

암맥이 대규모로 관입된 암반사면의 안정성 연구

이종규¹⁾, 이수곤²⁾, 김민성²⁾
¹⁾단국대학교, ²⁾서울시립대학교

1. 서론

일반적으로 모암에 암맥이 대규모로 관입됨에 따라서 암맥주변의 모암이 파쇄와 풍화가 심하여 전체적으로 볼때 복잡한 지반특성을 보이는 경우가 많다. 이와같은 복잡한 지반에서는 정밀한 지질조사에 의한 정확한 지층구분과 또한 합리적인 지반정수를 산정하여 신중한 사면안정성 검토에 따른 설계가 필요하지만 그 조사방법 및 안정성 분석에 많은 어려움이 따른다. 이와같이 복잡한 지반특성을 고려하지 않고 단순한 지질의 사면으로 설계하는 경우에는 절취공사 도중에 대규모로 사면이 붕괴되는 경우가 종종 발생하는데, 본 연구에서는 암맥이 대규모로 관입된 경상도 퇴적암 절취사면 대규모로 붕괴된 OO-OO간 도로공사현장 절취사면을 대상으로 한 사례연구로서 정밀 지표지질조사를 통하여 각종 불연속면과 지반공학적인 특성을 파악하고 기 조사된 자료와 실내시험 및 현장시험자료를 바탕으로 각종 프로그램 해석을 수행하여 사면의 안정성 분석을 수행함으로써 붕괴원인과 합리적인 조사방법 및 안정성 분석 방법을 제시하고자 한다.

2. 본론

2.1 지반조사

본 현장은 최대 사면고가 약 40m 총연장 약 300m의 대절토사면으로서 대부분 사질 셰일(sandy shale)과 담회색 셰일로 형성된 암반지대이고, 또한 절토사면의 중앙부에 대규모의 단층이 수직으로 발달하며 이 단층틈새를 따라서 약 6m 폭으로 두꺼운 산성암맥(안산암: andesite)이 관입된 상태이고, 약 2~5cm의 단층점토가 존재하고 있는 상태이다. 또한 풍화가 비교적 빠르게 진행되고 있으며 지난 여름(2003) 폭우시 암맥 상부의 일부 사면이 유실되어 이러한 대규모 암맥관입이 사면의 안정성에 영향을 준 것으로 판단하여 정밀 지표지질 조사를 통하여 단층 및 암맥과 불연속면의 특성을 조사하였다.

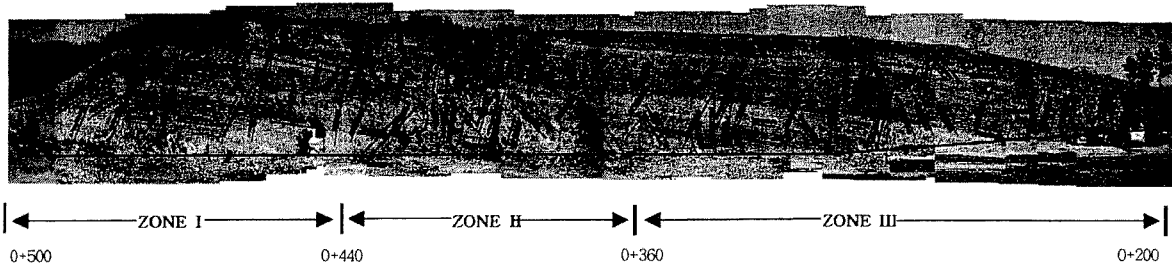


그림 1. 대상사면의 전경 및 정밀지표지질조사 결과

2.1.1 ZONE I 및 ZONE III 지점

조사 사면은 사면 전 구간에 걸쳐 적색 사질 세일과 담회색 세일의 호층을 경계로 뚜렷한 층리가 발달하고 있으며, 이를 기준으로 불연속면의 양상은 규칙적으로 나타나며 불연속면의 대부분은 충전물이 없는 깨끗한 상태를 보이지만, 일부 방해석 및 풍화토로 충전되어 있거나 산화철로 피복되어 있는 절리면을 관찰할 수 있다.

이 구간의 전반적인 풍화 상태는 신선한 상태이다. 그러나 사면의 풍화상태는 구간마다 상이하며, 사면 하부에서 상부로 갈수록 풍화의 정도가 증가하는 풍화양상을 보인다. 적색 세일층과 담회색 세일의 호층면 사이에는 지하수가 흘러 부분적인 강도 저하를 보이며, 암질 지수(RQD)는 사면상단에서 중간층까지 약 30%정도로 나타나 비교적 파쇄가 심한 것으로 판단되며, 중간층 이하 사면하부의 경우는 전반적으로 RQD가 높아져 약 50% 이상인 상태를 보이고 있다. 본 구간에 나타나는 암반의 풍화상태는 연암 이상이 70% 이상으로 나타나지만, 상대적으로 풍화가 심한 사면의 상부에서는 심한 풍화(highly weathered) 등의 풍화양상이 나타난다.

본 구간 사면의 슈미트해머 반발치는 절취사면 하부가 약 40~50정도로 연암 이상의 강도를 나타내며, 중간 상부는 약 20~30정도 수준의 강도를 가지는 풍화대가 존재하는 것으로 조사되었으며, 노출된 암반 표면의 경우 대체로 Dry한 상태를 보이지만 본 구간의 절취사면 중간하부인 2개소에 층리면을 따라 지하수가 유출되어 적색 사질 세일층에서 용수상태가 확인되었으며, 또한 3~4 개소에서는 과거 지하수가 유출된 흔적이 인지되어 사면 내부의 경우 Damp에서 Wet한 상태가 일부구간에서 조사되었다.



그림 2. ZONE I, ZONE III 구간의 세부사진

2.1.2 ZONE II

본 구역은 위에서 기술한 조사사면의 좌우측사면(ZONE I 및 ZONE III 지점) 불연속면의 발달 정도나 특성이 전반적으로 유사한 상태이지만, 이 지역의 중심부에 화산암류 암맥(Acidic dyke)이 관입되어 있어, 불연속면의 특성이 ZONE I 과는 다르게 나타난다. 이 구간의 화산암맥은 백악기 퇴적암류를 북동방향으로 관입하였으며, 그 경계는 단층경계로, 약 3~5cm 두께의 단층점토가 충전되어 있는 것이 특징이다.

