

자연재해와 암반사면 Rock Sliding method disaster

이 수 곤*(Lee, Su-Kon)

1. 서 론

우리나라에서 산사태가 매년 많이 발생할 뿐만 아니라 급속한 산업발전에 따른 여러 토목공사(예 : 도로나 건축물 등을 위한 절개)가 많이 이루어지고 있어서 절개면의 안정성이 큰 문제로 대두되고 있다. 이에 따라서 본란에서는 일반적인 한국의 산사태 현황과 우리나라에 행하여지고 있는 처리가 미흡한 암반사면 절개시의 조사방법, 설계 및 공사에 따른 문제점과 그 대책을 특별히 강조해서 서술하였다.

2. 한국의 산사태 현황

한국에서 발생하는 산사태는 그 지역에서 발달하는 지형, 풍화발달상태, 불연속면의 발달상태, 배수처리상태, 식생상태, 등에 따라서 영향을 받는다. 흙지반과 관련된 산사태는 빈번히 발생하지만 심한 침식으로 (예를 들면, 산중턱 경사가 20°~30° 되는 곳에서 1년에 1.5~4cm 정도까지 침식됨)인하여 비교적 얇은 토층(1~3m 두께가 일반적)만 잔류하고 있으므로 토층산사태의 규모는 작는데 반하여, 암반과 관련된 산사태는 규모가 크고 많이 발생한다.

3. 한국의 사면 안정성 조사방법과 설계, 시공 및 사면처리현황

3.1 사면안정성 조사방법, 설계 및 시공

3.1.1. 근본적인 문제점

현재 우리나라 사면절개와 관련된 토목공사에 경사각도(구배)를 지반물질의 강도(풍화정도)에 따라서, 토층과 암석의 특성의 구별없이 일률적으로 설계하여 작용하고 있다(그림1). 중요한 토층사면에 관하여서는 좀 더 자세한 사면안정성 수치해석으로서 한계평행법(Limit equilibrium method)을 수행하고 있을 정도로 우리나라의 토목업계에서는 토층사면의 안정성에 대하여 합리적으로 접근하고 있다. 그러나 암반절개시에는 절개지역의 불연속면의 발달상태를 고려함이 없이(그림2) 절개각도를 선정하기 때문에, 이러한 부적합한 적용방법으로 많은 국도와 고속도로변, 건물의 기초처리를 위한 절개면 등에서 사면이 불안정하여 붕괴로 인한 인명과 재산의 피해 뿐만 아니라 예상외의 과도한 복구비용이 소요되고 있다.

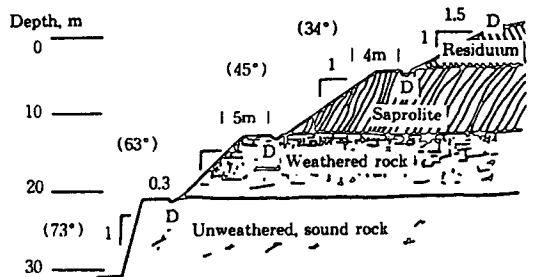
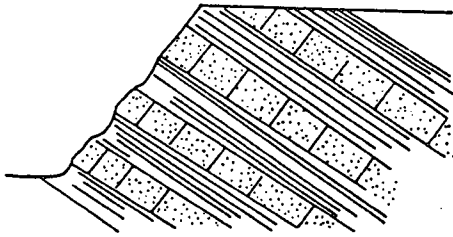


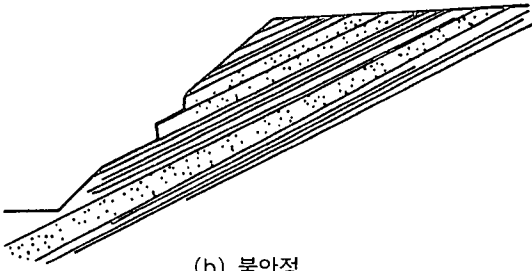
그림 1 암석의 강도에 의해서 결정되는 암반사면의 절개각도

우리나라에서 현재 수행되고 있는 암석강도에 따라서 암반사면을 설계하는 방법대로 1970년대

* 우리學會理事 서울産業大學 교수



(a) 비교적 안정



(b) 불안정

그림 2 불연속면의 방향이 암반사면의 안정성에 미치는 영향

까지 시공하였던 홍콩에서도 예전에는 빈번히 발생하던 암반사면의 붕괴가, 1980년대 이후로

사전에 지질구조를 고려하여서 설계, 시공한 암반사면에서는 거의 붕괴가 발생하지 않는다는 사실을 홍콩 국토관리청(Geotechnical Control Office)이 보고하고 있다. 상기와 같이 근본적인 문제점으로 인하여, 우리나라에서의 사면안정과 관련된 조사방법, 설계 및 시공과정에서 다음과 같은 문제점들이 있다.

3.1.2 절개구배(각도) 설정의 문제점

지반물질(암석)은 일반적인 토목공학적 목적에서 그 강도(풍화정도)에 따라서 극경암, 경암, 보통암, 연암, 풍화암, 풍화토(마사토) 등으로 분류되는데, 이것은 건교부 표준품셈의 기준으로서 보편적으로 국내에서 사용되고 있다.(표1b)

도로개설을 위한암반 절개방법의 선택 및 절개 시공단가를 산정하기 위해서는 암석의 강도에 따라서 발파암, 리핑암, 토층으로 조사 분류할 뿐만 아니라(표1e), 이 암석구분에 따라서 표 1f에서 있는 바와 같이 73°부터 42°의 절개각도를 임의로 정한다. 이 기준은 지금까지의 시공경

〈표 1〉 국내에서 토목공사(절취공사)에 사용되는 암석분류기준

a. 물질의 특징	암 석	암 석	암 석	암석과 토층의 중간물질	토 층
b. 국내에서 사용되는 지반물질과 분류방식	극경암~경암	경 암	보통암+연암	풍화암	마사토
c. 국제적으로 통용되는 지반물질의 풍화분류 방식	F (fresh)	SW (Slightly Weat hered)	MW (Highly Weat hered)	HW (Highly Weat hered)	CW/RS (Completely Weat hered Residual Soil)
d. 일축압축강도 (kg/cm)**	1,250-2,600	1,250-2,600	1,250-2,600	350-550	350-550
** 우리나라의 화강암에 대한 일축압도의 범위임.					
e. 물질의 절개난이도 (국내)	발 파 암 (blasting rock)			리핑암 (ripping rock)	토 층 (digging soil)
f. 도로공사, 건설부의 '도로설계요령'의 사 면절취구배(각도)	1 : 0.3(73°)			1 : 0.5(63°)	1 : 1.1(42°)
g. 도로공사에서 최근 에 수행한 중간고속 도로의 사면절취구 배(각도)	1 : 0.5 (63°)			1 : 1 (45°)	1 : 1.2~1 : 1.5 (40°)~(34°) 높이 6m 높이 6m 이하사면 이상사면

