The Journal of Engineering Geology, Vol.10, No.3, December, 2000, pp.205-216

퇴적암 지역의 자연사면 안정성

Stability of a Natural Slope in Sedimentary Rocks

권 오 일 (Oil Kwon) 경북대학교 지질학과
김 교 원 (Gyo-Won Kim) 경북대학교 지질학과
박 덕 근 (Deuk-Keun Park) 국립방재연구센터

요약 / ABSTRACT

이 연구는 집중호우 시에 심한 지표균열이 발생하여 주민의 안전이 우려되는 달성군 다사읍 이천리 배후 산록의 지반활동 원인을 조사하고 대책을 강구하는데 그 목적이 있다. 활동원인을 조사하기 위하여 지표지질조사, GPR 탐사, 시추조사 및 시험, 강수자료 검토 등이 수행되었으며, 조사결과를 종합하여 활동면은 지하 6~8m 심도에 위치하는 사암과 셰일의 경계를 이루는 경사각 20~25°의 층리면이 약선대로 작용한 것으로 확인되었다.

활동면의 전단강도는 한계평형해석법에 의한 역해석을 수행하여 지하수위가 상승한 경우에 안전율이 1.0 이하가 되는 값으로 내부마찰각 18°, 점착력 0 kgf/cm^{2}으로 결정하였다. 이를 바탕으로 도해적 분석, 한계평형해석 및 수치해석 등 일련의 해석을 수행하였으며, 특히, 다양한 조건 하에서 한계평형해석을 수행하여 그 결과로부터 지반활동 방지를 위한 사면보강방안을 제시하였다. 적절한 표면 배수시설과 함께 지반 그라우팅 혹은 앵커공법의 적용이 사면의 장기적인 안전에 적절할 것이다.

주요어 : 지반활동, 퇴적암, 층리, 사면보강

An unstable natural slope located at Icheon-Ri, Dasa-Eup, Dalseong-Kun which has been severely cracked during heavy rain fall in September, 1998, was investigated and analysed for remedial measures. Various geological data were obtained by performing a surface geological survey, a ground penetrating radar(GPR) exploration, four geotechnical borings with field and laboratory tests, and the precipitation records were also reviewed. Based on the these data, the probable sliding plane was determined as a bedding plane with dip angle of 20 to 25 degrees between sandstone and shale layers at depth of 6 to 8 meters.

By performing back analyses with the limit equilibrium method, the friction angle and cohesion of the sliding plane were determined as 18° and 0, respectively. Based on these results, a series of

stability analyses such as stereo-graphic projection method, limiting equilibrium method and numerical method were carried out. The remedial measures for the unstable slope were selected based on the results of the limit equilibrium analyses by considering various conditions expected at the site. Ground grouting or anchoring method with proper surface drainage systems could be employed for the long term safety of the slope.

Key Words : ground sliding, sedimentary rock, bedding plane, slope reinforcement

서 론

최근 경상계 퇴적암 지역에서 절개 및 자연사면의 붕괴가 빈번히 보고되었다. 특히, 20° 내외의 저각 경사의 층리면을 따른 평면파괴 양상이 경상계 퇴적암 지역의 암반 사면파괴의 두드러진 특성으로 지적되고 있는 만큼 파괴 우려가 있는 지역의 자연사면을 포함한 기존 사면의 전반적인 안정성 검토 및 대책이 요구되는 실정이다.

사면을 이루고 있는 모든 암체는 크고 작은 불연속면을 가지며, 그 불연속면들은 암체 구성의 하나의 요소로서 암체의 지질 공학적인 특성을 좌우하게 된다. 국내 퇴적암 지역에서의 불연속면의 분포특성이나 불연속면과 사면안정성과의 관계에 대한 연구는 김영기(1987), 권오일(1999), Kim 등(1999), 김교원과 정영국(2000)에 의하여 수행된 바 있으며, 백용 등(2000)은 도로변의 절취공사에 수반된 사면안정성에 대하여 연구하였다.

본 연구지역은 대구시 달성군 다사읍 이천리 뒤의 야산으로, 지난 1998년 9월 말의 집중호우 시에 층리면의 주향과 일치하는 방향으로의 신장성 균열이 최대 30cm의 폭으로 발생하였으며, 경사방향의 지반 활동이 일어났다(Figure 1). 주민들에 의하면 수십년 전부터 집중 호우시에 이와 유사한 지반 변위의 징후가 관찰된 바 있다. 산사면 균열과 활동이 발생한 토괴의 규모는 폭과 길이가 각각 약