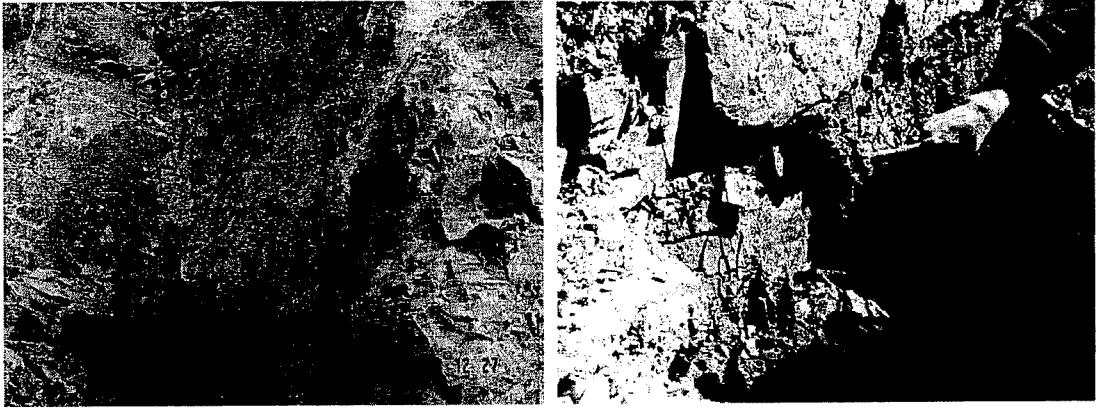
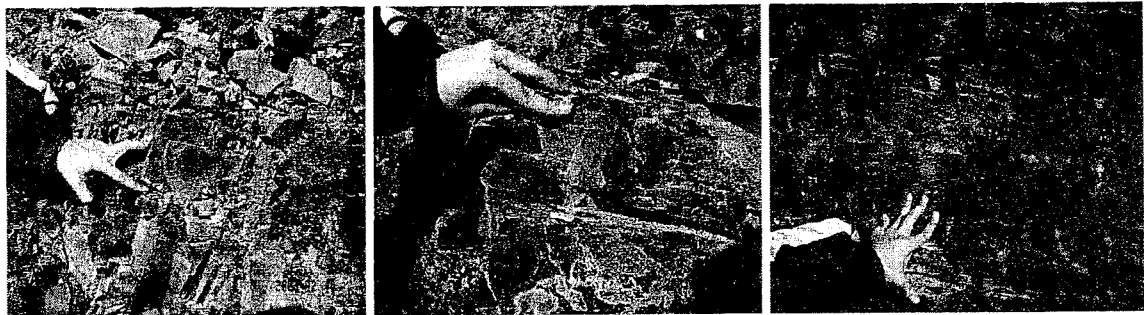


그림 3. 안산암맥의 접촉부에 3~5cm 두께의 단층점토가 충전된 모습

불연속면의 틈새는 단층의 경우 10~20mm의 열린 상태(open)로 퇴적암의 경계부 및 관입암내에 발달하고 있어, 이 구간의 사면 안정성에 많은 영향을 주는 요인으로 판단된다. 본 구간은 과거 지하수나 하천이 흐른 계곡부에 해당되는 구간이므로 다른 구간에 비해 풍화의 정도는 상대적으로 심하게 나타난다. 풍화상태는 하부에서 상부로 갈수록 중간풍화에서 심한풍화로, 풍화의 정도가 심해지는 것으로 확인되었으며, 본 사면의 암질 지수(RQD)는 현장에서 판단한 결과 ZONE I과 유사한 것으로 나타났는데 사면상단에서 중간층까지 약 20% 정도로 나타나 풍화에 의한 파쇄가 주요 요인인 것으로 나타났다. 중간층 이하 사면하부의 경우는 부분적으로 RQD가 떨어지는 곳을 제외하고 RQD가 약 40%의 상태를 보이고 있다.



(a) 상부(3소단) 블럭사이즈

(b) 중부(2소단)블럭사이즈

(c) 하부(1소단)블럭사이즈

그림 4. 상부, 중부 및 하부의 풍화에 의한 블록 사이즈

이 구간은 풍화가 매우 심한 풍화암의 전면에, 상대적으로 신선하고 강한 안산암맥이 집중호우 이전까지 지보역할을 하였지만, 굴착으로 암맥을 제거하여 우기시 풍화암층이 원형 파괴의 형태로 붕괴가 일어난 것으로 예상된다.

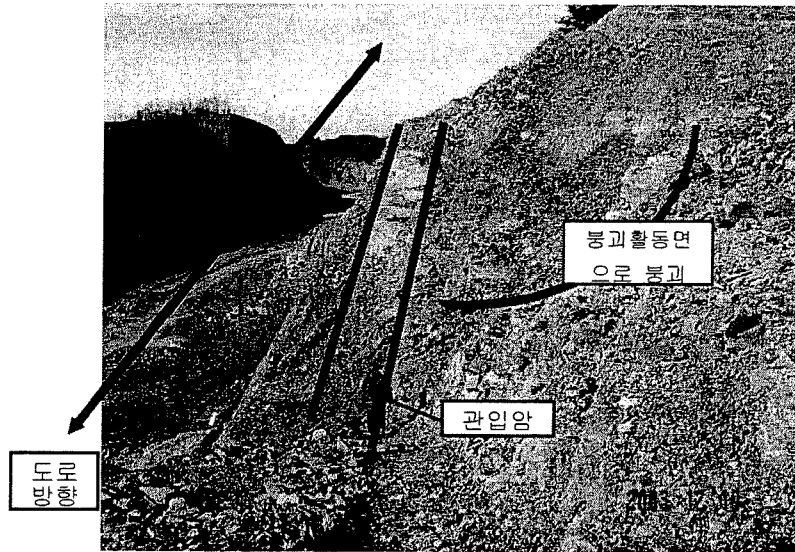
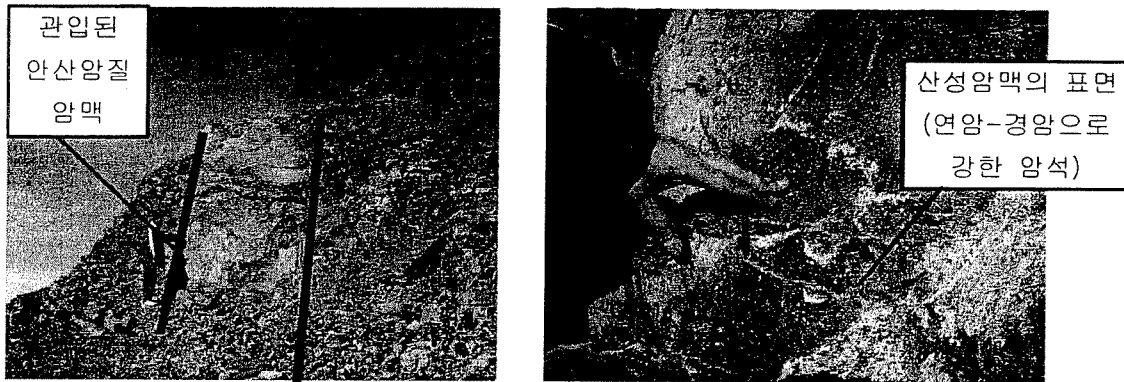