험에 의해서 일본의 건설과정과 도로협회에서 제시한 도로기술기준에 근거한 듯하며, 우리나라에서도 대부분 이 기준을 따르고 있다. 이 절개 각도에서도, 특히 암반절개면이 자주 붕괴된다는 사실을 파악하여 한국도로공사에서는 중부고속도로시공시에 암반절개각도를 10° 내지 20° 정도 더 낮게 정하였으나 (표 1) 아직도 암반사면이 불안한 곳이 많이 있다. 암석의 강도가 약함에 따라서 암반사면경사를 낮게 함으로써 암반의 사면안정성을 고려한 듯 하나 실제로는 효과가 적으므로 암반사면 절개후에도 붕괴위험은 그대로 남아 있고, 쉽게 붕괴되어 차후에 인명과 재산의 피해 뿐만 아니라 예상외의 막대한 복구비용이 소요되는 주원인이 되고 있다. 예를 들면 경암으로 된 암반이라도 불연속면으로 인한 붕괴의 위험이 없으면 90° 경사로 놔두어도 안전하므로 구태여 63°~73°로 경사를 낮출 필요가 없다. 반면에 같은 경암이라도 불연속면으로 인한 붕괴위험이 예상되면 63°~73° 경사가 아닌 30°~40° 정도까지의 경사를 낮추어야만 안정하게 되는 경우가 많이 있다. 규모가 작거나, 중요도가 덜한 일반사면은 기존기준에 의해서 절개하여도 붕괴시 큰 위험이 없다. 그러나 규모가 크거나, 붕괴시 위험이 큰 중요사면은 토층사면에서와 마찬가지로 암반의 붕괴역학을 고려하는 사면안정성 파악을 위한 정밀조사와 분석을 하여서 보강대책을 미리 수립하여야 사면의 단, 장기적인 안정성을 기할 수 있다.

3.1.2 시추지질조사의 문제점

암석의 강도분류에 따라서 사면설계를 하기 때문에 암반절개각도를 결정하기 위한 시추지질조사 단계에서도 암석의 강도분류만을 목적으로 하게 되어 암반사면의 안정성에 매우 중요한 지질구조의 변화에 따른 붕괴위험의 요소가 파악되지 않는 경우가 대부분이다. 시추지질조사는 연암, 경암이나 극경암이 나오면 중단하는데 이는 그 이하 깊이에는 강한 암석이 당연히 계속해서 나오리라는 판단에 근거하나, 지질조건은 매우 복잡하여서 때론 그 이하 깊이에서 단층이 나타나면 단층면을 따라서 마사토 보다는 더 활동성이 큰 단층점토가 두껍게 존재할 수 있는데,

그것을 사전에 판단 못하고 암반절개를 함으로서 차후에 암반사면 전체가 단층면을 따라서 붕괴되는 경우가 종종 있다. 그러므로 시추지질 조사는 강한 암석이 나오는 깊이에서 중단할 것이 아니고, 최소한 절개지 예정 깊이까지는 수행하여 암석의 강도뿐만 아니라 지질구조를 파악하여 사면안정을 판단할 수 있어야 한다.

3.1.3 절개난이도 결정의 문제점

절개면 시공을 위한 절개방법결정과 절개비용을 산출하기 위해서 절개난이도를 Blasting rock, Ripping rock, Digging soil로서 구별하여 판단하는데, 이는 오직 암석의 강도메만 근거하여 설

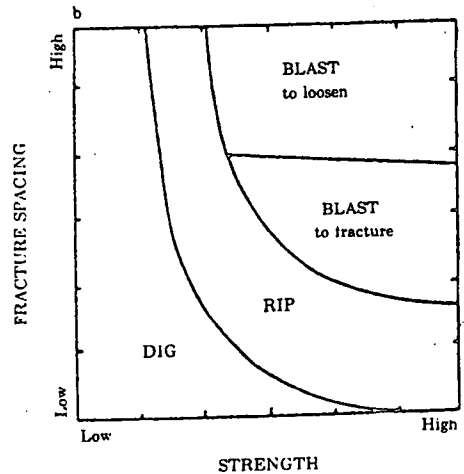


그림 3 암반의 절개난이도를 결정하는 두 요소(암석의 압축강도, 불연속면의 발달간격)

계하고 있다. 그러나 발파의 난이도는 암석의 강도뿐만 아니라, 암반내에 발달하고 있는 불연속면의 발달빈도에 따라서 결정된다(그림 3)(참고: 시추조사보고서에 언급되는 R.Q.D %는 불연속면의 발달빈도의 지수이다.) 즉, 암석강도에 의한 분류가 직접 절개난이도의 분류로 대응될 수 있는 것이 아니다. 예를들면, 극경암, 경암, 보통암, 연암같은 강한 암석이라도 불연속면이 많이 있으면 Ripping rock으로 분류되고 불연속면이 적으면 Blasting rock으로 분류될 수 있는 것이다. 그런데 우리나라의 절개난이도 구별은 암석강도에만 근거하므로써 암반절개설계와 실제 시공사이에 괴

리가 발생하여 감독자와 시공자간에 마찰을 일으키는 일이 종종 발생한다. 절개난이도를 결정하기 위해서 필요한 암석강도 및 불연속면의 빈도는 현장에서 많이 사용되는 탄성과 탐사수치에 의해서도 잘 추정될 수 있는 것으로 우리나라의 암반에서 연구되었다.

3.14 암석의 강도측정 및 강도변화에 따른 문제점

표 1b의 암석강도 판정 및 분류는 주관적이고 정성적이므로, 이에 근거한 설계와 시공상의 괴리와 암 판정시에 시공자와 감독자간의 분쟁의 소지가 있다. 그러므로 현장에서 암석의 일축강도를 객관적이며 정량적으로 손쉽게 판정할 수 있는 Schmidt Hammer Rebound Tester나 Point Load Strength Tester를 사용해야 한다. 실내에서의 암석강도 측정시에 다음과 같은 주의가 필요하다. 암석강도는 암석의 함수상태나 암석의 이방성(변성암이나 퇴적암은 암석내에 이방성의 Texture인 엽리 및 층리를 지님) 등에 따라서 강도변화가 현저하므로, 현장조건과 실내 실험조건을 상호 고려함이 없이 단순한 강도수치로서 나타낸은 충분히 암석의 강도특성을 나타내는 것이 아니다.

또한 암석의 강도가 때로는 쉽게 변화할 수도 있다는 것에 관하여 많은 토목기술자들이 납득하지 못하는 경향이 있다. 시공현장에서 굴착할 때는 Blasting rock이었으나 몇개월간 또는 몇년간 대기중에 노출되어서 급속히 풍화되어 약해져 Ripping rock으로 변하여 절개면이 붕괴되거나, 차후에 감독자나 시공자간에 공사비 계산에서 분쟁을 일으키는 경우가 많다. 이런 것은 시공 잘못이라기 보다는 암석의 강도가 짧은 기간에도 급격히 변화할 수 있는 풍화암이나, 이암(Mudstone)과 같은 특수한 암석의 강도특성을 이해하지 못하기 때문이다.

3.2 사면처리현황

우리나라에서 토층사면은 그 동안의 많은 경험으로 인하여 대체로 합리적인 방법으로 처리되는 경향이 있는데 비하여, 암반사면에 대한 처

리대책은 거의 미미한 실정이다.

(a) 위험표시판만 설치한 채 그대로 방치되거나, 서울과 같은 대도시 가옥밀집지역이나 고속도로 주변과 같이 낙반의 위험이 큰 곳에서는 임시적으로 위험한 암괴를 간헐적으로 미리 제거하거나 돌이나 펜스로 방책을 설치하고 있다. 그럼에도 불구하고 실제로 암반붕괴시 펜스는 큰 방지역할을 하지 못하는 경우가 많다.

