

안동 흑운모화강암 지역의 진행성 파괴사면 안정성 평가

백승철

안동대학교 토목환경공학과

(접수 2000. 1. 25. / 채택 2000. 6. 19.)

Stability Evaluation of Progressive Failure Slope in Biotite Granite Area of Andong

Seung-Cheol Baek

Department of Civil & Environmental Engineering, Andong National University

(Received January 25, 2000 / Accepted June 19, 2000)

Abstract : This paper deal with the stability evaluation and suggestion of progressive failure slope in biotite granite area of Andong. Based on geological site investigation and field test, stability analysis of slope was performed in conjunction with limit equilibrium methods and stereographic projection. Additionally, initial design and construction procedure was critically evaluated. Series of the slope stability analysis reveals the detection of local wedge and plane failure under the current slope condition. It is additionally appeared that a certain synthetic behavior of circle and plane failure exists on the right spot where the overall failure's going in progress. In order to construct more stable slope based on the suitability for the real state of the slope circumstances, this study issues a solution to eliminate the primary factors which cause the instability, by means of the grade of weathering and RMR classification of rock mass.

1. 서 론

1999년 11월 10일 오전 부산 황령터널 입구 절토 사면에서 토사 20여 만 톤이 무너져 내리는 사고로 무고한 시민의 회생과 막대한 복구비용이 필요하게 되었다. 사고조사 결과 현장지질의 특성을 고려하지 않은 절토사면 설계 및 시공기준 때문에 발생한 것으로 판명되었으며, 이와 같은 불연속면의 특성 등 지질조건을 고려하지 않은 절토사면 공사가 얼마나 많은 피해를 줄 수 있는지 다시 한번 확인할 수 있었다.

황령터널 절토사면 붕괴와 유사한 사고가 1999년 초 안동에서도 발생하였다. 시 개발 계획에 따라 ○○건축물을 시공하기 위하여 주변의 산지를 절토하는 등 부지정리 작업이 완료되어 본 건축물 시공을 준비하는 과정에서 사면의 일부 구간이 붕괴되었다. 이에 사면을 조사한 결과

다른 곳에서도 균열이 발생하는 등 파괴가 계속 진행되어 사면이 불안정한 것으로 나타났다. 따라서 현재 사면 조건을 그대로 방치하면 붕괴로 인한 피해가 예상되어 사면 안정성 검토를 실시하여 그 대책을 수립하게 되었다.

사면의 안정성 평가는 실내 및 현장시험에 의해 얻어지는 지반 강도정수를 이용한 한계평형 해석의 안전율 개념 또는 암반의 기하학적 성질을 이용한 평사투영법 해석으로 평가하는 것이 일반적이다. 그러나 이들 해석법은 사면 안정성 평가는 가능하나 외적 변동 요소로 지질조건의 변화에 따른 향후 사면의 불안정 요인을 예측할 수 없다. 따라서 개략적인 방법이지만 공학적 기법과 정성적인 지질상황을 정량적으로 평가하는 암반분류 및 풍화등급 분류에 의한 암반평가를 하여 사면 지질조건의 변화에 따른 불안정 요소를 예측할 필요가 있다.

본 연구에서는 안동에서 발생한 진행성 파괴 사면의 안정성 해석과 파괴사면 암반의 풍화등

급 분류 및 암반분류를 수행하여 사면의 불안정 요인을 제거할 수 있는 효율적 사면 안정대책을 방법을 제시하고자 한다. 사면의 효율적 안정성 검토를 위하여 설계도서와 시공현황 조사, 지질 조사와 현장시험 및 사면 안정성 해석 등으로 나누어 실시하였다. 설계도서와 시공현황 조사의 목적은 설계에 반영된 조건과 기준의 적합성을 검토하고, 설계대로 시공이 이루어 진 것을 확인하기 위한 것이며, 지질조사와 현장시험은 사면의 풍화 및 암반분류와 사면 안정성 해석을 위한 자료를 얻기 위해 수행하였다. 사면 안정성 해석은 한계평형 해석과 평사투영법을 이용하였으며, 해석 결과 불안정한 사면으로 평가되어 풍화등급과 RMR^{1,2)} 분류를 이용하여 불안정 요인을 제거할 수 있고 현장 상황에 부합하는 대책을 제시하였다.

