
암반 절취사면의 조사, 설계, 감리를 위한 합리적인 기준 설정방안

A suggested method for the survey, design and supervision of rock cut slopes in Korea

○이 수 곤¹⁾, 이 송²⁾
Lee, Su-Gon, Lee, Song

Abstract

Many rock slopes are being created recently as a result of various construction activities. On many occasions the slopes have not properly been dealt with due mainly to controversial design method, Standard Method, which is based on strings of assumption without thorough consideration of geotechnical engineering aspects. Standard Method was primarily created to compute the bulky amount of rocks and soils. Adopting the same method for the assessment of rock slope stability, therefore, is not only improper but unsafe as well, which have led into occasional rock slides to our casualties.

This paper intends to develop improved methods on the survey, design and supervision of (1) Rock-Slope-Stability and (2) Rock Material & Rock Mass Classification after due assessment of the existing problems in the process. For this purpose this paper had made reference to various case studies (academic research, technical consultancy) performed in sites with respect to rock slope shop drawings and restoration plans for rock cut failure.

요 지

최근에 각종건설공사와 관련되어서 암반사면이 많이 형성되고 있으나 지반공학적으로 충분한 검토없이 일률적으로 많은 가정치를 내포한 표준기준방법에 따라서 설계되고 시공되므로 불안한 경우가 많은데 이러한 설계방법은 토공량 계산을 주목적으로한 설계이고 암반사면의 안정성은 부차적인 목적이므로 이러한 기준에 따라서 조사·설계된 자료가 부실하여서 충분한 안정 사면을 유지하지 못하고 절취공사 도중이나 완공후에도 급작스런 절취사면의 붕괴로 인한 대형사고 및 교통장애, 또한 예상치 못했던 과도한 복구비용이 소요되고 절취공사도 지연되는 등의 피해가 종종 발생한다.

1) 정희원, 한국자원연구소 선임연구원

2) 정희원, 서울시립대학교 토목공학과 부교수

본 논문은 최근에 국내에서 암반사면의 실시설계 또는 붕괴후 보완대책수립과 관련되어서 수행된 현장에서의 각종 실무연구사례(연구용역, 기술자문)로부터 파악된 국내의 암반사면의 조사, 설계, 감리단계에서의 (1) 사면안정성 설계와 (2) 암판정에 관한 문제점 및 개선방안을 종합하여서 각각 해당 현장을 인용하면서 논하고자 한다:

1. 서 론

산업화가 급속히 진행됨에 따라서 최근에 각종 암절취사면이 도처에서 시공되고 있는데 여러 발주처 (예를들면, 한국토지개발공사, 한국도로공사, 대한주택공사)에서 제시한 암반절취사면에 대한 기존의 표준구배방법(표 2,3)에 따라서 조사, 설계, 시공이 이루어지고 있는 현실이다. 그런데 기존의 표준구배방법은 우선 토공량을 추정하기 위한것이 주목적이고 암반사면의 안정성은 부차적으로서 지반공학적인 관점에서 볼때 미흡하고 불안한 설계기준이므로 개선될 필요가 있다.

또한 절취사면의 조사, 설계, 감리에 대한 유기적인 역할에 대한 명백한 기준과 방법이 제시되지 않음으로서 각단계별 참여기술자의 이해와 경험부족, 정보교환의 결여, 이해관계, 편리성에 따라서 업무가 생략되거나 오해되어서 전과정의 일관성 유지가 안되어 조사와 설계의 오류, 시공과 감리단계에서 혼란등 파생되는 많은 문제점을 내포하고 있으므로 불합리하고 위험한 암반사면이 형성될 우려가 있다. 그러므로 현재 국내에서 암절토사면의 설계와 붕괴후 보완대책수립과 관련되어서 수행된 연구결과와 기술자문결과로부터 파악된 국내의 암절토사면의 조사, 설계, 감리단계에서의 문제점 및 개선방(안)을 제시함으로써 장기적으로 안전한 절취사면을 시공케하는것이 본 논문의 목적이다.

본 논문에서는 암반을 새로 절취하는 경우에 수행하는 경우의 조사, 설계, 감리단계에서의 문제점과 개선방안을 순서적으로 제시하고 있으며 기존의 절취면에서의 안정성검토는 직접 감리단계에서의 방법으로 수행하면된다.

2. 기본 및 실시설계를 위한 지질조사단계

지질조사에는 주변 지표지질조사, 시추지질조사, 절취면 지질조사가 있는데 (그림 1) 기본 및 실시설계에 앞서서 수행하는 ① 주변 지질조사와 ② 시추 지질조사에 대하여 여기서 서술하고 절취공사 도중이나 최종 절취공사후에 절취면에서 수행하는 ③ 절취면 지질조사는 차후에 감리단계에서 서술한다.

2.1 주변 지표 지질조사

암반사면의 안정성과 절취난이도를 동시에 합리적으로 판단하기 위해서는 불연속면과 암석강도는 제일 중요한 요소이므로 지질조사는 이 두요소를 가능한 정확하게 판단하는 것이 목적이다.

2.1.1 불연속면

1) 정의

不連續面(Discontinuity=Fracture)중에서 보통 작은 규모(연장성이 수 cm- 수십 m)는 『절리(節理)』로서 암반내에 규칙적으로 깨져있는것으로 현저하게 움직인 증거가 없는 면이고, 큰 규모(수m-수천km 의 연장성)는 『단층(斷層)』으로서 현저하게 움직인 증거가 있는 면으로 대별하여 사용하기도 한다. 절리틈새에는 충전물질이 드문편인데 비하여 단층은 점토등으로 충전되어 있는경우가 많다. 불연속면의 특성은 암반사면의 안정성에 매우 중요한 영향을주고, 또한 불연속면의 발달빈도는 토공작업시에 굴착난이도를 결정하는 중요한 요소이다.^{1,4)}

2) 불연속면의 현장조사 방법

절취면 예정지역의 주변에서의 노출된 암반면에서 지질조사(Face mapping)를 수행하는 경우에 일률적으로 하나의 조사방법만 있는 것이 아니고 굴착공사의 목적및 설계 단계에 따라서 지질조사 하는 방법이 달라져야 하는데 이러한 지질조사방법의 차이에 대한 충분한 이해없이 혼돈되어서 사용되는 경향이 있어서 불필요하게 자세히 조사한다거나 또는 충분히 조사되지 못한채로 암절취사면의 안정성 평가가 이루어지고 설계되는 경우가 많다. 지표 지질조사방법은 크게 (1) 체계적인 조사방법과 (2) 주관적인 조사방법으로 나눌수있다. (그림 2)

(1) 체계적인 (Systematic) 조사방법은 암반면의 지질상태를 객관적이고 체계적으로 조사하는 방법으로서 ① 선조사방법과 ② 면적조사방법의 두가지 방법이 있다.

① 線 조사법(Scanline)은 노출된 암반면에서 임의의 線을 설정하고 그 선을 끊는 모든 불연속면들을 조사하는 방법으로서 많은 지역에 걸쳐서 전반적인 불연속면의 발달 경향과 특성을 신속히, 체계적으로 파악할수 있는데, 주로 최적절취구배를 설계하려는 기본 및 실시설계를 위한 지질조사 단계에서 주로 적용된다.^{11,12)} 시추조사도 일종의 선 조사 방법이다.

② 面積조사방법 (Area survey, Window survey)은 노출된 암반면에 일정한 면적을 설정하고, 그 면적내에 있는 모든 불연속면을 조사하는 방법으로서 좁은 지역에 대한 정밀한 지질조사로서 현존하는 절취면이나 굴착후 감리단계에서의 최종절취면의 안정성 평가 및 록볼트와 앵커등으로 보강대책 여부를 결정할 경우에 적용되는 방법이다.⁹⁾

(2) 주관적인 (Subjective) 조사방법은 현존하는 절취면이나 굴착후 감리단계에서 최종절취면의 안정성 평가를 하는 경우에 경험에 의해서 중요한 위험 불연속면만을 육안으로 선별적으로 판별한후에 그 위험불연속면들만 집중조사하여 절취면에 미치는 안정성을 검토하여서 재절취나 록볼트등으로 직접보강하려는 조사방법으로서 신속하게 수행될 수 있는 방법이지만 경험이 많은 기술자인 경우에는 결과의 신뢰성이 보장될수 있으나 초보기술자는 적용상 오판하기 쉬운 방법이다.

(3) 조사요소 및 그 공학적 특성

암반내에 분포하고 있는 절리를 조사시, 암반의 지질공학적인 성질을 추정할 수 있을 정도로 충분히 정량적으로 서술되어야 한다. 암반의 공학적인 성질에 영향을 주는 절리의 성질중에서 중요한 요소는 다음과 같다 : 절리방향, 절리간격, 절리연속성, 절리면굴곡, 절리면강도, 절리틈새, 절리충진물질, 절리면투수, 절리종류수, 암괴크기, (ISRM, 1978). 각 항목들을 조사하는 방법과 그들이 절취사면의 안정성에 미치는 영향은 이수곤 (1991)⁸⁾을 참고하기바란다.

(4) 현장에서 적용방법과 고려할점

앞서 열거한 절리(단층)의 특성 10가지 요소들을 암반사면을 대상으로 고려하고자 현장에 가보면 절리가 매우 불규칙하고 국부적으로 변화하므로 평사투영망 이론을 적용하기가 난감해지는 경우가 종종 있다. 이런 경우에는 우선 전체적인 안정성도 평사투영방법으로 판단하여야 할뿐만 아니라 절리특성이 서로 비슷한 몇개의 『Zone』(구역)으로 절취면을 부분적으로 나누어서 평사투영망에 의한 정성적인 안정성을 분석하여야 한다.⁸⁾ 그후에 중요한 위험부위만 수치해석하여 보강한다.

2.1.2 암석강도

암석강도는 암석의 풍화상태에 의해서 결정되는데, 암반사면의 안정성에 약간의 영향을 미치고 (특히, 암석강도가 약할 경우), 특히 토공작업시에 굴착난이도를 결정하는 경우에 중요한 역할 (특히, 암석강도가 약한 경우)을 한다.

암석강도는 지질해머로 정성적인 암석강도를 추정하는 방법도 있으나 암절취면에 직접 타격하는 슈미트해머와 작은 암석시료로서 실험하는 점하중강도, 금속 흡수지수 측정 등으로 정성적으로 추정하는 방법도 있다.

2.2 시추지질조사

절취사면 예정지역 인근에서 노두가 관찰되지 않는 경우에는 불가피하게 시추지질 조사를 수행하는데(그림 1), 역시 암석의 종류와 풍화상태(암석강도) 뿐만아니라 불연속면들의 발달상태의 판단을 목적으로 한다. 그러나 다음과 같이 시추조사계획이 미흡하므로 충분한 지반자료를 습득하지 못하는 경향이 있다.

2.2.1 시추조사 계획의 미흡

1) 시추심도가 부족

일반적으로 시추조사는 연암-경암이 나타나는 깊이에서 약 1m 하부 깊이까지만 수행하는것이 보편적이다. 이는 암석강도의 깊이에 따른 변화를 파악하는것이 주목적이고 지질구조의 발달은 크게 중요시되지 않는 지질조사방법으로서 다음과 같은 문제점을 지닌다.

● 암석강도의 불균질성을 고려치 못함:

연암-경암 1m 하부깊이에서 시추를 멈추는것은 그 이하의 깊이에서는 당연히 단단한 암석이라는 가정에 근거한것이다. 그러나 암반이란 단단한 연암-경암 하부에서도 간혹 점토로 두껍게 충전된 단층, 토층이 두껍게 형성된 열수 변질대, 연약한 퇴적층등의 취약한 지반이 존재하여서 이곳이 대규모의 활동파괴면으로 작용할 경우를 고려 못하고 있다.(표 1)

● 불연속면의 발달특성을 파악 못함:

암반절취사면의 안정성에 큰 영향을 미치는 불연속면 (절리, 단층)의 발달특성들을 절취사면의 계획고 깊이까지 연이어서 판단할수 없으므로 미흡하다. 그러므로 암석강도의 불균질성과 아울러서 불연속면의 발달특성을 파악하기 위하여 절취사면의 하단 계획고 깊이까지는 최소한 시추를 수행하여야한다.

2) 시추조사 갯수 및 위치의 선정이 미흡

절취사면 예정지역에 대하여 필요한 시추조사 갯수 및 위치에 대한 일반기준은 불명확한 상태인데, 일반적으로 절취사면 예정지역에서 최정상부에 1개 정도의 시추조사를 수행하곤한다. 이방법은 지반상태를 판단하는데 불충분하므로 절취사면의 안정성을 보다 합리적으로 조사·분석하기 위하여 최소한도로 필요되는 시추계획으로서, 대절취사면의 횡방향과 종방향에서의 시추공의 갯수나 위치 및 시추깊이는 그림 3 에서 보여진다. 대절취사면의 가장높은 지역에 인접하여서 시추위치를 선정하고, 그 시추깊이는 도로계획고까지 수행하여야하며, 또다른 인접한 시추공들은 기존방법대로 경암 1m까지 수행하기를 추천한다. 이와같이 시추조사의 체계적이고 합리적인 계획수립이 무엇보다도 중요하고 아울러서 다음사항들도 시추조사시 주의하여야한다. 시추결과와 현장지질상태간에 큰 괴리가 국내에서 종종 발생하는데 이는 물론 지질이 복잡한 경우 일수도 있으나 다음과 같이 시추방법의 미숙과 시추자료의 이해부족이 큰 원인일 수도 있다.