그림 5. 관입암맥 제거로 인한 풍화암층의 원호파괴형 붕괴
(절취사면 상부에서 찍은 절취사면 중앙부의 붕괴사진)



(a) 사면 상부 관입암 전경사진

(b) 관입암맥표면의 확대사진

그림 6. 세일에 비해 상대적으로 강도가 강하고 신선한 안산암 관입암맥
(절취사면 중앙부의 수직단층 틈새로 관입된 폭 6m 두께의 암맥)

2.2 현장시험

2.2.1 시추조사

본 과업구간은 시추조사 당시 사면굴착공사가 진행되지 않은 구간으로서, BH-5 시추공이 본 과업구간의 STA. 0+340 (ZONE III)구간에 해당되며, 도로 계획고 아래 2m 심도까지 수행되었으며, 시추결과를 보면, 지표면에서 1.8m 심도까지는 풍화토이고, 그 하부에는 7.7m 두께로 풍화암층이 두껍게 존재하였고, 2.3m 두께의 연암과 20.2m 두께 이상의 보통암이 존재하였다. 연암이상의 암반에서는 전반적으로 RQD가 20~60%의 값을 갖는다. 본 지역의 암석특성상 지반공학적으로 주목할만한 것은 본 지역 세일의 암질지수(R.Q.D)인데 시추 당시 조사된 암질지수는 대부분의 경우 60% 이상으로 조사되었으나, 시료 채취후 얼마간 시간이 경과한 후(건조상태) 재측정된 암질 지수는 평균 30%내외로 크게 감소된 것으로 나타났다. 이와 같은 경우 암질지수가 양호한 암반으로 오판할 수도 있으며, 채취된 코아에

손으로 약간 힘을 주면 층리에 평행한 균열을 따라서 쉽게 깨져서 암질지수가 10 내지 30% 정도로 파쇄가 심한 것으로 나타난다. 깨진 균열 틈새에는 충전물질이 거의없으나 방해석(Calsite, CaCO₃)으로 충전되어 있는 경우가 다소 있으므로 강우시 표면수가 침투될 경우 암질지수는 더욱 감소될 것으로 예상되어 시간 경과후 재평가된 암질지수로부터 본 지역 세일 암반의 특성을 고려하는 것이 합리적인 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 본 지역의 암석 특성상 지반강도 정수를 산정시 재평가된 비교적 낮은 RQD% 값을 사용하였다.

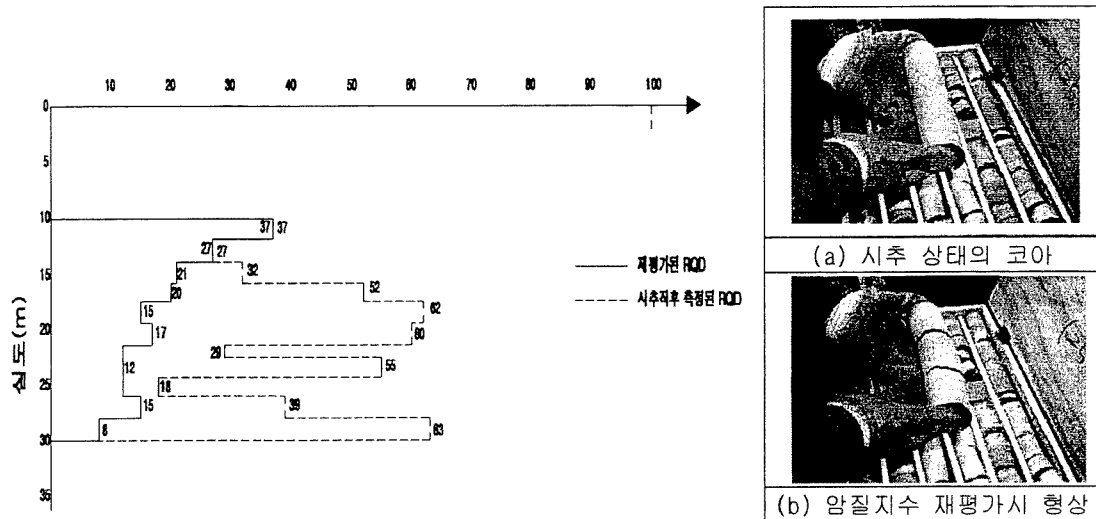


그림 7. 시추공 심도별 암질지수(R.Q.D)의 변화 및 조사관련 사진자료

2.2.2 탄성과 굴절법탐사

탄성과 굴절법탐사 해석결과에 따르면 BH-5 횡단면상에서는 약 1~2m 두께를 가지는 풍화토층(700m/sec 이하의 속도)이 나타나는 것으로 파악되며, 그 하부에는 심도 약 5m ~ 10m 까지 분포하는 풍화암층(700m/sec ~ 1200m/sec의 속도)이 있고, 그 이후 구간은 약 10m ~ 15m 까지 분포하는 연암/보통암/경암층 (1900m/sec)이 분포하는 것으로 나타났다. 이러한 분포는 실제로 최종굴착면에서 정밀지표지질조사를 수행한 본 연구결과와 대체적으로 일치하는 것으로 판단되었다.