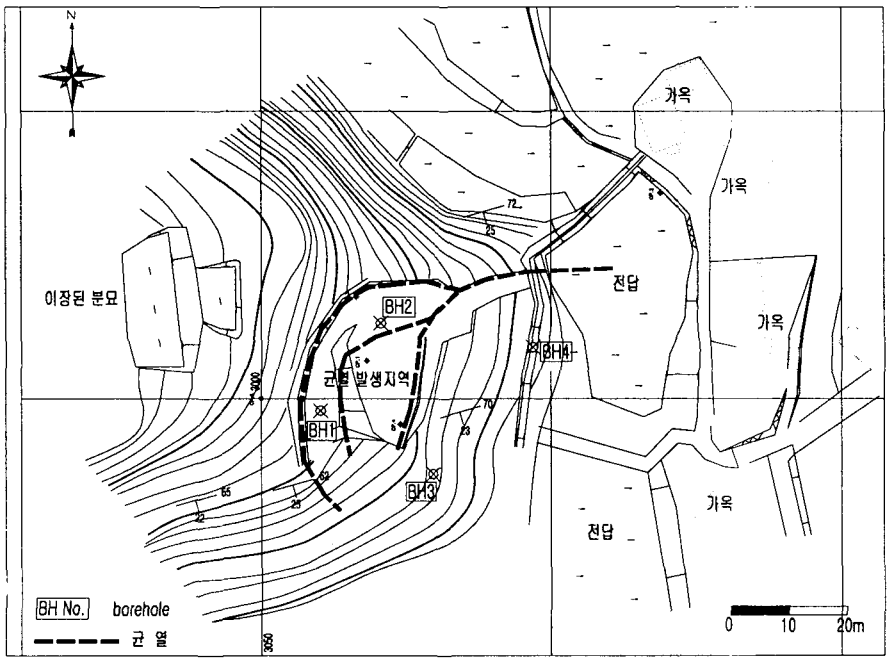

Fig. 1. Landslide area showing location of boreholes and surface cracks.

40m이다. 이전에 분묘가 있었던 본 지역은 사면의 배향과 사교하는 남동쪽 방향으로 지반활동이 발생하여 분묘가 갈라져서 현재는 이장한 상태이며, 활동사면 아래에는 소규모 전답과 다수의 민가가 위치하고 있어서 붕괴가 지속된 경우 큰 피해가 예상되었다.

본 연구는 사면의 활동파괴가 발생한 지역에 대한 정밀조사 및 역해석을 통하여 퇴적암 지역의 자연사면의 안정성 검토에 필요한 지반 정수를 제시하고 안정성과 경제성 있는 대책방안을 제시하는데 그 목적이 있다.

현 장 조 사

활동토괴 및 인근 지반의 특성 파악과, 사면 활동면일 가능성이 높은 파쇄대 등의 연약층 및 불연속면을 확인하기 위하여 지표지질조사와 아울러 GPR(Ground Penetrating Radar) 탐사 및 시추조사를 병행하여 실시하였다. 조사결과를 상호 비교 검토하여 추정 활동면을 설정하였으며, 이는 현장 및 실내시험결과와 함께 사면 안정성 해석의 기초자료로 이용되었다.

1) 지표지질조사

본 지역의 지질은 중생대 백악기 경상누층군 하양층군의 칠곡층에 해당된다. 장기홍(1985)에 의하면 칠곡층은 사암, 셰일 및 역암으로 구성되며 화산암 역을 갖는 것이 특징이고 홍색층을 함유함으로서 하부의 진주층과 구별된다. 본 지역에서도 홍색 셰일, 세립 내지 중립질 사암, 역암 등이 확인된다. 칠곡층의 역암은 상위로 갈수록 조립질이 우세하여 결국 신라역암층으로 전이된다. 본 역에서의 역암은 최대 장경 1cm 내외이며 원마도와 분급이 대체로 양호하다. 또한 결합력이 우수하여 역들이 쉽게 분리되지 않으며 역의 성분은 주로 셰일 및 규암으로 구성되어 있다. 두꺼운 홍색 셰일과 얇은 암회색 사암이 교호하여 나타나며, 간혹 녹회색 이암이 협재되며, 또한 1mm 내외인 박층의 탄층을 수매 협재하고 있다. 본 지역에 협재하는 다수의 엽층(laminar)은 층간에 점토물질을 함유함으로서 단위층간의 결합력을 감소시키고 있다.

본 지역의 칠곡층 층리면은 N68~74E/20~25SE로 발달하며 주절리는 N80W와 N10E 방향의 공액성 고각 절리가 발달하고, 그 외에 N45~70E 방향으로의 고각 절리들도 관찰된다(Figure 2). 또 층리면을 경계로 굴절현상을 보이는 신장성 절리들이 나타난다. 암회색 세일과 중립질 사암 사이에서 층리면을 따라 소규모의 활동이 현장에서 관찰되었다. 분리빈도 측면에서는 층리면이 가장 빈도가 높은 불연속면이기 때문에, 층리면이 사면의 안정에 가장 큰 영향을 미칠 것으로 예상되었다. 암반분류 결과 기초 RMR은 39.74~60.94, SMR값은 33.49~66.64 범위를 보여서 Poor~Good의 암반상태를 나타내며, Q값은 0.23~13.1 사이로 암반등급으로는 Very Poor~Good으로 나타났다.

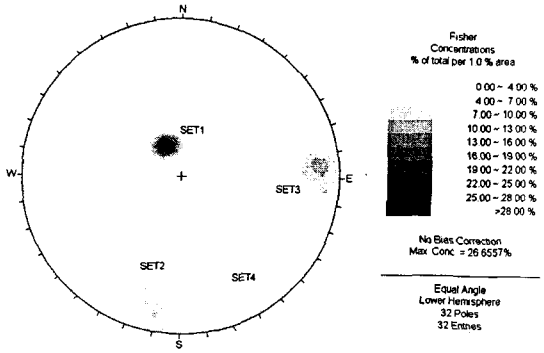

Fig. 2. Stereo-graphic projection of the poles of discontinuities showing bedding planes as SET1 and joints as SET2 to SET4.

2) GPR 탐사

GPR 탐사는 25MHz~2000MHz의 전자파를 지표면에 방사시킬 때 지반내의 전자기적 물성이 다른 부위를 만나 반사되어 되돌아오는 신호를 수신, 분석하여 지하의 구조와 상태를 영상화하는 지반탐사법이다. 조사대역에서 전자파의 진행속도는 매질의 유전율에 의존하며, 반사파의 진폭 역시 주로 두 매질의 유전율의 상대적 차이에 따라 달라진다. 시간에 따른 반사신호 변화는 전자파의 진행경로에 다른 매질의 전자기적 물성 변화에 대한 정보를 내포하고 있으므로, 반사신호를 처리·분석하면 전자기적 성질이 서로 다른 매질간의 경계면, 배면 지하수 영향, 공동의 존재 여부 및 심도와 위치 밝혀낼 수 있다.