2.2.2 시추방법의 미숙

3) 시추주상도의 자료 미흡

암반절취사면의 안정성은 앞서 2.1.1에서 언급한 10가지의 요소들을 시추조사로서 충분히 조사하지 않고 암석강도의 분류와 RQD% 정도나 표시하곤한다. 그러나 시추주상도에 불연속면의 graphic logging을 하여서 불연속면의 특성에 관한 여러 중요한 자료들(불연속면의 경사각도, 면의 굴곡도 등)이 표시되어야하나 이에대한 발주자의 인식부족으로 인하여 조사가 안되는 경우가 많다.(그림 4) 불연속면의 경사각도 자료가 활용되는 예를들면, 시추시에는 시추코아가 회전되기 때문에 시추코아로서 불연속면들의 실제 경사방향(주향)은 알수 없으나 불연속면의 경사각도는 시추코아에서 파악이 되므로 시추조사와 아울러서 수행되는 주변 지표지질조사단계에서 파악되는 불연속면들중에서 시추코아에서의 경사각도와 비슷한 경사각도를 지니는 불연속면의 경사방향(주향)을 시추코아의 경사방향으로 추정할 수 있게한다. 물론 시추공내에서 직접 불연속면의 주향과 경사를 측정하기 위해서는 Borehole camera 나 Impression parker 등의 특수장비를 시추공내에 삽입하는 방법도 있으나 국내에서는 사용장비의 부족, 비용과다, 사업기간 등의 문제로 인하여 실무에 적용하기에는 많은 제약이 따른다.

4) 시추장비 및 시추기술

시추코어의 회수율과 코아상태의 좋고 나쁨은 암석자체의 특성에도 관련되나 시추장비상태(코아배럴, 비트, 시추장비의 종류 등), 채취기술에 따라서 큰 영향을 받으므로 시추장비의 일관된 기준이 필요하다. 절취사면의 하단 계획고 깊이까지 시추를 수행한다고하여도 시추장비 및 시추기술이 부족하여서 코아의 회수율이 낮으면 이러한 낮은 코아회수율로서는 암반사면 안정성 및 절취난이도를 해석하는데 충분히 신뢰성있는 자료로서 사용할 수 없게된다. 암석파쇄가 심하여 코아회수가 잘안되는 부분은 절취사면 안정성에 큰 영향을 줄수가 있으므로 그부분의 약한 충전물질을 회수하여서 공학적인 특성을 판단하는것이 중요한데, 낮은 코아회수율로 수행하는 열악한 시추방법으로는 이러한 파쇄대와 약한 충전 물질이 회수되지 못하고 물에 씻겨 없어지므로 합리적인 암반사면 안정성 평가에 반영될 수가 없다. 그러므로 중요한 사면안정성 분석을 위한 시추조사시에는 코아회수율이 거의 100%되도록 하는것에 필요하다. 좋은 코아회수율을 유지하기위해서는 다음과 같은 점에 유의 하여야한다. 적정규모의 시추장비 및 부대장비가 부족하면 시추코어 회수능력이 부족하게 되므로 적정한 시추장비의 투입이 요망되는데 추천되는 장비의 기준(안)은 다음과 같다.

● 시추 구경 :

시추구경으로서 BX size (4cm 구경의 시추코어)가 간혹 사용되는데 비용이 저렴하지만 시추시 진동을 인하여 코아의 파쇄가 심하고 코아회수율도 불량한데 비하여, NX size (5.4cm 구경의 시추코어)는 훨씬 양호한 상태의 시추코어 및 코아회수율도 좋으므로 이와같이 같은 암반상태라도 단지 BX 와 NX 시추 구경의 차이에 따라서 시추결과가 차이가 있으므로 암반상태를 추정하는데 혼란이 발생하므로 가능한 NX 규격으로 시행함이 바람직하다. 또한 암반상태를 나타내는 방법으로서 널리 사용되는 RQD % (암반지수)의 정의는 “총 시추길이에 대한 10cm이상되는 NX크기 코아의 총길이의 백분율”로서 NX 크기의 시추코어가 기준이므로 BX 코아에 의한 RQD %를 언급하는것은 타당치 않기 때문에 NX 크기가 표준이 되어야한다. (참고: 구태여 BX 와 NX 코아에 의한 RQD % 결과를 비교한다면 일반적으로 BX 가 NX 코아 보다도 RQD %가 적은 편이다).

● 코아배럴 :

코어를 채취하는데 사용하는 코아배럴중에서 싱글튜브 코아배럴 (Single-tube core barrel)은 파쇄가 적은 암반에서는 코아회수가 잘되나 파쇄가 심한 암반에서는 코아회수시 충격으로 인하여 코아회수가 나쁜데도 불구하고 파쇄와 풍화가 심한 암반에서도 시추 굴진속도를 높이기 위하여 싱글튜브 코아배럴을 사용하는 경우가 많아서 코아회수가 불량하게 된다. 그러므로 코아회수율을 높이기 위하여 코아회수시 충격이 비교적 적은 코아배럴을 사용하여야 하는데, 연암-경암에서는 더블튜브 코아배럴 (double-tube core-barrel)과 풍화암이나 파쇄가 심한 암반에서는 트리플튜브 코아배럴(triple-tube core-barrel)을 추천한다.

● 비트 :

강한 암석인 경우에는 일반적인 다이아몬드 비트를 사용하여도 코아회수율이 좋지만 파쇄가 심한 암반에서 시추굴진시 국내에서 보편적으로 사용하는 시추기 하부의 로드(rod)에 부착하는 메탈비트(metal bit)로서는 코아가 쉽게 부스러져서 (특히 직경이 작은 시추공은 코아회수율이 나쁘다) 코아회수율이 매우 나빠서 취약한 지역의 암석특성을 판단하기가 곤란하다. 그런데 암반사면은 취약한 지반에 의해서 붕괴되는 경우가 많으므로 이렇게 풍화와 균열이 심한 경우에는 임프레 다이아몬드 비트(impregnated diamond bit)를 사용하여서 코아를 가능한 최대회 회수하여야한다.

● 숙련된 채취기술 :

같은 장비를 사용하더라도 현장에서 시추장비를 다루는 시추기술자의 숙련도에 따라서 시추상태가 달라지므로 특히 중요한 사면의 안정성을 분석코자 할 경우에는 숙련된 시추기술자가 필요하다. 예를들면 시추기의 Spindle 의 회전속도를 암반특성에 맞게 조절하여서 코아회수율을 높일 수 있다.

● 단층점토에 의한 피압수의 존재 확인 :

국내에서 대규모 암절취사면의 붕괴는 점토가 두껍게 충전된 단층면을 따라서 활동파괴가 발생하는 경우가 대부분이다. 단층점토는 불투수층이므로 피압수가 단층점토의 상부에 발생하는 경우가 많다. 그러므로 단층점토의 깊이 및 규모를 판단하기 위해서는 시추로서 점토를 회수하는것이 바람직하나 종종 시추시 사용되는 물로 인하여 회수가 안되는 경우가 많으므로 최대의 코아회수율을 높이는 것과 아울러서 시추도중에 시추 깊이에 따른 지하수위의 변동사항을 주의깊게 관찰하여서 단층점토의 발달위치를 판단하는것이 중요하다.

● 철저한 관리·감독 :

암반상태에 부합되는 적절한 코아배럴이나 비트를 사용하여야 하나 장비사용에 따른 경제적인 문제점과 아울러서 시추굴진을 빨리 끝내기 위하여 실제로 현장에서 적용되지 않는 경우가 종종 있으므로 시추시 철저한 관리·감독이 필요하다.

● 시추 깊이 :

절취사면의 계획고 1m 하단까지 시추하는것을 원칙으로 한다. ^{8,9,11,12)}

2.2.3 주변 지표지질조사 자료 및 탄성파탐사자료와 병행하여 해석

1) 지표지질조사 병행

시추조사는 수 cm 의 작은 구경에 대한 조사자료이므로 비교적 수m 크기의 불연속면의 연속성등을 판단하기가 곤란한 등의 한계점을 지니고 있다. 그러므로 시추조사자료를 보완하기위하여 시추조사 인근지역에서의 지표지질조사를 병행하여서 지반상태를 최대한 합리적으로 판단하여야하나, 국내에서는 지표지질조사에 대한 인식부족과 아울러서 지표지질조사에 관한 적정품셈이 없어서 정밀한 지표지질조사가 시추조사와 함께 수행되지 않는 경우가 대부분이다.^{11,12)}

2) 현장 탄성파탐사 병행

시추조사는 국부적인 한지점에서의 조사자료이므로 시추공간의 불확실한 지반상태(풍화정도, 파쇄정도)의 깊이변화와 아울러서 적절한 굴착장비선정에 관한 판단을 하기 위하여 시추공과 병행하여서 탄성파탐사가 추천된다.^{11,12)} 국내의 지반에서 수행한 바에 따르면 기존 도로 주변에서 차량의 진동으로 인한 소음과 산악 지형에서는 지형보정상 문제점이 있으나 일반적으로 굴절법 현장탄성파 탐사방법(Seismic refraction survey)으로서 암반을 몇개의 층구조(토층, 리핑암층(풍화암 및 파쇄가 심한 연암), 발파암층)로 해석하여서 각 층의 탄성파속도와 층의 경계면 깊이를 해석하여 추정 지하단면도를 작성하는데, 각층간의 탄성파속도 변화는 다음과 같이 비교적 뚜렷한 편이고 경계면의 추정 깊이에 따른 오차는 $\pm 2m$ 이내이다.³⁾ 토층은 0.54-0.7km/sec; 리핑암은 0.8-1.0km/sec, 발파암은 1.50-2.5km/sec(연암반층) 과 3.0-4.0km/sec(경암반층)

3. 기본 및 실시설계 단계

지반조사는 현장에서의 지질조사와 실내·실외실험으로 이루어지며 이 두자료들을 실내에서 컴퓨터프로그램등으로 종합분석하고 기술자의 경험적인 판단도 가미하여서 절취난이도와 최적절취구배를 동시에 고려하여서 최종적으로 암절취사면을 설계하게 된다.

3.1 절취난이도

절취공사를 위하여 국내의 각발주처마다 암반분류(판정)기준이 다르다. 예를들면 시추조사시 지질기술자들이 사용하는 한국기술용역협회(표4)의 분류기준뿐만아니라 건설표준품셈(표2), 한국도로공사(표3), 대한주택공사, 한국토지개발공사에서 사용하는 분류기준들도 각각 다를뿐만아니라 분류기준도 절취공사의 목적에 부합되지 않으므로 조사, 설계, 감리자간에 분류기준의 사용상에 큰 혼란이 있으므로 합리적인 통일된 분류기준이 필요하다. 우선적으로 암반과 암석의 분류기준 및 분류용어를 각각 나누어서 서술하여야한다: 岩石(強度)判定(Rock material classification)과 岩盤判定(Rock mass classification).

3.1.1 굴착난이도 분류를 위한 岩盤 判定기준:

암석강도에만 근거하는 국내의 기존 절취난이도 판정방법은 암석강도뿐만아니라 파쇄정도(불연속면의 발달빈도)를 동시에 고려하여서 판정하여야 보다 굴착시공성에 부합되는 방법으로서 설계와 실제 시공성간의 괴리를 줄일 수 있다.²⁾(그림 5에서 Franklin(1976)이 제시한 바와 같이) 본 방법에 의한 암반분류는 현장 탄성파속도와 같은 개념이고(그림 6), 국내에서의 기존 분류방법들에서도 현장탄성파속도를 하나의 분류기준으로 역시 제시하고 있으나 비교적 고가의 현장 탄성파 탐사장비 때문에 종종 그 활용이 제한되곤한다..

기존분류방법과 본 분류방법(표5)에 의한 판정시에 큰 차이점은 다음 경우에 현저하다: 예를들면

● 연암중에서 파쇄가 매우 심하여 코아회수율이 매우 나쁘고 RQD%가 10% 이하인 경우에는 굴착 효율성 측면에서 리핑암반으로 고려하는것이 보다 합리적이다.

● 굴착난이도의 관점에서 발파암은 두종류로 나누는것이 현장에서의 발파 시공성에 비추어 볼때 합리적이다. 같은 발파암이라도 절리가 보통있으면 보통 화약량의 발파로서 굴착이되나 절리가 매우 드물면 절리를 발생시키면서 굴착하여야하므로 많은 화약량이 소요되므로 굴착비용의 관점에서볼때 절리가 보통인 연암반의 발파암과 절리가 드문 경암반의 발파암으로 나누길 추천한다.

3.1.2 굴착공사를 위한 岩石(強度)判定 기준:

일반적으로 노출된 암반면이 존재하면 육안과 지질해머로서, 또한 시추조사로서는 시추코어를 육안과 지질해머로서 정성적으로 판정하고 또한 시추시 TCR%(코어회수율)로서 전반적인 풍화정도(암석강도)의 분포를 추정한다. 그러나 암석 강도의 판정기준도 다음과 같은 많은 문제점을 내포하고 있으므로 보다 합리적으로 개선되어야 한다.(표6)

● 현장에서의 암석강도 판정방법이 객관적이고 정량화 (슈미트해머, 점하중강도, 급속흡수율 측정법을 사용) 되어야한다.

● 굴착공사의 목적에 부합되는 조건에서의 암석강도에 의한 판정:

국내에서 많은 기술자들이 암석강도는 단순히 암석특성에 따라서 결정되는 것으로 생각하지만 실험조건 (함수상태와 암석내의 이방성 조직)에 따라서 큰 영향을 받으므로 굴착공사의 시공성을 고려할때 엽리나 층리에 수직으로 하중을 가하면서 건조상태에서 실험한 암석강도로서 암석을 판정을 하여야한다.

3.1.3 굴착공사를 위한 파쇄정도의 판정기준:

노출된 암반면이 존재하면 육안으로 파쇄정도를 판정하고 시추조사로서는 시추코어 및 RQD%로서 판단한다.

3.1.4 시추자료로서 굴착난이도 경계를 결정하는 방법

지반상태(특히 풍화상태)가 항상 수평적으로 분포하는 것이 아니고 산구릉의 지형과 비슷하게 등근형태인 경우가 많고 또한 불규칙한 지반상태도 있으므로 최적의 수평선으로 굴착난이도를 결정하여야 하는데, 시추자료로서는 전반적인 지반의 변화상태를 판단하기가 곤란하나, (단 현장탄성파탐사가 병행하여 수행되면 개략적으로 판단하는데 도움이되긴한다) 어쩔수 없는 조사의 한계이다.