2. 지질구조 및 사면 현황

2.1. 지질개요

조사 사면은 길이 약 180m, 높이 약 45m 규모로 기반암은 입자가 절리 및 단층선을 따른 풍화의 발달로 변색되어 황갈색 또는 황백색을 띠고 있는 중생대 쥬라기 흑운모 화강섬록암과 부분적으로 발달된 페그마타이트(pegmatite)로 형성되어 있다³⁾. 조사 사면에 나타나는 단층은 인근에서 발달한 안동단층의 영향으로 파생된 소규모 단층이며, 여기에서 나타나는 단층활면과 단층점토는 절리면과 함께 사면의 안정성에 영향을 미치고 있다.

조사 사면은 이미 절토가 이루어져 있고, 전반적으로 단층 및 절리의 발달로 인하여 풍화가 많이 진행되어 있으며, 하부의 일부만이 신선 또는 약한 풍화 정도를 보이고 있다. 사면 상부 풍화토는 주 구성 성분인 장석이 점토화 되어 있으며 이는 화학적 풍화가 빠른 속도로 일어날 수 있음을 의미한다. 조사지역에 가장 넓고 두껍게 분포하고 있는 것은 풍화암으로 육안분류에 의한 풍화정도는 심한 풍화 또는 완전 풍화된 상태로서 절리 및 균열이 발달되어 있고, 하부의 연암은 절리면을 따라 심하게 풍화가 진행되어 황갈색으로 변색되어 있다. 중간 풍화 내지 심한 풍화된 상태로 분포하며, 염리 및 절리의 발달로 인하여 조사 사면의 안정성에 영향을 줄 것으로

판단된다.

경암은 조사지역의 하부에 괴상의 형태로 소규모로 분포하고 있으며, 대체로 신선 또는 약한 풍화 상태로 존재한다. 일부 절리면은 변색되어 있거나 칼사이트(calcite)로 충진되어 있으며, 대체로 회백색을 띠고 있다. 분포 범위가 적고 신선하여 사면의 안정성에는 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

2.2. 설계 및 시공현황

대부분 절토 사면의 안정성은 암반의 강도보다는 불연속면의 주향과 경사, 거친정도 등 불연속면의 특성에 의하여 영향을 받으므로 설계기준에 따라 시공이 이루어져도 사면이 불안정해지는 경우가 있다⁴⁾. 조사 사면은 일반적인 암의 시공 난이도에 따른 사면 경사로 설계하였으며, 시공도 설계에서 제시한 사면 경사로 공사하였으나 작업과정 중 나타난 지질 특성을 고려하지 않고 공사를 진행하였고, 풍화 속도가 빠르게 이루어지고 있어 우기를 지나면서 급속도로 불안정한 상태로 되어졌다고 판단된다.

현장의 설계도서 검토 및 조사측량 결과 사면의 경사는 Table 1과 같다. 사면은 설계 기준에 따라 시공되었으나 약 4개월이 지난 후부터 일부 구간에서 사면 파괴가 발생하였고, 사면 정부에 균열이 발생하여 파괴가 진행되고 있었다. 이것은 설계시 암반내에 발달한 층리, 단층, 절리 등과 같은 불연속면의 특성을 정확하게 파악하기 힘들어 시공 난이도에 의한 암반분류법에 따라 발파암, 리핑암, 토사 등으로 구분하여 절토경사를 적용하여 시공하였기 때문이다.

Table 1. Design criterion of cutting slope

토 질	경 사	비 고
토사	0~5 m 5m 이상	1 : 1.2 1 : 1.5 5m마다 소단 1m 설치
	리핑암	1 : 1.0 5m마다 소단 1m 설치
	발파암	1 : 0.5 절토 20m마다 소단 3m 설치

2.3. 사면의 불연속면 및 파괴 현황

조사 사면은 흑운모 화강섬록암을 기반암으로 하여 절토로 인한 응력 해방, 사면 하부까지의 진행한 풍화, 단층대 및 연속성 절리의 발달로

Table 2. Situations of discontinuities and failure

위 치	분포 암석	불연속면 종류	파괴현황
시점~No.1	흑운모화강섬록암	경사절리	.
No.1~No.2	흑운모화강섬록암	단층, 경사교차절리	평면파괴 발생
No.2~No.4	흑운모화강섬록암	단층, 판상절리, 균열	파괴 진행 중
No.4~No.5	흑운모화강섬록암	경사절리, 판상절리	.
No.5~종점	흑운모화강섬록암	경사교차절리 단층, 균열	파괴 진행 중

파괴가 발생한 곳과 파괴가 진행되는 지역이 존재하고 있다. 불연속면과 파괴현황은 Table 2와 같다. 각 지점 번호는 사면을 조사하기 위하여 임의로 분할한 것으로 그 간격은 20m이다.