본 연구에서는 지표지질조사결과 예상 활동면의

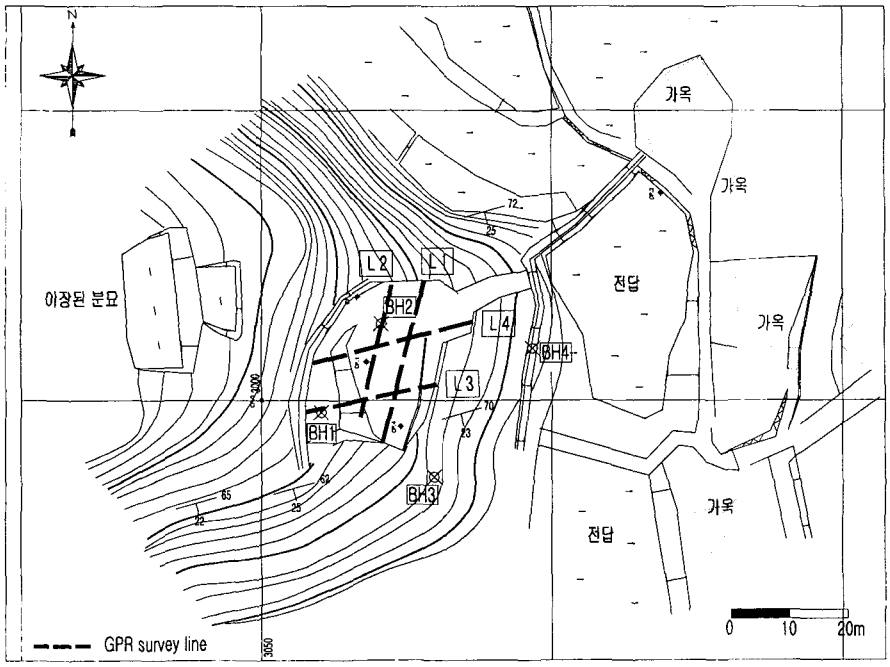

Fig. 3. GRP scan lines in the landslide area.

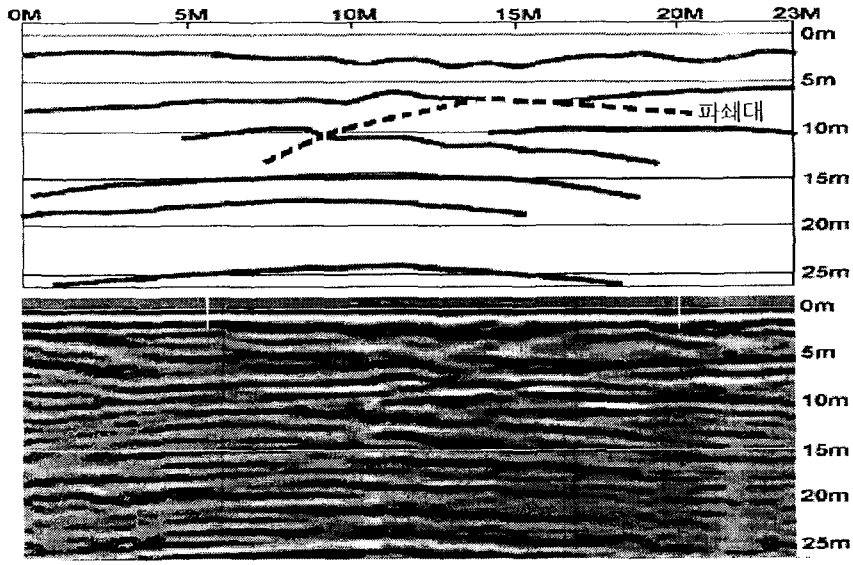

Fig. 4. Result of GRP survey on scan line 2 showing a fractured zone.

심도가 10m 이내일 것으로 추정되었기 때문에 중심 주파수 45MHz를 사용하여 심도 약 26m까지를 탐사하였다. 탐사는 침하 및 산사태가 발생된 지점을 중심으로 4개의 측선을 격자형으로 배열하여 수행하였으며(Figure 3), 측선들의 교차점 자료를 비교 분석하여 신뢰도를 높였고, 탐사로 얻어진 영상신호에서 확인된 불연속면의 존재는 시추조사로 확인하였다. GPR 탐사로 얻어진 자료로부터 4개의 측선상에서 대체로 유사한 심도에서 전자기적 성질이 서로 다른 매질간의 경계를 확인할 수 있었으며, 탐사 측선상에 위치하고 있는 시추공에서 얻어진 시추코아의 특성을 분석하여 비교해 본 결과, 이들 경계부가 표토층, 파쇄대 및 사암과 셰일의 경계부임을 확인하였다. 또한, GPR 탐사에서 활동면으로 확인된 심도가 대체로 6~8m이고, 이는 시추조사에서 얻어진 코아시료 상에서 관찰되는 활동면의 심도와 일치하였다(Figure 4). GPR 탐사와 시추조사에서 얻어진 자료를 바탕으로 본 연구지역 사면의 수직적인 층의 경계 및 파쇄대로 확인되는 연약대의 심도를 확인할 수 있으므로, 이를 사면안정성 역해석시 활동면 설정에 적용하였다.