1) 점이적인 풍화단면:(그림 7a)

지표면 상부에는 토층과 풍화암이 있고 하부에는 암석만 존재하는 점이적인 풍화단면에서는 굴착 난이도를 시추자료의 RQD%와 TCR%을 감안하여서 굴착 효율성 (Rippability: 파쇄빈도와 암석강도로 결정)만으로 판단하여도 무방하다 (표 5)

2) 핵석풍화단면:(그림 7b)

그러나 지표면 하부에 암석이 풍화토/암으로 둘러싸인 핵석풍화단면에서는 굴착난이도를 굴착효율성 뿐만아니라 굴착 시공성(Workability)을 감안하여서 설계하여야한다. 굴착시공성이란, 토층내에 핵석이 군데군데 돌출하는 경우에 핵석이 집단적으로 모여서 분포하면 (TCR% > 20%) 그핵석들을 Group으로 묶어서 발파암반으로 분류하고, 핵석이 적은 암체로 산발적으로 돌출하면 (TCR% < 10-20 %) 전체적으로 리핑작업할때 작은 핵석은 포함되어서 굴착가능하므로 리핑암반으로 판정한다. (핵석이 도출되는 풍화단면에서는 육안으로 볼때 풍화토/암이 대부분 (80% 이상)) 이중에서 TCR% = 20-70% 이면 굴착난이도는 발파암이지만 절취구배는 발파암주변의 풍화암/토의 구배를 따르고 TCR% > 70-80% 이면 발파암으로서 암석구배를 따르는 것에 주의하여야 한다.

3.2 최적절취구배 설계

3.2.1 기존의 절취구배기준

시추에 의한자료로서 주로 암석강도에 근거하여서 연암-경암은 1:0.5(-1:0.3), 풍화암은 1:1로 일률적인 표준구배기준에 따라서 설계하는 경향이 있는데 이방법은 토공량을 결정하기 위한것이 주목적이고 암반사면에 미치는 불연속면의 위험요인을 실제로는 합리적으로 고려된것이 아니다.(표 7)

국내에서 사용되는 표준구배기준의 원본으로 추정되는 일본의 자료 뿐만아니라 기타 외국의 자료에서도 지질구조(불연속면)에 의한 위험요인 이 없는 경우에만 본 표준구배방법을 사용하여야 하고 암반이라도 1:1-1:1.2 이하의 낮은 구배로 조정할 수 있다는 단서가 부가되어 있으나 국내에서는 표준구배기준이 완벽한 설계기준인것으로 착각하고 무비판적으로 각종 절취사면의 설계시에 사용되고 있는 실정이다. 그러므로 이러한 불합리한 설계방법으로 인하여 대규모의 붕괴가 절취공사도중이나 절취공사가 완료된후에 자주 발생하는 요인이다.

3.2.2 추천되는 암반사면의 절취구배 설정기준

기존에 국내와 외국에서 사용되는 절취구배기준을 참고하고 또한 지반공학적인 개념을 보완하여서 본논문에서는 다음과 같이 추천되는 절취구배 설계방안을 제시하는데, 국내에서 일반적으로 사용되는 암석강도만에 의한 설계가 아니고 암반의 특성을 고려한 설계이다. 기존에 일반적으로 사용되는 표준사면구배방법과 금번에 추천되는 절취면설계기준과 굴착경계기준의 차이점은 표 8에 정리되어 있다.

1) 지반공학적인 관점

(1) 표준구배를 기준으로한 설계방안

① 불연속면의 특성을 고려

암반사면은 우선적으로 불연속면에 의해서 사면안정성이 큰 영향을 받으므로, 암반내에 발달하고 있는 불연속면의 발달분포를 시추조사와 주변 지표지질조사로서 파악한후에 신설 절취면에 불연속면이 미치는 위험가능성을 판단하여서 큰 사면붕괴를 방지할수 있는 정도로 안전한 절취구배를 설정한다.

불연속면에 의한 암반사면의 전반적인 안정성을 판단하기 위하여 평사투영망을 이용하는 방법이 널리 사용되는데 절리와 절취면의 방향, 절리의 마찰각의 3요소의 상관관계에 주안점을 둔 방법으로서 국내의 여러 현장에서 최근에 입증되었는데,^{11,12)} 사용방법과 기본원리는 그림 8_a에 있다 (보다 자세한 내용은 Hoek & Bray(1981)¹⁾의 Rock slope engineering 책을 참고하기 바란다).

평사투영해석법은 비교적 합리적이고 신속하게 수행될 수 있는 등의 장점이 있으나 현장조사자의 조사미숙이나 설계자의 현장감각 부족으로 인하여 현장조사자와 설계자간의 충분한 조사결과에 대한 개념을 공유하지 못할 경우에는 위험한 설계를 하기가 쉬우므로 주의를 요한다.

또한 우세한 절리를 분석하여서 조사자료를 평사투영망해석방법으로 암반사면안정성에 반영하는 경우에는 절리의 방향만 고려하지 말고 다음과 같이 절리의 10 가지 특성들을 종합적으로 감안하여야한다:

평사투영망 해석법에의한 암반사면의 안정성분석시에는 절리의 방향을 단순히 극점으로 표시하므로 같은 절리의 방향이라도 그밖의 불연속면들의 특성에 관한 제반요소(절리의 연속성 등)가 고려되지 못하고 절리 방향만을 고려하여서 절취구배를 설계하게 되므로 실제로 암반사면의 안정성을 종합적으로 판단하지 못하고 오산을 하는 경우가 종종 발생하므로 .

● 중요도 선택:

평사투영망을 이용한 암반사면의 해석시는 사면안정에 중요한 역할을 하는 절리의 2 요소(절리 방향, 마찰각)를 우선적으로 고려한다. 절리방향은 극점, 절개면 방향은 대원으로 표시하는데 작도 방법과 기본원리는 그림 8^{a)}에 있다 (보다 자세한 내용은 Hoek & Bray(1981)¹⁾의 Rock slope engineering 책을 참고하기 바란다. 절리의 방향이 제일 중요하고, 그다음이 마찰각이고 그밖의 8요소들은 중요도가 낮다. 그러나 현장조건에 따라서 비중이 낮은 요인이 제일 중요하고, 제일 중요한 절리의 방향이 비중이 낮게 고려되는 경우도 있다.

● 중요도 표시가 미흡:

평사투영망에서는 불연속면의 발달방향만 일률적으로 각각 한점을 표시하기 때문에 불연속면의 중요도가 고려안되므로 실제로 더 위험한 불연속면을 파악할 수가 없다. 예를들면, 연속성이 긴 불연속면은 연속성이 짧은 절리보다도 더 위험하고, 불연속면의 틈새에 충전물질이 두껍게 끼어 있으면, 지하수가 흐르면 더 위험하게 고려하여야 하나 이러한 중요도의 차이점을 고려하지 못하는 한계성이 있다.^{9,15)}

이러한 장·단점을 충분히 이해하고 활용하면 현장에서 초기의 정성적인 사면 안정성분석시에 매우 편리한 방법이다.^{6,7)} 그러나 설계자가 현장의 지반상태에 대한 충분한 감각없이 현장기술자가 측정된 절리의 방향자료만을 넘겨받아서 평사투영망에 컴퓨터프로그램등으로 단순히 극점으로 도식하여 안정성분석을 수행하면 현장상태를 오판하여서 불합리하거나 위험한 설계를 하기가 쉽다.

● 위험지역내의 극점표시 해석:

평면파괴와 전도파괴 위험지역에 극점들이 동시에 모두 찍힌 경우를 가정해볼때 이게 무슨 의미일까? 절리방향성 이외의 그밖의 9 개요소에 의한 사면안정성 영향 (그림4)도 충분히 종합적으로 고려하여서 실제 현장에 맞는 올바른 사면 안정성 판단을 하여야 한다. 예를들면 암괴가 판상이면 실제로는 평면 파괴가 우세하고(물론 뒷절리에 지하수압이 발생하면 중요절리로서 역할일수도 있지만) 입상이면 전도파괴가 우세하다는 것을 나타내는 것으로 해석할수 있도록, 극점자체의 방향성만으로의 해석에 억매이지 않아야 한다. 절리의 방향성에 의한 평사투영법은 암반사면 안정성을 개략적(정량적)으로, 신속히 판단하는 하나의 방법이지 완벽한 수단은 아니기 때문이다.

● 실제 적용사례:

같은 절리의 극점으로 표시되더라도 절리의 연속성이 길면 절리방향을 고려하고 연속성이 짧으면 절리방향을 무시하고 절취구배를 설계하고⁵⁾ 단층점토가 충전된 경우에는 단층방향을 고려한 절취구배설계⁹⁾가 서울 인근에서 실제로 적용되고 있다.⁹⁾

② 암반의 파쇄정도를 고려

암반의 파쇄가 심하면 불연속면의 발달방향에 의해서 뿐만아니라, 토층과 같이 원형 파괴 할 가능성도 있으므로 암반의 파쇄가 많은 암반은 1:0.7-1:0.8 로 구배를 보다 완만하게 할 필요가 있는데, 암반의 파쇄정도는 RQD% (지반계수)와 TCR% (코아회수율)로 판단하였다. (Little, 1965; Deere & Patton, 1971) 시추조사결과로서 판단할때 암반의 파쇄정도가 균일하지 않고 국부적으로 변화가 심할 경우에는 전반적인 암반의 거동상태를 고려하여서 설계하여야한다.

상기와 같이 ①불연속면의 특성과 ② 암반의 파쇄정도를 동시에 고려하여서 보다 낮은 절취구배를 1:0.5-1:1 의 범위내에서 최종적으로 선택하는 방법이다.

파쇄정도가 극심한 연암반, 풍화암반은 토층과 같이 원형파괴 가능성도 있으므로 정량적인 사면안정성 수치해석을 하여야한다. 또한 풍화암은 풍화암내에 완전히 풍화되어서 없어지지않고 남아있는 잔류절리 (Relic joint)를 따라서 붕괴될 수도 있으므로 암반 사면과 같이 절리를 따라서 활동가능성도 검토하여서 상기의 두검토방안 중에서 가장 불리한 경우에 부합되도록 절취사면을 설계하는것이 합리적인 방법이다. 또한 풍화암은 지표면에 일단 노출되면 쉽게 풍화가 진행되어서 지반이 약해지는 특성이 있으므로 노출된 풍화암의 표면이 충분히 피복되지 않는 경우에는 현재의 풍화암의 지반계수보다도 작은 수치를 풍화인내시험등으로 추정하여서 적용하거나 또는 안전율 계산시에 안전율을 어느 정도 높여서 계산하여야 장기적으로 풍화암 절취사면의 안정성이 유지되리라 판단된다.

앞서 언급한 최적절취구배가 지니는 의미와 한계를 충분히 이해할 필요가 있다. 최적 절취구배란 토공량을 최소한도로 줄이면서 또한 사면을 비교적 안전하게 유지하려는 목적에서 결정하는 절취구배이므로 가장 우세한 절리의 방향에 따라서 설계한것이다. 그러므로 부분적으로 미약하게 발달하는 절리에 의한 위험요인은 최종 절취면상에서 부분적으로 존재할 수있다. 또한 한정된 갯수의 시추조사와 주변에서의 제한된 노두에서의 지표지질조사로서 절취대상지역의 지질상태를 완벽하게 파악하는것은 무리일 뿐만아니라, (대절취면의 경우는 절취에 의한 응력이완의 정도가 크고), 일반적으로 법면전체에 걸쳐서 균일한 지질이 아니고 부분적으로 단층이나 붕괴요인을 유발하는 지질요인을 수반하는 경우가 많으므로 본 논문에서 제시하는 최적절취구배는 100% 인전한 완벽한 설계는 아니다. 그러므로 차후 시공시 굴착면 지질조사를 재차 실시하여서 원래의 지질조사와의 큰오차로 인한 위험요소가 있을 경우에는 감리자나 감독관의 승인후 절취구배를 변경하거나 록볼트등으로 보강대책을 수립할수도 있다는 사항에 유의하여야한다.

굴착후 필요한 록볼트등의 보강량은 원래는 최종굴착면에서 판단하여야하나 최종 굴착면에서 지질상태를 확인하는 감리단계에서 설계변경이 발주처의 제도상 경직되어 있다고 판단되면 시추조사와 주변 지표지질조사에 의한 절취구배 설계시에 부분적인 위험요인이 예상되는 경우에는 자세한 위치 및 소요보강량은 실제로 최종굴착면에서 확인하여야하나 추정되는 록볼트의 물량을 지질상태로서 대체적으로 추정하여 미리 예산을 세워두는것도 현장에서 보강을 신속히 취할 수 있는 방안이다.

(2) 수치계산에 의한 안정성 확보방안

중요한 절취사면인 경우에는 표준구배방법으로 결정한 절취구배에 대하여 수치적인 안전율 검토를 수행하여 한다. 절취면의 하부 암반에 대한 안정성 평가를 위한 수치계산에 사용되는 입력자료는,

① 위험절리가 관찰되지 않는 암반에서 파쇄정도에 따른 지반강도의 변화는 RMR%분류에 따라서 암반을 분류한후에 그에 대응되는 C 와 ϕ 값을 구하는데 본 논문에서 제안하는 표준구배방법에 따른 값은 표 8a에서 보여진다.

② 위험절리가 뚜렷하면 불연속면의 전단강도를 암반역학적인 직접전단시험으로서 측정하는 경우에 주의할 시험조건은 다음과 같다: 현장여건에 맞는 지하수조건, 전단시험방향과 절리면이 평행, 암반절리면에 가해지는 상재하중과 비슷한 수직하중의 범위, 절리면 표면의 굴곡정도가 이방성인 경우에는 암괴가 붕괴되는 방향으로, 암반이 이미 붕괴한 경우에는 최대전단강도 보다도 낮은 잔류전단강도를 측정하여야한다.

또한 보통 NX 정도크기의 시료로서 시험하므로 실제 긴 절리면의 굴곡도로서 시험한 수치보다도 클수가 있고(Scale effect), 절리의 연속성이 작아서 절리가 끊어지는 경우에는 실제로는 점착력 (C: Cohesion)이 존재할수 있으므로 전단강도가 증가하고, 절리틈새가 벌어진 경우에는 시험치보다도 더낮은 잔류전단강도수치를 사용하여야하는등의 이러한 한계점들 때문에 시험결과를 설계에 반영하는 경우에는 현장의 여건도 충분히 고려하여서 시험수치의 가감정도를 신중히 판단하여야 한다. 절리면의 마찰각(ϕ : Friction angle)은 현장에서 Tilt test 나 Profile gauge를 사용하여서 개략적으로 추정할 수도 있다.