(b) 간혹 샷크리트(Shotcrete: 시멘트의 일종)로 벌어진 불연속면의 틈새를 메우거나, 암반내의 지하수는 불연속면을 따라서 흐르므로, 암반사면 표면에 시멘트를 사용할 때는 지하수의 유로가 되는 불연속면에 접하여 배수관을 설치하여야 한다. 그러나 우리나라에서 간혹 배수관을 설치하는 경우에도 격자식을 시공하므로 배수의 효과가 적고, 거의 대부분의 경우에는 배수관을 설치하지 않아서 과도한 수압에 의해서 오히려 큰 붕괴를 자초한다(예: 경부 및 영동고속도로 주변). 간혹 터널입구 암반사면에 시멘트로 씌워진 경우가 많이 발견된다. 최근에 터널시공으로 많이 사용되는 NATM공법에서 샷크리트를 터널 내부에 사용하는 주요한 목적 중에 하나는 지하수의 유입을 방지하는 것인데 비하여, 대기 중에 노출된 암반사면에서의 샷크리를 사용 목적은 풍화가 심하게 된 토층이나 암석이 쉽게 더 풍화되어 약해져서 붕괴될 것을 미연에 방지하려는 의도이므로 암반사면에서의 부문별한 샷크리트 사용에 주의하여야 한다.

(c) 또한 기존 토층에서 산사태를 방지하기 위한 목적으로 우리나라에서 빈번히 식생하는 아카시아 같은 아무의 뿌리가 암석의 수직 불연속면을 따라 침투하여(20m 하부깊이의 암반까지도), 불연속면 틈새에서 썩기 역할을 하여 인장력(Tensile force)이 발생할 뿐만 아니라 나무의 자중에 의하여 오히려 절개면 가장자리에 있는 암괴의 전도파괴(Topping failure)를 야기시키는 경우가 우리나라의 여러 지역에서 조사 관찰된다. 그러므로 이런 지역에서는 아카시아 나무를 미리 제거시켜야 한다.

(d) 암반사면에서 위험한 암괴를 사면에 그대

로 붙여두기 위해서는 록볼트(Rock bolt)를 보편적으로 많이 사용하는데, 이 경우에 정밀한 지질 공학적 조사를 한 후에 위험한 암괴만 보강하여야 하는데도 불구하고, 우리나라의 많은 암반사면에서 일률적으로 무분별하게 격자식으로 록볼트를 설계, 시공하고 있는 경우가 많다. 이는 공사비의 낭비를 초래할 뿐만 아니라, 더욱 많은 보강이 필요한 위험한 암괴들을 충분히 처리하지도 못한다.

(e) 암반사면의 절개후 암괴가 떨어지거나 인장균열이 생기는 불안한 징후가 있으면, 토층 사면에서와 같이 손쉽게 우선 사면 절개각도를 높히는데, 이는 불연속면에 의한 불안요인을 고려하여 완전히 원인을 제거한 것이 아니므로 차후에 또다시 불안하여져서 3차로 보강공사를 하여야 할 필요가 생기므로 공사비의 과도한 낭비가 초래된다.

4. 암반사면의 특성

4.1 암석과 암반

암석은 주먹만한 크기의 작은 돌을 의미하고, 암반은 암석뿐만 아니라 절리나 단층을 포함한 규모가 큰 돌덩어리를 의미한다. 지질학적인 관점에서는, 암석은 성인에 따라서 화성암, 퇴적암, 변성암으로 분류되는데, 각각 남한의 35%, 23%, 42%를 차지하고 있다. 화성암은 마그마가 지표나 지각내에서 고결된 암석이고, 퇴적암은 지표를 구성하고 있는 기존암석이 풍화, 침식, 운반, 퇴적작용을 거쳐 고결된 암석이고, 변성암은 암석이 지하 깊은 곳에서 주변의 큰 압력이나 높은 온도에 의해서 변질되어서 생성된 암석이다. 앞서 표 1에서 언급한 바와 같이 지반물질(암석)은 토목 공학적인 견지에서 볼 때 그 강도(풍화정도)에 따라서 극경암, 경암, 보통암, 연암, 풍화암, 마사토 등으로 분류된다.

4.2 불연속면의 발달

암반은 암석뿐만 아니라 절리나 단층을 포함한 큰 규모를 의미한다고 앞서 언급하였다. 불연

속면(Discontinuity)이란 암반내에 있는 깨진 틈으로 '절리'나 '단층'을 총괄하는 의미인데, 간혹 절리라는 용어로서 불연속면을 통칭하기도 한다(그림 4).

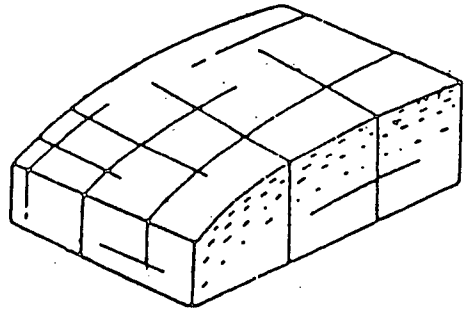
4.2.1 절리(joint)

절리란 암반내에서 규칙적으로 깨져 있는 불연속면으로 절리면을 따라서 현저하게 움직인 증거가 없고, 절리의 연장성을 보통 수 cm에서 수십 cm로 다양하다. 작은 암괴의 낙반은 절리들로 인하여 발생한다(그림 4a). 화성암과 퇴적암에서는 절리의 발달이 대체로 규칙적이나 변성암은 불규칙하다.

4.2.2 단층(Fault)

단층이란, 불연속면을 따라서 현저하게 움직인

(a)



(b)

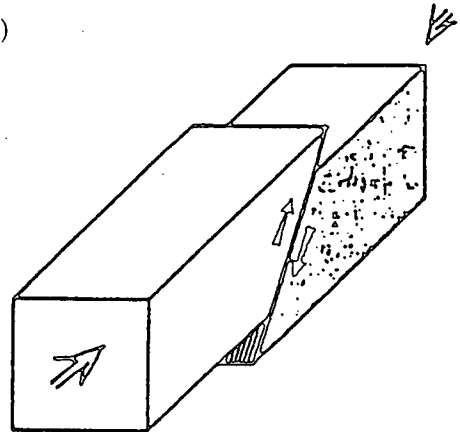


그림 4 불연속면인 절리(a)와 단층(b)

불연속면으로서, 단층면에는 미끄러진 상태를 나타내는 반들반들한 면이나, 파쇄된 암석(Fault breccia) 또는 단층점토(Fault clay)가 존재한다(그림 4b). 단층은 화성암, 퇴적암에도 있지만 특히 변성암지역에서 많은데, 변성암은 화성암이나 퇴적암에 비해서 비교적 오래된 암석이므로 여러번에 걸쳐서 지각변동을 많이 받았기 때문이다. 일반적으로 단층은 절리에 비해서 연장성이 커서(수십 m에서 수천 km까지) 각종 토목공사시 단층이 대규모의 암반붕괴를 야기시킨다. 예를 들면 서울에서는 강남이남지역이 주로 변성암으로 이루어져서 지하철공사의 터널굴착이나 암반절개시에 변성암내의 단층으로 인한 급작스러운 대규모 암반붕괴가 빈번히 발생하는 주된 이유중의 하나이다.

