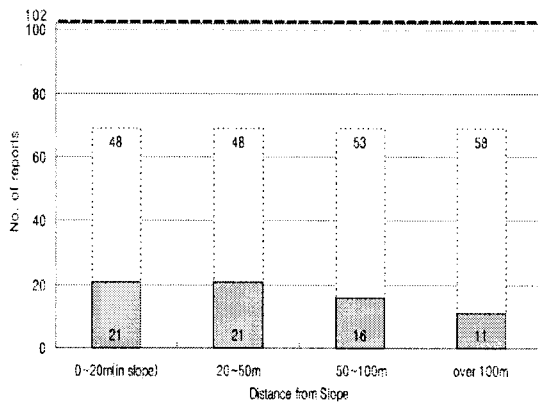


그림 4. 시추위치가 절취사면과 떨어진 거리의 분포도

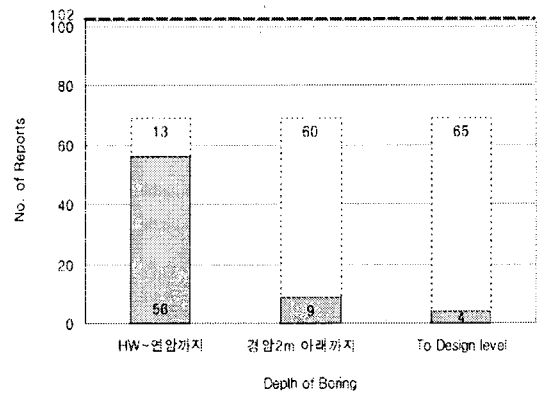


그림 5. 시추심도의 분포도

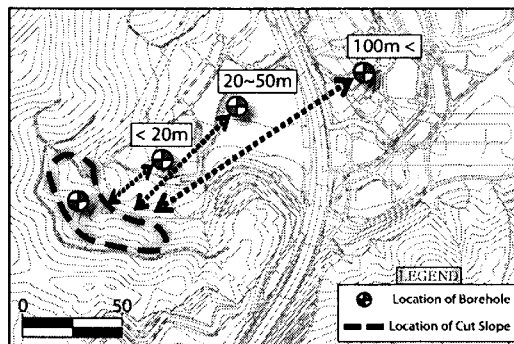


그림 6 시추위치가 절취사면과 떨어진정도

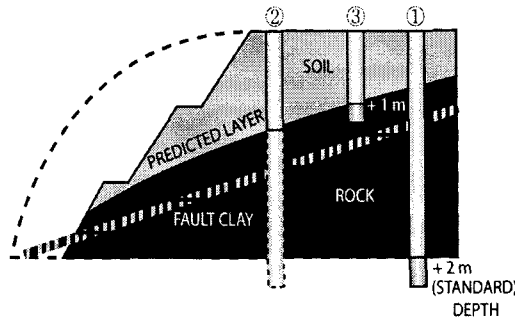


그림 7 시추 깊이와 지층단면 작성에 대한 신뢰성:

(①계획고 +2m 깊이까지 조사한 경우 ③ 연암 경계선만을 확인한 경우)

- (1) 우리나라에서는 일반적으로 ③의 경우가 가장 많고, ①의 경우가 설계기준이지만 6%에 불과함.
- (2) 지층단면을 추정하려면 최소한 시추공 2개를 서로 연결하여야 하므로 ①과②의 2개의 자료를 사용하여야 정확한데, 우리나라에서는 1개 시추공 자료로서 지층단면을 지표면의 경사와 같게 추정하므로 부정확함.

### 3. 3 현장 및 실내시험(In-situ and laboratory tests)

우리나라에서 사용하는 절취사면의 설계기준에서 제시하고 있는 현장시험 및 실내시험의 일반적인 기준은 표 3과 같다. 절취사면이 형성되는 지반 특성에 부합되는 지반강도정수는 적합한 시험방법에 의하여 산출된 자료를 사용하여야 설계의 정확성이 높아진다. 그러나 실제설계에는 대부분 경험식 또는 기존의 문헌에서 사용되는 값을 여과 없이 적용하고 있다. 그리고 절취사면의 붕괴는 강우시에 많이 발생하므로(Lee et al., 2008; thewson et al., 1990; Sitar et al., 1992; Anderson and Sitar, 1995; Montgomery et al., 1997) 우기시의 지반 강도정수를 구하여야 하는데 토질 실내시험을 수행한 경우에도 대부분 건기시만을 고려하여 우기시의 사면안정성 검토에 사용하므로 설계의 신뢰성이 떨어진다. 또한 현장시험도 드물며, 토사의 지반강도정수를 결정하기 위해 현장에서 일반적으로 수행하는 표준관입시험도 그 결과값을 설계에 적절히 반영한 경우는 12% 밖에 되지 않는다.