조사결과 주 불연속면은 경사교차절리 및 판상절리가 발달되어 있고, 풍화가 심하게 진행되어 불안정한 사면을 이루고 있고, 시점~No. 1지점에 이미 평면파괴가 발생하여 사면 상부의 토사가 하부까지 이동되었고, No. 2~No. 4 및 No. 5~종점에서 일부구간에 균열발생 등 파괴가 진행하고 있다.

2.4. 단층

조사 사면에는 몇 개의 단층이 발달되고 있으며, 단층으로 인한 단층 파쇄대, 단층활면, 단층 점토, 단층 각력이 나타나고 있다. 그리고 이 단층선과 평행한 절리가 발달되어 있고, 주변 암석의 풍화가 급속히 진행되어 매우 불안정한 상태를 나타내고 있다. 단층의 경사 및 경사방향의 조사 결과는 Table 3과 같다.

단층면 사이에는 점토와 각력이 분포하고 있으며, 그 사이 간격은 최소 3~10cm, 최대 10~

Table 3. Dip and dip direction of faults

위 치	경 사	경 사 방 향
No.2 ~ No.4	34 ~ 42	195 ~ 218
	56 ~ 62	076 ~ 088
No.4 ~ 종점	61 ~ 70	130 ~ 155
	80	328
	70	155

30cm 정도를 보여주고 있다. 단층 파쇄대, 단층 활면, 단층점토 등은 사면의 안정에 큰 영향을 줄 것으로 판단된다. Table 3에 제시된 단층의 경사 및 경사방향은 평사투영법에 의한 사면의 안정성 검토에 이용되었다.

2.5. 절리

조사사면의 절리는 주로 화강암류에서 많이 나타나는 상부 하중의 제거로 인한 용력 해방과 함께 발달하는 판상절리와 단층에 의한 절리, 지각변동으로 인한 소규모 교차절리와 엽리가 발달하고 있으며, 풍화가 진행되면서 엽리를 따라 발생한 미세한 절리 등이 불규칙하게 분포하고 있다.

절리면 사이의 간격은 밀착된 것과 1cm에서 5cm정도로 간격을 나타내는 것이 있으며, 현재 파괴가 진행중인 절리는 최대 30cm 정도의 틈을 보이고 있다. 절리면 사이에는 일부 점토와 방해석으로 충전되어 있어 파괴 원인을 제공하고 있다.

이 절리군의 방향을 분석하면 Fig 1.같다. 시점~No.4에서 주 절리군은 N10°~20°W와 일부 N50°~60°W 방향으로 발달되어 있고, No. 4~종점의 주 절리군은 N55°~80°E와 일부 몇 개의 방향으로 발달되어 있다.

3. 현장시험

현장시험은 풍화등급 분류 및 암반분류를 위한 암반평가 자료와 사면 안전성 해석에 이용되는 설계정수 자료를 얻는 것이 목적이며, 시험은 Schmidt hammer 시험, 점하중시험, 전단시험 등을 수행하였다. 전단시험과는 달리 반발경도로 암석을 평가하는 Schmidt hammer 시험과 인장을 유발시켜 암석을 파괴시키는 점하중시험은 암석의 강도 추정뿐만 아니라 풍화정도를 추정 할 수 있는 정량적 지표로 사용할 수 있고, 추정 암석 강도는 암반의 상태를 확인할 수 있는 자료로도 활용될 수 있다. 따라서 이를 시험을 수행하여 RMR 평가 자료와 안정성 해석에 필요한 변수를 얻고 풍화 정도와 암반의 상태를 평가하는 지표로 활용하였다.