4.3 암반사면의 붕괴형태 및 특징

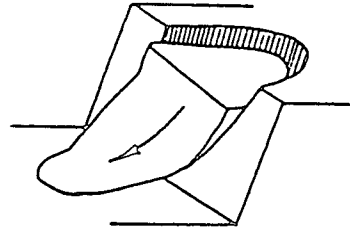
암반사면의 붕괴형태는 사면에 발달하고 있는 불연속면의 발달상태에 따라서 결정된다(그림 5). 예를 들면, 불연속면이 불규칙하게 많이 발달하여서 뚜렷한 구조적인 특징이 없으면 토층과 같은 원형파괴(Circular failure)가 발생하나(그림 5c). 그리고 절개면의 경사방향과 불연속면의 경사방향이 반대면 전도파괴(Topping failure)가 발생한다(그림 5d). 그러므로 암반사면의 사면 안정성검토는 암석의 강도에 의하는 것보다는 불연속면의 발달상태를 조사하여 판단하여야 한다.

암반의 붕괴특징은 암반을 절개할 때 절개사면 전체가 한꺼번에 무너지는 경우가 종종있다. 반면에 전체적으로는 안정한데, 암반사면이 초기에는 서서히 한두개의 암석들의 낙반되다가 그것이 암반전체의 안정성을 잃어 버리게 하여서 나중에 암반전체의 붕괴로 발전하는 경우도 있다. 그러므로 전체적인 암반사면의 안정성뿐만 아니라 부분적인 붕괴위험도 파악하여야 한다.

또한 우리나라의 산에는 암석들이 많이 노출되어 있어서 산에 얹혀져 있는 암석들이 낙반하

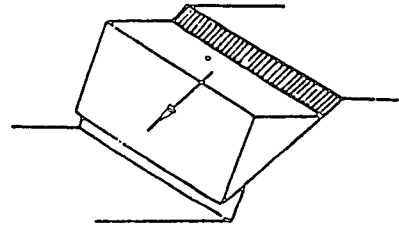
여 주변 가옥이나 도로에 피해가 크므로, 자연적인 낙반가능성 뿐만 아니라 각종 토목공사의 암반굴착시 발파에 의한 낙반가능성도 검토하여야 한다.

원형파괴



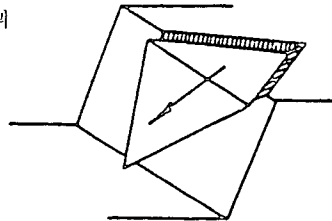
a. Circular failure in overburden Soil, waste rock or heavily fractured rock with no identifiable structural pattern.

평면파괴



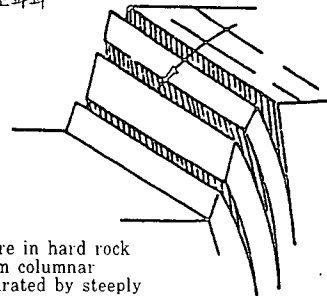
b. Plane failure in rock with highly ordered structure such as slate.

췌기파괴



c. Wedge failure on two intersecting discontinuities.

전도파괴

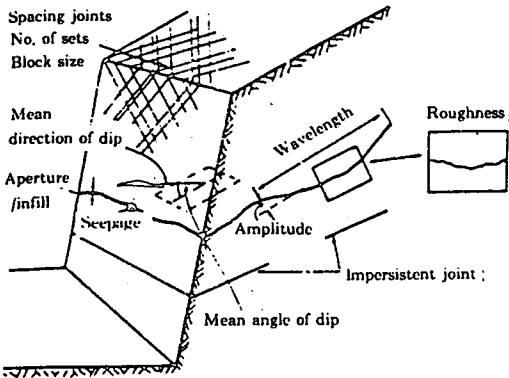


d. Toppling failure in hard rock which can form columnar structure separated by steeply dipping discontinuities.

그림 5 암반사면의 일반적인 파괴형태

5. 암반사면의 안정성에 영향을 주는 요인을 조사하는 방법

암반사면의 안정성 평가는 우선 불연속면의 분포, 형태, 공학적 특성에 의해서 결정되는데, 그러기 위해서는 암반의 사면안정성을 추정할 수 있을 정도로 충분히 정량적으로 다음과 같은 특성을 조사하여야 한다: 불연속면의 방향, 간격, 연속성, 굴곡, 강도, 틈새, 충전물질, 지하수 유출, 종류수 및 암석의 크기 등(그림 6).



- | | | |
|---|----|--|
| 방 | 향* | 1. Orientation(dip & dip direction) |
| 간 | 격* | 2. Spacing.....Note, RQD(Rock Quality Designation) |
| 연 | 속 | 3. Persistence |
| 굴 | 곡 | 4. Roughness and Waviness |
| 일 | 촉 | 5. Wall strength] |
| 틈 | · | 6. Aperture |
| 충 | 진 | 7. Aperture |
| 지 | 하 | 8. Seepage |
| 절 | 리 | 9. Number of sets |
| | 암 | 10. Block size & shape |
| | 피 | |
| | 크 | |
| | 기 | |
| | 및 | |
| | 모 | |
| | 양 | |

Specially quantification of above 3 points()are important in any engineering geological situation where rocks are going to be placed in a different stress position, thus predict how the rock mass will react to situation, e.g. slope stability, tunnelling, etc.

그림 6 불연속면에 대한 공학적인 성질의 조사방법

5.1 불연속면의 방향

주향과 경사로서 표시되는데, 붕괴가능성 및 붕괴형태를 결정하는 요소로서 사면 안정성평가 시 제일 우선적으로 고려되는 요소이다 주향은 불연속면상에서 존재하는 수평선의 방향이고, 경사는 불연속면의 최대경사각이다.

5.2 불연속면의 간격

인접한 불연속면간의 수직거리인데, 암반 붕괴 시 평면파괴인가 전도파괴인가 하는 붕괴형태를 결정하는 요소이다.

5.3 불연속면의 연속성

불연속면이 연장되는 정도인데, 불연속면의 전단강도 추정시 중요요소이다. 불연속면은 이미 깨져 있으므로 암반의 붕괴시 불연속면은 마찰력만 있고 점착력은 없는 것으로 일반적으로 고려하나, 연속성이 적으면 점착력도 상당한 것으로 고려하여야 한다.

5.4 불연속면의 강도

불연속면 부근에 있는 암석의 일축압축강도로써 추기가 크면 불연속면의 전단강도도 커진다.

5.6 불연속면의 틈새

인접한 불연속면사이의 수직거리로서 틈새가 크면 불연속면의 전단강도가 감소한다.

5.7 불연속면의 충전물질

이 물질은 일반적으로 모암보다도 강도가 약하다.

5.8 불연속면의 특수

수압은 암반의 유효응력을 감소시킨다.

5.9 불연속면의 종류수

암반붕괴의 형태를 결정한다.