3) 시추조사

시추조사결과는 Fig. 5에서 보듯이 지표로부터 최대 2.5m 심도까지 사질토와 풍화토로 이루어진 붕적층이 놓이며, 그 하부에 세립질 사암층 혹은 셰일층이 분포하고 있다. 이 암반층의 상부는 상당히 풍화가 진행된 양상을 보이며 절리가 발달하고 있다. 파쇄대는 심도 6~8m의 셰일층에서 주로 나타나며 붉은 점토가 일부 협재되기도 하는 이 파쇄대가 활동파괴를 야기시킨 활동면일 것으로 추정된다.

사면안정성 평가

기본적으로 사면의 활동 여부는 활동면의 전단강도와 전단응력과의 상관관계로 결정된다. 즉, 전단강도가 감소하거나 전단응력이 증대됨으로서 평형상태가 파괴되어 사면 활동이 발생한다. 본 연구지역에서 고려될 수 있는 전단응력의 증대 요인으로는 강우에 의한 지반포화에 따른 상재하중의 증가를 들 수 있고, 전단강도의 저감요인으로는 지반 자체의 고유 특성인 단층, 절리, 균열, 파쇄대, 연약지층 등의 존재로 인한 취약성과 지반내의 간극수압 증대로 인한 유효응력의 감소를 들 수 있다. 이상의 가능성을 고려하여 다양한 전산 프로그램을 이용하여 도해적 분석, 한계평형해석 및 수치해석 기법을 통하여 사면안정성을 평가하였다.

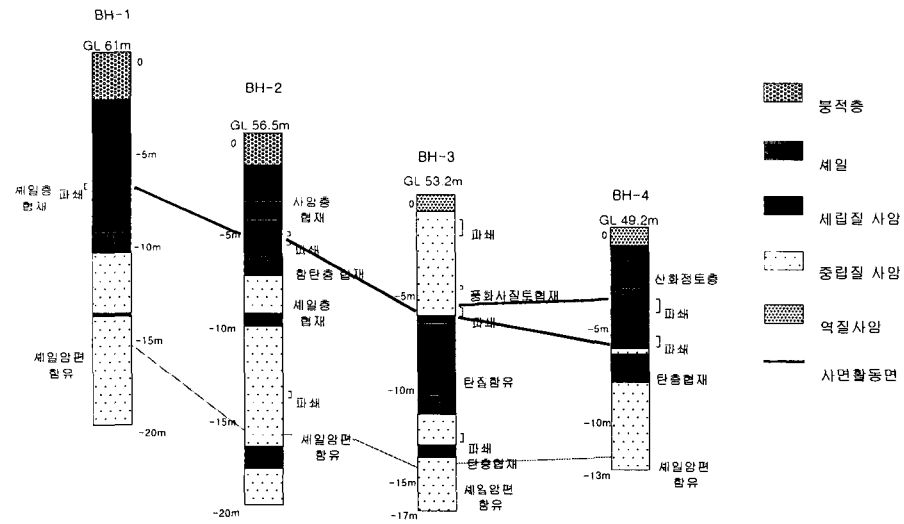

Fig. 5. Geological profile of the area showing a fractured zone.

1) 도해적 분석

본 해석은 불연속면의 방향성과 사면의 배향 및 내부마찰각의 변화를 고려할 수 있는 프로그램 DIPS(Hoek and Diederichs, 1989)를 이용하여 평면파괴 및 전도파괴의 가능성을 분석하였다.

본 연구에서는 퇴적암에서 특징적으로 나타나는 공학적 불연속면인 층리면의 발달에 의한 평면파괴 가능성을 확인하기 위해, 야외조사에서 얻어진 불연속면의 방향성과 사면의 배향 및 내부마찰각의 변화를 고려하여 해석하였다. 그 결과, Figure 6에서 보는 바와 같이, 시추조사에서 확인된 약선대의 내부마찰각을 18°로 낮게 적용하고 사면의 경사가 25° 이상이 되면 층리면에 의한 평면파괴가 예상되었다. 집중호우 직후에 산사면의 균열이 발생하였다는 현지 주민의 전언으로 미루어 볼 때, 지하수 수위 상승에 의한 암반사면 내부마찰각 감소에 따른 전단저항력 감소가 활동의 주원인으로 추정된다.

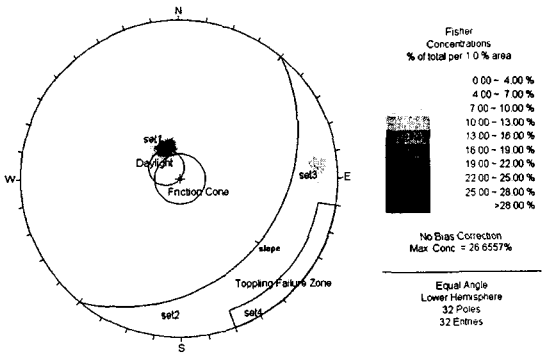

Fig. 6. Result of plane failure analysis.

2) 한계평형 해석

해석에 사용된 프로그램은 한계평형법에 기초하여 PCSTABL5이다(Carpenter, 1986). 이 프로그램은 Bishop, Janbu 및 Spencer 등의 여러 학자들이 제안한 사면해석방법을 바탕으로 작성되었으며 사면의 장단기 안정성뿐 만 아니라 어스앵커나 록볼트 등 지반보강에 대한 해석도 가능하며 지진하중을 고려할 수도 있다.