3.1. Schmidt hammer 시험

조사 사면 암반 사면의 강도를 파악하기 위하

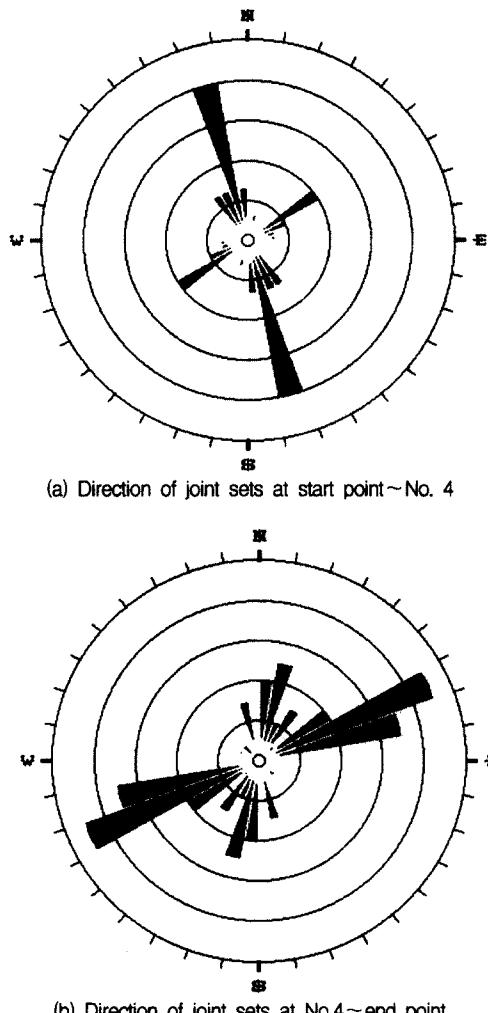


Fig. 1. Direction of joint sets

여 사면 현장 40곳에서 Schmidt hammer 시험을 실시하였다. 시험은 ISRM⁵⁾에서 제안한 방법을 이용하였다. 시험 지점마다 총 20회를 시험하여 상위 50%의 값의 평균값을 이용 대표값을 결정하였다. 각 지점의 시험 결과를 위치별로 정리하면 Table 4와 같다.

조사지점은 지질조사 결과와 해석을 위하여 시점~No.1, No.1~No.4, No.4~No.5, No.5~종점 4 곳으로 분류하여 실험하였다. 시점~No.1은 비교적 신선한 노두가 나타나는 지점이고, No.1~4는 현재 파괴가 일어난 사면의 좌측부로 상단에 대규모 구조선이 발견되는 지점이다. 또한 No.4~No.5와 No.5~종점은 사면의 상당부가 풍

Table 4. Results of Schmidt hammer test

위치	반발치	추정 일축압축강도(kg/cm ²)	
		범위	평균
시점~No.1	53~56	846~938	892
No.1~No.4	17~59	184~1,071	628
No.4~No.5	40~54	489~867	678
No.5~종점	12~60	143~1,173	658

화되어 많은 절리가 발달되어 있는 지점이다.

Schmidt hammer 시험결과 평균값을 이용하여 일축압축강도를 추정하면 대체적으로 중경암으로 판단되나 시점~No.1 지점을 제외하고는 추정 일축압축강도 범위가 넓음을 알 수 있었다. 이는 사면의 대부분이 매우 심한 풍화를 받아 절리가 발달되어 Schmidt hammer의 충격을 흡수하는 지점과 풍화가 발달되지 않아 비교적 신선한 노두가 나타나는 지점이 존재하게 때문에 나온 결과로 추정된다. 이것은 조사 사면 암반이 풍화와 절리가 상당히 발달한 것을 의미한다.

3.2. 점하중시험

점하중시험은 암석 시편에 점하중을 가하여 시편 내에 인장강도를 유발시켜 암석을 파괴시켜 암석의 압축강도를 추정하는 방법이다. Broch 와 Franklin⁶⁾이 처음 체계화된 실험 방법을 제안한 이후 비교적 저가이면서 이동성이 뛰어나 현장에서 바로 실험하여 결과를 얻을 수 있고, 정형된 시편뿐만 아니라 비정형 시편에도 적용할 수 있는 장점이 있어 많이 이용되는 시험방법이다.

본 시험은 사면 현장 각 지점에서 비정형 암편 10개를 채취하여 그 실험 평균값을 대표값으로 결정하였다. 물론 시험 시편이 부정형인 관계로 크기 보정계수를 고려한 표준값을 구하였다.