절취면의 상부 토층에 대한 안정성 평가를 위한 수치계산에 사용되는 입력자료는, 토질역학적인 삼축압축시험이나 직접전단시험으로서 산출한다. 상기 지반계수의 시험자료들을 사용하여서 지하수 상태도 고려하여서 한계평행법으로 가상 활동파괴면에 대한 수치적인 토층과 암반사면의 안전율을 계산하여 평가한다.

2) 그밖의 설계시 고려사항

(1) 지반의 이완과 굴착방법:

- 굴착으로 인한 상재하중을 제거함으로써 지형변경에 따른 야기되는 잔류응력의 변화에 따른 지반의 이완효과도 있으나 어느정도로 암반사면의 안정성에 영향을 미치는가를 정량적으로 수치화하여 설계에 반영하기가 현재로서는 곤란한 요소이다.

- 굴착공사시 발파로 인하여 지반이 이완되므로 현장의 지반상태에 따라서 최종 절취면의 이완을 최소화하는 굴착공법으로 설계하여야한다.

(2) 주변여건 및 시공성: 앞서 언급한 지반공학적인 관점이외에도, 자연조건 (식생에 의한 위해 가능성), 주변환경 (주택가 밀집지역인가 아닌가), 시공성 (주택가에서의 소음, 굴착장비와 보강방법의 접근성가능성)을 모두 종합적으로 고려하여서 가장 안전하고 경제적인 설계를 하여야한다.

(3) 소단: 소단은 공사 완료후에 유지, 관리, 보수 측면에서 사용하려는 목적이려면 2m폭 이상으로 정하는것이 타당하다고 판단된다.

4. 감리단계

감리단계에서 수행하여야 하는 사항 및 주의사항은 다음과 같다.

4.1 절취면의 안정성 판단

4.1.1 절취면에서의 지질조사

1) 서론

최종굴착면에서의 지질조사로서, 일반적으로 절취사면을 설계시에 시추지질조사자료로서 기본설계와 실시설계를 이행함으로써 더이상의 지질조사가 필요 없고 다만 기존에 설계대로 굴착시공을 수행하였는가에 대한 여부만을 발주청의 감독관과 감리단계에서 감독하는 경향이 있다. 그러나 국부적인 몇 地點에서 수행한 지질조사자료로서는 복잡한 지반의 변화(암석의 풍화 상태, 불연속면의 분포 및 발달특성)를 충분히 판단하는것은 불가능하므로 그 시추자료에 근거하여서 작성된 기본 및 실시설계는 애당초 미흡할 수밖에 없다는 한계성을 인식하고, 설계단계에서 가정한 지반상태가 최종굴착면에서의 지반상태와 같은가 다른가를 다시 확인(Face mapping)하여서 만약 기존 설계방법이 위험하다고 판단되면 재굴착하거나 적절한 보완대책(Feed back)을 수립하는것이 필요하다.(그림 1) 그러나 이단계에서의 지질조사가 현장에서의 감독자와 감리자의 이해부족으로 인하여 간과되고 있는 경우가 많다.

기존의 절취면의 안정성을 분석하고 보강대책을 세우는 경우에도 본 절취면 지질조사방법과 같이 직접 수행하면된다. 그러나 절취면 지질조사의 경우에 시추조사를 수행하는 경우가 간혹 있는데 이런것은 특별한 경우가 아니면 불필요한 낭비이다. 절취면상에서 3차원적으로 지질상태를 판단할수있는데 무엇때문에 시추조사가 더 필요한것인가?

최근에는 절취면 공사를 끝낸후에 조경목적에서 절취면 표면에 보편적으로 녹화처리를 수행하므로 차후에 절취면상에서의 지질상태를 판단할수가 없는 경우가 많다. 그러므로 공사가 끝난후 절취사면의 장기적인 유지·보수시에 기본자료로서 활용할수 있도록 최종 절취면상에서 수행한 정밀 지질조사 자료를 작성·보관케하여야한다.

2) 조사방법

앞서 서술한 주변 지표지질조사 항목과 동일하다.

3) 보강대책

현장지질조사와 평사투영해석법에 의해서 불안정하다고 판단된 암반에 대해서는 현장조건에서 작업이 가능한 방법을 위험암석을 털어버리거나, 펜스설치, 절개면의 구배를 낮추거나, 사면의 높이를 낮추거나, 지하수를 제거, 시멘트 지지벽 설치, Rock-bolt 및 Anchor 시공중에서 선택하여야 한다. 개략적인 보강대책은 절취면의 정면 및 측면모형을 그려보아서 전반적이고 을 계획하는 데, 이 단계에서도 역시 평사투영해석법은 매우 유용한 수단으로서 사용된다. (그림 8b). 예를들면 절취면 각도를 줄여서 Daylight envelope를 작게하거나, 절개면 주향을 좌우로 변경시키거나, 록볼트나 배수관으로 마찰력 증대시키는 효과로서 위험가능성을 벗어나게 한다.

(1) 재절취, 록볼트 (앵커 시공) :

최종 굴착면에서 정밀지질조사결과로서 뚜렷하게 위험한 절리나 단층으로 인하여 절취면이 불안하다고 판단되고 현장 여건상 재굴착하여도 토지보상과 발파등으로 인한 문제가 없다고 판단되면 재절취하는 방안도 강구할 수 있다. 재굴착하는 경우에는 굴착장비 (포크레인 등)의 접근 가능성을 고려하여서 절취구배나 소단폭을 원래의 표준구배 방법 보다도 충분히 확보하도록 설계하는 것이 필요하다.^{7,15)}

보강대책중 위험암괴를 털어내는 경우는 암괴가 Key block 으로서 뒷부분 암석까지 더 불안정하게 할 염려가 있을 경우는 직접보강을 하는 것이 더 효과적이므로 충분한 연쇄효과도 고려하여야 한다. 록볼트나 앵커등의 직접보강 시공이 불가피하다고 판단되면 위험암괴에 대하여서 한계평형법 (Limit equilibrium method)으로서 수치적으로 안전율 (Factor of safety)을 계산한다. (그림 9) 위험암괴가 적은 규모이면 기존의 도표를 사용하여서 간편하게 소요 보강량을 산출할수도 있다. 록볼트(앵커)의 설계시에 다음사항에 유의하여야한다: 위험암괴의 규모와 부위에 따라서 적절한 Random-type rock bolt 와 Pattern (System)-type rock bolt의 선택, 록볼트의 좌우와 상하 근입방향, 소요구경과 길이, Tension-type 와 Untension-type 로 구별, Tension-mode 와 Shear-mode, 록볼트의 장기적인 부식정도를 고려, 천공장비의 시공성과 경제성 등.

2) 배수관 설치, 식생 :

암반절취면에 쏫크리트를 타설하면 배수관(공)은 Patten (System)-type으로 시공하지 말고 물이 유출되는 불연속면을 따라서 Random-type으로 시공하는것이 필요하다. (경부고속도로 옥천부근에서 대규모로 붕괴사례) 수직절리가 우세하고 토층이 얇은 곳에서는 아카시아 같은 나무는 제거함이 사면안정 측면에서 볼때 바람직하다.

3) 능형망 (Wire-mesh) 과 Wire-rope, Concrete wall :

잔돌이 많은 경우에는 Wire-mesh가 효과적이고 Wire-rope 는 큰돌이 불안할 경우이다. 강원도 지역에서는 Wire-rope가 최근에 많이 사용되지만 실제로 위험하지 않는데 불필요하게 Wire-rope를 과도하게 사용하는 경우가 있으므로 시공전에 정밀지질조사 및 분석이 우선하여야한다. 암석의 차별풍화(특히 퇴적암인 경우)로 인하여 암사면 하부에 여굴이 발생한 경우에는 취약한 하부를 Concrete wall로 보강할 경우에 효과적인 방법이다.^{13,14)}

4.2. 절취면상에서의 암판정

최종굴착면에서 암판정을 수행할 경우에 감독자(감리자)와 시공자간에 분쟁이 종종 발생하므로 토공물량의 산정을 위한 합리적인 암판정방법이 필요하다. 기존의 암판정 기준이 불합리하고 미흡한 점들이 많은데, 무엇보다도 암판정방법은 岩石(強度) 判定 방법과 岩盤 判定 방법으로 나누어서 고려하여야 암판정에 따른 혼돈을 방지 할 수 있음을 이해하여야 한다.

4.2.1 굴착난이도를 현장에서 적용하는 방법

현장탄성파탐사방법이 굴착난이도 경계를 분류하는 비교적 합리적인 방법이다.(그림 6) 그러나 현장탄성파탐사가 용이하지 않은 경우에는 차선책으로 암반절취면상에서 암석강도와 절리발달빈도를 다음과 같이 측정한다.

● 점이적인 풍화단면(그림 7a)에서는 작업의 효율성을 판단하기 위하여

1) 암석강도를 우선적으로 고려: (岩石(強度)判定)

암절취면에서 2-3m 간격으로 슈미트해머로 타격하여 풍화암, 연암, 경암에 상응하는 슈미트해머수치를 서로 연결하여서 암석의 강도분포도를 작성한다. 여기서 파쇄정도를 고려하지 않는 암석자체로 볼때 리핑가능한 암석강도는 건조상태일때 슈미트해머수치가 25 (화강암의 압축강도는 350-600kg/cm²) 이하의 암석이고 그이상은 연암이상의 발파 암석이다. 건설표준품셈의 『암분류기준』(표2(b))에서 제안하는 연암의 압축강도 하한선은 700kg/cm²(SHV=약30-40)로서 굴착난이도를 위한 풍화암과 연암(화강암의 경우)의 판정기준으로서 너무 높은 기준으로 판단된다.

2) 절리발달빈도: 굴착작업의 효율성(능률)도 고려:

슈미트해머수치가 20-25 인 경우의 비교적 강도가 센 풍화암은 암석이 손힘으로 어렵게 깨질정도의 풍화암석인 경우인데, 암반내에 절리의 발달이 많은 편이면 리핑암이나, 절리의 발달이 미약하면 리핑작업의 효율(능률)이 떨어지므로 발파로 굴착작업이 요망된다. 또한 슈미트해머수치가 25-35 인 비교적 강도가 약한 연암이라도 파쇄가 극심하면(3-5cm 절리발달빈도) 굴착시공 가능상태를 고려 하여서 리핑암으로 간주되어야 한다.

일반적으로 발파암은 슈미트해머수치가 25 이상인 연암 (절리가 보통 있는 경우)이상에서 적용되고, 발파암중에서 특별히 강도가 센 슈미트해머수치가 48-50 이상(상관되는 일축압축강도는 $1200-1250\text{kg/cm}^2$ 이상)되는 경우에는 보통 암/경암으로 분류된다.

● 핵석풍화단면(그림 7b)에서는

3) 굴착작업의 施工性도 역시 고려: (岩盤判定)

지표면 하부에 암석이 풍화토/암으로 둘러쌓인 핵석풍화 절취면인 경우에는 현장에서 암판정하기에 가장 곤란한 경우로서, 굴착난이도를 굴착효율성 뿐만아니라 굴착 시공성(Workability)을 감안하여서 설계하여야하는데 앞의 3.1.4장을 설명을 참고하기 바란다.

4.3 시공상태의 확인 및 계측

우선 설계된 도면대로 굴착 시공되고 있는가를 확인하고, 또한 과도한 발파로 인하여 암반을 이완시키지 않는가와 록볼트와 배수공등의 보강공사의 시공상태도 감독하고, 중요한 사면은 장기적으로 안정성을 판단하기위하여 계측기 (경사계, 수압계 등)를 설치하는 방안도 강구할 수 있다.

5. 암석종류별 절취사면의 특성

화성암, 퇴적암 과 변성암들은 각각 암반내에 발달하는 불연속면의 특성과 풍화 특성이 다양하게 변화하므로 이에따라서 암반절취사면에 미치는 영향이 각 암석종류(화성암, 퇴적암, 변성암)에 따라서 큰 차이가 있다. (그림 10) 그러므로 지질조사시에 중요하게 관찰하여야하는 사항들이 암석 종류별로 다르므로 앞서 서술한 지질조사, 설계, 감리방법을 일률적으로 적용하지말고 암석종류별 지반특성에 적합하게 적용하여야한다. 암종별 국내의 분포지역, 암판정시 주의점, 불연속면의 발달 특성, 사면안정성 평가시 주의점에 대하여 표 9 에 정리되어 있다.

6. 결론 및 제안

1. 기본 및 실시설계를 위한 지질조사방법이 미흡하고 절취공사 도중과 최종절취 공사후의 암반절취면에서의 정밀지질조사방법및 조사제도도 미흡하므로 조사, 설계, 감리시에 부합되고 상호 보완할 수 있는 지질조사 방안이 강구되어야한다.

2. 현재 한국토지개발공사, 한국도로공사, 대한주택공사에서 사용되는 표준구배는 사면안정성을 보다 합리적으로 고려한 방법으로 개선되어야하고, 암판정 방법도 사용자의 혼돈을 방지하기 위하여 암석(강도)판정과 암반판정으로 나누어서 서술되고 분류되어야 한다.

3. 이를 위하여 정밀 조사한후에 위험불연속면의 존재여부를 파악하여 지반공학적인 관점에서 사면안정성을 검토한 후에 최적절취구배를 설계하여야 절취사면의 장기적인 안정성 뿐만아니라 붕괴시 피해를 줄일수 있고, 또한 암석강도 뿐만아니라 R.Q.D.% 등으로 불연속면의 발달빈도도 파악하여서 절취난이도 설계를 하여야 토공설계와 시공간의 괴리와 아울러서 감독자(감리자)와 시공자간의 암판정에 따른 분쟁을 줄일수 있다.

4. 앞으로 신설되는 절취사면은 기존의 표준구배를 무조건적으로 적용하지말고 본논문에 제시한 방법대로 불연속면의 특성뿐만아니라 암석종류에 따른 지질특성도 고려하여서 지반공학적인 방법을 적용하여서 합리적으로 설계하면 장기적으로 보다 안전한 절취사면을 시공할 수 있으리라 판단된다.