5.10 암피의 크기 및 형태

암반의 붕괴형태결정과 암반보강에 관한 지표를 제시

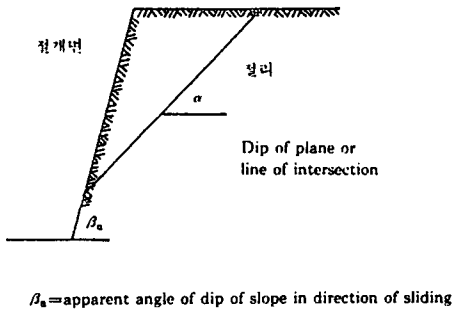
6. 암반사면 안정성 검토를 위한 평사투영법의 적용

6.1 평사투영법의 기본개념

암반사면의 안정성을 파악하기 위해서 상기에서 언급한 열가지의 불연속면의 요소들을 초기의 기초 조사시에 한꺼번에 모두 고려하는 것은,

많은 면적의 암반절개면에서는 부적합하다. 그러므로 열가지 요소들중 중요한 몇 요소만 우선적으로 고려하여 본 후에, 차후에 불안정하게 판단된 부분만 나머지 요소를 모두 고려하여서 한계평형법으로 수치해석하여 정밀한 안정성평가가 수행되어야 한다.

암반사면 안정성평가에서 불연속면 방향과 마찰각의 역할이 크므로 이 두요소를 우선 고려할 필요가 있다. 그러므로 초기의 기초조사로서 신속하고 개략적인 암반사면의 안정성을 평가하기 위해서, 상기 두 요소 및 절개면의 방향을 고려하여 보아야 한다. 암반의 붕괴형태는 4.3장에서 설명하였고, 이들이 붕괴하기 위해서는 몇가지 조건들이 있는데(그림 7a, 7b), 이 조건들을



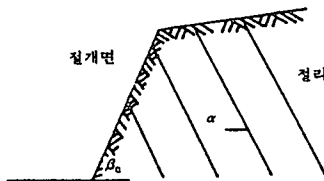
(a) Sliding의 조건

(1) plan failure(평면파괴)

1. 절리와 절개면의 경사방향이 같고
2. 절리와 절개면의 주향이 비슷(±20°의 주향차 이내)
3. 절개면의 경사 > 절리의 경사 > 절리의 마찰각 ($\beta_a > \alpha > \phi$)
4. 붕괴되는 암괴의 양쪽 측면이 절단되어서 암괴가 무너지는데 측면의 영향이 없어야 한다.

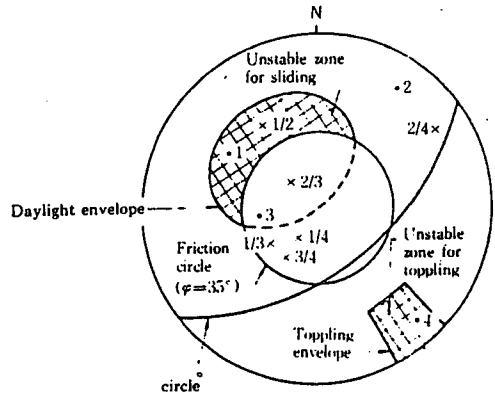
(2) wedge failure(썩기파괴)

상기의 평면파괴의 조건들과 같으나, 다만 절리면의 주향과 경사 대신에 두 절리면이나 만나서 이루는 교선의 주향과 경사를 대입하면 된다.

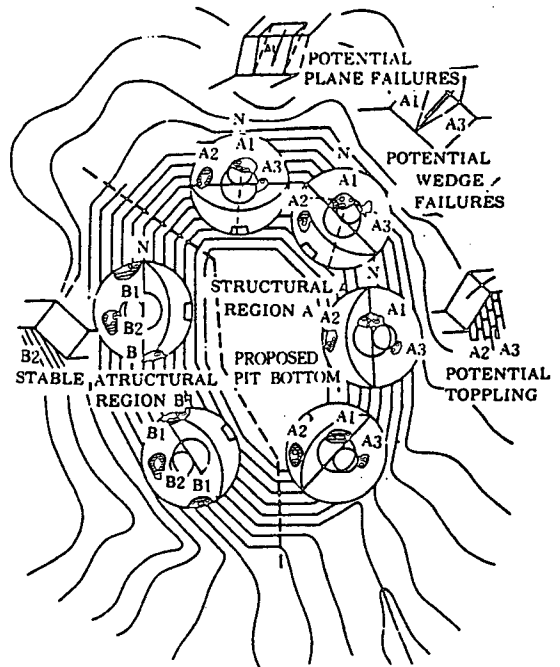


(b) Toppling failure(전도 파괴)의 조건

1. 절개면과 절리면의 경사방향이 달라야 한다.
2. 절개면과 절리면의 주향차이가 ±30° 이내
3. (90°-절리의 경사)+절리의 마찰각 < 절개면의 경사(90°-α)+φ < β_a



Legend :	
• 1	Pole of plane(plane 1)
× 1/2	Pole of line of intersection(planes 1 and 2)
Note : (1) Water is not taken into account	
(2) Cohesion and characteristics of individual joints are not taken into account	
(3) Wedges may not actually be developed in the field	
(4) Results should be checked by a site visit	



(d) 한 지역의 암반사면에 적용한 사례

그림 7 평사투영법을 이용한 암반사면의 안정성 검토 : 해석의 중요요소 : ① 절개면의 주향, 경사 ② 절리면의 주향, 경사 ③ 절리면의 마찰각(단, 절리면의 점착력, 불연속성, 지하수압 등의 요소는 고려가 안되고 있음)

기하학적으로 손쉽게 해석하기 위한 기법으로서 평사투영방법(Stereographic projection method)이 효율적으로 사용된다. 평사투영법이란 불연속면이나 절개면과 같은 3차원적인 형태를 2차원적인 평면상에 투영하는 방법이다. 면의 주향과 경사를 고려하여서 평사투영망인 원안에, 불연속면의 한개의 점으로, 절개면은 한개의 곡선으로 각각 표시한다. 또한 평사투영망에 불연속면의 마찰각과 상기의 위험조건들을 기하학적으로 도식한 후에, 위험조건들에 부합된 평면과 파, 썩기파괴, 전도파괴의 불안정지역을 설정하여 이 지역에 표시되는 불연속면을 따라서 낙석의 위험이 있고, 그외 지역에 표시되는 불연속면을 안정한 것으로 판단한다(그림 7c, 7d).

6.2 평사투영법의 실제적용방법

앞서 언급한 바와 같이 절개면의 방향과 불연속면의 방향, 불연속면의 전단강도의 세 요소로서 암반사면 안정성을 평가하는 평사투영법은 신속하고 간단한 분석방법을 필요로 하는 기초조사시에 매우 효과적인 큰 장점이 있다. 그러나 이 방법은 최종 설계목적의 조사에서는 주의해서 해석되어야 한다. 특히 위의 몇요소외의 앞서 언급한 암반사면의 영향을 주는 그밖의 8가지 요소들이 안정성 판단에 중요한 변수가 될 수도 있기 때문에 정밀조사에서는 자세히 고려되어야 한다. 예를 들면 불연속면이 때로는 연속성이 짧은 경우에는 마찰각(ϕ)뿐만 아니라 점착력도 고려하여야 하고, 불연속면의 틈새가 벌어지거나 지하수가 침투하여 있으면 마찰각을 충분히 낮게 고려하여야 한다.

