

풍화된 변성암 사면의 안정대책 사례 Case of slope stability in weathered metamorphic rock.

김재홍¹⁾, Jae-hong Kim, 박철숙¹⁾, Chal-Sook Park, 전제성¹⁾, Je-sung Jeon, 홍원표²⁾, Won-Pho Hong

¹⁾ 한국수자원공사 수자원연구원 연구원, Researcher, Kwater Dam research center

²⁾ 중앙대학교 건설환경공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Chung-Ang University

SYNOPSIS : Execute surface of the earth geological survey for stability analysis of stealing cutting sides and investigated wide area nature of soil structure. Inflected DIPS that measure discontinuity's direction that develop to slope and is slope stability a wide use program for Stereographic Projection Method analysis that utilize geometrical corelation of stealing four sides and discontinuity surface.

It is principle that angle of internal friction that is basis element of stability estimation applies direct shear test result on joint side, Examination is impossible by case execution, suppose by 30 angles that apply more conservatively in base rock slope sides usually and achieved analysis.

When analyze, consider discontinuity's various adult that develop in research slope, after conduct first each discontinuity different assay falling into fault, joint, executed stability estimation which synthesize whole discontinuity data.

When ailment element is recognized as analysis result, wished to present stability countermeasure way of most suitable to take into account of execution, stability, economic performance.

Key words : Cutting sides, Stereographic Projection Method, Discontinuity

1. 서 론

국내 사면절취에 대한 시방기준은 암반의 지질학적인 특성을 고려하지 않고 획일적인 구배만 적용하고 있어 시공 중 많은 사면파괴가 발생하고 있다. 현재까지 국내 여러 연구기관 및 연구자에 의해 암석별 사면의 파괴양상에 대한 연구는 수행되었으나, 지질학적인 특성을 감안한 연구는 전무한 상태이다. 이러한 사유로 경기도 시화공단지역에 도로 개설을 위한 절취사면의 안정성 분석을 위해 지표지질조사를 실시하여 광역지질 구조를 고찰하였으며, 사면에 발달한 불연속면의 방향성을 측정해 절취사면과 불연속면의 기하학적 상관관계를 활용하는 평사투영법(Stereographic Projection Method)으로 안정성을 평가하였다.

안정성 평가의 기본요소인 내부마찰각은 절리면 직접 전단시험의 결과를 반영함이 원칙이나, 현장여건상 시험이 불가능하여 일반적으로 암반사면에서 보다 보수적으로 적용하는 30도로 가정하여 분석을 수행하였다.

분석시 조사대상 사면에 발달한 불연속면의 다양한 성인을 고려하여 단층, 절리로 구분하여 각 불연속면별 분석을 선 시행한 후 전체 불연속면 자료를 종합한 안정성 평가를 실시하였다.

2. 지표지질조사 결과

연속된 연구대상 사면에서의 안정성 분석은 사면을 구성하고 있는 암석의 종류 및 사면의 절취방향에 구분하여 분석을 실시하였다.

절취가 진행된 사면의 지표지질 조사결과 흑운모 편암이 상당한 풍화를 받아 거의 풍화토 내지 풍화암의 상태를 나타내고 있다.

흑운모 편암의 엽리면의 주향이 회전을 하면서 배사습곡을 이루고 있으며, 습곡 날개부의 엽리면을 따라서 미끄러짐(Slip)이 발생한 결과 엽리면의 연속성이 단절되어 계단상 형태를 보이기도 한다.

