

핵석을 포함하는 풍화사면에서의 지구물리탐사 적용사례 연구

홍원표¹ · 김재홍^{2*} · 노병돈³ · 정교철⁴

¹중앙대학교 토목환경공학과, ²국수자원공사 Kwater연구원,
³삼성물산 건설부문 TA팀, ⁴안동대학교 지구환경과학과

Case Study on Application of Geophysical Survey in the Weathered Slope including Core Stones

Won-Pyo Hong¹, Jae-Hong Kim^{2*}, Byung-Don Ro³, and Gyo-Cheol Jeong⁴

¹Dept. of Civil & Environmental Engineering, Chung-Ang University

²Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation

³Technical Advice Team, Samsung Corp.

⁴Dept. of Earth and Environmental Sciences, Andong National University

암반내의 핵석의 존재는 불안정한 요소로 작용하고 있으며 특히, 절개사면의 경우 노출이 되지 않더라도 핵석이 풍화 정도의 차이에 따라 사면의 불연속면 증가 또는 강도 감소가 되며 사면의 낙석이나 붕괴등 사면 거동의 중요한 요소로 작용한다. 연구대상 사면은 20여년전 절개가 완료되어 일부분 사면보강을 완료하였으나 적은 강우에도 잦은 낙석이 발생하여 항구적인 안정대책이 시급한 실정이었다. 탄성파탐사와 사면지질조사 결과를 비교·분석하여 핵석의 분포특성 및 규모를 파악할 수 있었다. 또한 주변 암반사면에서 DIPS 프로그램을 이용한 평사투영을 실시하여 주변 풍화도 사면에서의 핵석 분포특성 및 규모 파악에 대하여 검토하였다.

주요어 : 핵석, 탄성파탐사, DIPS, 사면

Existence of core stone at the inside of the Rock mass is reacting as unstable element. In particular, in case of the cut slope, even when it is not exposed, slope's discontinuity increases or strength level decreases depending on the difference in the weathering grade when it comes to the core stone, and reacts as an important element of the slope movement such as slope's rock fall or collapse. As for the slope that is subject to study, incision was completed after 20 years or so, and parts of the slope reinforcement was completed, but frequent rock fall occurs despite small amount of rainfall, and permanent stability measures are urgent. Refractive seismic survey and geological survey results were compared and analyzed, and reliability was improved by complementing the two survey methods, and stereo-graphic projection using DIPS program was conducted to analyze the characteristics of oore stone in the weathered soil slope.

Key words : core stone, refractive seismic survey, DIPS, slope

서 론

사면의 경우 자연적으로 이루어져 있거나 깎아서 만든 것으로 흙과 암석이 불규칙하게 뒤섞인 불균질한 지층을 이루기도 하며 때로는 암석이 풍화되어 있거나 단층, 절리 등이 잘 발달되어 있어서 상당히 복잡하게 구성되어 있

다. 이에 사면에 관한 안정성 문제의 해결은 토질 공학적인 접근과 더불어 지질학적, 지형학적 그리고 일반 공학적인 이론 등을 조합한 접근 방법이 요구된다(이송 등, 2002).

연구 대상 사면은 경북 안동지역의 34번 국도변에 위치한 절개 사면으로 외관 조사결과 연구지역에 분포하는 암석은 구간에 따라 약간풍화에서 풍화잔류토의 다양한

*Corresponding author: kjhpmk@kwater.or.kr

양상을 보이며, 거칠기는 약간거침이 대부분이며 수직수평 절리가 소수 사면에 분포하는 것으로 관찰되었으며 절개면이 토사가 두텁게 형성된 사면도 있었다.

또한, 절개 사면에 핵석이 존재하고 있어 이 핵석의 풍화정도의 차이에 따라 사면의 불연속면 증가 또는 강도 감소가 이루어지므로 절개 사면의 안정성을 평가하기 위한 핵석 분포를 파악하기 위해 전체사면을 지형조건에 따라 5개 구간으로 구분하였고 다시 절개면 노출정도에 따라 20개 사면으로 세분화하여 탄성파탐사를 시행하여 사면의 풍화대와 핵석의 위치를 파악하였다. Face Mapping을 포함한 사면지질조사로 물리탐사 결과와 상호 비교하였다. 또한 DIPS 프로그램을 이용한 불연속면의 분포 특성과 핵석의 분포 및 규모 특성을 비교, 검토하였다.

지질 및 사면현황

연구지역에 분포하는 주요 암석은 화강암이 대부분으로 중립질이며 사면 하부에는 신선한 암이 소수 노출되어 있지만, 조사 구간에 따라 다양한 양상을 보인다. 대상 사면에 노출된 암반의 절리 상태는 대부분 충전물질은 없거나 5mm 미만의 단단한 충전물이 있는 것으로 확인되었으며, 풍화상태는 대체로 MW-HW 및 풍화잔류토상태인 것으로 조사되었다. 육안조사 결과 사면 높이는 10~15m(최대 25 m)에 70~80°의 사면 경사를 가지고 있었다.

탄성파탐사

연구지역 내 총 8개 측선을 설정하여 수행하였으며(Fig.1),

각 측선 별 수진기(Geophone)의 간격은 공히 5.0 m로 하였다. 발진원은 각 5곳을 사용하였다. 그리고 측정은 인근지역의 공사현장으로 인하여 어쩔 수 없는 잡음은 Noise Filter를 통하여 해석에 용이한 파형을 택하였다.