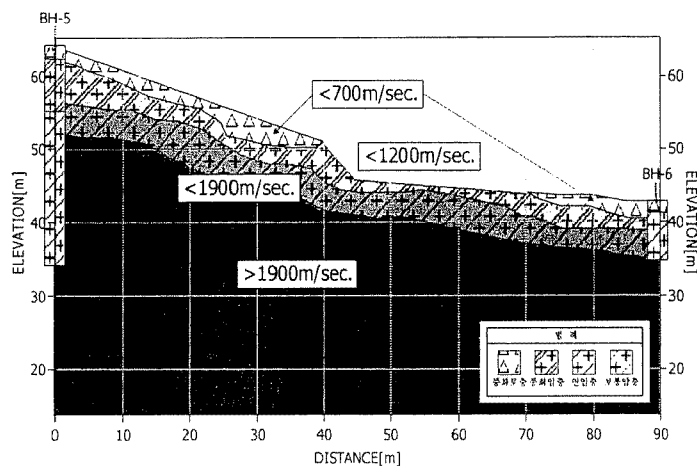


그림 8. 탄성과 굴절법탐사 해석도

2.2.3 슈미트 해머 타격결과

본 사면의 하부에서 중간부까지 슈미트해머의 강도수치는 전체적으로 SHV=40이상을 보이고 있으며 이는 연암 이상의 양호한 강도에 해당된다. 적색 세일과 회색 세일간에는 강도 차이가 거의 없으며 슈미트해머강도 수치가 높은 편이지만 사면 중간부 부터는 풍화와 파쇄가 심하여(사면내 점선부분) 슈미트해머강도 수치가 SHV=20정도로 낮으며 특히 STA. 0+400 지점의 풍화가 심하게 일어난 풍화암 부분은 슈미트해머강도 수치가 SHV=10 이하로 나타나는 부분도 존재한다.

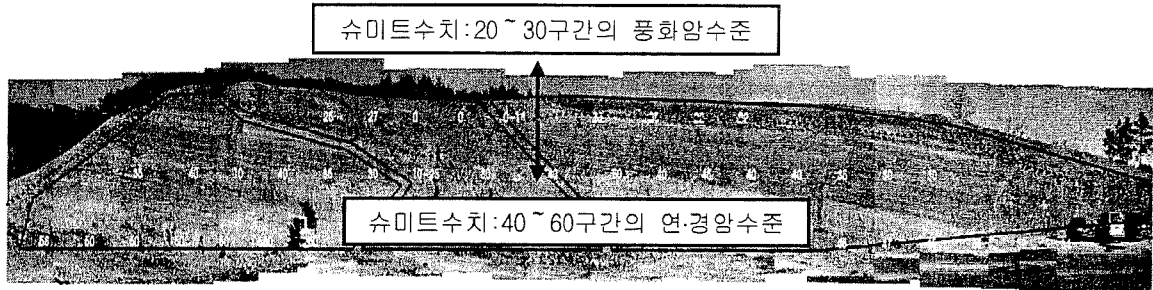


그림 9. 슈미트해머 반발수치 분포

2.3 실내시험을 통한 토질 및 암석의 강도특성 파악

현장 정밀지표지질조사를 통해서 사면 전반에 걸쳐 존재하는 위험 불연속면 및 풍화특성을 완전히 파악했다고 판단되면 실내시험과 현장시험 등을 통하여 암석 및 암반의 강도 및 공학적 특성을 파악해야 하는 과정이 필요한데 본 연구에서는 아래와 같은 몇 가지 실험을 통하여 그 특성을 규명하였다. 본 연구에서 수행한 실내시험은 일축압축강도시험(uniaxial compressive strength test), 삼축압축강도시험(triaxial compressive strength test), 암석 절리면 전단시험(shear box test of rock joint) 및 풍화내구성 지수시험(slaking durability index test) 등으로 암반사면의 안정성 평가시 적용되는 점착력 및 내부마찰각등의 강도정수와 변형계수 등을 선정하는 기초자료로 활용할 목적으로 수행되었다.



그림 10. 암석의 일축압축강도 시험 및 삼축압축강도 시험전경

일축압축강도시험 결과 현장의 절취사면 하부에서 채취된 모암인 세일의 하부에서는 암석의 일축압축강도는 약 1500 kg/cm^2 이상이나 절취사면의 상부에서 채취된 세일의 일축압축강도는 약 $480 \sim 620 \text{ kg/cm}^2$ 정도로 나타나 신선한 암석의 시험결과에 비하여 매우 낮은

강도 수치를 보였다. 이러한 결과는 현장의 암석표면에서 수행한 슈미트해머 시험결과와도 거의 일치하는데, 이는 세일암반 내 미세균열 및 균열내 충전물질(CaCO_3)이 습윤 또는 포화로 풍화가 진행시 연약화되는 특성에 따른 현상으로 추측할 수 있는데 본 지역 세일 암반(특히 풍화가 많이 된 사면 중간부의 상부)이 우기시 풍화가 상당히 빨리 진행되고, 강도가 상당히 저하될 수 있음을 보여주는 자료로 판단할 수 있으며, 삼축압축강도시험 결과는 Hoek & Brown 파괴기준에 의한 암반강도정수 평가시 참고자료로써 활용되었다.

절리면 전단시험 결과를 참조하면 풍화가 약간 진행된 절리면이 신선한 절리면의 경우에 비하여 절리면 전단강도가 낮게 나타나 일축압축시험결과와 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다.

토질 직접전단시험의 함수상태는 자연함수 상태와 침수상태의 2조건으로 구별하여 전단 시험을 수행하였으며, 시료를 성형하고 남은 시료에 대하여 함수비시험을 수행하였다. 포화된 시료를 직접전단시험기에 셋팅하고, 수직하중은 시료의 심도를 고려하여 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5kg/cm²의 5단계로 가한 후, 0.3mm/min의 전단속도로 시료의 전단저항을 측정하여 각각 점착력(c)과 마찰각(ϕ)을 구하였다.