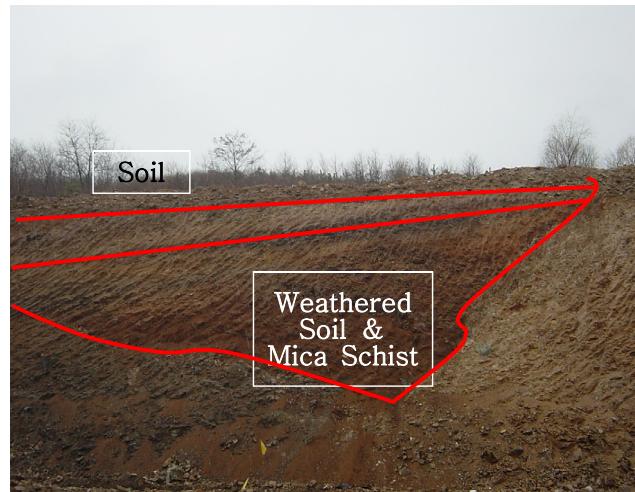


그림 1. Sta. No. 2+170~190 구간의 흑운모 편암

흑운모 편암의 분포는 사면과 수직방향으로 발달한 172/78 방향의 단층면에 의해 규제되며, 단층면에서 운동방향을 지시하는 전단감각(Shear Sensor)이 인지되지 않으나, 단층면의 형상이 상향을 나타내고 있어 역단층으로 추정된다.

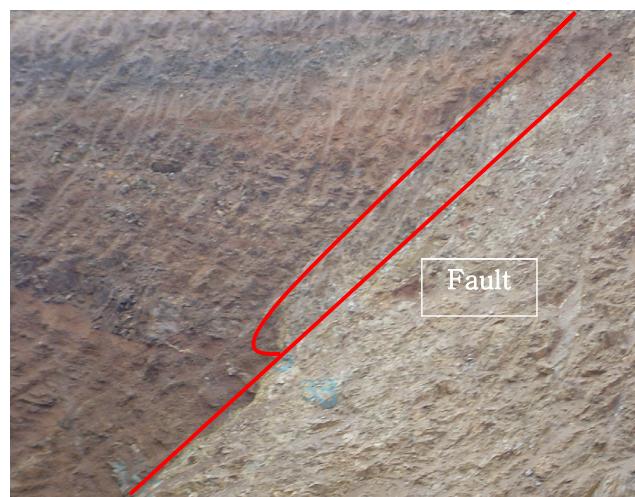


그림 2. 흑운모 편암의 분포를 규제하는 172/78 단층(역단층으로 추정됨)

풍화된 흑운모 편암과 좌측의 판상체를 가진 석회질 규산암은 172/78 단층(Sta. No. 2+ 180)~0/61 단층(Sta. No. 2+ 200)에 발달된 전단대(Shear Zone)에 의해 구분된다.

전단대 사이의 두 단층면이 상호 반대방향의 주향(172/78 및 0/61)과 암질의 현저한 변화(풍화된 흑운모 편암과 판상체의 석회질 규산염암)를 보임은 습곡작용 후 후기의 단층작용이 있었음을 의미한다.

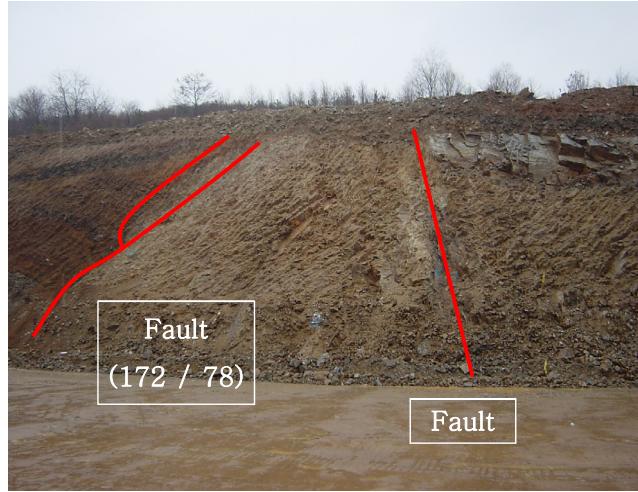


그림 3. Sta. No. 2+180~200 구간에 발달한 전단대

3. 안정성 분석

3.1 엽리의 분포

엽리는 24~50/16~22의 방향성으로 주향의 변화가 다소 있으나, 경사는 비교적 일정하게 유지되며 추정된 내부마찰각(30도)보다 적은 경사를 이루고 있어 안정성이 확보되는 것으로 나타난다.