표 3. 현장 및 실내시험 기준(건설교통부)

실내시험(laboratory tests)내용	현장시험(In-situ tests) 내용
-Physical properties -Point load strength -Uniaxial compressive strength -Triaxial compressive strength test -Direct shear test, -Permeability test	-Standard penetration test -Field vane shear test -Cone penetration test -Pressuremeter test -Observation of ground water level -Rock block shear test -Borehole shear test -BIPS

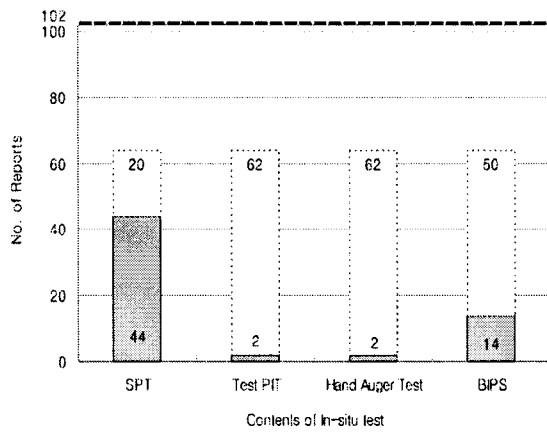


그림 8. 현장시험들의 분포도

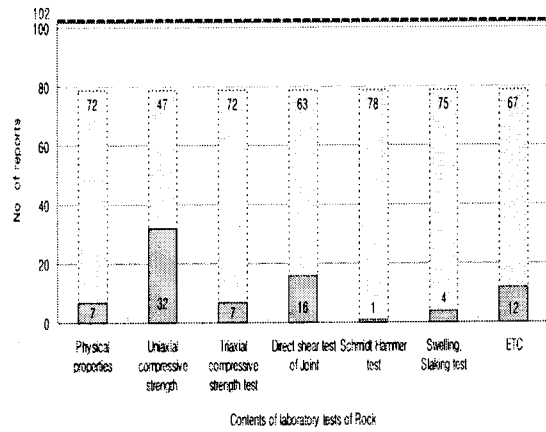


그림 9. 암석시험들의 분포도

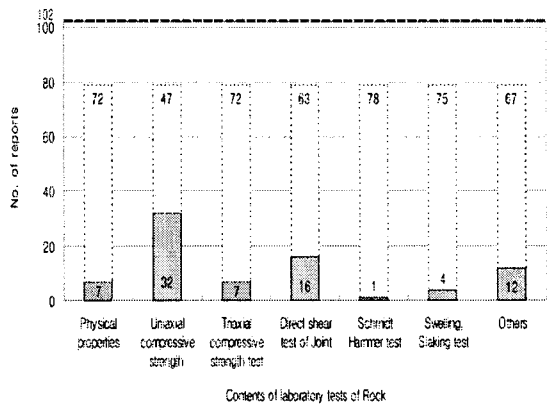


그림 10 토질시험들의 종류의 분포도

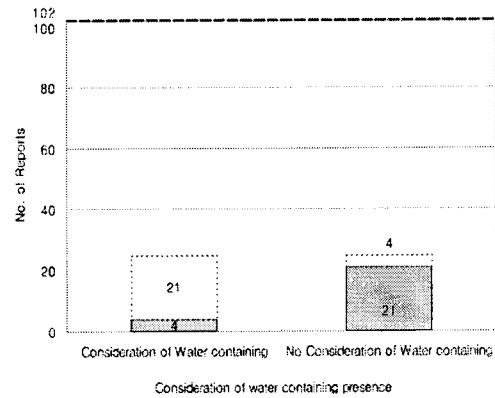


그림 11 Figure 11. 토사의 실내 전단강도 시험시 함수상태를 고려한 경우의 분포도

### 3. 4 지구물리탐사(geophysical exploration)

국내 물리탐사의 일반적인 기준은 표 4와 같이 절취사면의 규모와 상태에 따라 시험을 하라고만 명시되어 있을 뿐 탐사위치, 횡수 등은 명시하지 않고 있다. 물리탐사는 광역적인 지반을 상대적으로 저렴한 비용으로 짧은 시간 내에 조사하는 장점이 있어 본 조사를 수행할 경우 지질조사, 시추조사 및 타 시험과 같이 수행 되어져야 한다.(Goodman, 1993) 그러나 대부분의 보고서들은 절취사면과 상당히 떨어져서 수행한 시험결과를 설계에 반영하거나, 또한 시추조사 없이 물리탐사만을 수행하여 지층상태를 추정하고 있어서 자료의 신뢰성이 떨어진다. 불과 4%의 설계보고서만이 지질조사와 시추조사와 병행하여 물리탐사를 수행하는 것으로 분석되었다.