상기 조건 하에서 실시한 지표탄성파토모그래피로부터 획득된 현장자료를 바탕으로 주시곡선도(time-distance curve)를 작성하였으며, 이로부터 유도된 각 측선 별 탄성과 속도(Vp)로부터 각 속도층의 심도를 계산하여 각 측선 별 탄성과 속도분포 단면도(seismic velocity profiles)를 작성하여 지층의 상하측방 변화를 파악하였다.

탐사기 본체는 미국 Geomatrix사의 Stratar Visor Nz이며, 수진기는 28 Hz Geophone(수직성분, OYO, Japan)을 24개 사용하였으며, 발진원은 Geophone Cable Spread cable과 Trigger Cable을 설치한 뒤 Trigger Steel Plate에 Sludge Hammer로 타격하였다.

1구간, Line No. 1~3(Sta. 42 + 10 ~59)

SP-01~03의 탐사결과 측선거리 150 m±를 기준으로 지층의 구조가 변화할 것으로 예측된다.

단면도 종점부(300~350 m)로 갈수록 풍화대 내에 핵석(core stone) 또는 봉적층의 영향일 것으로 추정되는 고립된 고속도대가 발달되어 있는 양상을 나타낸다(Fig. 2). 210~320 m 구간에는 토사층의 두터운 피복으로 인하여 집중강우시에는 토사층의 일시적인 전단력 저하가 예상된다.

2구간, Line No. 4~5(Sta. 35~37 + 10)

본 측선은 기존에 코어넷 설치 등의 보강공사를 완료한 보강 사면 소단(2개소)에서 시행되었다. 측선길이가

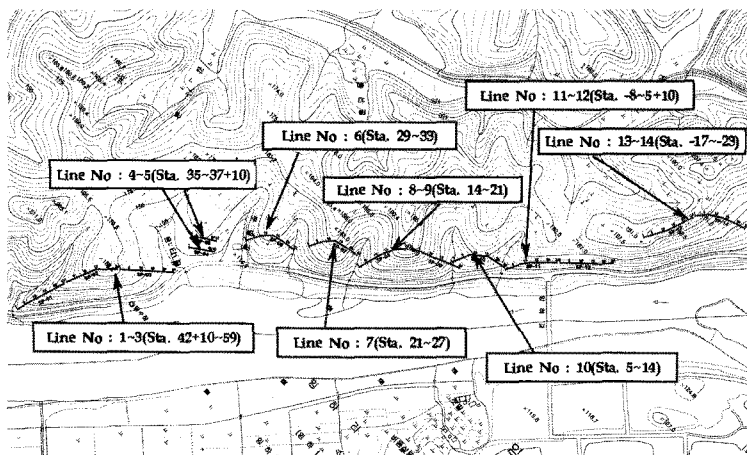


Fig. 1. Location of survey sections for refractinal seismic.

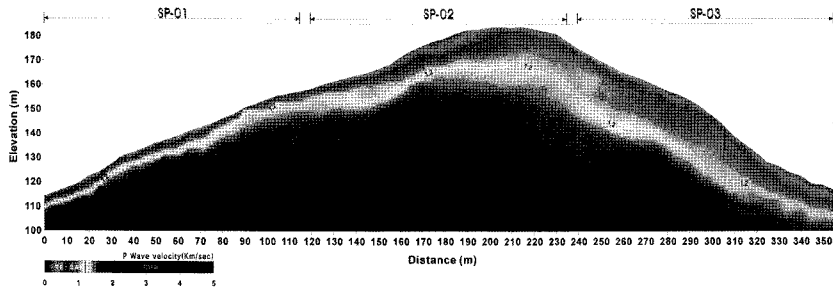


Fig. 2. Cross-section of Vp view at the Line No. 1~3.

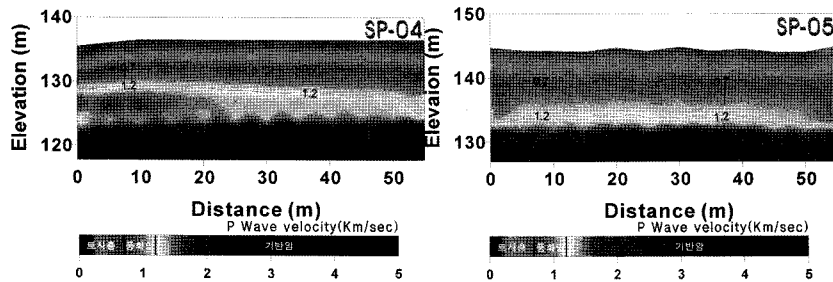


Fig. 3. Cross-section of Vp view at the Line No. 4~5.

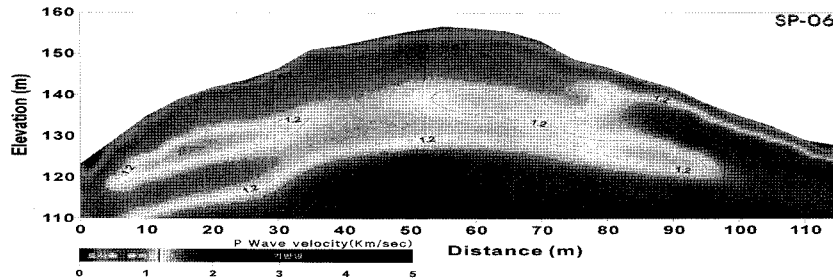


Fig. 4. Cross-section of Vp view at the Line No. 6.