시험결과는 Table 5에 제시하였다. 점하중시험 결과로 현장 암석의 일축압축강도를 추정하면 Schmidt hammer 시험결과와 같이 중경암으로 판단되며, 이는 시험방법이 노두에서 직접 시험하는 Schmidt hammer 시험과는 달리 암석 시편을 이용하여 시험하는 것으로 조사 사면의 암석의 풍화가 심하게 발달되어 Schmidt hammer 시험에

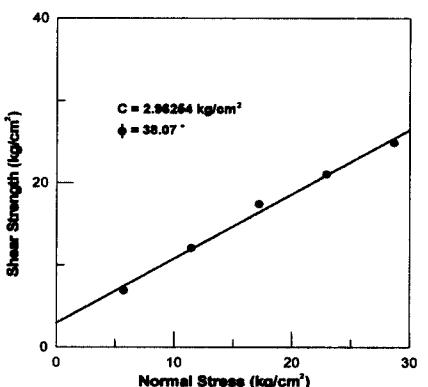
Table 5. Results of point load test

위 치	점하중지수, $I_{f(50)}$	추 정 일축압축강도(kg/cm ²)
시 점~No.1	30.5	610
No.1~No.4	28.7	574
No.4~No.5	29.5	590
No.5~종 점	17.0	340

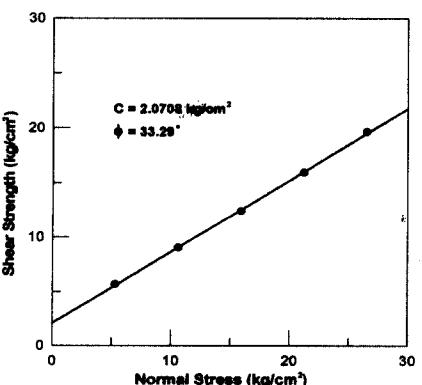
비해 비교적 낮은 일축압축강도 값을 나타내고 있다고 추정된다.

3.3. 직접전단시험

암반 단순 절리면 전단시험도 ISRM⁷⁾ 기준에 따라 대표지점 4 곳에서 시편을 채취하여 실험하다. 조사 사면은 기반암이 흑운모 화강섬록암으로 대부분 풍화 정도에 의한 차이만 있고 시험값이 거의 유사하여 2곳의 결과만 제시하였으며 그 결과는 Fig. 2와 같다. 시험결과 내부마찰각은 35°, 점착력은 2.0kg/cm²로 결정하였으며, 이 내부마찰각과 점착력은 암반사면의 평사투영법 해석에 이용하였다.



(a)



(b)

Fig. 2. Results of direct shear test in rock

각은 35°, 점착력은 2.0kg/cm²로 결정하였으며, 이 내부마찰각과 점착력은 암반사면의 평사투영법 해석에 이용하였다.

또한 현장에서 합수비 및 들판도 시험을 하여 토사 부분의 현장조건을 실험실에서 재현하였다. 토사의 내부마찰각과 점착력은 직접전단시험으로 값을 구하였으며, 실험 결과 흙의 내부마찰각은 30°, 점착력은 1.0kg/cm²로 결정하여 토사 부분의 안정해석에 이용하였다.

4. 사면 안정성 평가 및 대책

4.1. 사면 안정성 평가

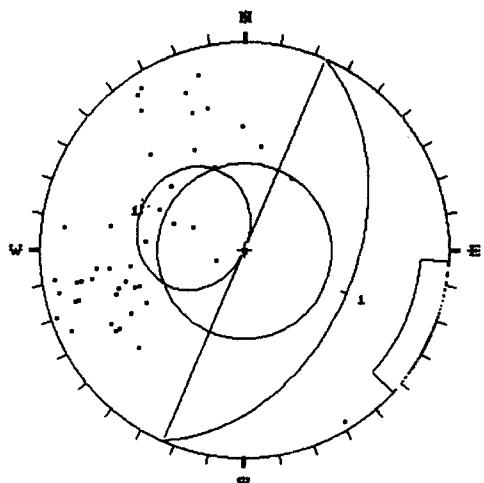
조사 사면에서는 여러 지점에서 사면파괴가 발생하였고, 파괴부위가 확대되는 진행성 현상을 나타내고 있다. 따라서 사면의 안정성을 정확하게 분석하고, 필요시 안정성과 경제성을 고려한 사면 안정대책을 수립하기 위해 현재 발생된 파괴형태는 물론 장래 발생 가능성이 있는 파괴형태를 예측하여야 한다. 이를 위해 사면안정성 분석은 토층 및 풍화암층과 같은 지층에서 실시하는 정량적인 한계평형이론에 의한 분석과 지표지질조사 및 시험 결과에 의한 평사투영법⁴⁾으로 사면의 파괴여부 및 형태를 결정하는 정성적인 사면파괴 분석을 실시하였다. 한계평형 해석 결과는 Table 6, 평사투영법 해석 결과는 Fig. 3에 제시하였고, 사면 전체적인 파괴현황, 해석 결과 및 암반 평가는 Fig. 4에 제시하였다.