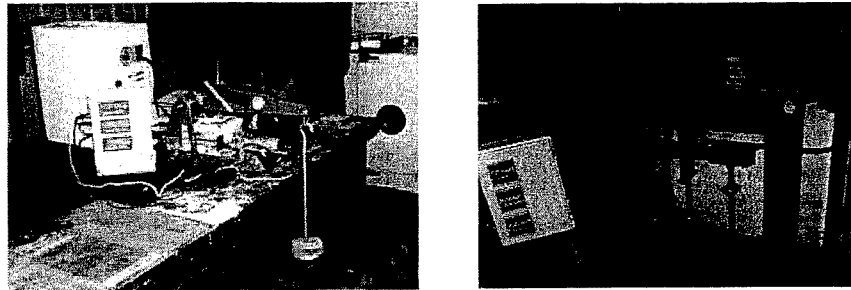


그림 11. 암석의 절리면 전단강도 시험 및 토질 직접전단시험 전경

풍화 내구성 지수 시험결과를 참조하면 사면 하부에 존재하는 세일의 경우 2nd Cycle의 풍화 내구성지수가 97.91% 정도로서 Gamble's Slake Durability Classification 에 적용해보면 High durability 영역에 해당되어 풍화내도가 높은 것으로 나타났으나, 다만 사면의 중앙부인 ZONEⅡ의 중앙부에 존재하는 암맥은 풍화내구성 지수가 2nd Cycle인 경우 98.66%, 5th Cycle인 경우 98.09%로서 거의 풍화되지 않는 양호한 암석으로 판단되었다. 세일층인 Test-3 의 경우 풍화내구성 지수가 약 84.3%정도로 나타났고, 특히, 5th Cycle의 경우 풍화내구성지수가 71.63%로 급격히 감소되는 결과로부터 본 지역 세일이 굴착 후 풍화 환경에 노출될 경우 풍화 속도가 상대적으로 안산암맥에 비해 매우 빠르게 진행될 것(특히 절취사면의 중간 상부에 존재하는 세일층이 더욱 취약)을 예측할 수 있다.

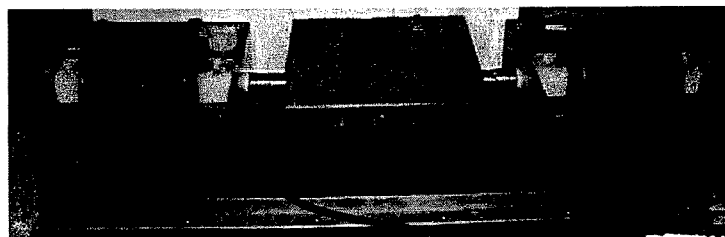


그림 12. 암석의 풍화내구성지수 시험전경

2.4 수치해석을 위한 지반강도정수 산정 및 모델링

본 과업 수행시 사면안정 해석단면은 지표지질조사, 시추 및 공내영상촬영을 통하여 확인된 암반 불연속면의 주향 및 경사를 선정하였으며, 해석시 적용된 지반정수는 대상 암반에 대하여 수행한 현장시험, 실내시험 및 암반분류법 등으로 산정된 결과를 참조하여 선정하였다.

해석 단면으로는 현재 사면 상부 붕괴가 일어난 중심부(암맥이 6m폭으로 관입된 지역)인 ZONE II 지역의 STA. 0+400 지점과 이와 비교검토를 위해 매우 유사한 절리 지질특성을 보이는 ZONE I, ZONE III 두 지역(모암인 셰일로서 구성된 일반적인 지질 특성의 지역)의 대표적인 구간인 STA. 0+360 지점의 대절토사면부를 선정하였다.

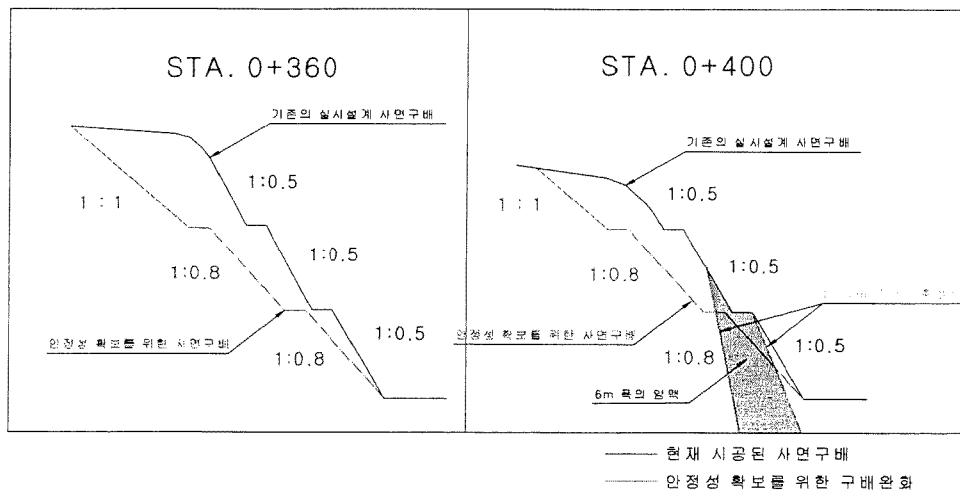


그림 13. 수치해석시 적용한 해석단면 (소단높이 10m, 소단 폭 2m)

수치해석을 수행함에 있어서 본 연구지역의 STA.0+400 (ZONE II) 지점의 안산암질 암맥의 관입에 의한 단층 및 단층점토의 조건을 보다 현실적으로 모델링 하기 위하여 실내시험을 통하여 산정한 관입된 안산암질 암맥의 지반강도 정수 및 단층면에 존재하는 단층점토의 강도정수를 산정, 프로그램 해석 모델링시 이러한 조건을 최대한 반영하여 모델링 하였다.

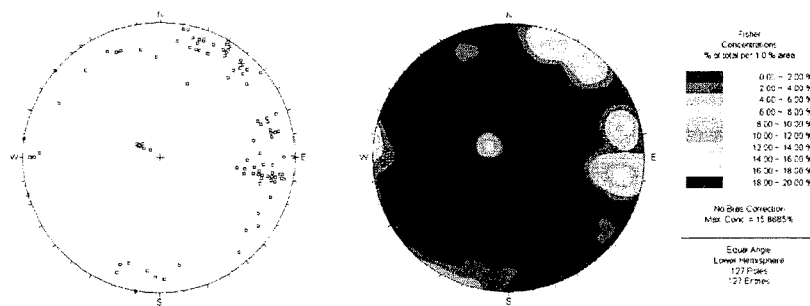
본 사면의 지반강도정수 산정은 한계평형법 및 유한차분해석(FLAC)에 적용된 풍화잔류토층 및 단층점토의 경우에는 토질/풍화암 전단시험에 의한 수치로 해석하였으며 연암 이상의 암반에 대해서는 RMR 분류를 통한 암반 등급별로 개략적인 범위를 추정한 후 실내 역학시험결과 및 Barton 의 경험식(1974)의 비교분석을 통하여 산정하였으며, 지반조사자료를 참고하여 본 사면에 가장 적합한 물성치를 산정하였다. 암반의 물성치를 결정하기 위해 수행한 각 실험결과 중 Hoek & Brown 파괴기준식의 결과는 파괴기준식의 비선형성에 따른 결과로서, 산정된 점착력과 내부마찰각이 intact rock의 높은 응력수준 영역에 해당되는 것으로 판단되어 본 사면 검토 조건과는 다소 상이한 것으로 판단되어 암반의 강도정수 산정시 참고자료로만 활용하였으며, 개별요소법(UDEC)에 적용된 불연속면의 강도정수의 산정은 암석절리면 전단시험결과를 사용하였다.