짧아(약 60 m) 진동원을 각각 3번씩만 시행하는 것으로 하였다(Fig. 3).

상부 토사층은 주로 기반암의 풍화산류토인 마사토가 분포하고, 토사층의 층후는 약 5m±, 풍화대는 3m± 범위로 분포할 것으로 예상된다. 기반암 영역에서도 차별풍화작용에 의한 비정상적인 탄성과 속도 분포대가 발달한 것으로 고려할 수 있으나 기 시행한 억지말뚝으로도 판단할 수 있다.

상부 토사층은 주로 기반암의 풍화산류토인 마사토가 분포하고, 토사층의 층후는 약 5m±, 풍화대는 5m± 범위로 분포할 것으로 예상된다.

3구간, Line No. 6(Sta. 29~33)

측선거리 0~90m 구간은 풍화대 구간이 두껍게 발달하고 지층의 측방변화가 심할 것으로 예상되며, 풍화대

내에 핵석(core stone)의 영향일 것으로 추정되는 고립된 고속도대가 발달되어 있는 양상을 나타낸다(Fig. 4).

사면 정상부 배후사면(40~70m 구간)은 토사층 붕괴에 의한 지층의 단차가 발생하고 있다.

4구간, Line No. 7(Sta. 21~27)

지층의 구조는 지형과 거의 평행하게 발달할 것으로 예상된다. 측선거리 60~80m 구간은 풍화대 내에 핵석(core stone)의 영향일 것으로 추정되는 고립된 고속도대가 발달되어 있는 양상을 나타낸다(Fig. 5).

5구간, Line No. 8~9(Sta. 14~21)

본 측선은 2개 측선으로 설치하여 STA 14~21까지 약 230m 측정을 하였다. 상부 토사층은 주로 산록퇴적물

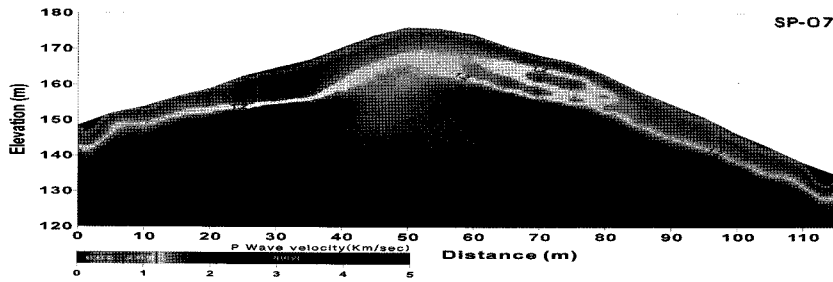


Fig. 5. Cross-section of Vp view at the Line No. 7.

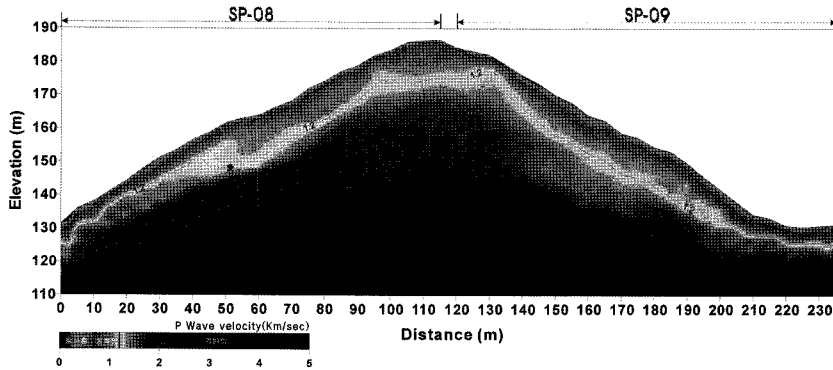


Fig. 6. Cross-section of Vp view at the Line No. 8~9.

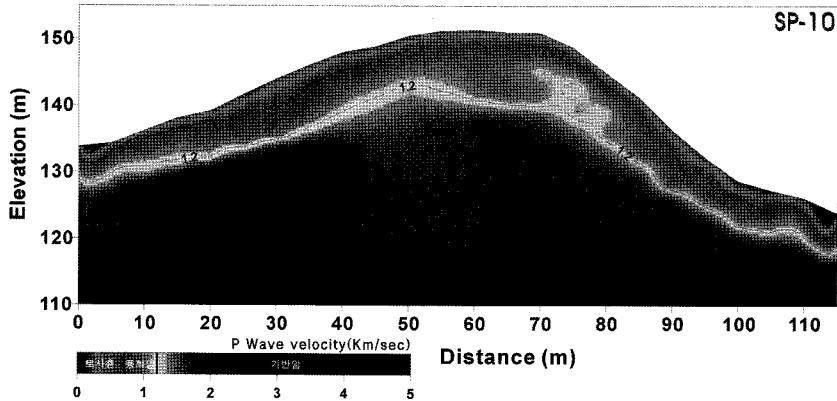


Fig. 7. Cross-section of Vp view at the Line No. 10.

또는 봉적층이 우세하게 발달하고, 토사층을 포함한 상부 풍화대는 10m± 범위로 분포할 것으로 예상된다(Fig. 6).