그러나, 풍화된 흑운모 편암은 내부마찰각이 사면의 경사각에 근접할 것으로 판단되고, 강우 등에 의한 토립자의 세굴 등으로 인한 지속적인 사면 유실이 우려되므로 별도의 보강대책이 수립되어야 할 것으로 생각된다.

3.2 단층

단층분포는 89/57 방향이 가장 우세하고 189/56 및 292/79 방향이 비슷한 빈도로 발달하였고, 분석결과 평면 및 전도파괴의 가능성은 없는 것으로 나타났고, 쪘기파괴에 대하여도 안정한 것으로 나타났다.

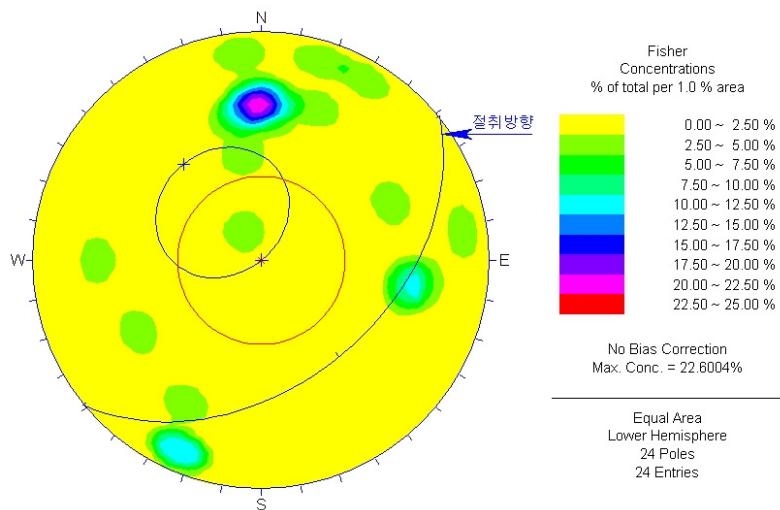


그림 4. Sta. No. 2+060~200 구간의 분석(단층, 평면 및 전도파괴)

3.3 절리

도시결과 186/57 방향이 가장 우세하고 87/85, 112/84, 10/71 방향의 순으로 빈도가 높은 것으로 나타났고, 186/57, 87/85 방향은 단층면에서의 빈도와 동일한 주향을 보이고 있어 절리면의 형성이 단층작용과 관련이 있음을 의미한다.

일부 불연속면(53/32)이 평면파괴 영역에 투영되나, 빈도가 적은 사면의 안정성에 미치는 영향은 미미할 것으로 판단되고 전도파괴의 가능성은 없었고, 쇄기파괴의 가능성은 인지되지 않는다.