2.5 사면안정성 분석

사면안정해석은 본 연구검토대상 사면의 지층분포가 잔류풍화토, 풍화암, 연암 및 경암으로 구성되어 있으므로, 암반사면에 대하여는 평사투영법에 의하여 정성적인 파괴 가능성을 해석하였고, 풍화대(풍화토 및 풍화암)에 대하여는 한계평형해석(limit equilibrium analysis)을 원칙으로 수행하였다. 그러나 연구대상 사면은 연암층이라 하더라도 절리의 발달이 심하여 한계평형해석에는 저부 연암층을 포함하여 안전해석을 수행하였다. 한편, 본 검토 대상 사면이 위에서 언급한 바와 같이 풍화대(잔류풍화토 및 풍화암)와 암반사면으로 이루어졌으므로 안전율을 구할 수 없으나 그 응력-변형 거동을 파악할 목적으로 유한차분법에 의한 수치해석을 수행하였고 암반체 해석을 위해서 개별요소법을 이용한 수치해석도 병행하였다. 더불어 ZONE II 지역의 관입암 경계부의 경우 일부 절리에 의한 전도성 평면파괴의 영향을 관찰하기 위하여 한계평형이론을 토대로한 평면파괴해석 또한 수행하였다.

2.5.1 평사투영 해석결과

본 지역은 전체적으로 수평인 완만한 층리면이 주를 이루고 있으며 3~4개의 수직 절리군들이 규칙적으로 발달하고 있는 것으로 확인되었다. 지표지질조사 결과를 참조하면 층리면의 경우 경사가 15~20°내외로 비교적 평탄하고 방향성 또한 사면방향에 대하여 역방향으로 안정한 것으로 나타나 큰 위협요소로 작용하지는 않을 것으로 판단된다. 또한, 대부분의 절리들이 고각(高角:75~85°가 대부분임)으로 존재하고 있어 특별히 평면파괴나 쉐기파괴의 위험은 적은 것으로 분석되었다. 하지만, 수직 절리중 일부 절리군들에 의한 전도파괴의 위험성은 존재하는 것으로 분석되었으며 ZONE II(STA.0+400)구간에는 사면 중간-하부에는 관입암맥 전면에 위치하는 모암인 셰일내에 관입암맥의 단층작용에 기인한 것으로 보이는 도로쪽으로 10. 기울기로 기울어진, 연장성 1~2m인 절리가 간혹 분포하는데 이 절리들로 인한 평면파괴의 가능성은 적은편이지만, 후방의 수직단층 틈새에 지하수압이 발생하면 전도성 평면파괴로 붕괴될 가능성도 있는 것으로 판단된다.



(a) 전체구간에 대한 절리발달 현황 (b) Pole Contour 에 의한 절리군 분석

그림 14. 전체 구간에 대한 평사투영 해석결과

2.5.2 한계평형해석 결과 (SLOPE/W Program 사용)

사면붕괴가 일어난 지점은 안산암의 관입에 따른 단층작용으로 셰일의 파쇄가 매우 심하며 붕괴가 일어난 지점이(STA.0+400) 약간의 계곡부이므로 풍화가 매우 심하게 진행된상태

이므로 상대적으로 강도와 풍화내구성이 강한 암맥을(두께 5~7m) 사면절취시 제거함에 따라 뒤쪽에 풍화가 심한 풍화암층이 원호파괴의 양상을 띠며 붕괴가 일어난 것으로 판단된다. 따라서, 사면안정검토는 설계사면경사에 대한 안정성을 검토할 목적으로 대상 암반을 연속체로 가정한 원호파괴해석을 현재 절취된 사면구배에 따라 수행하였으며 기준 안전율을 만족하지 않은 경우 사면 안정성을 확보할 수 있는 적절한 사면 경사를 제시하기 위하여 별도의 안정해석을 수행하였다.

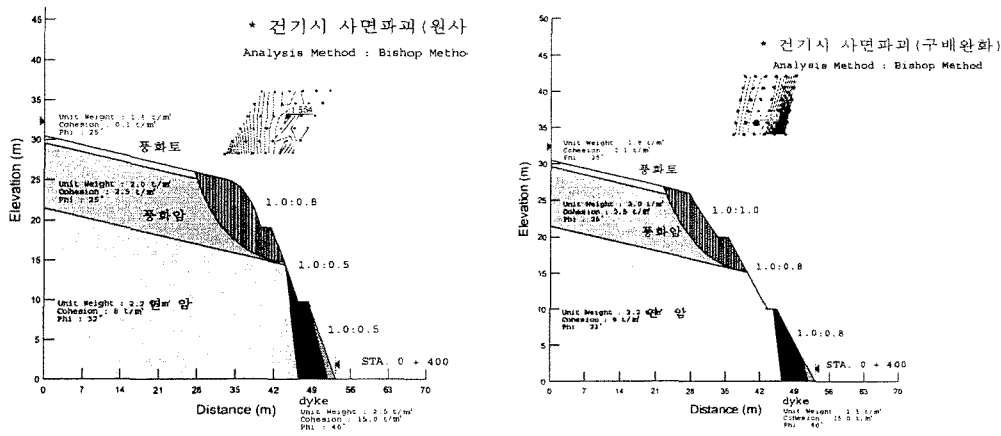


그림 15. 한계평형 해석 결과(Slope/w)

STA.0+360, STA.0+400 두 사면 모두 현재 시공된 사면경사 조건에 대하여 해석한 결과 사면의 우기시 안전율이 FS=1.07, 0.96 등으로 산정되어 기준안전율 $F_s=1.2$ 를 만족하지 않는 것으로 나타나 별도의 대책안이 필요한 것으로 판단되어, 이에 대한 대책 방안으로 본 검토에서는 사면 경사를 조정하는 방안에 대하여 검토하였는데 위에서 언급한 경사조건에 대하여 안정해석을 수행하였을 때 지층조건 및 사면고에 따라 다소 차이는 있으나 건기 및 우기시 조건에 대하여 모두 기준 안전율을 만족하는 것으로 나타났다.