표 4 물리탐사 기준(건설교통부)

시험내용	조사항목
- Elastic wave survey, -Seismic refraction survey -Electrical resistivity survey -Acoustic emission -Seismic tomography	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 깎기 높이 20m이상 연장 200m이상</li> <li>• 불안정 지형, 지질 실시</li> <li>• 비탈면의 종단, 횡단 상태를 확인 가능하도록 축선 설치</li> <li>• 축선의 연장 비탈면 상태를 확인 가능하도록 충분히 길게 설정</li> </ul>

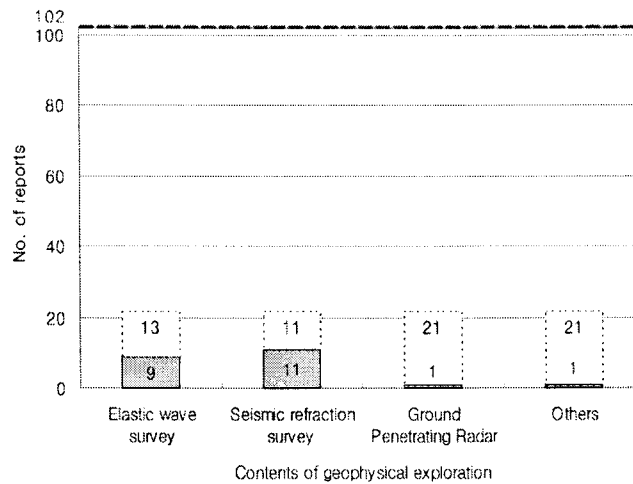


그림 12. 물리탐사 종류들의 분포도

### 3. 5 지반강도정수(geotechnical parameter)

지반강도정수들은 절취사면의 안정성을 결정하는 중요 요소이므로 어떻게 결정하느냐가 설계의 신뢰성을 좌우한다. (Aleotti & Chowdhury, 1999). 토사의 지반강도정수는 기존 문헌에서 제시한 값이나 경험식을 사용하는 경우가 92%로서 대부분이며 실제로 합리적인 시험을 수행하여서 결정하는 경우가 드문 편이다. 특히 토사의 지반강도 정수를 건기시와 우기시의 구분없이 건기시의 값을 사용하여서 건기시와 우기시(지하수위를 지표면위에 가정하는 것이 우리나라의 설계기준임 표 6)의 사면안정성 검토를 수행하므로 설계의 신뢰성이 떨어진다. 암반의 지반강도정수들은 시추조사나 현장 지표조사를 수행하여 암반분류를 수행한 후에 Rock Mass Rating(Bieniawski, 1973)이나 Geological Strength Index(Hoek et al. 1998 )에서 제시한 경험식을 이용하여 지반강도 정수를 결정하는데 앞에서 설명한 바와 같이 시추조사와 지표지질조사 자료가 부실하므로 신뢰성이 떨어지는 편이다.

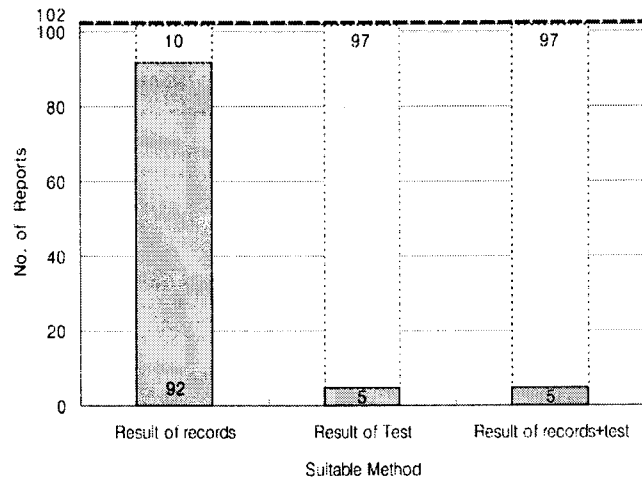


그림 13. 지반강도정수들의 산정 방법들의 분포도

### 3. 6 사면 모델링 (Slope modelling)

84%의 보고서가 주로 시추지질조사 결과에서 확인된 암석의 상태에 따라서 절취사면의 표준 경사를 결정하여 절취사면을 모델링하였다. 표 5는 이수근(1991, 1995)이 제시한 방법으로 암석의 파쇄상태를 나타내는 Total Core Recovery(TCR(%))과 Rock Quality Designation(RQD(%))(Deere et al 1967)의 2가지 요소를 고려하여서 암반을 4 등급으로 분류한 후, 각 암반 등급에 따른 표준경사(표 5)에 근거하여 절취사면의 경사를 개략적으로 결정하여 지층을 모델링하는 방법이다. 이 방법은 토사와 암석이 혼합된 복잡한 암반에 대하여 쉽게 적용가능한 장점이 있기 때문에 국내 여러 기관들과 건설회사들의 표준 설계방법으로 채택되어서 우리나라에서 가장 널리 사용되고 있다. 그러나 표 5는 암반상태를 고려하는 개념인데 이 표 5의 내용에 대한 이해부족 때문에, 종종 설계기술자들이 암석의 강도만을 고려하여 모델링을 하므로 설계보고서의 신뢰성이 떨어지는 경우도 많다. (그림 15)

암반 내에 불연속면의 발달에 따른 직선파괴 가능성은 별도로 절취사면 모델링을 수행하여야 하는데 앞서 설명한 바와 같이 부실한 지질조사로 인하여 위험한 절리나 단층의 존재를 파악하지 못하여 합리적인 모델링이 되지 못하는 경우도 있다.