해석은 실제로 산사면 활동이 발생한 방향으로의 측량된 지형 단면을 기준으로 GPR 탐사와 시추조사로 얻어진 자료를 바탕으로 지층을 구분하고 연약대를 고려하여 실시하였다. 해석과정은 시추조사에서 확인된 파쇄대에서 실내시험용 시료의 채취가 불가능하여 집중호우가 있은 후에 실제로 본 연구사면의 활동 및 파괴가 발생한 점을 고려하여, 지하수위가 높은 상태에서 최소 안전율이 1.0 이하가 되도록 점착력 및 내부 마찰각을 조정하였다(Table 1). 그 다음 지반의 강도정수를 고정시키고 환경조건들을 변화시키면서 해석하였다.

적용한 조건들로는 첫째, 지하수위의 변화를 고려하였다. 즉, 평상시 지하수위가 낮은 경우, 집중호우 시 지하수위가 높아지는 경우 및 중간 지하수위 등의 경우를 가정하였다. 둘째, 발파진동에 의한 동하중의 작용을 고려하여 안정성을 검토하였다. 입자가속도는 중력가속도의 10%인 0.1g의 수평력을 가정하였고 수직력은 무시하였다. 셋째, 어스앵커와 그라우팅 등의 지반보강을 고려하였다. 여기서, 어스앵커의 인장력은 25t이며 2m 간격으로 2열 내지 3열로 타설하는 것으로 가정하였으며, 그라우팅은 원 상태의 지반의 점착력을 Table 1과 같이

Table 1. Material properties employed in the stability analyses.

rock types	unit weight γ (t/m^3)	friction angle ϕ(°)	cohesion, c(t/m^2)	
			before grouting	after grouting
residual soil	2.0	22.0	1.0	5.0
weak zone	2.2	18.0	0.0	3.0
weathered rock	2.5	30.0	10.0	10.0
soft rock	2.6	40.0	100.0	100.0

Table 2. Results of analyses using the program PCSTABL.

cases	water level	earthquake,horizontal acceleration	anchor 25t/ea	grouting	minimum safety factor	remarks
Dasa 1	low	0	0	-	1.512	stable
Dasa 2	high	0	0	-	0.992	unstable
Dasa 3	low	0.1g	0	-	1.098	meta-stable
Dasa 4	high	0	3열	-	1.111	meta-stable
Dasa 5	high	0.1g	3열	-	0.787	unstable
Dasa 6	middle	0	0	-	1.181	meta-stable
Dasa 7	middle	0	2열	-	1.362	stable
Dasa 8	high	0	0	○	1.941	stable

증가시키는 방법으로 적용하였다. 이상의 다양한 조건을 조합하여 8가지의 경우에 대하여 해석을 실시하였으며, 해석결과는 Table 2에 요약하였다.

Figure 7은 지반물성치의 도출을 위해 파괴시의 안전율이 1.0에 근접하도록 시행착오를 반복하면서 해석한 결과도이다. 그림에서 연약대를 따라 보이는 선이 최소안전율을 가지는 예상 파괴면이며, 지하수위와 토층구분에 따른 입력물성치 및 최소 안

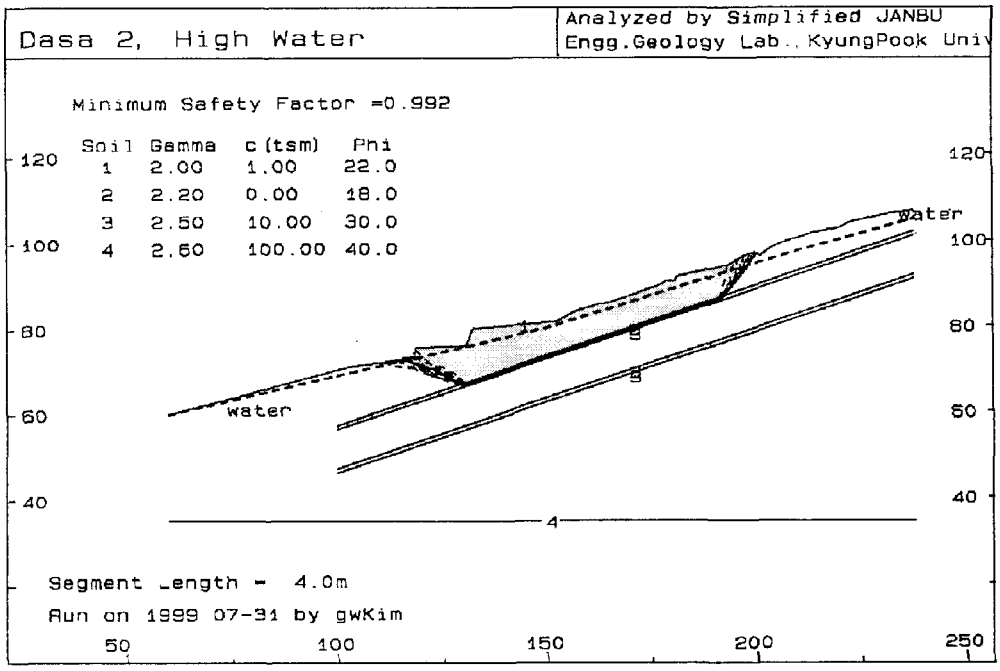

Fig. 7. The minimum factor of safety is assumed as less than 1.0 with high water level during heavy raining.

전율 등이 나타나 있다.