기반암 영역에서도 차별풍화작용 등에 의한 비정상적인 탄성과 속도 분포대(40~60m)가 발달하여 수직수평방향으로 지층의 변화가 심할 것으로 해석된다.

6구간, Line No. 10(Sta. 5~14)

상부 토사층은 주로 산록퇴적물 또는 봉적층이 우세하게 발달하고, 토사층을 포함한 상부 풍화대는 10m±

범위로 분포할 것으로 예상된다.

측선거리 50~80m 구간은 차별풍화작용 등에 의한 비정상적인 탄성과속도 분포대가 발달하여 수직수평방향으로 지층의 변화가 심할 것으로 해석된다(Fig. 7).

7구간, Line No. 11 ~12(Sta. -8~5 + 10)

본 측선의 지표상황이 경사가 상당히 급하고, 표면이 풍화가 심하게 된 지역으로 지층의 구조는 지형과 거의 평행하게 발달할 것으로 예상된다.

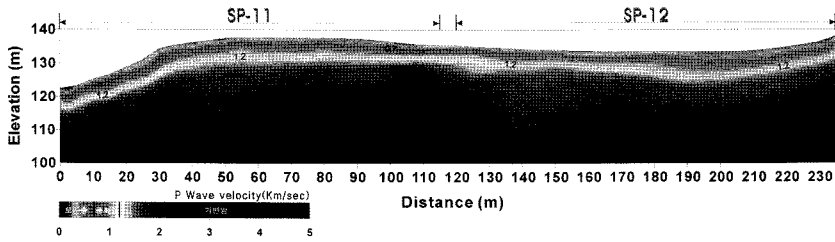


Fig. 8. Cross-section of Vp view at the Line No. 11~12.

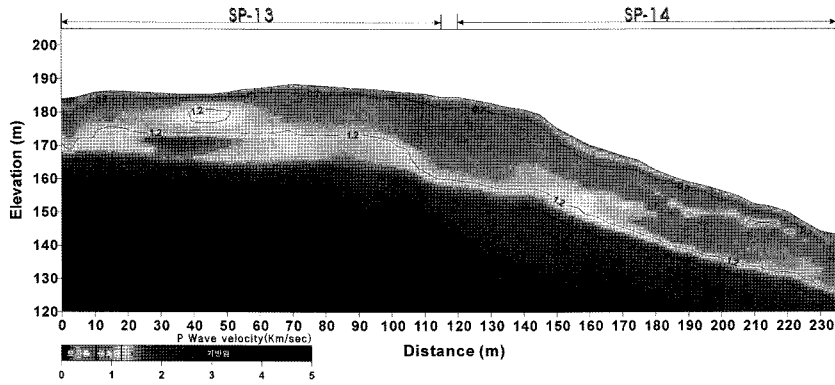


Fig. 9. Cross-section of Vp view at the Line No. 13~14.

측선거리 120~140 m 구간 봉적층 발달구간으로 과거 붕괴가 발생한 것으로 관찰되며 향후 지소적인 주의 관찰이 요구되는 구간으로 판단된다(Fig. 8).

8 구간, Line No. 13~14(Sta. -17~-23)

풍화대 구간이 두껍게 발달하고 지층의 측방변화가 심할 것으로 예상되며, 풍화대 내에 핵석(core stone)의 영향일 것으로 추정되는 고립된 고속도대가 발달되어 있는 양상을 나타낸다(Fig. 9).

기반암 영역에서도 차별풍화작용 등에 의한 비정상적인 탄성과 속도 분포대가 발달하여 수직수평방향으로 지층의 변화가 심할 것으로 해석된다.

사면지질

연구대상 사면에 탄성파탐사 결과의 신뢰도를 향상하기 위하여 사면지질조사를 시행하여 물리탐사 결과와 비교 검토하였다.

Site 1, 2(Sta. 0~1)

본 지점은 노출된 암반으로 형성되어 있으며, 사면에

발달한 절리면의 상호 교차에 의한 소규모 암편의 켜기 파괴의 가능성이 인지되고 배후 사면에 전탐결과 Sta. 0 지점 (전탐결과 4구간 8~10 지점)에 해석이 존재한 것으로 나타났다.

Site 3(Sta. 8~8 + 10)

본 지점은 기존에 켜기파괴가 발생한 구간으로 사면 파괴는 상부에 자생하는 수목의 뿌리가 절리면을 따라서 암반 내부로 침투한 상태에서 강풍 등으로 수목이 심하게 흔들려 상부에 인장 균열이 형성된 후 강우로 인한 우수의 침투가 절리면의 전단강도를 저하시켜 사면의 파괴를 유발한 것으로 추정되었다. 절리면의 상호교차에 의한 소규모 켜기파괴가 지속적으로 발생할 가능성은 있는 것으로 검토되었다(Fig. 10).

탄성파탐사 결과(10구간 80지점) 사면 우측상단에 핵석이 발견되었지만, 핵석 크기가 크지 않고, 동 지점 사면의 표면 상태에 절리 등이 거의 없는 것으로 판단되었다.

Site 5(Sta. 12 + 2~12 + 10)

본 지점은 현재 설치된 낙석방지망의 최측부(사면을 정면에서 바라볼 때)는 부분적인 켜기파괴가 발생하였으



Fig. 10. Slope of Site 3, 9.