표 5. 우리나라에서 사용되는 절취사면의 경사에 대한 표준 설계 기준(이수근, 1995)

암석종류 (Strength강도)	암반 파쇄상태(Degree of fracturing in rock masses)		굴착 난이도 Degree of Difficulties with the Excavation	절취사면의 경사 gradient	암반의 전단강도지수 (Shear strength parameters of rock masses)	
	NX시추시 (double core barrel사용시)				∅ (degree)	C (kPa)
	T.C.R	R.Q.D				
파쇄가 극심한 경우	20%이하	10%이하	리핑암반(ripping rock)	1:1.0	30	100



파쇄가 거의 없는 경우와 대부분의 연경암 (most of Moderately weathered ~ Fresh rocks)	20-30%	10-25%	발파암반(연암반)excavating rock mass (highly ~ moderately weathered rock mass)	1:0.8	33	130
	40-50%	25-35%	발파암반(보통암반)moderately ~ slightly weathered rock mass	1:0.7	35	150
	70%이상	40-50%	발파암반(경암반)fresh rock	1:0.5	40	200

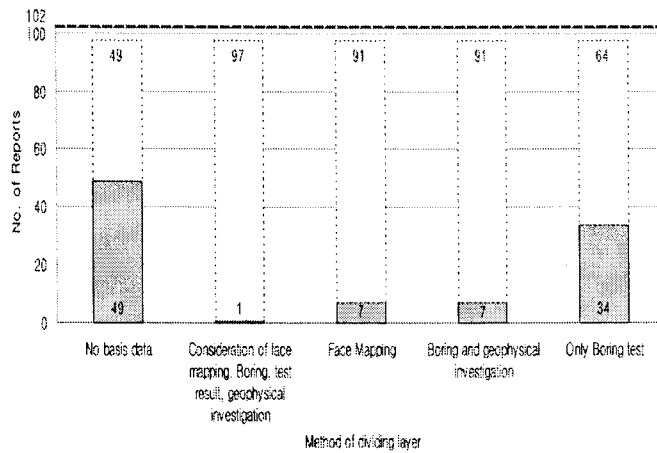


그림 14. 절취사면에서의 지층구분 방법들의 분포도(%)

(1) Based on rock Material Classification

(2) Based on rock Mass Classification

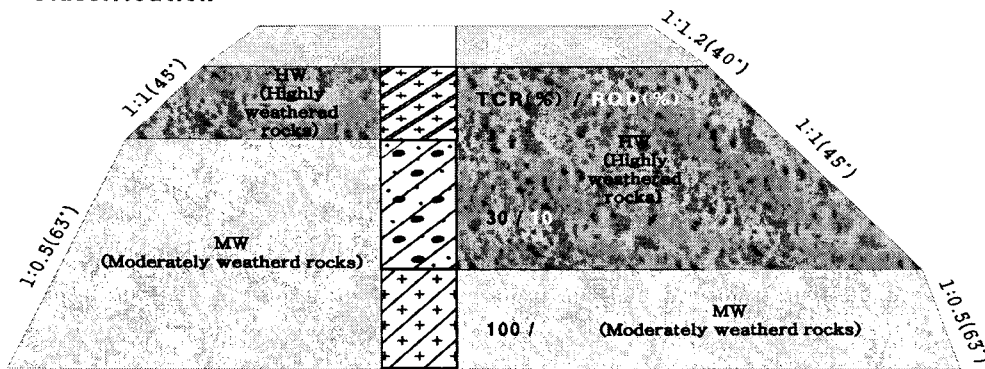


그림 15. 동일한 시추주상도 결과를 이용하여서 설계한 사면의 절취경사 각도: (좌측) 암석의 강도에만 근거하여서 사면의 절취경사를 설계한 경우와 (우측) 암반의 전단강도 상태를 고려하여서 사면의 절취경사를 설계한 경우

3. 7 사면안정성해석(slope stability analysis)