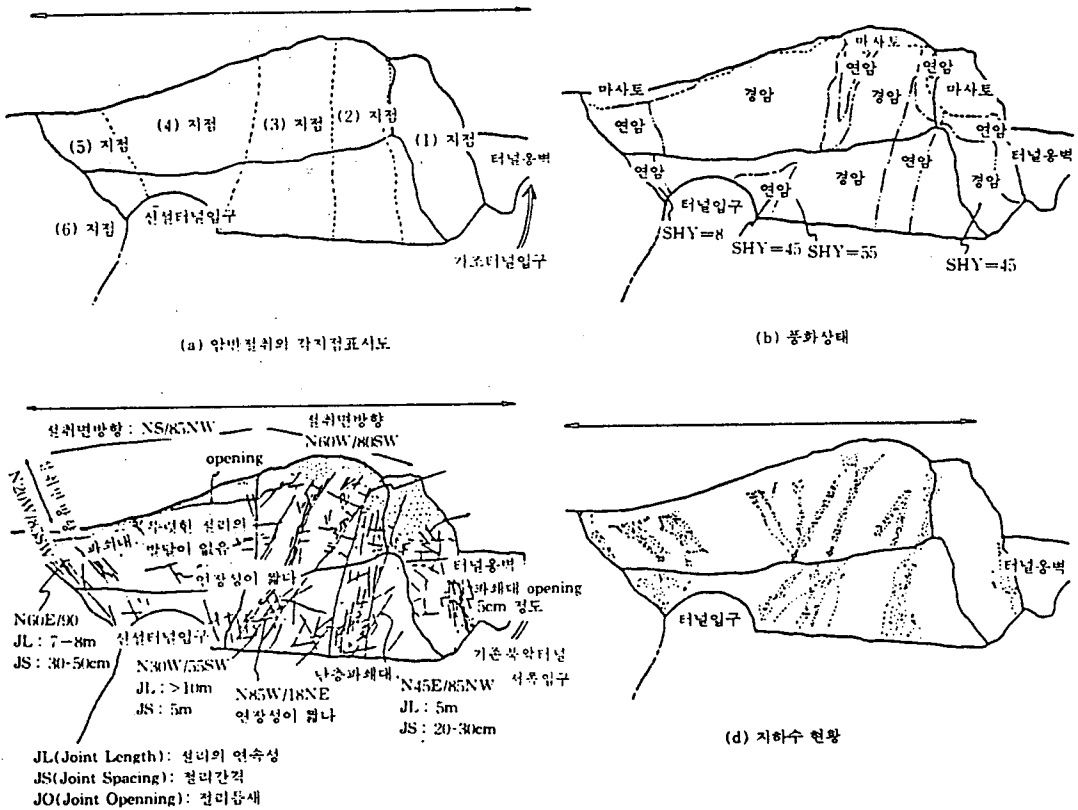


그림 8 암반사면 안정성 검토 실례 1: 북악터널(쌍굴)입구 암반절취면

또 평사투영법을 실제 현장에서 적용할 때에 다음과 같은 사용상의 주의할 점이 있다.

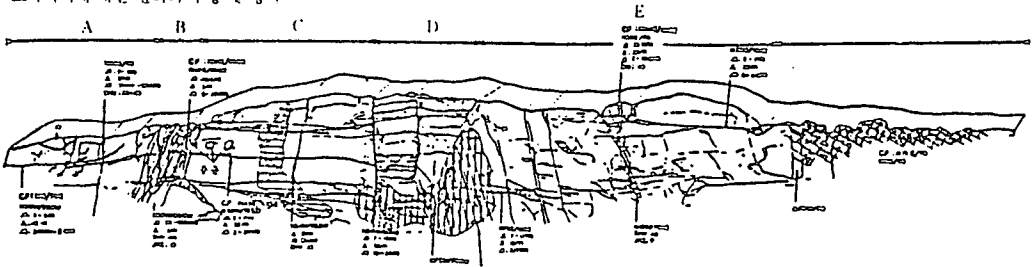
(1) 일반적으로 한 암반절개면에서도 불연속면의 방향이 부분 부분 국부적으로 변하는데, 그 변하는 지역을 기초조사시에는 몇 부분(Group)으로 나누어서 Group별로 암반사면 안정성 해석을 해야한다(그림 8).

(2) 그런 후, 정밀현장조사를 다시 실시하여서 암반의 모양생김(Geometry), 불연속면의 마찰각(ψ)에 영향을 주는 요소들(지하수, 연속성, 틈새, 충전물질, 굴곡도 등)을 다시 고려하여서 최종적으로 안정성 재검토를 한다. 예를 들면 평사투영법으로는 위험한 것으로 해석되었지만 현

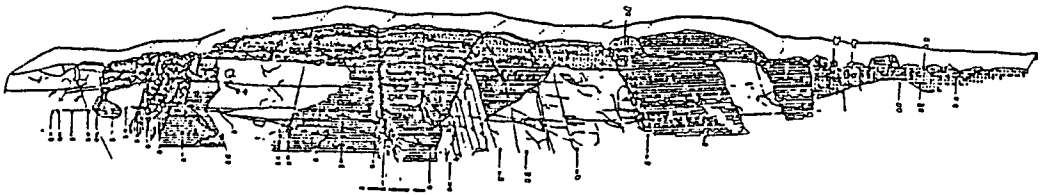
장재조사로서 불연속면 연장성이 짧아서 마찰력이 추정된 것보다도 커서 안정하거나, 위험한 암괴 하부에 다른 안정한 암괴가 지지하고 있어서 안정하나 것으로 판단되는 경우가 있다. 암반이 평면파괴위험이 있는 것으로 평가되나 현장에서 조사된 암괴의 모양생김이 수직으로 길죽하면 오히려 전도파괴의 가능성이 크다. 또한 평사투영법으로는 안정한 것으로 해석되나 나무뿌리에 의한 썩기압력으로 인한 불안정성도 현장조사에 근거하여서만 판단될 수 있는 점이다.