5. 지질조사시에 중요하게 관찰하여야하는 사항들이 암석 종류별로 다르므로 지질조사, 설계, 감리방법을 일률적으로 적용하지말고 암석종류별 지반특성에 적합하게 적용하여야한다.

감사의 글

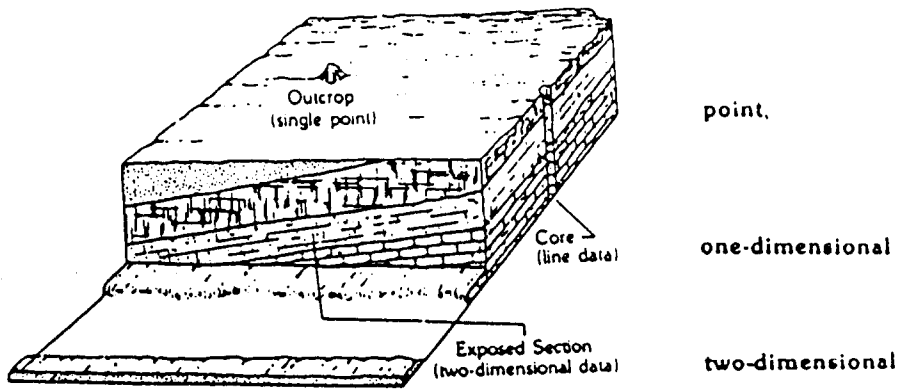
본 연구결과와 관련되어서 현장에서 절취사면의 안정성을 분석할 수 있도록 도와주셨던 감독관청과 시공사 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. Hoek & Bray (1981) “ Rock slope engineering” , 3rd ed., The Institution of Mining and Metallurgy, pp.358.
2. Japan Society of Engineering Geology(1992), Rock Mass Classification in Japan, 51 pp.
3. Lee, S.G. (1990). “Seismic refraction surveys for predicting the intensity and depth of weathering and fracturing in granitic masses” , (From F.G.Bell, M.G.Culshaw & J.C. Cripps (eds.). “Field Testing in Engineering Geology”, Geological Society Engineering Geology Special Publication No.6, P.241-256.
4. Waltham, A.C. (1994). “Foundations of engineering geology” , Blackie Academic & Professional, pp.88.
5. 이재현 외 (1994.9). “대불공단 절취사면 보강공사 및 부대공사 설계용역 보고서” , 한국토지개발공사, 천일지오컨설턴트, pp.150.
6. 이송 외(1995.3). “강촌 유림콘도미니엄 암반사면 안전진단 연구보고서” , 유림통상 pp.144.
7. 이송 외(1995.4). “ 서울외곽 순환 고속도로 제 4공구 절취사면 안전진단 보고서” , 한국도로공사, 현대산업개발, PP.90.
8. 이수곤(1991.11). “암반사면 안정성 평가를 위한 평사투영 해석법 적용상의 문제점” , 한국지반공학회 사면안정위원회 91' 학술발표회, pp.376-408.

9. 이수곤 (1993.11). “서울 일원의 화강암과 편마암 절취사면의 안정성연구”, 한국지반공학회 사면안정위원회 학술발표회 제2집, pp.167-189.
10. 이수곤 (1994). 암석과 불연속면의 분류 및 공학적 특성
토목시공 고등기술강좌 (Series III), 대한토목학회, pp.253-338.
11. 이수곤 외 (1991.3). “경부고속도로 (수원-남이간) 확장공사 실시설계를 위한 토목지질 조사보고서”, 한국동력자원연구소, pp.676.
12. 이수곤 외 (1991.6). “영동고속도로 (신갈-원주간) 확장공사 실시설계를 위한 토목지질 조사보고서”, 한국동력자원연구소, pp.901.
13. 이정배, 이수곤 (1995.6). “퇴적암지대에서의 암반사면안정 특성”, 지반공학회 사면분과 위원회 95' 학술발표회 제4집.
14. 이정배외 (1994.11). “뒤벼리 낙석 위험지 안전진단 및 기본설계 보고서”, 진주시, 동일기술공사, pp.117.
15. 허용환 외 (1995.6). “대절개 암반 절취사면의 안정성 해석 및 보강방법에 관한 사례연구”, 지반공학회 사면분과 위원회 95' 학술발표회 제4집.

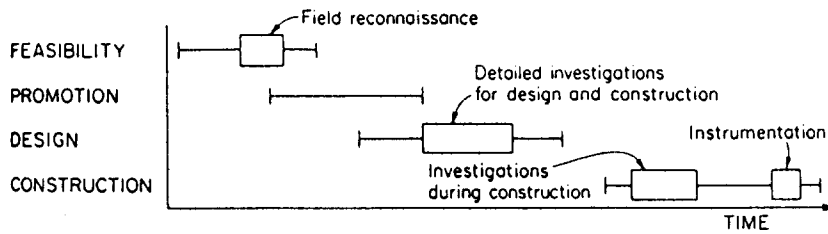
그림 1 지질조사의 종류 및 조사단계



point.

one-dimensional

two-dimensional



FEASIBILITY

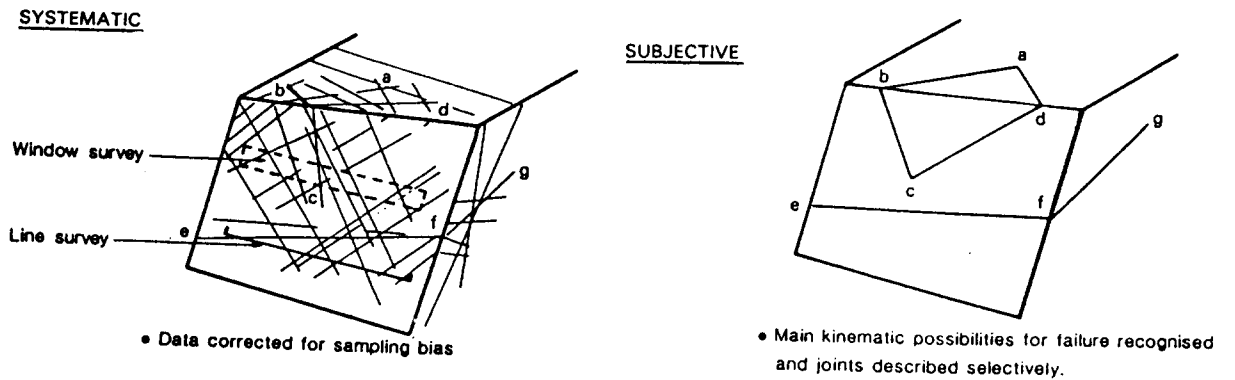
PROMOTION

DESIGN

CONSTRUCTION

TIME

그림 2 노출된 암반면에서의 불연속면 조사방법



SYSTEMATIC

SUBJECTIVE

Window survey

Line survey

• Data corrected for sampling bias

• Main kinematic possibilities for failure recognised and joints described selectively.

표 1. 하부 암반에서 풍화가 심한 파쇄대(핵석 형태)가 관찰되는 사례:
(암석분류보다도 암반분류에 중점을 두고 설계하여야한다.)

이상한 시추결과: 파쇄대 또는 핵석(또는 암맥)이 나온다.

PROJECT	지하철 5호선 도심구간 5-16공구 실시설계			HOLE NO.	BH - 11	
LOCATION	장충동 장충입암실	COORDINATES	E 200753 N 451165	ELEVATION	145.303 m	
ANGLE	Vertical	HOLE DIA.	NX	C.W.L.	-8.3 m	
DRAILLER	TBM-200 형	INSPECTOR	K. S. Lee	INSPECTOR	I. K. LEE	
DEPTH (m)	THICKNESS (m)	SYMBOLIC LOG	DESCRIPTION OF MATERIAL	FRACTURE LOG (T.C.N.O.R.S.)	PERMEABILITY (m ²)	REMARKS (S.P.T.)
8.4	2.4	NX	회갈암 풍화대 (c.v. biotite granite) Dark brown silty sandy medium dense.	D1		
2.8	3.4	NX	회갈암 풍화대 (H.V. biotite granite) Dark grayish brown fine grained. Very dense. Very weak.	50/7	$k=3.01 \times 10^{-4}$	
6.2	4.0		회갈암 견암 (H.V. biotite granite) Dark brown fine to coarse mainly feldspar homogenous by water. Moderately strong. 6.1 Highly fractured by horizontal joints with weathered zone. 9.0 Fractured by joints with 85° and various directions.	21/8	$k=3.21 \times 10^{-4}$	
11.0	1.6		회갈암 견암 (S.V. biotite granite) Gray fine grained acidic rock. Strong. 11.0 Fractured by 4-axis joint 30° - 70° crossed.	58/9	$k=3.07 \times 10^{-4}$	
12.6	3.4		회갈암 풍화대 (H.V. biotite granite) Milky gray medium grained quartz feldspar. Very dense. Weak. 12.6 Slice.	50/3		
16.0				50/2		

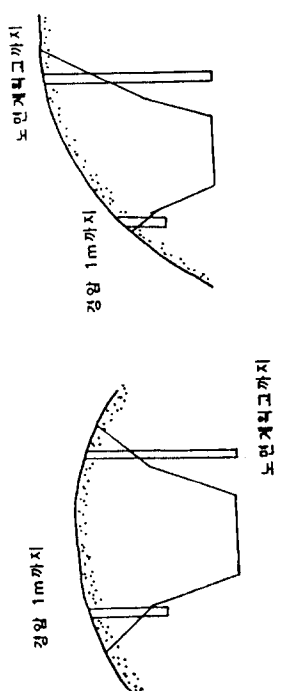
HOLE NO.	BH - 11					
DEPTH (m)	THICKNESS (m)	SYMBOLIC LOG	DESCRIPTION OF MATERIAL	FRACTURE LOG (T.C.N.O.R.S.)	PERMEABILITY (m ²)	REMARKS (S.P.T.)
17.5	1.5		회갈암 견암 (S.V. biotite granite) Pinkish coarse. Hard. Strong. 17.0 Fractured by crossed joints.	17/8		
19.0	1.5		회갈암 견암 (H.V. biotite granite) Milky gray medium grained Hard. Moderately strong. 17.5 Slice.	18/8		
22.0	3.0		회갈암 견암 (S.V. biotite granite) Milky gray coarse granular mainly feldspar quartz. Hard. Strong. 19.0 Thin slab fractured by joint.	38/8		
22.0	3.0		회갈암 풍화대 (H.V. biotite granite) Brown coarse granular. Very dense. Weak. 22.0 Slice.	50/4		
25.0	1.0		회갈암 견암 (H.V. biotite granite) Moderately strong.	100/26		
26.0	4.1		회갈암 견암 (S.V. biotite granite) Milky gray coarse granular mainly feldspar quartz. Hard. Strong. 26.0 Fractured by vertical/horizontal joint. 27.1 Joint 80°, planar, calcite coated. 27.2 Joints 75°, 80°, irr. stained, sp:30cm. 28.0 Joint 75°, irr. calcite coated, sp:15, 20cm. 28.2 2-axis joint 75°, 30° crossed, smooth calcite coated.	88/8		
30.6	0.5		회갈암 견암 (H.V. biotite granite) Moderately strong.	67/13		
35.0	1.55		회갈암 견암 (S.V. biotite granite) Deeply discolored coarse granular mainly feldspar quartz. Hard. Strong. 30.0 Fractured by joint 80°, irr. clean, sp:2, 2.4, 4cm. 31.7 Horizontal joints, sp:1.12, 2.1, 2.3cm. 31.8 Joint 75°, smooth. 32.0 2-axis joint 70° crossed, irr. clean, sp:2, 2.4, 4cm. 32.4 2-axis joint 75° crossed, planar, clean, sp:4cm. 32.8 Joint 80°, irr. clean, sp:30cm.	58/19		

C-11-1 (Rev. 4.11) 1.0 (10/27) (주) 중앙기술개발공사

(주) 중앙기술개발공사

A. 횡방향

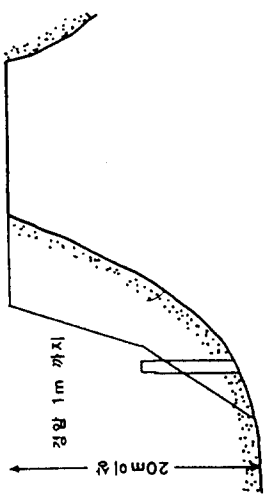
(1) 새로운 산지를 집하한 경우(양쪽 집하면이 생긴다)



(1-1) 양쪽 집하면이 20m 이상

(1-2) 한쪽 집하면만 20m 이상

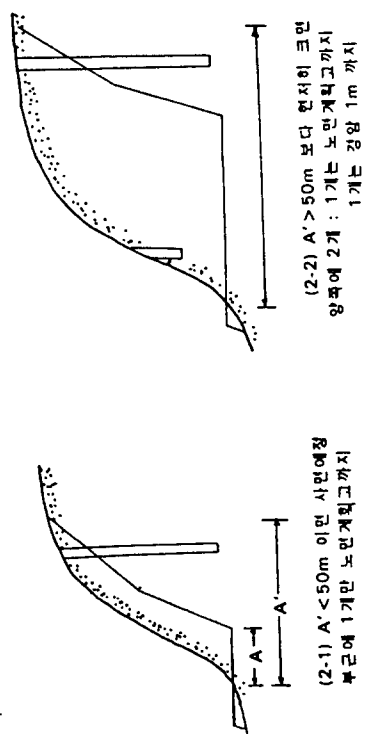
(3) 기존 집하면이 노출되어 있는 경우 : 1개소



(4) : (3)에 준한다.



(5) : (3)에 준한다.