우리나라에서 사면안정성 해석을 수행하는 방법은 다음과 같다. 우선적으로 시추지질조사에서 확인된 지층(layer)에 따라서 우리나라 국가기관에서 제시한 표준경사(표 6)에 근거하여서 절취사면의 경사를 개략적으로 결정하여 지층을 모델링 한 후, 각 지층에 맞는 지반정수를 결정하고 전체 지층 모델링에 대하여 수치적인 사면안정성 검토를 수행하여서 우리나라 국가기관에서 제시한 기준 되는 최소 안전율보다 높을 경우에는 표준경사의 지층 모델링을 그대로 사용하고, 기준 되는 최소 안전율보다도 낮을 경우 절취사면의 경사를 낮추거나 록볼트·앵커 등으로 직접 보강하도록 설계한다. 우리나라의 설계기준(표 6)에서 사면의 안전율은 건기시와 우기시 뿐만 아니라 지진시에 대한 기준이 있음에도 불구하고 87%는 지진(earthquake)시에 대한 사면안정성 검토를 수행하지 않았다. 지층 모델링에 대하여 수치적인 사면안정성 검토를 수행하면서 절취사면의 상부 토사와 하부 암석에 대하여 모두 안정성을 검토하여야 한다. 국내에서 일반적으로 지층 모델링에 대하여 한계평형해석법(Fellenius, 1936)으로 수치적인 사면안정성 검토를 수행하면서 절취사면의 상부에 있는 토사에 대하여 원형과괴 형태로 대부분 고려한다. 암반사면의 안정성 해석을 수행하기 위하여 불연속면의 방향성만을 고려한 평사투영 해석방법은 정성적인 안정성해석 방법으로서 우리나라에서 일반적으로 사용되고 있다. 그러나 암반사면의 정량적인 사면안정성 해석을 위해서는 불연속면의 방향성뿐만 아니라 연장성, 간격등 전체적인 지질특성을 충분히 고려하여 설계하여야 하는데, 대부분의 보고서들은 불충분하게 해석되었고, 불과 1권1%(1권)만이 적절한 안정성 해석을 수행한 것으로 분석되었는데 이 보고서 조차도 그 지역의 지질조사의 결과에 맞게 사면 모델링을 수행한 것은 아니다. 또한 복잡한 지층의 절취사면인 경우에는 이런 지반의 사면활동 거동특성을 충분히 고려하지 못하고 설계하는 경우가 대부분이다. 예를 들면, 파쇄나 풍화가 많은 암반의 원호활동과괴 가능성, 상부 토사와 하부 암석 경계면에서의 직선과괴 가능성, 복잡한 암반내의 단층을 따라서 직선적인 활동가능성 등이 있다. (그림 16)

표 6. 최소안전율 기준(건설교통부, 한국도로공사)

최 소 안 전 율		
•건기시 (Dry condition)	암반: 인장균열, 활동면을 따라 수압이 작용하지 않음 토사 및 풍화암 : 지하수위 미고려	FS > 1.5
•우기시 ( Heavy rainfall)	암반 : 인장균열이나 활동면을 따라 작용하는 수압을 $H_w=1/2H$ 로 가정하여 적용 토사 및 풍화암 : 지하수위는 지표면에 위치	FS > 1.1-1.2
•지진시 (earthquake)	미국 DAPPOLIA 기준, NAVFAC DM 7.1-329 기준	FS > 1.1-1.2