(3) 그리고 평사투영법에 의해서 개략적으로 위험, 중간위험, 약간위험 지역으로 몇개의 위험부분(Zone)으로 나누어서 차후에 한계평형법

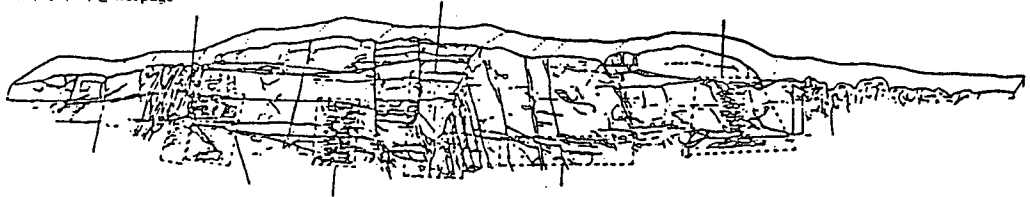
조사지역에 대한 선리의 주향 및 검사



조사지역의 풍화정도 및 Schnidt Hammer Values



조사지역에 대한 Seepage



조사지역에 대한 식생상태

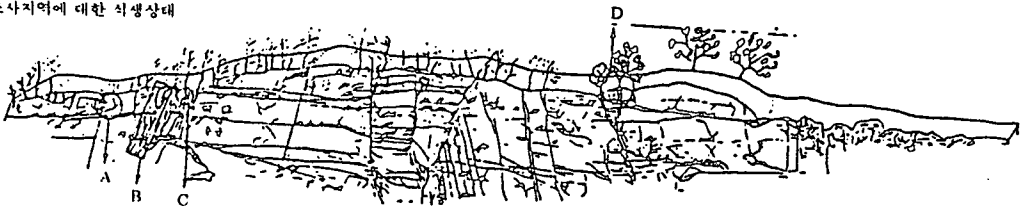


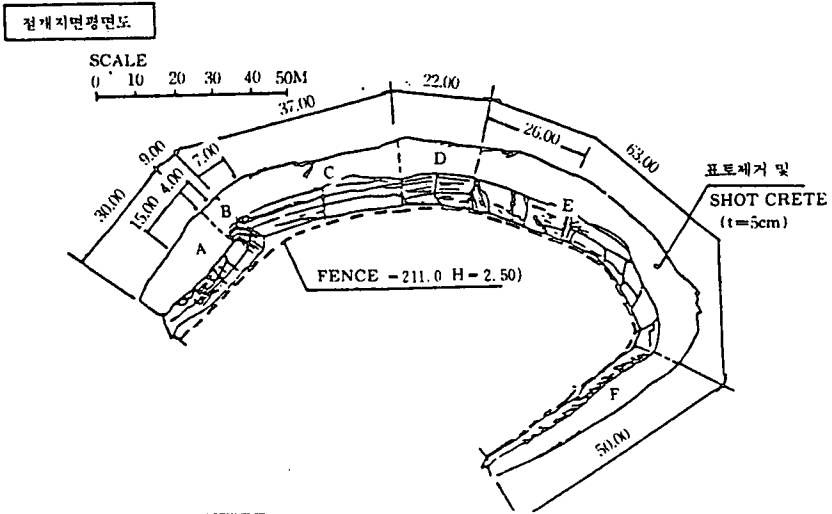
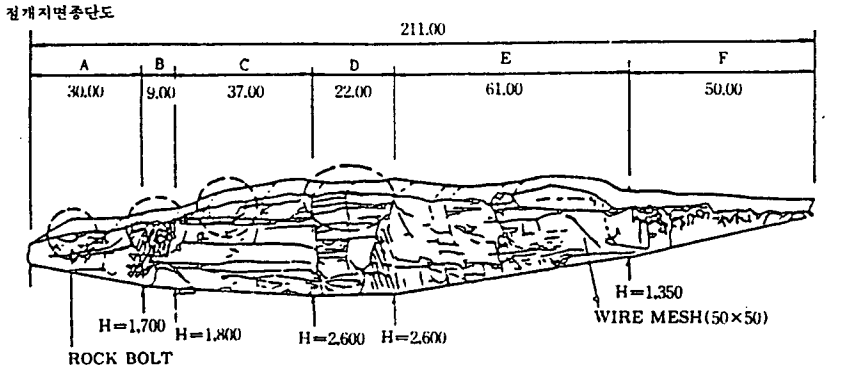
그림 9-a 암반사면 안정성검토 실례 2 : 30m 높이의 서울 하왕십리동 암반절벽에서 (a) 조사

등으로 수치분석한 후, 이에 따라서 현장조건을 고려하여서 강구해야 한다.

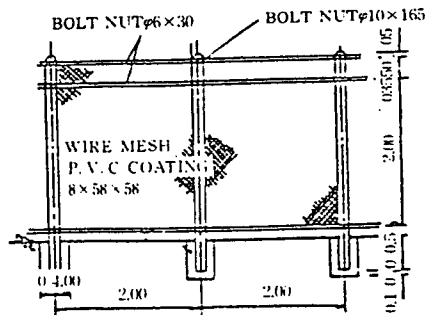
실제로 국내의 암반사면에서 지질과 환경요건을 고려하여 조사된 사례가 그림 8과 9a에서 제

시되어 있다.

7. 수치해석에 의한 암반사면의 안전을 계산



FENCE 상세도

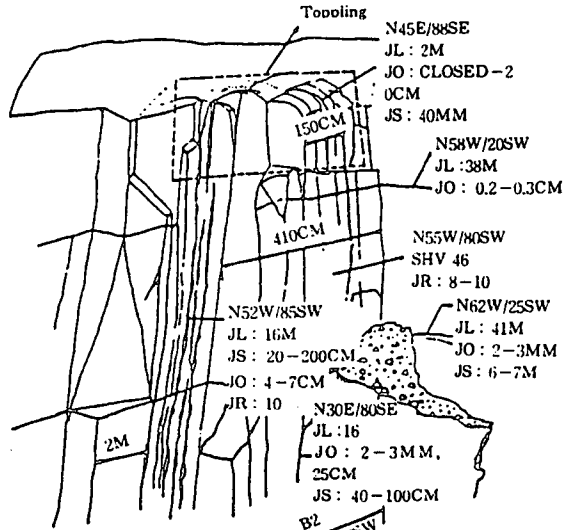


SHOT CRETE 상세도



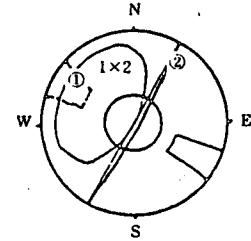
- 법 레
1. 식생표시
- : 아카시아나무
 - : 목감나무
 - : 철계림이니 리채대
 - : 사이의 초목

그림 9-b 암반사면 안정성검토 실례 2 : 30m 높이의 서울 하왕십리동 암반절벽에서 (b) 전체적 보강 설계

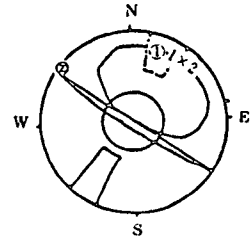


(a) B 부분의 상세도

B1구역 CF: N30E/80SE
J①: N36E/75SE
J②: N55W/80SW



B1구역 CF: N55W/80SW
J①: N70W/78SW
J②: N45E/88SE



약어	
JS	: Joint Spacing (절리의 간격)
JL	: Joint Length (절리의 길이)
JO	: Joint Opening (절리의 틈새)
SHV	: Schmidt Hammer Value (L-Type)
JRC	: Joint Roughness Coefficient (절리의 굴곡도)
CF	: Cutting Face (절개면)
①	: 주요한 절리번호

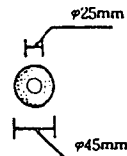
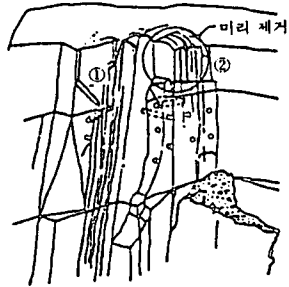
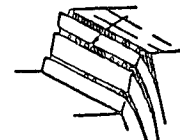
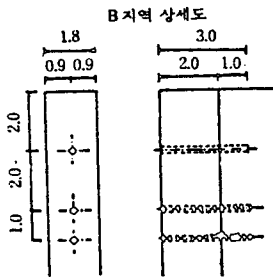


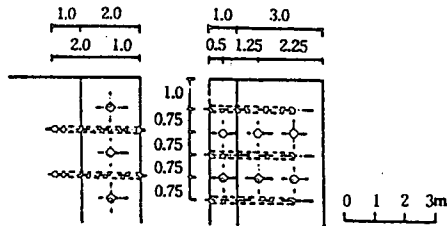
그림 ①부분
Rock Bolt 천공 단면도



(d) 예상파괴영역 - 나무뿌리에 의한 전도 파괴



B 지역 ①부분 시공도



B 지역 ②부분 시공도

그림 9-c 암반사면 안정성검토 실례 2 : 30m 높이의 서울 하왕십리동 암반절벽에서 (c) B부분의 상세 보강설계

평면과괴나 썩기과괴는 불연속면을 따라서 미끄러지거나 저항하는 힘들의 비율을 고려함으로써 한계평형법으로서 해석된다. 안전율이 1보다 크면 안전하고 작으면 불안정한데, 일반적으로 암반 보강시 안전율은 사면의 중요도에 따라서 1.3~1.5를 고려한다. 전도과괴는 불연속면을 따라서 회전하거나 저항하는 모멘트들의 비율을 고려함으로써 가능성이 고려된다.