한계평형 해석결과를 종합하면 이 지역은 집중호우에 의해 수위가 높아진 경우에 불안정하게 나타났으나, 평상시 수위가 낮은 경우에는 사면의 최소 안전율이 높게 나타나며 안정성이 유지되었다. 또한, 지진하중이 고려될 경우 지하수위가 낮아도 불안정하게 나타났다. 즉, 집중호우에 의한 지하수위 상승이 산사면 활동의 원인으로 추정되며, 평상시에도 지진 등의 동하중이 작용할 경우 불안정 할 것으로 예상된다. 따라서, 사면의 안정성을 높이기 위하여서는 1차적으로 지하수위의 상승을 억제하는 방안을 고려함이 바람직하다. 즉, 강수시에 지표수의 지하침투를 방지하기 위한 원활한 지표배수시설의 설치와 지표 균열부의 폐합 등이 필수적인 사면 안정화의 방안이다. 그러나, 지하수위를 감소시키는 데는 한계가 있을 수 있으므로 영구적인 안정화를 위하여서는 어스앵커나 지반 그라우팅 등의 추가적인 보강이 필요하다. 특히, 그라우팅으로 지반의 점착력을 증가시키는 경우 안전율은 현저하게 증가시킬 수 있는 것으로 나타났다.

3) 수치해석

본 해석은 단계 굴착을 고려한 재료의 탄소성 문제를 해석할 수 있으며, Mohr-Coulomb 파괴기준 및 Hoek & Brown 파괴기준을 도입하고 있는 유한요소해석 프로그램인 PHASE2 (Plastic Hybrid Analysis of Staged Excavation, Curran and Corkum, 1997)을 이용하였다.

조사지역의 해석 대상 단면을 풍화토, 풍화암, 연암 및 추정 활동면인 파쇄대로 층을 구분하고, 보통 지하수위가 낮은 상태 및 지반이 포화된 경우에 대하여 해석하였다. 보강방안의 일환으로 2개소에 어스앵커를 설치하는 경우의 지반응력상태를 확인하기 위하여 현상태에서 앵커를 설치한 후 강수에 의한 지반포화시의 변화를 해석하였다. 앵커의 인장력에 상응하는 외력을 수평에서 30° 각도로 절점력으로 추가하였다.

특히, 이 지역의 사면은 굴착이나 성토 등에 의한 외력의 변화가 없는 상태에서도 강우시에 변위가 진행된 다는 점을 고려하여 외력의 변화 및 지반강도의 변화는 지반의 포화도와 관련되는 것으로 보고 초기상태의 낮은 지하수위에서의 물성치와 포화시의 물성치가 달라지는 것으로 가정하였다. 즉, 강수에 의하여 지반이 포화되는 경우 지반강도가 감소되고 단위중량이 증가되는 것으로 가정하였다. 또한, 시추조사결과에서 파쇄대로 확인된 심도에서 약선대가 존재하며 사면활동은 이 약선대를 따라서 발생하는 것으로 가정하였다.

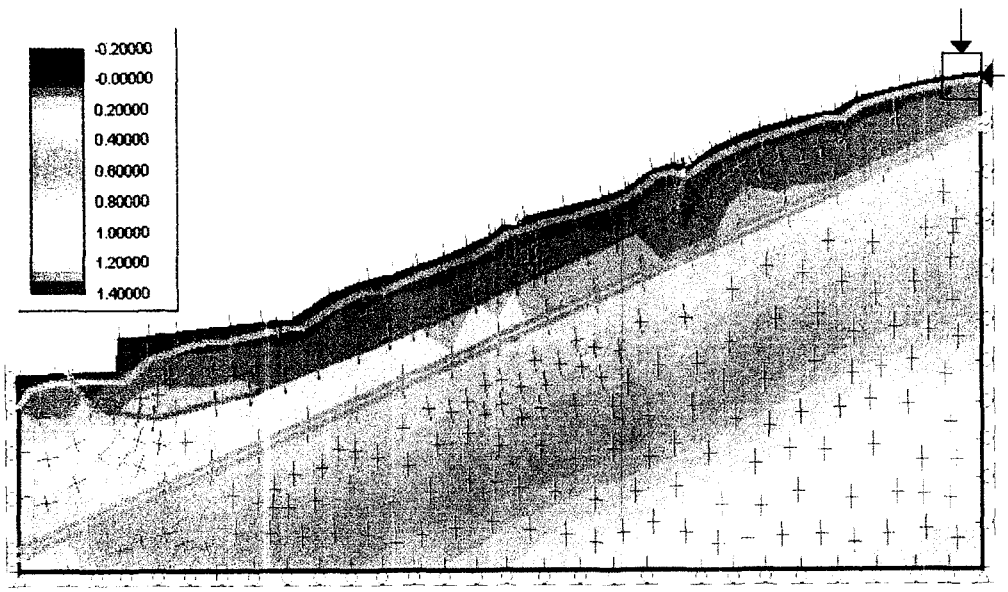

Fig. 8. Maximum principal stresses under saturated condition.

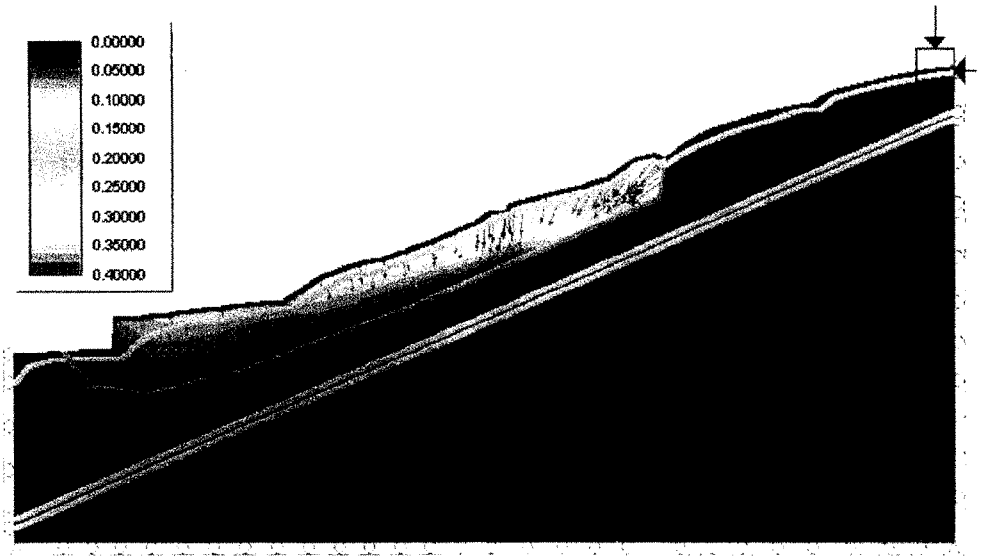

Fig. 9. Displacement vectors under saturated condition.