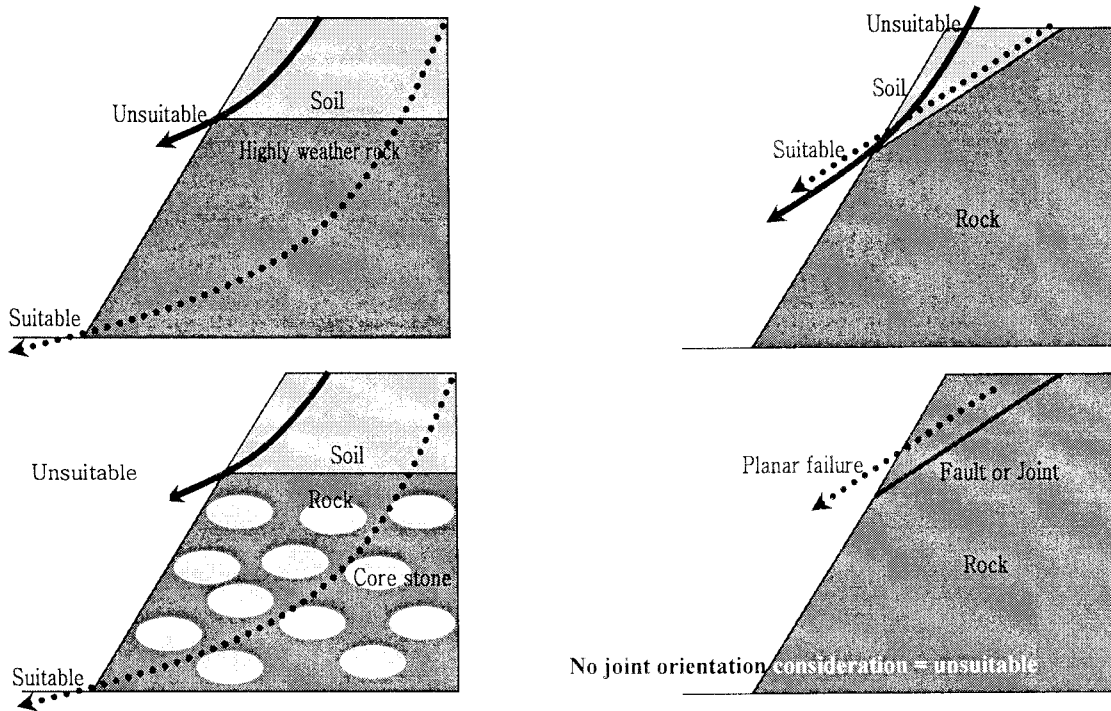


그림 16. 부적절한 사면안정성 해석사례:

- (a) 토사만 원호활동파괴 가능성을 고려하고 풍화암은 고려하지 않음,
- (b) 상부 토사와 하부 암석의 뚜렷한 경계면에서의 직선파괴 가능성을 고려 않음
- (c) 파쇄나 풍화가 많은 암반의 원호활동파괴 가능성을 고려 않음,
- (d) 복잡한 암반내의 단층을 따라서 직선적인 활동가능성을 고려 못함

#### 4. 결론

근래에 우리나라에서 작성된 절취사면의 설계보고서 102권의 설계상태를 분석해보며 그 중 5% 정도만이 충분한 지질조사와 합리적인 안정성 검토방법으로 설계하였으며 나머지 대부분의 보고서들은 미흡한 상태로 설계한 것으로 분석되었다. 그러므로 우리나라에서 절취공사 후에 절취사면이 자주 붕괴되며, 공사 중에도 절취사면의 30%가 공사 도중에 무너지는 경우가 빈번하며, 부실한 설계상태도 큰 요인인 것으로 판단된다. 또한 우리나라의 여러 기관들이 제시하고 있는 절취사면과 관련된 지질조사와 설계방법에 대한 설계기준들의 내용이 너무 일반적이고 개략적이어서 폭우 시 절취사면들이 붕괴되어도 대부분 비가 많이 온 천재지변 탓으로 쉽게 돌려지고 부실설계에 대한 배상책임을 묻기 어려운 것이 현실이다. 그러므로 부실설계는 고쳐지지 않고 계속 반복되는 경향이 있다. 따라서 절취사면 붕괴사고를 획기적으로 줄이기 위해서는 절취사면 설계기준을 보다 명확하게 보완하고 부실설계에 대한 배상책임을 강화해야 한다.

사 사

이 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업(사면붕괴 예측 및 대응기술 개발) 연구비의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 기술경영사. (1996). 암반사면의 안정해석과 계측, p. 27-34.
2. American Association of State Highway and Transportation Official(AASHTO). (1994). A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, Washington, D.C., AASHTO Standing Committee on Highways.
3. Adu-Acheampong, A. (2003). Importance of Geotechnical field Mapping in Assessing The Stability of Underground Excavations, SME Annual Meeting Feb. Cincinnati, Ohio, p. 24-26.
4. Aleotti, P. & Chowdhury, R. (1999). Landslide Hazard Assessment: Summary Review and New Perspectives, Bull. Eng. Geol. Environ. 58, p. 21-44.
5. Al-Khafaji, A.W. & Andersland, O.B. (1992). Geotechnical Engineering and Soil Testing, Philadelphia, PA, Saunders
7. American Society for Testing and Materials(ASTM). (1982). Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, America
8. Anderson, S. A. & Sitar, N. (1995). Analysis of rainfall-induced debris flow, Journal of Geotechnical Engineering, ASEC, 121(7), p. 275-552.
9. Bieniawski, Z.T. (1974). Geomechanics classification of rock masses and its application in tunneling, In Proceedings of the Third International Congress of the International Society for Rock Mechanics, ISRM, Vol.2, Denver, p. 27-32.
10. Bieniawski, Z.T. (1976). Rock Mass Classification of Jointed Rock Masses. Exploration for Rock Engineering. Z.T. Bieniawski Ed. Balkema, Johannesburg, p. 97-106.
11. Bieniawski, Z.T. (1979). The Geomechanics classification in rock engineering applications. Proc. In Proc. 4th Int. Cong. Rock Mech. ISRM, Momtreux, 2, p. 41-48.
12. Bieniawski, Z.T. (1989). Engineering Rock Mass Classifications. John Wiley & Sons, 251 p.
13. Brandon, T.L. et al. (1991). Review of Landslide Investigation, Phase I-Part B, Olmsted Locks and Dam, A Report to the Louisville District of the U.S. Army Corps of Engineering, June
14. Brawner, C.O. et al. (1975). Rock Slope Stability on Railway Project, American Railway Engineering Association, Chicago, Vol. 77, p. 1-2.
15. Buss, K. et al. (1995). Highway Rock Slope Reclamation and Stabilization Black Hills Region, South Dakota, Pierre, S.D., South Dakota Department of Transportation, Parts I and II. SD94-09-F and G
16. Cummings, D. & B.R. Clark. (1988). Use of Seismic Refraction and Electrical Resistivity Surveys in Landslide Investigation, Bulletin of the Association of Engineering Geologists, Vol. XXV, No.4, p. 459-464.
17. Deere, D. (1967). Technical description of rock cores for engineering purposes, In Rock Mechanics and Engineering Geology, Vol.1, No.1, Springer-Verlag, Vienna, 18 p.
18. Toll, D.G. Representing Slopes in XML, School of Engineering, Durham University, UK and Dept. of Civil Engineering, National University of Singapore
19. Duncan, J.M. (1996). State of the Art, Limit Equilibrium and Finite-Element Analysis of Slopes, Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol.122, No.GT-7, p. 577-596.
20. Fecker, E. & Rengers, N. (1971). Measurement of large scale roughness of rock plane by means of profilometer and geological compass, Proc. Symp. on Rock Fracture, Nancy, P. 1-18.
21. Federal Highway Administration. (1977). Cone Penetration Test-Performance and Design Guidelines, TS-77-207, Washington, DC. America
22. Fellenius, W. (1936). Calculation of stability of earth dams, Trans., 2nd international Congr. Large Dams, 4, 445 p.
23. Flaate, K. (1966). Factors Influencing the Results of Vane Tests, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 3, No.1, p. 18-31.