Fig. 11. Slope of Site 7.

며, 측방 및 상부로의 진행가능성이 있다. 이완된 암괴가 도로에 미치는 영향을 차단하기 위해 기 설치된 낙석방지망을 좌측부로 연장(약 10m)하여야 한다. 배후사면 전탐시에 일부 핵석(3구간 22~24)이 발견되었다.

Site 6(Sta. 13 + 10~13 + 18)

본 지점은 약간 내지 보통 풍화를 받은 화강암이 분포하고 있다. 사면 상단부가 거의 수직에 가까운 경사를 이루고 있는 점은 과거에 수직 절리면을 따라서 사면의 파괴가 발생한 면으로 추정된다. 현재 사면의 최상부에는 수목의 식생에 따른 절리면의 확장으로 인해 전방으로 약간 돌출되어 파괴 가능성이 있는 것으로 판단된다.

탄성파탐사결과(9구간 40~60지점) 기반암 영역에서도 차별풍화작용 등에 의한 비정상적인 탄성과 속도 분포대 발달하여 수직수평방향으로 지층의 변화가 심할 것으로 해석되어, 전탐결과(3구간 21지점)에 함수대가 존재하는 것으로 나타났다.

Site 7(Sta. 18~18 + 15)

사면에서 파괴는 쐐기파괴를 이루는 절리면이 고각도의 사면과 평행한 주향을 가진 절리면을 따라서 평면파괴로 전이하여 발생한 것으로 판단된다.

절개사면에 지하수 유출은 없지만 전탐결과와 Sta. 18 + 10 지점(전탐 3구간 12 지점) 배후사면에 함수대가 존재하는 것으로 나타났다(Fig. 11).

Site 9(Sta. 19 + 12~20 + 6)

본 지점은 심한 풍화를 받은 화강풍화토로 구성되어 있어 강우에 의한 표면 유실이 상부로 전이되는 양상을 보이고 있고 배후사면 전탐결과(3구간 5~6지점)에도 풍화대가 발견되었다.

Site 11(Sta. 24 + 10~26)

본 구간은 다소 풍화가 진행된 풍화암 내지는 연암 암괴의 전형적인 화강암의 풍화양상인 핵석의 형태로 이루고 있다. 사면의 불안정 요소는 풍화된 토립자가 강우에 의해 유실될 경우 핵석이 사면으로부터 분리되어 낙석의 형태로 발생하는 것이다(Fig. 12).

배후사면 전탐결과와 동 구간 우측 상단지점(2구간 17~19 지점) 및 탄성파탐사결과(7구간 60~80지점)에도 핵석이 발달한 것으로 나타났다.

Site 12(Sta. 30~32 + 10)

본 지점은 사면이 안정을 이루고 있으나, 배후사면 전탐결과 Sta. 30지점(2구간 5~7지점)에 풍화대가 존재하여 소암편의 이탈이 예상된다. 또한, 탄성파탐사결과(6구간 10~90 m 지점)에서도 풍화대 구간이 두껍게 발달하고 지층의 측방변화가 심할 것으로 예상되며, 풍화대 내에 핵석의 영향일 것으로 추정되는 고립된 고속도대가 발달되어 있는 양상을 나타냈다.

특히, 정상부 배후사면(40~70 m 구간)은 토사층 붕괴에

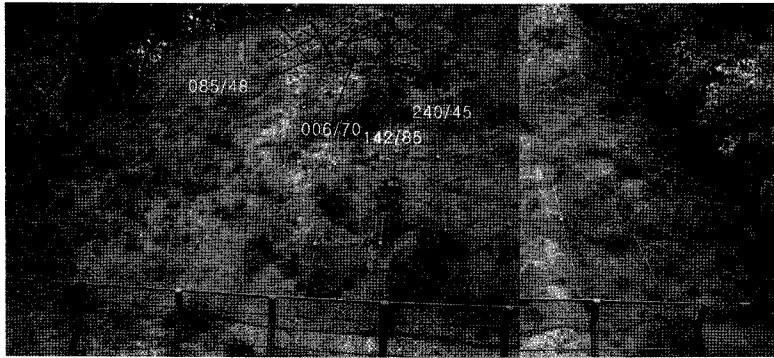


Fig. 12. Slope of Site 11.

의한 지층의 단차가 발생하고 있어 추가 붕괴에 대한 보강이 필요하나, 동구간의 경우 사면고가 낮고 절개사면보다 배후사면에 해석이 존재하고 있어 사면파괴가 발생하더라도 다른 구간보다는 안정한 편이다.

Site 13(Sta. 46 + 10~48)

본 지점은 도로의 선형상 곡선부에 해당되어 응력의 이완에 의한 암괴의 이탈이 불연속면의 상호 교차에 의한 쉐기파괴로 전이하는 것으로 판단된다(Fig. 13).

배후사면 전탐결과 동 구간(1구간 23~25구간에 풍화 대도 발견되었다. 탄성과 탐사(1~3구간 210~320 m)결과 절개사면 정상부 배후로 두꺼운 토사층이 있는 것으로 판단되었고 사면면적이 비교적 큰 편임을 감안하면 절개면 상단에 집중강우 시 신속한 우수를 배제하기 위하여 배수로 설치(산마루 측구 등)가 필요하다.