Fig. 10. Maximum principal stresses with anchoring under saturated condition.

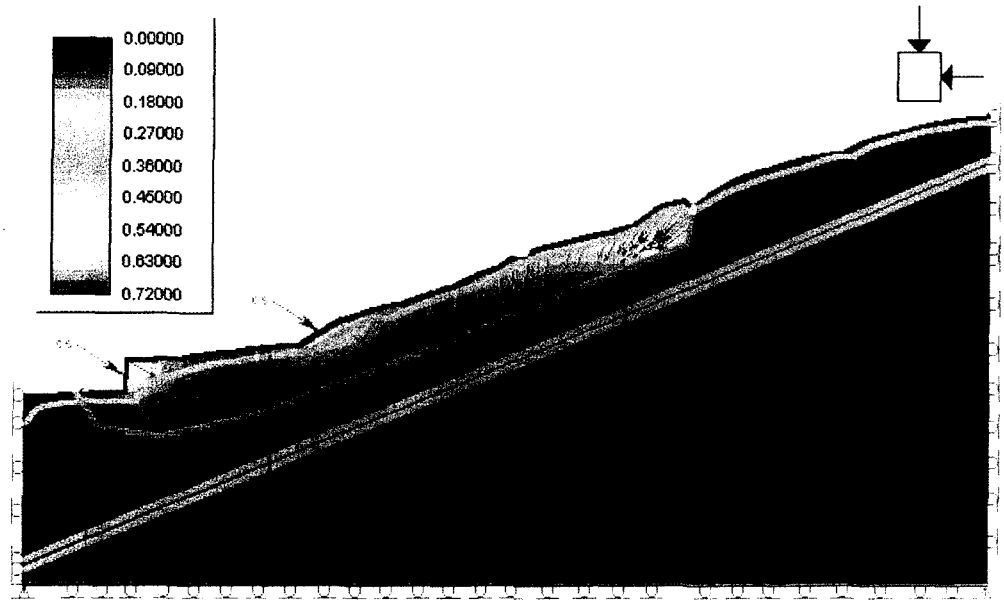

Fig. 11. Displacement vectors with anchoring under saturated condition.

해석결과는 Figure 8 및 9에 보이는 바와 같이 원지반 상태가 집중호우로 포화된 단계에서 지반 응력 및 변위량은 큰 폭의 증가를 보였는데, 특히 산사면 상부 균열발생 지점에서 최대 값 약 30cm의 변위를 보였다. 따라서 본 지역은 여러 조사, 시험에 의해 확인된 연약층을 경계로 상부 지반이 집중호우로 포화된 경우 주응력과 변위량이 증가하는 것으로 확인되었다. 또한, 앵커를 고려하는 경우인 Figure 10 및 11에서 보듯이 앵커의 인장력(50t/m)에 의하여 앵커설치지점의 지반이 안쪽으로 다소 변위되며 활동토괴의 변위는 다소 감소하고 있다.

사면보강공법 검토

산사태 혹은 지반활동 방지공사는 지하수 상태, 지반활동 지역의 지형변화 등 자연조건을 변화시켜 산사태나 지반활동을 방지 또는 완화함을 목적으로 하는 억제공사와 활동력에 직접 저항할 수 있는 구조물을 설치하여 저항토록 하는 활동력 억지공사로 크게 구분되며 그 외에 산사태 지역의 녹화공사가 있다.

본 연구지역의 지형 및 지질 등 제반 특성을 감안할 때 다음과 같은 공법이 현실적으로 적용 가능할 것으로 판단된다.

본 지역은 지반내의 지하수위 증가가 사면불안정의 가장 큰 요인으로 판단되기 때문에 우선 지표수의 지하침투를 억제하여야 한다. 이를 위하여서는 지표수의 신속하고 원활한 배수가 필요하다. 따라서, 어떤 공법을 적용하던 간에 필수적으로 필요한 사항은 지형과 어울리게 지표면을 완만하게 경사지도록 정리하고 배수로를 설치하여 지표수의 배수를 촉진시키고 표면을 식생으로 보호하여 침식을 방지하는 작업이다. 지표면을 정리하는 과정에서 균열, 절리, 투수성 토질 등 지표수의 침투경로가 확인되는 경우에는 불투수성의 점토로 복토하고 식생으로 피복함이 바람직하다. 사면활동지역 내에서의 지표수 체류시간을 줄이기 위한 배수로는 Figure 12와 같이 활동지괴 상단부 및 중앙부에 횡방향 배수로 및 측구 배수로를 설치함이 바람직하다. 또한, 지반강도 증가를 위한 그라우팅 혹은 활동억지를 위한 어스앵커 및 억지말뚝 등을 실시하여 지하수위의 변화와 지진하중의 영향에 대비한 영구적인 안정화 대책이 요구된다.