24. Fredlund, D.G. et al. (1978). Shear Strength of Unsaturated Soil, Canadian Geotechnical Journal, Vol.15, No.3, p. 313-321.
25. Geotechnical Engineering Office(GEO). (1993). Planning the Ground Investigation, Guide to Site Investigation, GEOGUIDE 2, p. 39-41.
26. Head, K.H. (1998). Manual of Soil Laboratory Testing-Effective Stress Tests, 2nd ed., Vol.3, New York, Willey, 442 p.
27. Hoek, E. & Bray, J. (1981). Rock Slope Engineering, 3rd edn, IMM, London
28. Hopkins, T.C. et al.(1988). Grayson, Federal Highway Administration, U.S. Dept. of Transportation, Highway Slope Maintenance and slide Restoration Workshop, Washington DC., December, Eds. Report No.FHWA-RT-88-040
29. International Society of Rock Mechanics(ISRM). (1981). Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests, Suggested methods for geophysical logging of boreholes, Int. j. Rock Mech., Mining Sci., 18, p. 67-84.
30. Jamiolkowski, M. et al. (1985). New Developments in Field and Laboratory Testing of Soils, Proceedings of 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, California
31. Kamewada, S. et al. (1990). Application of borehole image processing system to survey of tunnel, in Rock Joint, Barton & Stephansson (eds.), Balkema, Rotterdam, p. 51-58.
32. Keys, W.S. (1997). Borehole Geophysics in Environmental Investigations, Lewis Publishers, 176 p.
33. Korea Expressway Corporation. (1976). 도로설계요령 제2권, p. 54-58
34. Korea Expressway Corporation. (1992). 도로설계요령 제2권, p. 100-107
35. Korea Expressway Corporation. (2001). 도로설계요령 제2권, p. 123-130
36. Korea Railway. (2000). 중앙선(덕소-양수간)복선전철 건설공사 지반조사 보고서, 521 p.
37. Korean Geotechnical Society. (1995), 사면안정대책 조사 및 설계방법 시공사례, 54 p.
38. Lee W.Abramson. (2002). Geologic Site Exploration, Slope Stability and Stabilization Methods, 197 p.
39. Mathewson, C.C. et al.(1990). Role of bedrock ground water in the initiation of debris flow and sustained post flow stream discharge, Bulletin of Association of Engineering geologists, 27(1), p. 73-83.
40. Meyerhof, G.G. (1984). Safety factor and limit states analysis in geotechnical engineering, Can, Geotech. j., 21, p. 1-7.
41. Ministry of Construction & Transportation (2000). 도로설계편람(II), p. 406-410.
42. Montgomery, D.R. et al. (1997). Hydrologic response of a steep, unchanneled valley to natural and applied rainfall, Water Resources Research, 33(1), p. 91-109.
43. National Institute For Disaster Prevention. ( 2001). 재해영향평가서 사면안정성 평가법 개발, 행정자치부.
44. Onodera, T.F. et al.(1974). Weathering and its relation to mechanical properties of granite. In Engineering in Rock masses, ed. Bell, F.G., Butterworth-Heinemann, Oxford.
45. Palmer, D.F. & Weisgarber, S.L. (1988). Geophysical Survey of the Stumpy Basin Landslide, Ohio, Bulletin of the Association of Engineering Geologists, Vol. XXV, No.3, p. 363-370.
46. Palmstrom, A. (1995). Rmi-a rock mass characterization system for rock engineering purposes, In Tunnelling and Underground Space Technology, Pergamon, Vol.11, No.2, p. 175-188.
47. Pierson, L.A. et al. (1990). Rockfall Hazard Rating System Implementation Manual., Federal Highway Administration, Washington, D.C, FWHA-OR-EG-90-01.
48. Pierson, L.A. & Van Vickle, R. (1993). Rockfall Hazard Rating System, Participants' Manual, Washington, D.C., Federal Highway Administration, FWHA-SA-93-057.
49. Goodman, R. (1993). Geologic Investigation, Engineering Geology , 56 p.
50. Rock Mechanics Data. (2007). Representation & Standardisation Specialized Session S02, 11 th ISRM Congress, Lisbon.
51. Saada, A.S. & Townsend, F.C. (1981). State of the Art, Laboratory Strength Testing of Soils, Laboratory Shear Strength of Soil, ASTM Special Technical Publication 740, R.N. Young and F.C. Townsend, Eds. Philadelphia, Pennsylvania, ASTM, p. 7-77.
52. Sang-hyoen Kyeong et al. (2001). 고속도로 절토사면의 설계와 시공관리, 지반공학회지 Vol.17, No.2 p. 9-16.
53. Sen, Z. & Kazi, A. (1984). Discontinuity spacing and RQD estimates from finite length scanlines, Int. J. Rock Meeh. Min. Sci. and Geomech. Abstr, 21, No.4, p. 203-212.