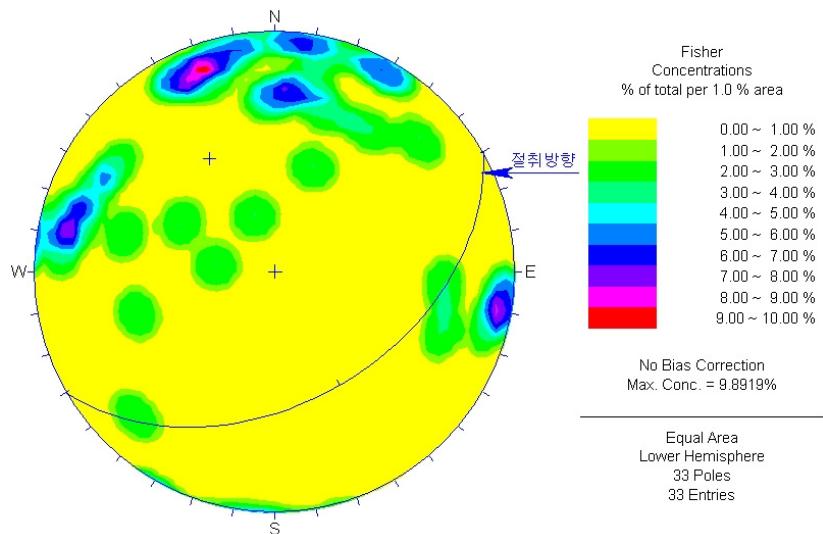


그림 5. Sta. No. 2+060~200 구간 절리분포도

3.4 전체 사면안정성 분석

분석결과 평면파괴를 야기할 요소는 미약하며, 전도파괴는 안정성이 확보된 것으로 판단되었고, 114/79, 89/57 불연속면의 교차에 의해 123/41 방향으로 쇄기파괴의 가능성이 인지되었다.

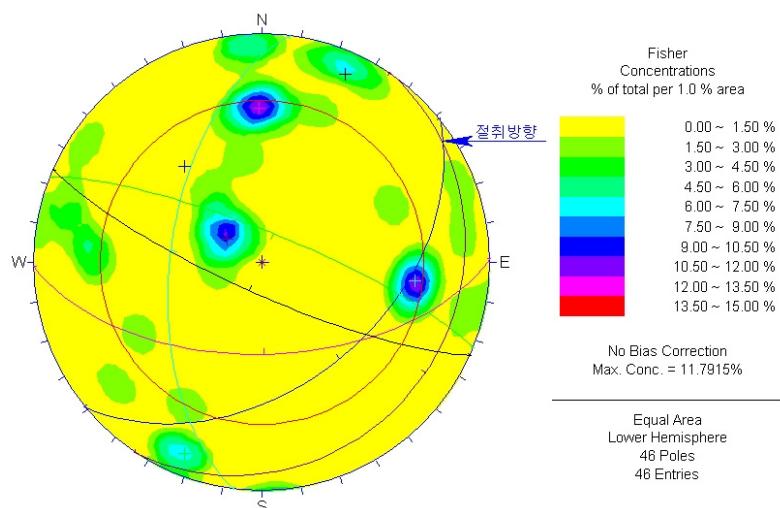


그림 6. Sta. No. 2+060~200 구간의 분석(전체, 쇄기파괴)

4. 보강 대책

분석결과 불연속면의 쇄기파괴가 불안정 요소로 파악되었으나, 사면을 구성하고 있는 풍화된 흑운모 편암의 강우 또는 지표수 침투에 의한 지속적인 세굴과 표면 유실이 가장 불안정한 요인으로 판단된다.

안정대책 방안으로 사면을 구성하고 있는 풍화토의 설계 표준구배인 1:1.5 이하로 사면을 완화하는 방안이 고려될 수 있다.

풍화토로 이루어진 사면에서 안정성 확보를 위한 최소 구배는 1:1.8로 이의 시행은 추가용지 매수, 굴착량 증가에 따른 사토량의 증가 등 여러 단점이 있다.

특히 연속된 사면에서 중앙부만 구배를 완화할 경우 장기적인 관점에서 인접한 사면부에서 응력 재분포로 인해 변형이 발생하고, 사면의 불안정성을 야기할 가능성이 매우 높기 때문에 최적의 방안으로 볼 수 없다.

다음으로 고려할 수 있는 방안이 표면부의 차단을 위해 Shotcrete를 타설하는 것이다.

이 방안은 저렴한 비용으로 단기간에 사면의 활동을 방지할 수 있으나, 사면 내부의 유도 배수을 위해 설치하는 수평배수공이 장기간에 걸쳐 시멘트와 물의 화학반응에 의해 폐쇄되어 집중호우시 간극수압의 원활한 소산이 미흡할 경우 일시에 사면이 파괴될 가능성이 잠재한다.

그리고 본 구간은 도심지의 중앙부를 관통하는 도로사면으로 미관상 주위의 공간과 부조화를 유발하므로 최적의 방안이라 할 수 없다.