Site 14(Sta. 49 + 10~50 + 5)

배후사면 탐사결과(1구간 17~18지점) 발견된 함수대의 영향으로 Face Mapping시에도 약간의 지하수 유출이 발생하고 있어 Random하게 배수공을 설치할 필요가 있다. 본 지점은 지표지질조사결과 이미 파괴가 발생한 사면으로 사면과 평행한 주향을 가진 고각도 불연속면의 평면파괴가 불안정 요소로 인지된다.

Site 15(Sta. 50 + 5~51 + 15)

사면지질조사 결과 낙석의 위험이 있으며, 배후사면 탐사 결과 동 구간(1구간 14~16 지점)에 해석이 발달하여 불안정한 영역이 있었다. 사면을 구성하고 있는 심하게 풍화를 받은 화강풍화토는 강우에 의해 표면 유실이 지속적으로 발생하여 사면의 안정성을 저해하여 평면파괴를 유발할 수 있다.

Site 16(Sta. 53 + 15~54 + 2)

본 지점은 사면의 절취방향과 평행한 주향을 가진 절리면의 발달이 우세하여 비교적 안정된 상태를 이루고 있으나, 사면 상부에 절리면의 교차에 의한 쉐기파괴가 발생하고 있고, 사면지질조사시에도 낙석의 위험이 내포하는 것으로 나타났다. 또한 배후사면 전탐 시행결과 동 구간(1구간 6~8지점)에 해석이 발달하고 있다.

해석과 관련된 불연속면의 운동학적 검토

해석의 발달은 일반적으로 암반 불연속면을 통한 차별 풍화에 의한 것으로 알려져 있다. 따라서 주변지역 사면에는 동일 지질에서 해석이 많이 발달한 곳과 발달과정 중으로 불연속면이 잘 관찰되는 사면으로 구분할 수 있다. 따라서 이들 불연속면을 조사하면 그 주변 사면 및 앞으로의 해석의 발달 규모, 분포 특성 및 해석의 운동학적 특성을

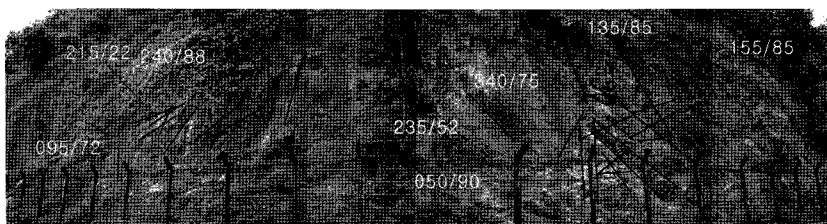


Fig. 13. Slope of Site 13.

규명할 수 있을 것이다. 또한 이들 불연속면의 방향성, 경사 특성 및 이들로 이루어진 블록의 크기 등은 주변지역 사면 배후의 보이지 않는 핵석의 운동학적 특성을 유추할 수도 있을 것으로 생각된다. 풍화토 사면에서의 핵석분포 및 운동학적 특성은 주변 암반사면에서의 불연속면 특성, 블록의 규모 및 운동학적 특성과 관련이 매우 크다는 것을 알 수 있었다.

조사지역 사면의 경우 사면지질 조사 시 확실하게 노출 되는 경우가 있는 사면에 대해서 DIPS 프로그램을 이용하여 평사투영 해석을 실시하였다.

Site 1은 썩기형 블록의 썩기파괴 발생 가능성 영역에 절리간의 교차점이 없어 썩기 파괴가 발생할 가능성이 낮을 것으로 판단되었고, Site 2는 썩기파괴 발생 가능성 영역에 2번 절리(230/65)와 3번 절리(170/50)의 교차점이 존재하므로 2, 3번 절리에 의한 썩기 파괴 발생 가능성이 있을 것으로 판단된다(Fig. 14).

Site 7은 썩기파괴 발생 가능성 영역에 1번 절리(035/55)와 3번 절리(015/80)의 교차점이 존재하므로 1, 3번 절리에 의한 썩기 파괴 발생 가능성이 있을 것으로 판단된다. Site 11은 썩기파괴 발생 가능성 영역에 3번 절리(142/85)와 4번 절리(240/45)의 교차점이 존재하므로 3, 4번 절리에 의한 썩기 파괴 발생 가능성이 있을 것으로 판단된다(Fig. 15).

Site 13은 썩기파괴 발생 가능성 영역에 2번절리(50/90)와 4번절리(155/85)의 교차점이 존재하므로 2,4번 절리의 의한 썩기 파괴 발생 가능성이 있을 것으로 판단된다. Site 14는 썩기파괴 발생 가능성 영역에 1번 절리(080/80), 2번 절리(132/60), 3번 절리(115/62), 4번 절리(185/60), 5번 절리(090/55)의 교차점이 존재하므로 1, 2, 3, 4, 5번 절리에 의한 썩기 파괴 발생 가능성이 있을 것으로 판단된다(Fig. 16).

Site 20은 썩기 파괴 발생 가능성 영역에 1번 절리(155/56), 3번 절리(130/75), 4번 절리(245/75), 5번 절리(135/65), 6번 절리(175/42), 7번 절리(165/38), 8번 절리(265/85)의 교차점이 존재하므로 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8번 절리의 의한 썩기 파괴 발생 가능성이 있을 것으로 판단된다.