조사 사면은 No.2+3 및 No.7 지점 상부에서 이미 파괴가 진행되고 있고, 지질조사에 의한 불연속면의 극점의 분포가 특정지역에 모여있지 않고 넓게 분포하는 지역을 대상으로 한계평형 해석을 실시한 결과 No.6+3.5 지점에서 파괴가 예상되었다. Table 6에서와 같이 이 지점은 건기 및 우기 모두 허용안전율을 만족하지 못하며, 단층 및 절리 등의 불연속면의 분포로 원호 및 평면파괴가 복합적으로 발생할 것으로 예측되어 그 대책이 필요하다고 판단된다.

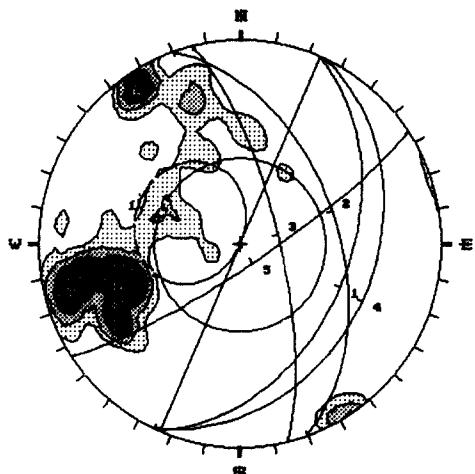
평사투영법 해석은 지역을 4개 지점으로 분리하여 해석하였다. 해석결과 No.0지점에서 국부적인 평면 또는 쇄기파괴가 소규모로 발생하고, No.1~No.4+7.3지점에서 평면파괴가 가능성이 높았다. Fig. 3(a)와 Fig. 3(b)는 평면 또는 전도파괴와 쇄기파괴에 대한 안정성 검토 결과이다. 해

Table 6. Results of limit equilibrium analysis

위치	조건	예상활동면 형태	허용 안전율	해석 결과	비고
No. 6+3.50	건기시	원호파괴	1.50	1.207	대책공법 필요
	호우시	원호파괴	1.50	0.527	대책공법 필요



(a) Analysis of plane and toppling failure



(b) Analysis of wedge failure

Fig. 3. Results of rock slope stability analysis at No.1~No.4+7.3

석 결과 불연속면의 발달 방향이 사면의 경사 방향과 유사하며, 불연속면의 극점이 불안정한

지역에 위치하고 있고 평면파괴가 발생할 것으로 예측되며, 쇄기파괴의 가능성은 없다고 판단된다. No.4+7.3~No.5+7.3은 평사투영법에 의한 해석결과 어떤 파괴도 발생하지 않고, No.5+7.3~종점에서 부분적인 소규모 평면파괴가 발생할 것으로 해석되었다.

Fig. 4에서 제시한 풍화정도는 Moye⁹⁾의 암석의 풍화등급으로 분류하였다. 대부분 완전풍화 또는 심한풍화 정도를 나타내고 있으며, 점하중시험과 Schmidt hammer 시험결과에 의한 정량적 평가지수도 비교적 신선한 상태를 유지하고 있는 시점~No.1 지점에 비해 풍화정도가 심한 다른 지점에서는 낮게 나타나고 있다. 또한 평가지수가 낮은 지점은 안정성 해석 결과 파괴가 발생하므로 풍화등급이 사면 안정에 영향을 주고 있으며, 지질조사 결과 화학적 풍화속도가 빠른 속도로 발생하는 지역이므로 풍화에 대한 대책이 필요한 지역임을 알 수 있었다.

암석의 강도와 불연속면의 상태를 고려한 RMR 분류에 의하면 No.4+7.3~No.5+7.3 지점을 제외하고 암반상태가 불량으로 나타나고 있다. 또한 Schmidt hammer 시험 결과 No.1~No.4와 No.5~종점 지역의 반발 값이 40 이상 나타나는 등 측정 값의 범위가 넓게 나타나고, 점하중시험 결과도 No.5~종점 지점은 낮은 값을 나타내고 있다. 이는 암반이 불연속면의 발달로 타격에너지로 흡수하는 현상과 풍화가 심하게 진행되었기 때문에 발생한 것이다. RMR 분류는 암석의 강도, 불연속면의 상태 및 지하수 상태로 판단하는 암반평가 방법이므로 불량으로 평가된 것은 불연속면의 방향, 연속성, 분포, 거칠기, 충전물 및 풍화정도가 사면에 불안정 요인을 제공하고 있기 때문이다. 따라서 불연속면의 특성을 고려한 사면 안정대책 수립이 필요한 것으로 나타났다. 이와 같이 이미 파괴가 진행중인 지점이 있으며, 풍화등급, RMR 분류 및 안정해석 결과 현사면이 불안정한 것으로 평가되어 사면의 불안정 요인을 제거할 수 있는 대책을 강구하였다.