한편, 연암층을 포함한(저부) 원호파괴활동은 실제의 사면파괴와는 다소 차이가 있으나 연암이상층의 지반의 파쇄가 다소 심하며, 절리가 불규칙하게 발달되어 있고, 또한 관입된 안산암맥의 역할을 확인해 보는 차원에서 저부파괴 또한 해석해 보았는데, 그 결과 관입암이 있는 STA.0+400 지역에서의 저부파괴 안전율이 높게 나타나 주위지층에 비해 강도가 강하고 풍화의 영향을 적게 받는 안산암맥은 전체사면의 안정성 측면에서 볼 때 전체사면의 자연적인 억지 말뚝의 역할을 하는 것으로 판단되었다.

2.5.3 유한차분법을 이용한 수치해석결과 (FLAC Program 사용)

본 수치해석결과를 참조하면 STA.0+360(ZONE III), STA.0+400(ZONE II) 구간의 우기시 조건의 경우 암반 블록의 최대변위량은 각각 522mm 및 360mm로 사면 상부에서 많은 변위량을 보여 불안정한 것으로 나타났고 1:0.8로 구배완화시 각각 11.2mm 및 87.3mm로 사면의 전체적인 안정성에는 큰 문제는 없으나 상부 취약한 지층에는 약간의 불안정성을 내포하는 것으로 판단된다.

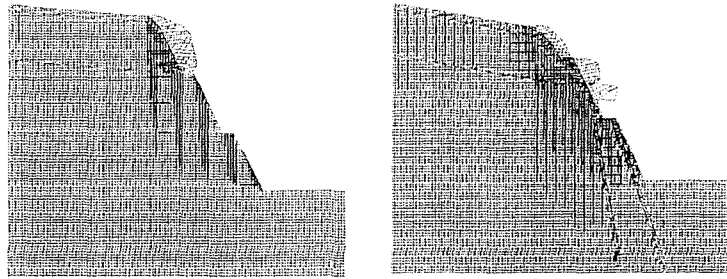


그림 16. 유한차분 해석 결과(FALC)

2.5.4 개별요소법을 이용한 수치해석결과 (UDEC Program 사용)

개별요소 해석결과를 참조하면 STA.0+360(ZONE III), STA.0+400(ZONE II) 구간에서 기존 설계된 1:0.5사면의 우기시 조건의 경우에는 암반 블록의 변위량이 각각 1.6mm 및 9.6mm로 나타나고, 1:0.8 구배완화시 각각 0.6mm 및 5mm로서 변위측면에서 볼 때는 사면의 전체적인 안정성에는 큰 문제가 없는 것으로 나타났다. 하지만, 암석의 파쇄가 심하고 풍화심도가 깊으며 대부분 수직절리가 발달했기 때문에 국부적인 낙석의 우려가 있으므로 록볼트를 이용한 결착식 능형망등의 낙석 보호공 설치가 필요한 것으로 판단된다.

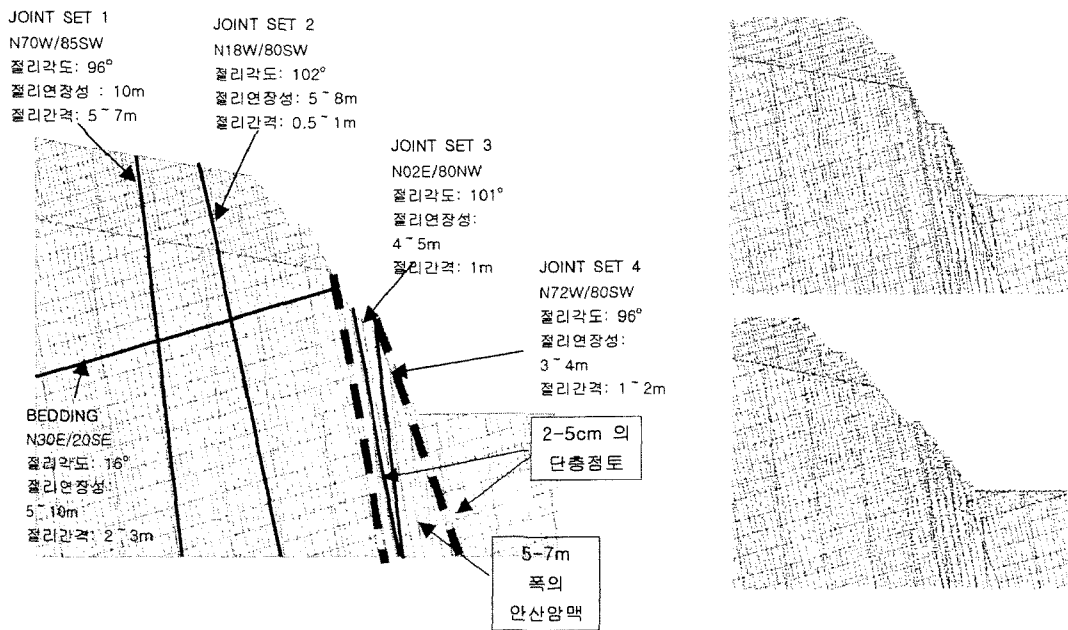


그림 17. 수치해석 모델링 형태(STA0+400구간) 및 결과

2.5.5 한계평형법을 이용한 암석블록의 평면파괴 수치해석결과 (Rock Plane Program 사용)

본 해석은 지표지질조사 결과 확인된 STA.0+400지점 (ZONE II)의 안산암 관입경계면의 전면부에 잔존하는 세일층 내에 존재하는 일부 절리(암맥의 관입시에 발생한 단층작용에 기인한 것으로 사료됨)에 의하여 절취사면의 중앙하부에서 국부적으로 전도성 평면파괴의 가능성이 다소 예상되므로, 부분적인 암반의 블록거동을 시뮬레이션하기 위하여 한계평형법을 이용한 수치해석(Rock Plane Program)을 실시하여 안정성을 평가하였다.