결 론

연구대상 지역의 경우 전형적인 화강암의 풍화작용으로 인해 핵석이 잘 발달하고 있다. 각 구간은 경우 핵석이 발달, 노출된 곳과 절리가 발달된 암반사면상태로 구분할 수 있었다. 이들 각 사면에서의 탄성파탐사 및 사면지질 조사로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 풍화토에서의 핵석 발달은 사면 불안정 요인일 뿐만

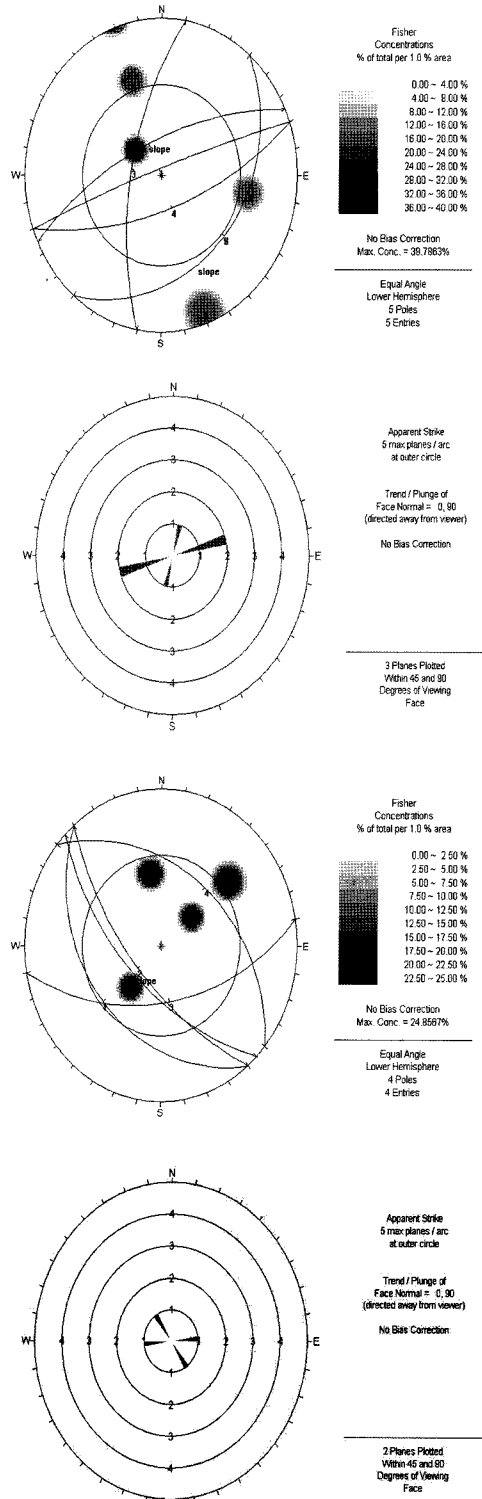


Fig. 14. Analysis of stereo-graphic(Site 1, 2).

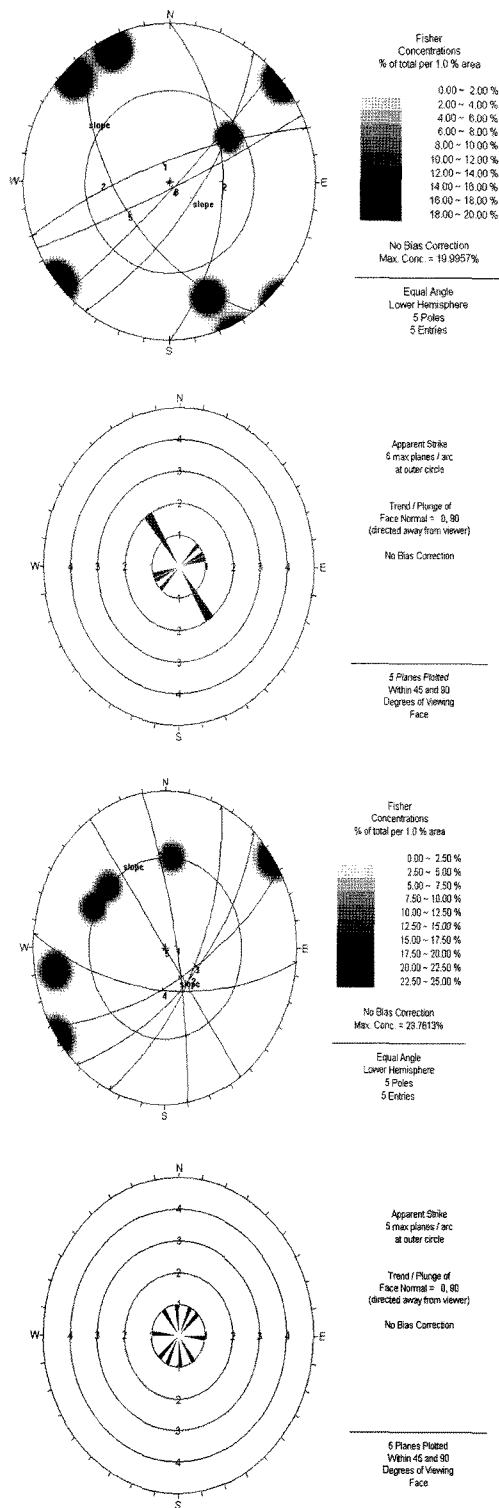
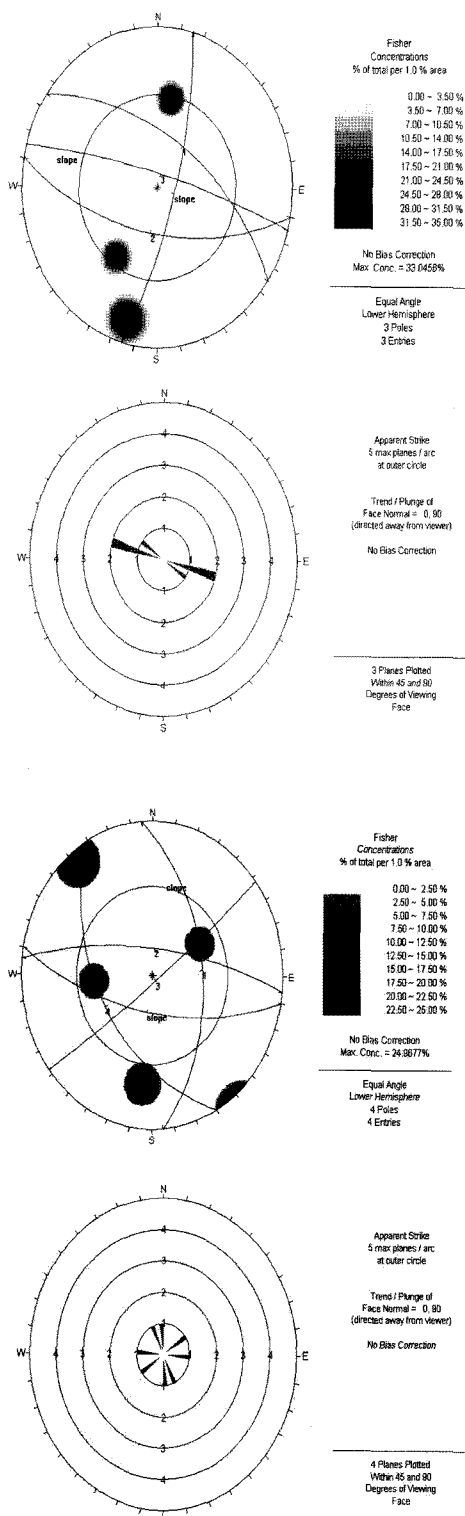