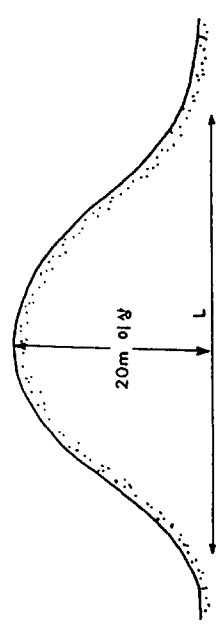


(2-1) A' < 50m 이면 사면에정 부근에 1개만 노면계곡까지

(2-2) A' > 50m 보다 현저히 크면 양쪽에 2개 : 1개는 노면계곡까지 1개는 경암 1m 까지

B. 종방향

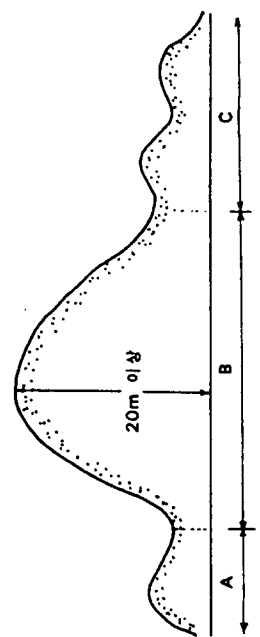
(6)



시추개소	시추간격
(a) 1	약 100m
(b) 2	~200m
(c) 3	~300m
(d) 4 이상	~350m 이상

L : 2 200m
~500m
~1000m
1000m 이상

(7) 여러 능선이 같이 있을 때



: B 구간만 그려

그림 3. 신설 대절토 사면의 횡방향과 종방향에서의 시추공의 갯수나 위치 및 시추 깊이

그림 4. 시추조사시에 필요한 조사항목

(가능한 10가지 요소포함)

1. Orientation
2. Spacing
3. Persistence
4. Roughness
5. Wall strength
6. Aperture
7. Filling
8. Seepage
9. Number of sets
10. Block size

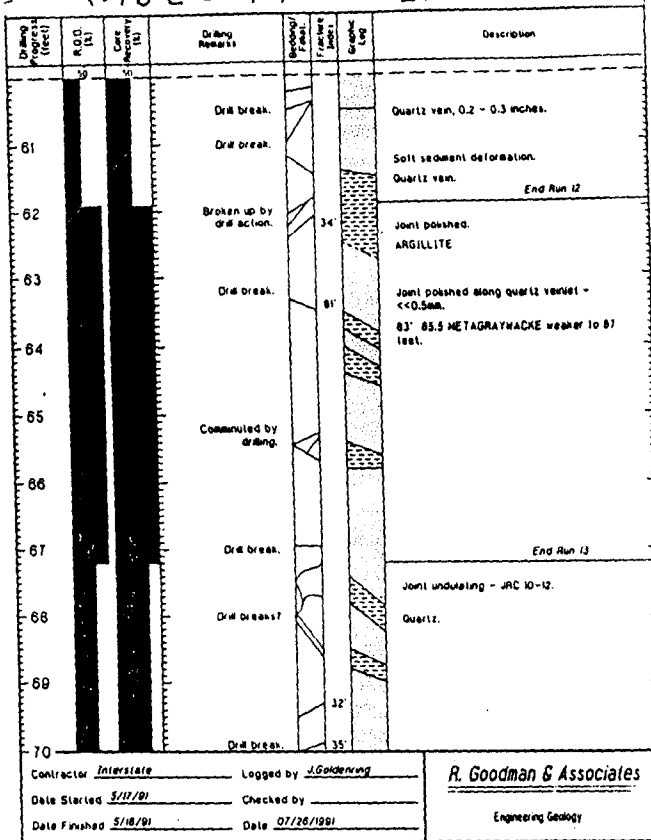


표 2. 건설표준품셈의 토질 및 암의 분류기준 (1994)

(a) 적용기준 :

여러 토목공사에 일반적으로 적용하기를 추천하나, 실제로는 토공용 분류기준에 적합한 기준

(b) 암분류 기준 :

암석, 암반분류를 혼돈하여 사용하고, 또한 암종별로 다른 강도기준을 사용하여 이 도표 사용자에게 혼란을 야기

토질 및 암의 분류

토질 및 암		개 요
A	B	
토사	보통토사	보통상태의 실트 및 점토, 모래질 흙(砂質土) 및 이들의 혼합물로서 사이나 팽이불 사용할 정도의 토질(상 작업을 하기 위하여 상세를 약간 구부릴 정도)
	건질토사	건고한 모래질흙이나 점토로서 팽이나 곡괭이를 사용할 정도의 토질(채종을 이용하여 2~3회, 동작을 요할 정도의 토질)
	고사점토 및 자갈 섞인 토사	자갈질(礫質)흙 또는 건고한 실트, 점토 및 이들의 혼합물로서 곡괭이를 사용하여 파낼 수 있는 단단한 토질
	호박돌 섞인 토사	호박돌(지름 18cm 이상의 가공하지 않은 호박형돌) 크기의 돌이 섞이고 굴삭에 약간의 화약을 사용하여 할 정도로 단단한 토질
암	풍화암 (연암 I)	암질이 부식되고 균열이 1~10cm 정도로서 굴삭에는 약간의 화약을 사용해야 할 암질로서, 일부는 곡괭이를 사용할 수도 있는 암질
	연 암 (연암 II)	혈암, 사암 등으로 균열이 10~30cm 정도로서 굴삭 또는 절취에는 화약을 사용해야 하나 석속용으로는 부적합한 암질
	보통암 (중경암)	풍화상태를 벗날 수 있으나 굴삭 또는 절취에는 화약을 사용해야 하며 균열이 30~50cm 정도의 암질 (석회석, 다공질 안산암 등)
	경 암 (경암 I)	화강암, 안산암 등으로 굴삭에는 화약을 사용해야 하며, 균열상태가 1m 이내로서 석속용으로 쓸 수 있는 암질
	국경암 (경암 II)	암질이 대단히 밀착된 단단한 암질 (규암, 각석 등 석영질이 풍부한 경암)

<암종별 탄성파 속도 및 내압강도>

구분	그룹	자연상태의 탄성파 속도 V(km/sec)	암편탄성파 속도 Vc(km/sec)	암편내압 강도 (kgf/cm ²)	그룹 분류	A 그룹	B 그룹
						대표적 암명	특색
암종	A	0.7~1.2	2.0~2.7	300~700	대표적 암명	편마암, 사질편암, 녹색편암, 각암, 석회암, 사암, 휘록용회암, 역암, 화강암, 섬록암, 강암암, 사교암, 유교암, 현암, 안산암, 현우암	흑색편암, 녹색편암, 휘록용회암, 혈암, 니암, 용회암, 질리암
		1.0~1.8	2.5~3.0	100~200			
풍화암	A	0.7~1.2	2.0~2.7	300~700	함 유 물 등에 의 한 시카 판정	사질분, 석영분을 다량 함유하고, 암질이 단단한 것, 결정도가 높은 것	사질분, 석영분이 거의 없고 용회분이 거의 없는 것, 천매상의 것.
	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	함 유 물 등에 의 한 시카 판정	사질분, 석영분을 다량 함유하고, 암질이 단단한 것, 결정도가 높은 것	사질분, 석영분이 거의 없고 용회분이 거의 없는 것, 천매상의 것.
	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	500~1,000gr 해머의 타격에 의한 판정	타격점의 암은 작은 평평한 암편으로 되어 비산되거나 거의 암편을 남기지 않는 것	타격점의 암 자석이 부서지지 않고, 본상이 되어 남으며 암편이 별로 비산되지 않는 것
	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	500~1,000gr 해머의 타격에 의한 판정	타격점의 암은 작은 평평한 암편으로 되어 비산되거나 거의 암편을 남기지 않는 것	타격점의 암 자석이 부서지지 않고, 본상이 되어 남으며 암편이 별로 비산되지 않는 것
	B	4.1이상	5.7이상	800이상			
국경암	A	4.2 이상	5.8 이상	1,600 이상			

<내압강도>

1. 시 편 : 5cm 입방체
2. 노 건 조 : 24 hr
3. 수중침윤 : 2 일
4. 내압시험
5. 시험방향

(가압방향)

Z속 (절면에 수직) (탄성파속도가 가장 느린 방향)

<암편 탄성파속도>

1. 시편 : 두께 15~20cm 상하면이 평행면
2. 측정방향 X속 (탄성파속도가 가장 빠른 방향)

(절면에 평행)

『건설표준품셈』의 98페이지의 해설: "암의 분류는 일반적으로 (a)적용기준 항에 따르나, 탄성파속도 및 내압강도의 측정이 가능할 경우에는 (b)암종별 탄성파속도 및 내압강도에 따를 수도 있다."

표 3. 한국도로공사의 암의 분류기준 (중부고속도로 건설현장)

중부고속도로 건설공사 현장

암 종		극경암	경 암	보통암	연 암	풍화암	비 고
분류기류	현장암반탄성파 (km/sec)	(4.2 이상)	4.0 이상 (2.9-4.7)	2.7-4.0 (1.9-2.9)	1.3-2.7 (1.2-1.9)	1.5이하 (0.7-1.2)	()은 건설 표준 품셈
	암편의 탄성파 속도(km/sec)	5.8 이상	4.7-5.8	3.7-4.7	2.7-3.7	2.0-2.7	건설표준 품셈
	RQD (%)	(90-100)	70 이상 (75-90)	40-70 (50-75)	20-40 (25-50)	20 이하 (25 이하)	()은 도로 회보
	일축압축강도 (kg/cm ²)	(2,040이상)	1,500 이상 (1,020-2,040)	800-1,500 (510-1,020)	300-800 (255-510)	300 이하 (102-115)	.
	육 절리간격(cm)	300 이상	100-300	30-100	5-30	5 이하	
	풍화상태	대단히 신선함	신선하며 균열 및 절리는 밀착됨	비교적 견고하나 조암광물이 다소 변색됨	암내부는 비교적 신선하나 외부는 상당히 풍화 변색됨	심하게 풍화되어 황갈색등으로 변색됨	
	함마에 의한 타격	큰함마로 타격시 링기며 용이하게 깨어지지 않는다	큰함마로 타격시 약간 깨어진다	큰함마로 타격시 균열 및 절리를 따라 크게 떨어진다	보통함마로 타격시 비교적 용이하게 깨어진다	보통함마로 용이하게 소편으로 깨어지며 때로는 손으로도 쪼개진다	지질조사용 Hammer를 이용하면 편리
계 측	NATM 예상 변위 량(cm)		0-0.5	0.5-1.5	1.0-3.0	3.0-5.0	

표 4. 한국기술용역협회의 지질조사 표준품셈

암반 분류	시추굴진상황	암 반 의 성 질			
		풍화변질상태	균열상태	코아상태	함마타격
풍 화 암	Metal crown bit로 용이하게 굴진가능하며 때로는 무수 보링도 가능	암내부까지도 풍화 진행. 암의구조 및 조직이 남아 있음	구열은 많으나 점토화의 진행으로 거의 밀착상태임	세편상암편이 남아있고 손으로 부서면 가루가 되기도 함.	손으로 부서짐
연 암	Metal crown bit로 용이하게 굴진 가능한 암반	암 내부의 일부를 제외하고는 풍화 진행. 장석, 운모 등 변색, 변질	구열이 많이 발달, 구열 간격은 5cm 이하이고 점토 내재	암편상-세편상(각력상)원형 코아가 적고 원형복구 곤란	함마로 치면 가볍게 부서짐
경 암	Diamond bit를 사용하지 않으면 굴진하기 곤란한 암반	대체로 신선한 구열을 따라 약간 풍화, 변질됨. 암내부는 신선함	구열의 발달이 적으며 구열 간격은 5-15cm. 대체로 밀착상태이나 일부는 open 됨	단주상-봉상, 대체로 20cm 이상. 1m 당 5-6개 이상	함마로 치면 금속을 내고 잘 부서지지 않으며 튀는 경향을 보임.

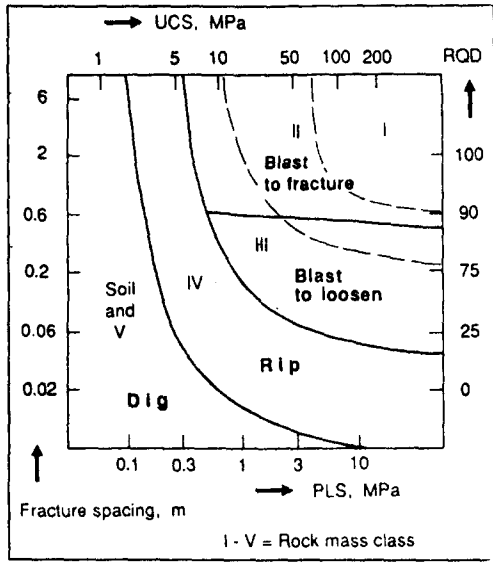


그림 5. 굴착난이도를 결정하는 두요소
(암석강도, 파쇄빈도)

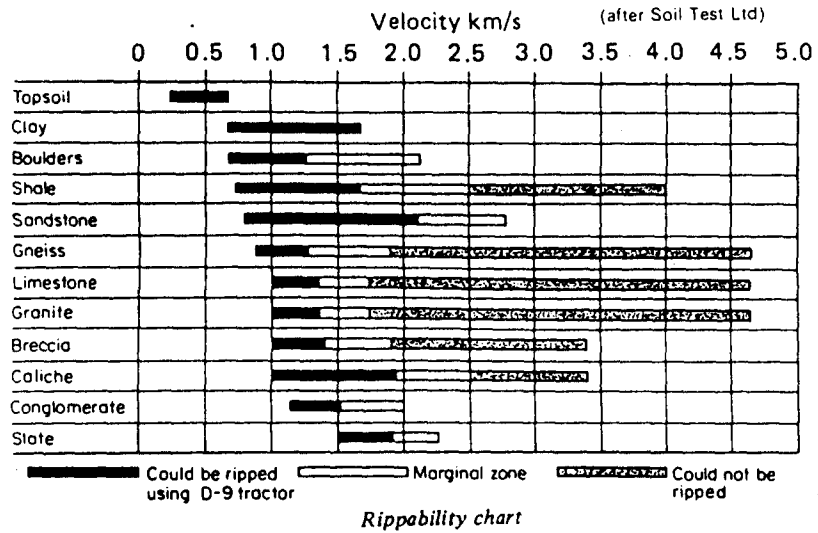


그림 6. 굴착난이도 판정을 위한 현장탄성파속도의 범위
(암석과 절리발달빈도의 두함수를 고려한 개념과 동일하다)

표 5. 본 논문에서 제시되는 굴착 경계의 설정기준(안)

- (1) 토층과 리핑암반 : SPT 수치가 50타/10cm 이상이면 리핑암
- (2) 발파암반과 리핑암반 : 암반의 굴착특성을 결정하는 ①불연속면의 발달빈도 (R.Q.D.%)와 ②암석의 강도를 동시에 고려

	리 평 암 반		발 파 암 반	
	②강한 암석인 연.경.극경암 중에서		②강한 암석인 연.경.극경암 중에서	
①불연속면 의 발달빈도	BX크기	T.C.R.=5% 이하이고 R.Q.D.=0% 정도	BX크기	T.C.R.=10% 이하이고 R.Q.D.=0~5%이상
	NX크기	T.C.R.=20% 이하이고 R.Q.D.=10% 이하	NX크기	T.C.R.=20% 이하이고 R.Q.D.=10% 이상
②약한강도	풍 화 암			

※ 국내의 지반에서 현장탄성과 탐사를 수행해본바에 따르면 국내 여러 감독청에서 제시되는 기존 현장 탄성파속도의 범위는 국내의 지반특성에 맞게 수정될 필요가 있다. 현장탄성과 속도로서 굴착경계 설정기준을 정할때 국제적으로 널리 통용되고 있는 Soil test Ltd.(그림 6)와 Atkinson 의 기준은 현재 국내의 「건설 표준품셈」에서 제시하는 속도범위와 거의 일치하므로 이 기준에 맞게 변경될 필요가 있다. 탄성파 속도는 암종류에 따라서 크게 두 종류로 대별되므로 두 기준으로 분리되어서 각 조사 지역에 맞게 다음 도표를 이용하여 적용되어야 한다.