마지막으로 고려할 수 있는 방안은 표면보호공과 풍화토 사면의 원호파괴에 대한 억지를 병행하는 복합공법이다. 풍화토 사면의 원호파괴는 Soil Nailing 공법으로 보강하는 것이 일반적인 방안이나, 본 구간의 사면은 사면고가 10m 미만으로 비교적 낮기 때문에 보강공법 대비 안정성 효과가 비 경제적인 것으로 판단된다.

그리고, 절취사면의 표면유실을 방지하기 위해서는 하절기 집중호우 이전에 표면보호공을 실시함이 최우선적으로 선행되어야 할 대책으로 판단된다.

풍화토에서는 일반적으로 Seed Spray, 거적덮기 등이 시행되나, 본 구간은 원호파괴에 억지력을 병행하기 위해 능형망의 피복 및 고정핀의 설치 후 표면보호공을 실시하면 표면보호와 동시에 사면의 안정성 확보가 가능하므로 최적의 방안을 판단된다.

상기 방안의 비교는 표 1과 같다.

구분	사면구배 완화	Shotcrete 타설	표면보호공 시행
개요	사면구배 완화(1:1.8 이상)	사면 표면에 Shotcrete 타설	능형망 및 고정핀 설치 후 표면보호공 시행
장점	영구적 사면 안정성 확보	<ul style="list-style-type: none">- 단기간에 풍화 및 표면유실 방지 가능- 시공이 용이	<ul style="list-style-type: none">- 시공이 용이- 표면보호와 원호 파괴 방지
단점	<ul style="list-style-type: none">- 추가 용지매수 필요- 인접사면의 응력 재분포로 변형 발생 가능성	<ul style="list-style-type: none">- 지속적인 유지관리 필요- 유도배수공의 폐쇄시 사면 파괴 가능- 미관저해(주변과 부조화)	<ul style="list-style-type: none">- 공사비가 다소 고가
선택	풍화토 사면으로 이루어진 본 구간에서 대책공법으로 사면구배 완화, Shotcrete 타설, 표면보호공의 시행을 비교한 결과, 표면유실 및 원호파괴에 대한 억지력을 발휘할 수 있는 능형망 및 고정핀 설치 후 표면보호공 시행이 최적의 방안으로 판단됨.		

5. 결 론

1. 절취사면에 대한 지표지질 조사를 실시하고 사면에 발달된 불연속면의 방향성을 측정해 불안정 요소를 분석하여 항구적인 사면안정 대책을 제시하였다.
2. 조사대상 지역에 분포하는 암석은 한반도 지질계통상 선캠브리아기 경기편마암 복합체 해당되는 화강암질 편마암, 흑운모 편암이 분포하고 부분적으로 암맥이 관입하여 있음을 확인하였다.
3. 지표지질 조사결과 광역지질 구조는 선 캠브리아기 변성암류가 횡압력에 의해 습곡작용을 받은 후 시대 미상의 후기단층에 의해 습곡 날개부가 절단되고, 암맥의 관입과 최후기의 단층작용이 있었단 것으로 추정된다.
4. 조사대상 사면은 사면을 구성하고 있는 암석의 종류 및 사면의 절취방향을 고려하여 소구역으로 분할하여 조사, 안정성분석, 대책방안 검토를 실시하였다. 풍화된 변성암의 절취사면에 대하여 시공성과 경제성을 고려하여 사면의 표면유실과 원호파괴에 대비하여 억지력을 발휘할 수 있는 능형망 및 고정핀 설치 후 표면보호공을 시행하였다.

참고문헌

1. 박철숙, 김재홍(2007). 댐 및 이설도로 절취사면의 조사, 해석 및 대책 표준화 연구, 한국수자원공사, pp.1~2
2. 박철숙, 김재홍(2007), 지질조건에 따른 도로사면 안정검토에 관한 연구. 대한지질공학회
3. Billings, M.P.(1972), Structural geology: London, Prentice-Hall. PP.477~525
4. Fisher, R. V.(1985), Pyroclastic rocks, Springer verlag. P.477
5. Hobbs, B. E.(1984), An outline of structural geology: John Wiley&Sons, New York. PP.571