Fig. 15. Analysis of stereo-graphic(Site 7, 11).

Fig. 16. Analysis of stereo-graphic(Site 13, 14).

아니라 사면 배후의 해석 분포로 인하여 계속적인 불안정 요인으로 작용하게 된다.

(2) 해석과 풍화도로 이루어진 사면에서 사면 배후에서의 해석 분포특성 및 규모를 파악하기 위해 탄성파탐사를 실시한 결과 규모가 어느 정도 큰 해석은 충분히 감지할 수 있었다.

(3) 해석의 분포특성 및 규모는 동일 지역과 동일 암종에서는 암반에 발달하는 불연속면의 분포 및 규모, 즉 블록의 규모에 크게 좌우된다. 따라서 풍화도 사면에서의 해석 분포 특성을 알기 위해서는 주변 동일 암반에서의 불연속면 특성 규명이 매우 중요하다.

(4) 따라서 풍화도 사면에서의 눈에 보이지 않는 사면 배후에서의 해석 분포는 주변 암반사면에서의 불연속면에 대한 3차원적인 측정으로 지구물리탐사 없이 충분히 파악할 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 김재홍의, 2008. 임하댐 진입도로 사면 안정성 검토. 한국수자원공사 실용화보고서. p.186.
- 대한토목학회, 2004, 암반사면의 조사와 대책, 150-154.
- 엄정기, 2007, 절리암반내 동질구조부 구분을 위한 정량적 기준에 대한 연구, 한국암반공학회 춘계학술발표회 논문집, 1-14.
- 정교철 외, 2001, 사면안정해석, 도서출판 엔지니어즈, pp. 224.
- 정교철, 김재홍의, 2008. 편마암 풍화사면에서의 지구물리탐사 및 안정성 해석 사례연구, 대한지질공학회 제 18(3), 287-292.
- Hoek, E. and Brown, E.T., 1980, Empirical strength criterion for rock masses. J. Geotech. Engng Div., ASCE, 106, 1013-1035.
- Slide 2D, Slide 2D limit equilibrium slope stability for soil and rock slopes: Verification manual, Rocscience INC.

홍원표

중앙대학교 건설환경공학과
156-756, 서울특별시 동작구 흑석동 221
Tel : 02-820-5258
Fax : 02-817-8050
E-mail : wphong@cau.ac.kr

김재홍

한국수자원공사 수자원연구원
305-730 대전광역시 유성구 전민동 462-1번지
Tel: 042-870-7623
Fax: 042-870-7619
E-mail: kjhpmk@kwater.or.kr

노병돈

삼성물산 건설부문 TA팀
137-857 서울시 서초구 서초2동 1321-20
삼성물산 빌딩 20층
Tel: 02-2145-6588
Fax: 02-2145-6581
E-mail: engeo@naver.com

정교철

안동대학교 지구환경과학과
760-749 경북 안동시 송천동 388번지
Tel: 054-820-5753
Fax: 054-822-5467
E-mail: jeong@andong.ac.kr