※ 굴착경계 설정을 위한 현장 탄성파 속도(Vp)의 기준

암석그룹	토 층	리 평 암 반	발 파 암 반
A 그룹	700m/sec 이하	700-1200m/sec	1200m/sec 이상
B 그룹	1000m/sec 이하	1000-1800m/sec	1800m/sec 이상

- A그룹 암종 : 편마암, 사질편암, 녹색편암, 각암, 석회암, 사암, 휘록옹회암, 역암, 화강암, 섬록암, 감람암, 사교암, 유교암, 현암, 안산암, 현무암
- B그룹 암종 : 흑색편암, 녹색편암, 휘록옹회암, 혈암, 니암, 옹회암, 집괴암

표 6. 「건설표준품셈」의 岩石(암편)의 일축압축강도 기준에 따른
정량적인 현장에서의 岩石(強度)判定기준(안)

암석종류	일축압축강도(Kg/cm ²) (건조상태):UCS	점하중강도 (Kg/cm ²): PLS	슈미트해머 수치: SHV	암석 탄성파속도 (Km/Sec): Vp	급속흡수율 (%): QAI	비 고 (해머에 의한 타격)
극경암석	1800 이상	88 이상	60 이상	4.8 이상	0.24 이하	큰해머로 타격시 튕기며 용이하게 깨어지지 않는다
경암석	1300 ~ 1800	56 ~ 88	51 ~ 60	3.9 ~ 4.8	0.47 ~ 0.24	큰해머로 타격시 약간 깨어진다
보통암석	1000 ~ 1300	37 ~ 56	44 ~ 51	3.3 ~ 3.9	0.80 ~ 0.47	큰해머로 타격시 균열을 따라 크게 떨어진다
연암석	700 ~ 1000	18 ~ 37	34 ~ 44	2.7 ~ 3.3	1.65 ~ 0.80	보통해머로 타격시 비교적 용이하 게 깨어진다
풍화암석	300 ~ 700	0 ~ 18	10 ~ 34	1.9 ~ 2.7	9.25 ~ 1.65	* 보통해머로 용이하게 소편으로 깨 어지며 때로는 손으로 쪼개진다

* 실제로 이에 상응하는 슈미트 해머
수치는 건조상태일때 국내화강암에서
는 20~25(350~600 Kg/cm²)에 상응
된다.

※ 참고 : 본 점하중 강도, 슈미트 해머수치, 암석 탄성파 속도는 국내의 화강암에서 측정된 상관관계식(LEE, S. G., 1987)인

① $UCS_d = 412.8375 + 15.84971 \times PLS_d$: (r = 0.902),

② $\text{Log } UCS_d - 1 = 1.32481 + 0.01541 \times SHV_d$: (r = 0.871),

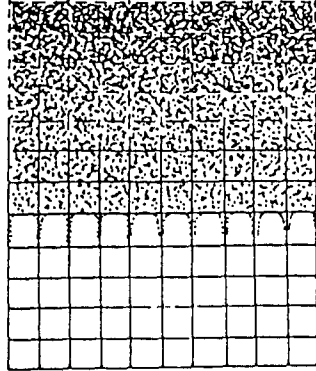
③ $\text{Log } UCS_d = -1.10856 + 0.00025 \times V_d$: (r = 0.881)

④ $\text{Log } UCS_d - 1 = 1.915129 - 0.49078 \times \text{Log } QAI$: (r = 0.857)에 근거하여서 구한 수치이다.

상기의 ①,②,③, 관계식은 葉理와 層理에 수직인 하중방향(≡ 엽리)에 대한 강도에 잘 적용될 수 있으나 엽리와 층리에 평행한
하중방향(→≡← 엽리)에는 적용될 수 없는 기준이다

그림 7. 암반의 풍화단면

(a) 점이적인 풍화단면
(보편적 이다)



(b) 핵석 풍화단면
(특이한 경우다)

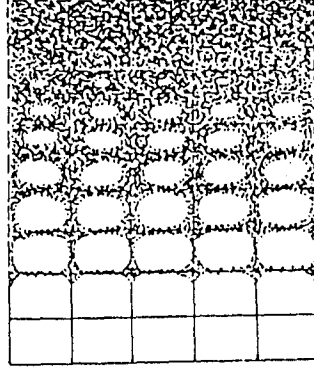


표 7. 기존의 절취구배기준 대비표

구분	토 질	절 취 구 배 기 준					
		대한주택공사		한국토지개발공사*		한국도로공사	
절 토	토사	5m 이상 높이	1:1.5	1:1.5	5m 높이 마다	1:1.5	
		0-5m 높이	1:1.2	1:1.2	1-1.5m 폭의 소단	1:1.2	
	리핑 암반	5m 이상 높이	1:1.2	1:1	"	1:1	5m 높이 마다 소단
		0-5m 높이	1:1				
발파 암반	연암	1:0.8	1:0.5	"	1:0.5	20m 높이 마다 소단 3m	
	경암	1:0.5					

* 단, 추가로 필요시에는 10m 높이마다 1.5m 폭의 소단과 적절한 배수관을 설치

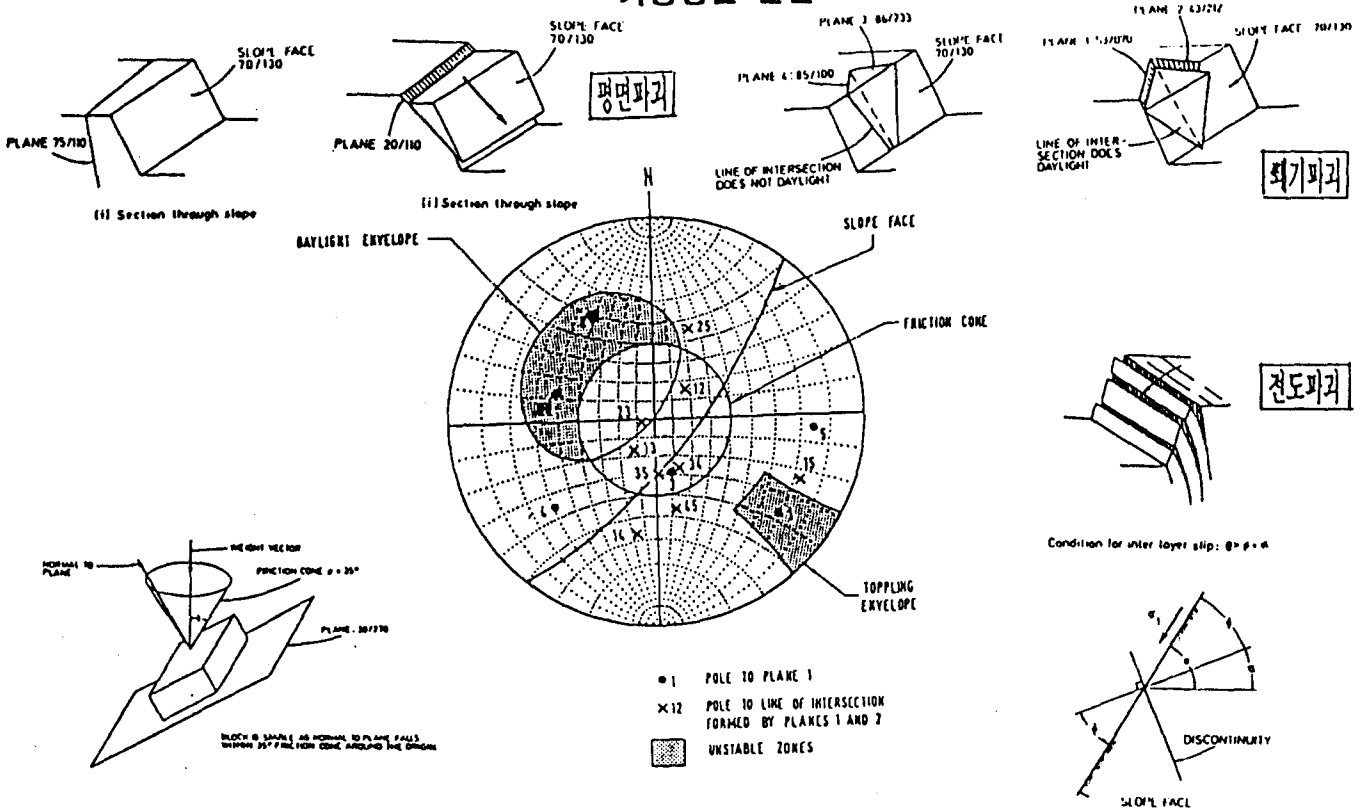
표 8. 암반의 파쇄상태에 따른 절취구배와 소단설치 및
 글착난이도 방(안)

암석종류(강도)	암반파쇄상태		굴착난이도	구배*	소 단 설 치	암반의 전단강도 지수	
	T.C.R %	R.Q.D %				ϕ	C
풍화암 또는 연경암으로 파쇄가 극심한 경우	20% 이하 (5% 이하)	10% 이하 (0%)	리핑암반	1:1	H=5m마다 소단 1m 폭 (리핑암과 발파암 사이에는 1m 소단)	30°	100 kPa
강한 풍화암 으로서 파쇄가 거의 없는 경우와 대부분의 연경암	20 - 30% (10-20%)	10 - 25% (0 - 5%)	발파암반 (연 암반)	1:0.8	H=10m마다 소단 1 ~ 2m 폭	33°	130 kPa
	40 - 50% (30% 이상)	25 - 35% (10 - 20% 이상)	발파암반 (보통암반)	1:0.7	H=10m마다 소단 1 ~ 2m 폭	35°	150 kPa
	70% 이상 (50% 이상)	40 - 50% (30% 이상)	발파암반 (경암반)	1:0.5	H=20m마다 소단 3m 폭	40°	200 kPa
NX 시추시 (BX 시추시)							

* 단, 불연속면으로 인한 사면불안정 요인이 뚜렷할 경우에는 상세한 불연속면의 경사로 구배를 정하는 것을 본 표준구배 보다도 우선으로 한다.

그림 8. 평사투영망을 이용한 암반사면 안정성판정의 요약

(a) 낙반 위험 가능성을 판단



(b) 절취구배를 낮춰서 사면을 안정시키는 경우

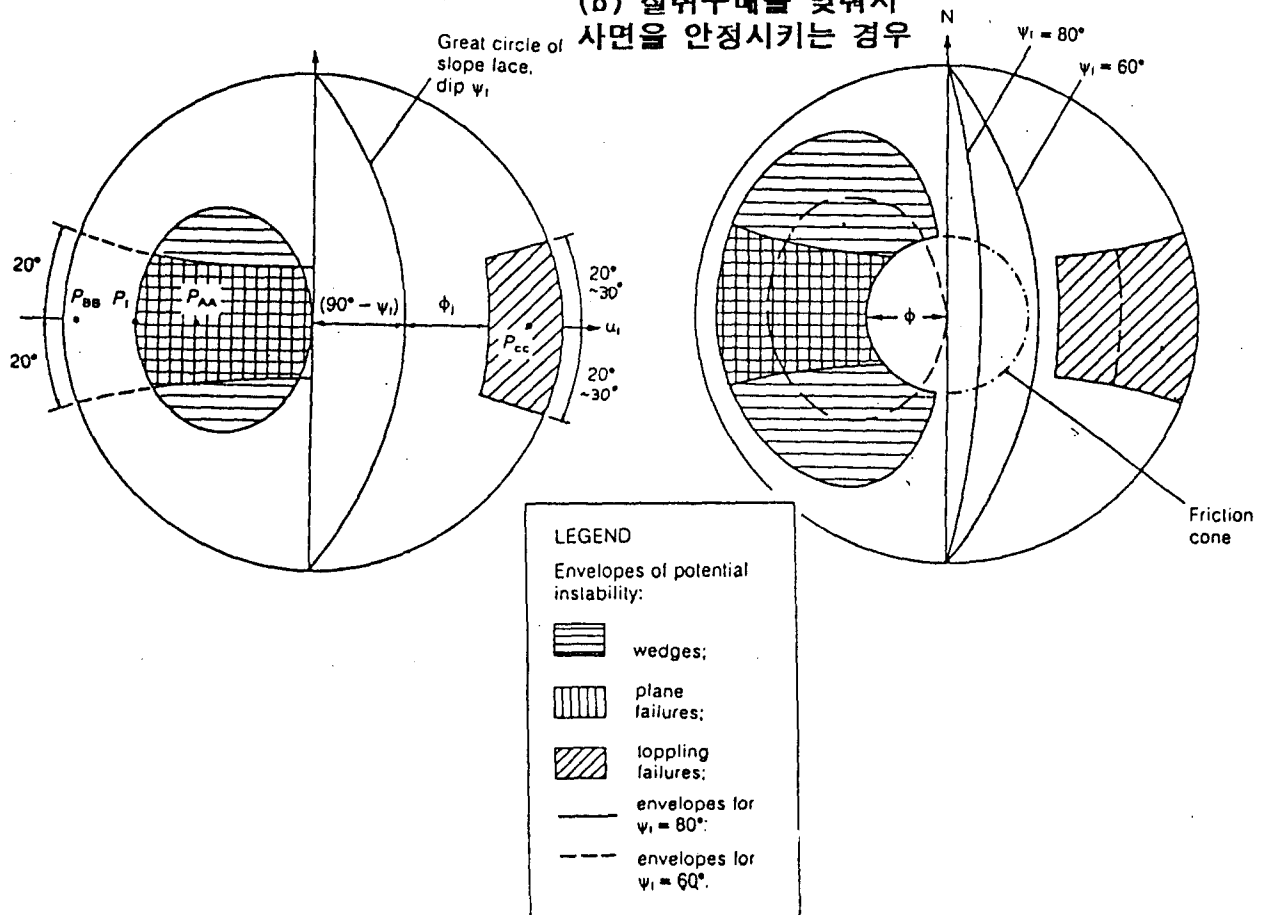


그림 9. 암반절취면에서의 정밀지질조사(Face mapping) 및 그에 따른 보강사례 (서울 하왕십리동의 화강암 지역, 1991)