8. 암반사면의 보강대책

사면안전성 검토후에 주변여건(도로변, 가옥주변)을 고려하여서 경제적이고 현장에서 시공성이 있는 암반보강법을 선택하여야 한다. 암반보강공법으로는 간접대책으로서 펜스를 설치하거나, 직접대책으로서 뜬돌을 털어 내거나, 사면의

높이를 낮추거나, 사면의 경사를 줄이거나, 지하수의 유로를 만들거나, 숏크리트(Shotcrete)타설, 철사망(Wire mesh)씌움, 록볼트(Rock bolt)나 앵커(Anchor)로서 보강하는 방법들이 있다(그림 10). 이 보강방법들은 토목공사에서 많이 사용되고 있는데 이 보강대책의 수립도 앞서 암반사면 안정성 검토하는 방법과 같이 부분 부분적으로 나누어서 불연속면, 풍화 및 지하수의 발달상태 및 식생상태에 따른 불안정한 부분에만 제한되어야 한다. 그리고 실제의 보강 시공도 암반의 지질조건을 고려하여야 하는데, 예를 들면 암반보강시 보편적으로 많이 사용되는 록볼트를 불연속면의 방향에 수직으로 시공하는 것이 갖아 효과적이다. 우리나라에 적용된 사례는 그림 9b와 9c에서 보여진다.

9. 결 론

암석과 암반의 개념과 용어사용의 혼돈으로 인하여 암반사면의 절개각도와 절개난이도를 결정하는데 있어서 합리적인 조사, 설계, 시공, 감리상의 큰 괴리가 발생하고 있으므로 다음사항에 유의하여야 한다.

- 1) 주관적이고 정성적인 암석강도 판정방법의 객관적인 정량화가 이루어져야 한다.
- 2) 일률적인 실험강도 수치는 실험조건에 따라서 오차가 크므로 현장조건에 부합하는 조건에서의 실험수치를 구하여 현장수치와 실내수치의 차이를 고려하여 실지 설계에 반영하여야 한다.
- 3) 암석강도의 변화를 파악하는 것이 주목적인 시추 및 야외지질조사는 암석강도 뿐만 아니라 지질구조의 발달을 파악하도록 수행되어야 한다.
- 4) 암석강도에만 근무하는 절개난이도 판정은 암석강도 뿐만 아니라 불연속면의 발달빈도를 고려하여 수행되어야 한다.
- 5) 현재는 암반사면의 안정성에 대한 합리적

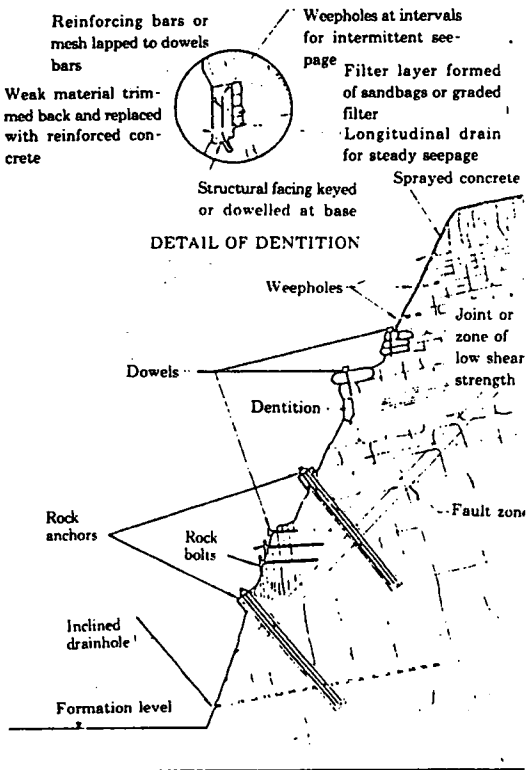


그림 10 암반사면의 여러가지 보수방법

인 검토없이 조사, 설계, 시공되는 경향이 있다. 암반내에 분포하는 불연속면(절리, 단층)의 존재 및 발달상태를 고려하여 암반사면 안정성을 검토하여 설계, 시공함으로써 안정성을 높이고, 공사비와 보수비용을 절감하며, 비싼 땅을 보다 효율적으로 이용할 뿐만 아니라 절개시 상부의 땅에 대한 보상비용을 절감하는 효과가 있다.

6) 새로운 암반을 절개할 경우, 설계나 시공시에 크고 중요한 암반사면은 사전에 시추조사나 주변 지질조사로서 전반적인 사면안정성을 검토하여, 우선 최적 사면구배를 가능하면 설계시에 고려하고, 차후 굴착공사중에 안정성을 정밀 재검토하고 아울러 국부적인 보강대책도 검토하여 암반사면의 붕괴위험가능성을 미리 제거시켜야 한다.

7) 또한 기존 암반절개면들은 홍콩의 국토관리청이 현재 수행하는 바와같이 재조사하여 붕괴위험 난이도에 따른 몇가지 위험등급으로 분류한 후에 순차적으로 가장 위험한 것부터 정밀 조사와 그에 따른 보강을 하여야 한다.

8) 암반은 토층에 비해서 각 대상지역마다 변화가 심하므로 암반사면의 안정성 분석은

Modelling에 근거한 수치계산에 의한 안정성평가보다도 불안정요인을 정확히 파악하는 것이 더욱 중요하다. 지지조건외에도 빈번히 불안정한 요소로서 작용하는 환경요인이 나무뿌리나 지하수상태와 보강대책의 역효과 등도 고려하여서 단기적, 장기적인 안정성 검토가 수행되어야 한다.

9) 시추지질조사시에 암반사면 안정성 평가의 목적에 부합되는 지질조사가 수행되어야 한다. 예를 들면 기존의 '경암 1m이하'에서 시추를 중지하는 것이 아니고 최소한 계획 지반고까지 시추를 하여 지질구조(절리, 단층)의 발달상태를 파악하여야 한다.

10) 일률적으로 지금까지 사용되어 왔던 기존 암반 절개시공은 절개각도를 낮추는 것만으로 암반사면의 안정성을 보장하려는 소극적인 방법이다. 대도시 인근에서는 가용 택지면적의 감소 우려와 보상땅값이 많이 소요되므로 적절한 보강대책을 병용함으로써 기존의 절개각도 보다도 더 높은 사면에서도 안전하게 유지시키는 적극적인 사면 안전대책을 연구, 개발하여야 할 필요가 있다.

本學會發刊書籍

- ANFO 爆劑新發破學. 東亞出版社
- 新火藥發破學. 機電研究社
- 新火藥發破學解說. 寶晉齋
- 서울地下鐵工事 3, 4號線發破工法.(非賣品)
- 岩石 力學. 機電研究社
- 岩石 力學解說. 同上.
- 智山許墳博士回甲記念集.
- 智山許墳博士古稀記念集.