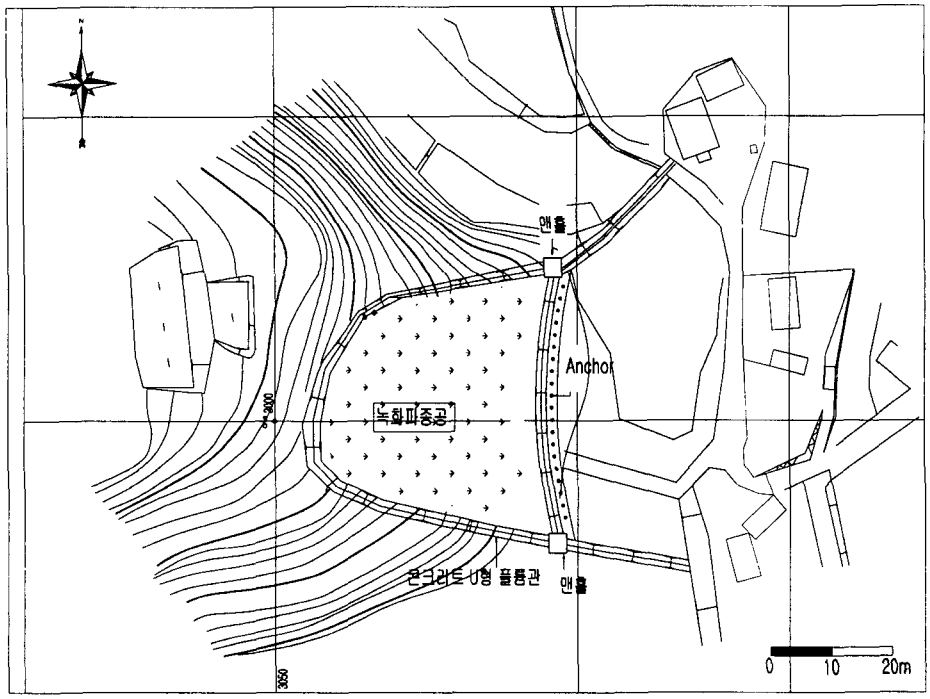

Fig. 12. Remedial treatment of the area showing anchoring, surface drainage system and seed spray.

결 론

1) 지구물리 탐사 및 시추조사 결과 지반활동은 심도 6~8m 내외의 층리면과 평행한 파쇄 약선대를 따라서 발생하는 것으로 판단된다.

2) 정밀지질구조조사의 결과를 기초로 파괴유형을 분석한 결과 평면파괴의 양상을 보였으며, 문헌조사 및 현장주민의 전언 자료에 의하면 집중호우에 따른 지반포화가 지반균열 및 활동의 주원인으로 추정된다.

3) 이상의 현장조사 및 시험의 결과를 기초로 사면안정성을 평가해보면, 본 연구지역의 지반균열 및 활동변위는 호우시의 지반내의 지하수위 상승에 따른 지반강도감소에 기인하고 있으며, 활동은 남동방향으로 완만하게 수십년 동안 지속된 포행성 활동으로 주로 우기에 진행되는 것으로 보인다.

4) 사면의 안정을 위하여서는 우선적으로 지표수의 지하 침투를 억제하여야 한다. 이를 위하여 지표수의 원활한 배수를 위한 사면 정리와 표면침식방지를 위한 식생이 필요하며 아울러 배수로를 설치하여야 한다. 또한, 지반강도 증가를 위한 그라우팅 혹은 활동억지를 위한 어스 앵커 및 말뚝공(또는 콘크리트 옹벽) 등이 사면보강공법으로 적용될 수 있다.

사 사

이 연구는 대구광역시 달성군청 및 행정자치부 국립방재연구소의 일부 지원을 받아서 수행되었다.

참 고 문 헌

권오일, 1999, 달성군 다사읍 지역의 자연사면 안정성 분석, 석사학위논문, 경북대학교, pp.1-54

김교원, 정영국, 2000, 터널입구의 사면안정성 검토 및 보강대책, 대한지질공학회 창립10주년 기념 학술발표회 논문집, pp.147-154

김영기, 1987, 하부 경상층군에 발달하는 분리면 특

성연구, 지질학회지, vol.23, pp. 120-135.
백용, 김교원, 구호본, 2000, 건설공사와 사면안정성, 2000년도 지질재해관측 및 방지기술 심포지움 논문집, pp.1-17
장기홍, 1985, 한국지질론, 민음사, pp. 142-143.
Carpenter, J. R., 1986, PCSTABLE5 Program Manual, Joint Highway Research Project 47907, Joint Highway Research Project.
Curran, J. H. and B. T. Corkum, 1997, Phase^2 Verification Manual, Rock Engineering Group, University of Toronto.
Hoek, E. and M. Diederichs, 1989, Dips Program Manual, Rock Engineering Group, University of Toronto.
Kim, G. W., Y. S. Paik and D. K. Park, 1999, Slope Failures in Sedimentary Rocks in Kyoungsang Basin, Special Publication to Commemorate The Eleventh Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, KGS, Seoul, pp. 135-140.

권오일
경북대학교 자연과학대학 지질학과
702-701 대구광역시 북구 산격동 1370
Tel: 053)950-5357 Fax:053)950-6344
e-mail:fromoil@hanmail.net

김교원
경북대학교 자연과학대학 지질학과
702-701 대구광역시 북구 산격동 1370
Tel: 053)950-5357 Fax:053)950-6344
e-mail: gyokim@knu.ac.kr

박덕근
국립방재연구소 행정자치부
서울특별시 마포구 공덕동 253-42
Tel: 02)3274-2207 Fax: 02)3274-2209
e-mail: dr_park@mogaha.go.kr