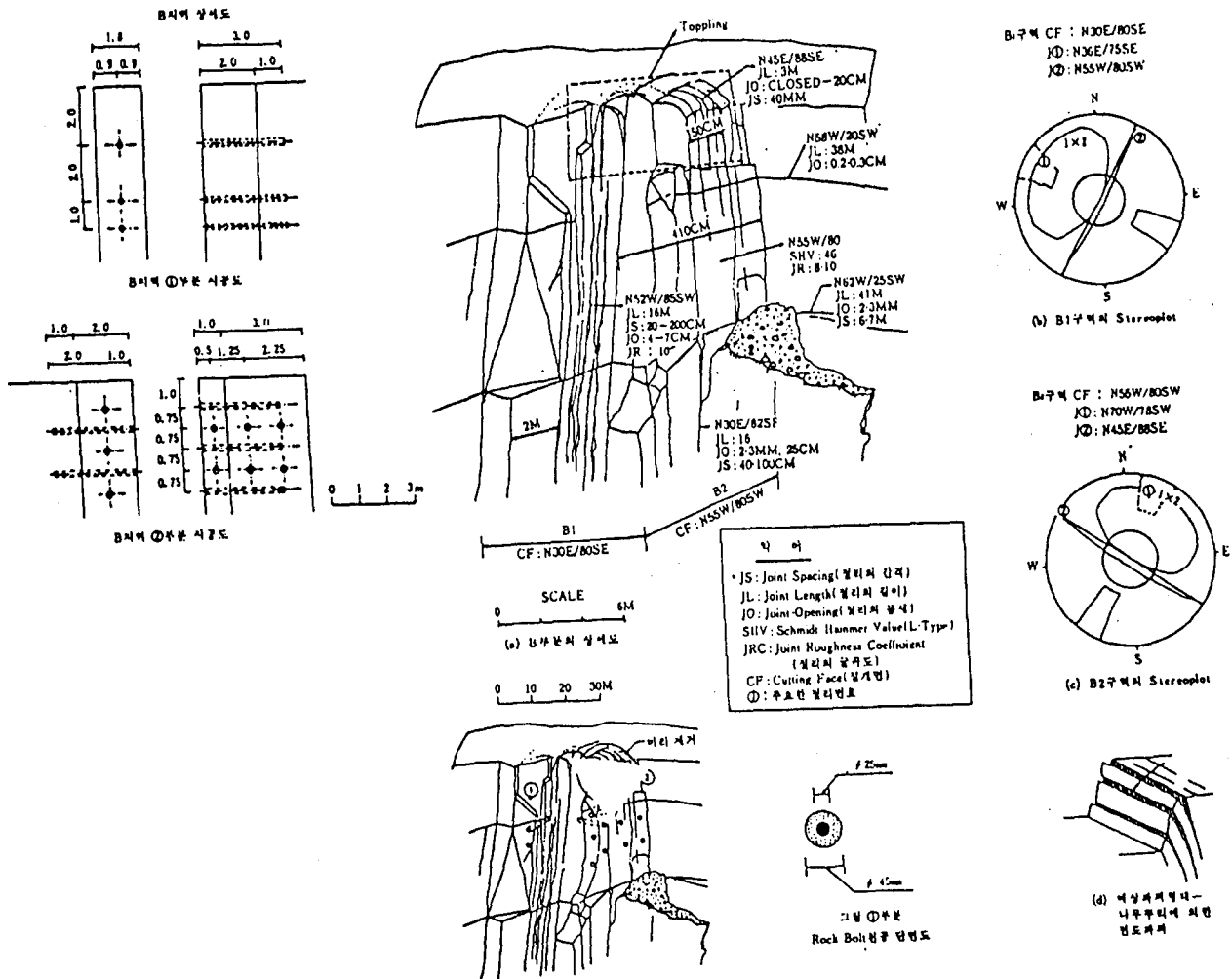
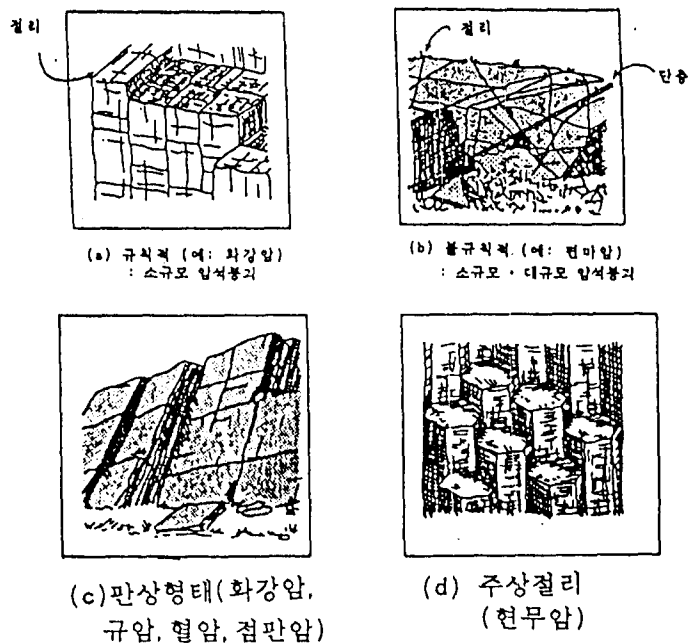


그림 10. 암석별 절리 발달형태



**표 9. 암석종류별 절취사면에서의 암판정과 사면안정성
분석시 고려사항**

암 석 종 류	국내분포	암판정시 주의점	불연속면의 발달특성	사면안정 분석시 주의점	
화 성 암 (35%)	심성암	· 전국에 골고루 분포한다 · 화강암이 제일 많다	· 등방성 조직으로서 암석판정이 단순 · 5-10m 두께의 풍화토/암이 있고 그 하부는 연/경암으로서 암석 판정이 암반 판정으로 사용된다 · 핵석이 있는 경우는 핵석과 주변토층의 체적비율 고려하여 암반판정	· 규칙적인 3 절리군, 두절리는 수직이고 한 절리는 판상절리 · 단층발달은 미약한 편	· 규칙적인 절리에 의한 암반붕괴가 가능하고 단층에 의한 위험은 적은편 · 수직절리는 연장성이 길은 편이나, 판상절리는 연장성이 짧은 경우-긴 경우로 다양하므로 절리연장성에 주의 · 수직절리에 의한 전도파괴가 가능하고 나무뿌리가 붕괴를 촉진 시킨다 · 암괴가 직육면체의 괴상이므로 임상 형태 또는 판상형태에 따라서 전도파괴나 활동파괴 가능
	화산암	· 경상도, 제주도, 울릉도, 한탄강 일원에 국부적으로 산출 · 현무암이 제일 많다	· 기공(pore)들이 많아서 암석강도가 서로 다르다 · 용암이 흘러가면서 주변암석을 포획하여서 암석강도가 다르다 · 여러번 다른시기에 용암이 지표로 흘러서 형성 되었으므로 상부 암반보다도 하부암반이 약할 수도 있는 등의 복잡한 암반 상태이다 · 지표면에 1-2m 얇은 토층 하부에는 연암-경암이 직접 노출	· 절리의 발달이 미약하고, 불규칙하게 발달하며 절리 연속성이 1-2m로 짧아서 암석이 서로 엮물린 형태 · 특이하게도 현무암(제주도 등에서 산출)은 규칙적인 6면체의 주상절리가 발달하는데 거의 수직절리다	· 불규칙하고 짧은 절리에 의해서는 국부적인 낙반 가능성만 있으므로 대체적으로 절리는 사면안정 분석시 중요도가 적다(단, 현무암의 주상절리로 인한 전도파괴 가능성에 주의) · 단층이 관찰되는 경우(특히 암석종류가 변하는 경계를 주위)에 이 단층에 의한 위험성 고려 · 토층과 암반의 경계가 뚜렷하므로 위험가능성이 있어서 소단이나 배수 처리 요망
퇴 적 암 (23%)	쇄설성퇴적암(주로 경상도, 강원도동부, 충청도 옥천에 집중되고 다른지역에는 드물다 · 성분예따라 쇄설성과 비쇄설성 퇴적암으로 나누는데 대부분 쇄설성 퇴적암 · 퇴적암중에서 제일많은 암석은 혈암, 다음은 사암, 석회암 순서이다	· 역암, 집괴암은 입자가 크고 분극정도가 나쁘므로 암석강도가 불균질 · 사암은 sand가 주성분으로 균질하나 cement 물질에따라 암석강도가 다양하나 대체적으로 강도가 큰편 · 이암, 혈암은 clay가 주성분으로 충리가 발달하여 이충리를 따라 강도가 약한 특성 · 특히 혈암은 성층면으로 잘조개지는 성질이 있다. · 이암,혈암은 대기중에 노출되거나 침수되면 암석강도가 급격히 감소 · 암석종류에 따라서 차별풍화 : 사암은 풍화가 미약하나 이암,혈암은 풍화가 쉬우므로 한 암반 내에서도 암석강도가 다르다 · 풍화깊이는 수m - 수십m로 다양	· 암석종류에따라서 큰 차이 : 사암은 충리와 절리가 적으나 이암과 혈암은 충리와 작은 균열이 많다	· 양호한 암석과 취약한 암석이 교호하는 경우에는 취약한 암석의 특성에 주의하고 취약한 암석은 슛크리트 등으로 피복이 필요 · 충리면은 따라서 단층이 발달하는 경우가 많으므로 정밀조사 요망	
	비쇄설성퇴적암(주로 강원도 동부, 옥천부근에서 국부적으로 산출 : 석회암과 석탄이 주)	· 성분이 비교적 균질하여서 공학적 특성이 균질 · 암반판정은 암석판정으로 손쉽게 수행 · 석회암의 지하동공에 주의	· 석회암은 일반적으로 절리의 발달이 드물고 불규칙하며, 절리의 연속성이 1-2m로 짧은 편	· 석회암은 절리가 불규칙하고 연속성이 짧으므로 절리에 의한 대규모 낙반 위험은 적다 · 석회암의 지하동공이 위험하다고 판단되면 동공을 Grouting	
변 성 암 (42%)	광역변성암	· 경상도를 제외한 전국에 골고루 분포 · 가장많은 변성암은 편마암 · 편마암과 편암에는 열리면이 존재하여서 암석자체의 이방성 강도 특성 · 편마암과 편암은 풍화를 쉽게 받는다 : 특히 약한 연암이나 풍화암/풍화토는 대기중에 노출되거나 침수되면 급격히 암석 강도가 감소 · 복잡한지질 : 암질이 매우 불규칙하여 차별풍화로서 한 암반에서도 암석강도가 차이가 크므로 토공사 굴착장비 선택의 어려움과 굴착비용이 과다하게 소요 · 핵석 풍화단면이 빈번히 관찰되므로 핵석과 주변 토층의 체적비를 고려하여 암반판정 · 풍화가 10m 이상인 경우가 많다	· 절리와 단층의 발달이 심하여 암반의 파쇄가 심한편 · 편마암은 절리가 불규칙적으로 많이 발달하고, 연장성이 수십cm - 수m로 짧은편 · 편암도 불규칙한 절리가 있으나 편리를 따라서 평행한, 연장성이 수m로 긴 절리도 발달 · 편마암과 편암에는 단층도 많이 발달한다	· 편마암에서는 절리가 불규칙적이고 연장성이 짧아서 암석이 서로 끼고 있는 형태이므로 절리는 큰 위험요소가 아니다. 위험단층이 없으면 기존 표준구배로 설계하여도 무방 · 그러나 편암내의 편리에 평행한 연장성이 긴 절리가 암사면에 미치는 위험요인을 신중히 검토 · 점토층진 단층에 의해서 대규모 붕괴가 자주 발생하므로 절취면 상에서의 단층의 위치, 특성을 판단하여 사면안정성에 위험가능성을 검토	
	접촉변성암	· 규암은 풍화가 잘받지 않고 강한암석이고, 시추시 굴진속도가 매우 느리다(전국에 산재하나 경춘가도에 많이 분포)	· 특이하게도 규암에는 규칙적이고 연장성이 긴 판상형태의 절리가 뚜렷하게 발달	· 규암내에 연장성이 긴 판상절리를 사면안정성 분석시에 고려	
	동력변성암	· 암석이 재결정된 상태에 따라서 암석강도가 약한 것부터 강한 것까지 다양하다	· 불규칙한 절리가 불규칙적으로 극심하게 발달하고 대소규모의 단층이 많다	· 단층과 절리로 인한 불규칙한 대규모의 붕괴가 우려	