본 해석의 결과를 보면 1:0.5 원사면의 우기시 만수위로 해석한 경우 안전율이 $F_s=0.97$ 로서 기준안전율에 미치지 못하는 것으로 나타났으나 1:0.8 구배완화로 인해 관입암맥 전면의 세일암반이 점차로 수직으로 길쭉한 암괴에서 보다 삼각형 형태로 변하고 또한 암괴 크기도 줄어들어 따라 우기시 안전율이 $F_s=3.82$ 로서 구배완화후 전면부에 위치한 세일암반이 붕괴될 위험성은 적은것으로 판단되었다.

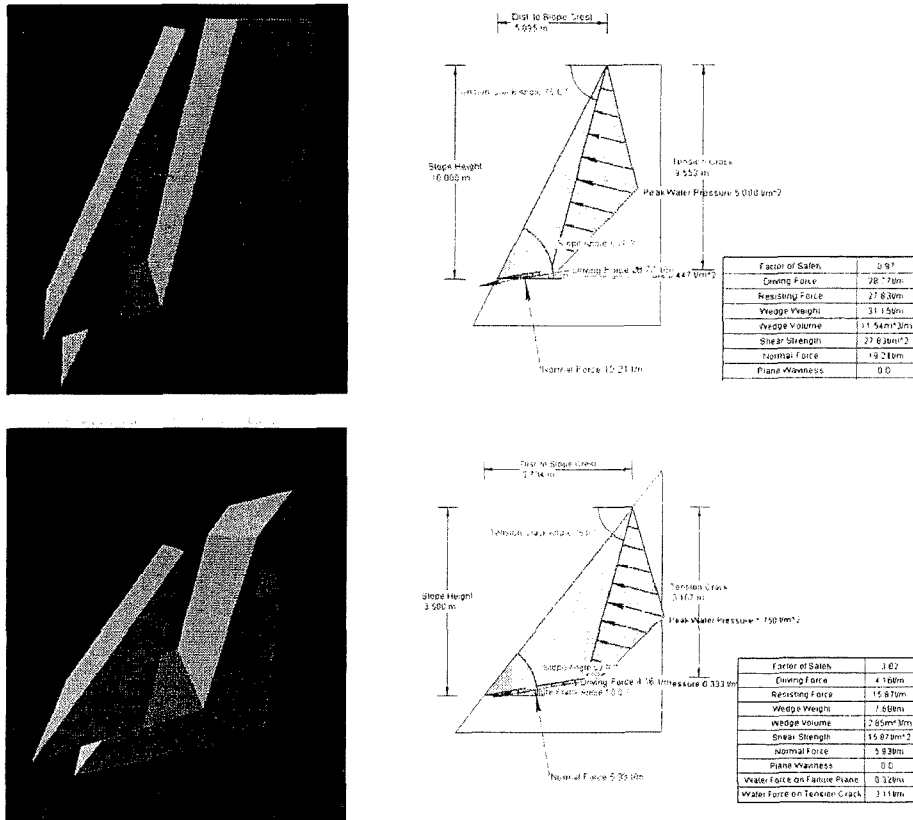


그림 18. 한계평형법을 이용한 평면파괴 해석 모델 및 해석 결과

5. 결론

본 연구사면에 분포하는 암석은 경상남북도 지역에 광범위하게 분포하는 중생대 백악기 퇴적암으로서 주로 셰일(shale)로 구성되어있으며, 본지역 지질의 특이한 점은 절취사면의 중심부인 STA.0+400 부분(이미 붕괴가 일어난 중심부:ZONE II)은 안산암질 암맥이 6m 폭으로 관입되었고 사면의 상부지역은 파쇄가 매우 심하며(관입으로 인한 단층작용에 의해서 형성된 것으로 추정) 또한, 지형적으로도 계곡부이므로 풍화심도가 매우 깊고, 풍화내구성 지수 시험결과에 따르면 본 지역의 모암인 셰일은 습윤 및 건조 반복횟수별 내구성지수의 저하가 두드러진 점등으로 판단할 때 풍화에 대한 저항력이 비교적 약한 것으로 평가할 수 있다.

파쇄 및 풍화가 심한 모암에 비해 비교적 강한 암석인 암맥이 파쇄가 심한 부분의 역지

말뚝 효과로 파쇄대 부분을 지지하고 있었으나 이를 정확히 파악하지 않은 상태에서 암맥 상부를 제거하여 지난여름 폭우시 상부 파쇄가 심한 부분이 대규모로 원호파괴 형태로 유실되었다. 이와같이 대규모로 암맥이 관입하였을시 관입 및 관입으로 인한 단층작용에 의한 파쇄가 심하므로 같은 지역에 조성되는 사면이라고 하더라도 서로 다른 지반특성을 나타내므로 사면 안정성 분석시 이러한 부분들을 면밀히 검토해야한다.

또한 암맥이 대규모로 관입한 지역에서는 관입으로 인해 발생하는 단층, 각종 풍화 및 지하수특성과 단층면 사이에 존재하는 여러 충전물(단층점토)들이 사면의 안정성에 큰 영향을 미치기 때문에 설계당시 정밀한 조사가 필요하며 공사중에도 정밀지표지질조사를 통해서 충분히 조사하고 현장여건을 충분히 고려한 현장시험 및 실내실험을 통해 지표지질조사와 비교, 분석하여 적절한 굴착 및 보강방안을 마련하여야 발생할수 있는 여러 파괴현상들을 미연에 방지할수 있다고 생각한다.

참고문헌

1. Barton, N.R. "A review of the shear strength of filled discontinuities in rock". Norwegian Geotech. Inst. Publ. No. 105. Oslo : Norwegian Geotech Inst. 1974
2. Hoek, E., Wood, D. and Shah, S. "A modified Hoek-Brown criterion for joint rock masses". Proc. rock characterization, symp. Int. Soc. Rock Mech. : Eurock'92,(ed. J.A.Hudson) pp209-214. London : Brit. Geol. Soc. 1992
3. Bieniawski, Z.T. "Engineering rock mass classifications". pp51-72 NewYork : Wiley, 1989
6. 한국지반공학회. "지반공학시리즈 11-토목기술자를 위한 암반공학", 2000년
7. 건설교통부, "국도건설공사 설계실무 요령". 2003. 3