4.2. 대책

사면 안정성 평가 결과 현재 사면은 불안정한 것으로 판단되어 불안정한 암반사면에 대한 검토대상의 안정 대책을 검토하였다. 일반적인 암반사면 안정대책은 Table 7과 같다.

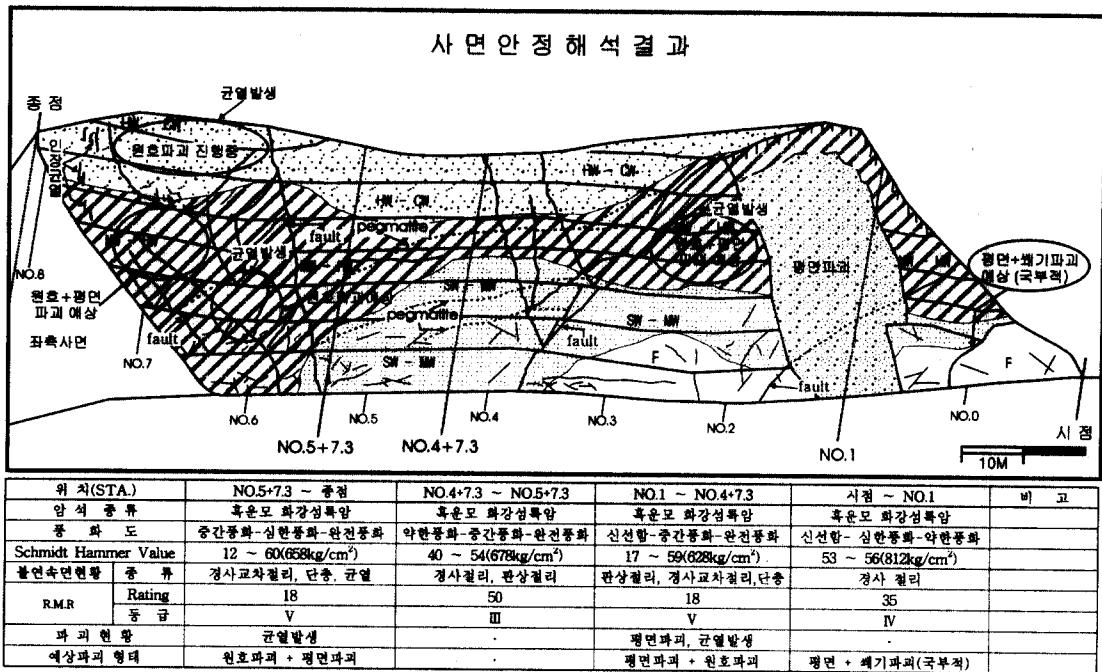


Fig. 4. Results of slope stability analysis

Table 7. Stability methods of rock slope¹⁰⁾

구분	안정공법	비고
억제공법	불연속면에서의 활동파괴 방지공법	• 사면높이 감소 또는 경사완화 • 절토사면 경사가 급한 곳에서 발생
	토풀링과 활동 복합파괴 방지공법	• 사면높이 및 소 단폭 조정 • 제어발파 및 면 정리 철저 • 충리, 철리가 심하게 발달된 암체 사면에서 발생
	원형사면 파괴 방지공법	• 사면경사 완화 • 압성토 • 배수공 설치 • 파쇄가 많고 풍화가 심한 연약 암반에서 발생
	배수공법	• 지표수 처리공법 • 지하수 배제공법
억지공법	주동 보강공법	• 케이블 볼트공법 • prestress 도입
	수동 보강공법	• 록볼트 • 케이블 볼트공법 • 전면접착형