54. Seong-hwan Kim. (2000). 암반절취사면의 문제점 및 개선방안, 한국지반공학회 사면안정 학술발표회 p. 41-58.
55. Serafim, J.L. & Pereira, J.P. (1983). Consideration of the geomechanical classification of Bieniawski, In Engineering Rock mass Classification, ed. Bieniawski, Z.T., John Wiley and Sons, New York.
56. Sitar, N. et al. (1992). Conditions leading to the initiation of rainfall-induced debris flows, Geotech. Eng., Div. Specialty Conference: Stability and performance of Slopes and Embankments-, ASEC, p. 834-839.
57. Lee, S.G. (1987). Weathering and Geotechnical characterization of Korean Granites. PhD thesis. Imperial Collage. University of London.
58. Lee, S.G. & de Freitas, M.H.(1989). A revision of Description and classification of weathered granite and its application to granite in Korea, Quaraterly Journal of Engineering Geology, London, Vol.22, p. 31-48.
59. Lee, S.G. et al. (1991a). 경부고속도로(수원-남이간) 확장공사 실시설계를 위한 토목지질 조사보고서, 한국동력자원연구소, 676 p.
60. Lee, S.G. et al. (1991b). 영동고속도로(신갈-원주간)확장공사 실시설계를 위한 토목지질조사 보고서, 한국동력자원 연구소 505 p.
61. Lee, S.G. et al. (1991c). 암반사면 안정성 평가를 위한 평사투영 해석법 적용상의 문제점, 한국지반공학회 사면안정 위원회 '91 학술발표회, p. 376-408.
62. Lee, S.G. (1993). 서울일원의 화강암과 편마암 절취사면의 안정성 연구, 한국지반공학회 사면안정 위원회 학술발표회 제 2집, p. 167-189.
63. Lee, S.G. (1995). 암반 절취사면의 조사,설계, 감리를 위한 합리적인 기준 설정 방안, 한국지반공학회 사면안정에 관한 학술 발표집, p. 61-90.
64. Lee, S.G. (1998). 암반절취사면의 조사 및 대책공법, 토목기술강좌 토질 및 기초편, 대한토목학회, p. 266, 287
65. Jeon S.K. (2005). 절취사면 경사 결정에 관한 연구 석사학위논문, 서울시립대학교 산업대학원.
66. Varnes, D.J. (1984). The International Association of Engineering Geology Commission on Landslides and Other Mass Movements Landslide hazard zonation, A review of principles and practice. Natural Hazards, 3: 63. Paris, France. UNESCO.
67. Weaver, J. (1975). Geological factors significant in the assessment of rippability, In Engineering Rock Mass Classification, ed. Bieniawski, Z.T., John Wiley and Sons, New York.
68. Wyllie, D. (1987). Rock Slope Inventory System, In Proceeding of the Federal Highway Administration Rockfall Mitigation Seminar, Fedrak Highway Administration, Portland, Ore, Region 10.