Table 7에서와 같이 사면 안정성 평가 결과 조사 사면은 풍화가 심하게 발달되어 있고, 암반 평가 결과 불연속면의 발달 정도가 사면의 불안정 요인으로 작용하며, 불연속면 발달에 의한 활동파괴와 원호파괴가 발생하므로 사면경사 완화 공법이 적절하다고 판단되었다. 사면경사 완화

공법은 시설물 주위의 사면으로 영구적인 안정성이 필요한 경우에 효과적인 방법으로 알려져 있다. 또한 조사 사면에 경사완화 공법을 적용하기 위하여 추가적인 부지 매입 경비가 필요하지 않는 현장 조건을 가지고 있으며, 특히 조사 사면이 단층 및 절리와 같은 불연속면이 많이 존재하며 부분별로 풍화가 심하게 진행되어 사면파괴 억지공법 보다는 사면파괴의 원인을 제거하는 대책을 적용하는 것이 적합하여 지층별 사면의 경사를 완화시키는 방법을 제시하였다.

5. 결론

안동 흑운모 화강암 지역에서 발생한 진행성 파괴사면의 평가와 대책을 수립하기 위하여 지질조사, 현장시험 및 사면 안정성 해석을 실시하고, 안정성 해석 결과와 암반의 풍화등급 분류 및 암 분류 비교를 통한 사면 불안정 요인을 제거하는 방법을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

불연속면의 방향, 연속성, 분포, 거친 정도 등 지질조건을 고려하지 않고 사면을 설계 및 시공하여 사면파괴가 발생하였고, 한계평형해석 및

평시투영법에 의한 안정해석 결과도 불안정한 사면으로 나타났다. 풍화등급 분류와 RMR 분류에 의한 암반평가 결과도 안정해석 결과 불안정 지역으로 평가된 지점은 심한 풍화등급 분류 및 불량 또는 매우 불량 암반등급 평가를 받는 것으로 나타나 안정해석과 같은 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다. 따라서 현재의 사면 경사로는 불안정한 것으로 판정되어 효과적인 사면안정 대책이 필요하다고 판단된다. RMR 분류와 풍화등급 분류에 의하면 이 지역은 단층 및 절리와 같은 불연속면이 많이 존재하고, 부분별로 풍화가 심하게 진행되어 영구적인 안정성 확보가 요구되는 지역이므로 사면경사 완화공법을 제시하였다.

본 사면파괴 사례 연구를 통하여 안정해석 결과로 확인할 수 없는 사면 불안정 요인을 풍화 등급 분류 및 암반분류 등 암반평가에 의하여 제거할 수 있음을 확인하였고, 향후 더 많은 사면 연구를 진행하여 구체적인 방법을 제시하면 효과적인 사면 불안정 요인을 제거하는 시스템이 될 것으로 기대된다.

참고문헌

- 1) Bieniawski, Z. T., "Engineering Classification of Jointed Rock Masses." Trans. S. Afr. Inst. Civ. Eng. 15, pp. 335~344, 1973.
- 2) Bieniawski, Z. T., "The Geomechanics Classification in Rock Engineering Applications," Proc. 4th Int. Congr. Rock Mech., ISRM, Montreux, Vol. 2, pp. 41~48, 1979.
- 3) 김봉균 외 3인, 안동도폭 지질보고서, 동력자원연구소, p. 20, 1988.
- 4) Hoek, E. & Bray, J., Rock Slope Engineering, 3rd ed., The Institution of Mining and Metallurgy, London, pp. 1~63, 1981.
- 5) ISRM, "Suggested Methods for Determination of the Schmidt Rebound Hardness", Rock Characterization Testing and Monitoring, Editor Brown E. T., Pergamon Press, pp. 101~102, 1981.
- 6) Broch, E. and Franklin J. A., "The Point-Load Strength Test", International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts, Vol. 9, pp. 669~697, 1972.
- 7) ISRM, "Suggested Methods for Laboratory Determination of Direct Shear Strength", Rock Characterization Testing and Monitoring, Editor Brown E. T., Pergamon Press, pp. 135~137, 1981.
- 8) Duncan, C. W., Foundation on Rocks, E & FNSPON, An Imprint of Chapman & Hall, London, pp. 23~41, 1992.
- 9) Moye, D. G., "Engineering Geology for the Snowy Mountains Scheme," J. Inst. Engrs. Austral. 27:281~298, 1955.
- 10) 사단법인 대한토목학회, 소양-부귀간 도로축조 및 포장공사 절토사면 안정성 분석 및 대책 검토 연구보고서, p. 65, 1995.