

황령산 사면 계측관리 분석에 관한 연구

라원진¹⁾ · 최정찬*¹⁾ · 김경수²⁾ · 조용찬²⁾

¹⁾부경대학교 환경지질과학과, ²⁾한국지질자원연구원 지질환경재해연구부

Study on Analysis for the Slope Monitoring Performance at the Whangryeong Mountain Site

Won Jin La¹⁾, Jung Chan Choi*¹⁾, Kyung Soo Kim²⁾, Yong Chan Cho²⁾

¹⁾Dept. of Environmental Geosciences, Pukyong National University

²⁾Geological & Environmental Hazards Division, KIGAM

1999년 부산광역시에서 발생한 황령산 산사태는 평면파괴 형태였다. 그 후, 황령산 절개사면은 재시공 되었으며 최종 구배는 1:2.0이었다. 수평변위, 간극수압 및 축력을 측정하기위하여 공사중인 2000년 8월부터 2002년 2월까지 파괴사면에 대한 계측이 실시되었다. 계측결과를 종합 고려하면, 강우량에 비례해서 간극수압이 증가되지만 강우 후 지반의 압력수두가 신속히 감소하여, 지표에서 유입된 강우가 사면을 따라 신속히 배출되는 것으로 사료된다. 또한, 경사계 및 하중계 계측자료의 분석결과, 지반의 거동은 거의 없으므로, 사면도 안정된 것으로 사료된다. 특히 본 연구지역과 같이 강우와 관련된 산사태 지역의 경우 자동화 계측을 통해서 간극수압의 신속한 증감을 알 수 있었으며, 추후 이러한 주요 시설 사면에서 자동화 방식에 의한 계측관리가 사면의 안정성을 판단하는데 더욱 효과적일 것으로 사료된다.

주요어 : 산사태, 평면파괴, 수평변위, 간극수압, 축력, 계측관리

Landslide of the Whangryeong Mountain which was occurred at Busan Metropolitan City in 1999 belong s to the category of plane failure. Automatic monitoring system to measure horizontal displacement, pore pressure change and load change has operating from reconstruction stage for evaluating rock slope stability (August, 2000~February, 2002). As a result of the analysis on the monitoring performance data, it is suggested that infiltrated rain water from ground surface discharges rapidly through cut-slope because pressure head of water decreases rapidly after rainfall while rise of pore pressure is proportional to the amount of rain water. As a result of data analyses for inclinometers and load cells, it seems that slope is stabilized because ground deformation is rarely detected. The areas especially similar to the study site where landslide is induced by heavy rain fall, change of pore pressure is rapidly analyzed using automatic monitoring system. Therefore, it is considered that automatic monitoring system is very effect for slope stability analysis on important cut-slopes.

Key words : landslide, plane failure, horizontal displacement, pore pressure change, load change, monitoring performance

* Corresponding author : jcchoi@pknu.ac.kr

서 론

한반도에서 발생하는 산사태는 대부분 강우와 관련하여 발생되어 왔다. 특히 태풍, 장마 등의 우기에 집중적으로 발생되어 왔으며, 강우와 산사태 발생의 상관성은 여러 연구자들에 의해 연구되었다(Choi and Yoon, 1994; Kim et al., 1994; Park, 1994; 최정찬 과 백인성, 2002; 박덕근 외, 2004). 강우와 관련된 산사태의 발생 원인은 토사면의 경우 토사면 내의 자중 증가, 내부마찰각의 감소, 간극수압의 증가, 이에 따른 전단강도의 감소 등이 있다. 암반사면의 경우 불연속면의 전단강도 감소, 팽창성 점토 등의 함수비 증가에 따른 팽창과 내부마찰각 감소로 인한 전단강도 감소, 간극수압 증가로 인한 불연속면에서의 양압력 증가 등이 있다.

우리나라의 지형은 지반의 경사가 가파르고 기반암을 덮고 있는 표층의 두께가 얇은 특성을 가지고 있다. 대부분의 자연사면이나 절취사면의 붕괴에 있어 토사부분만의 파괴보다는 토사의 하부 암반내에 존재하는 연약한 불연속면을 따라 파괴가 발생하는 것이 일반적이다. 따라서, 현재 산사태 유형분석이나 유지관리시스템 개발에 대한 많은 연구들이 수행되어왔다(노한성 외, 1999; 장범수 외, 2002; 김경수 외, 2003; 채병곤 외, 2003; 조용찬 외, 2003; 이수곤 외, 2003; 백용 외, 2004).

황령산 사면은 부산항건설사무소에서 부산항 3단계 개발사업의 일환으로 배후수송망 체계에 따른 도로 확장 및 개설을 시행하기 위해 시공된 도로사면이다. 현장 및 실내 암석시험 결과, 단위중량은 2.642-2.869 g/cm³의 변화를 보이는 데, 일반적인 퇴적암의 단위중량 1.91-2.72 g/cm³보다는 높은 경향을 보인다. 일축압축강도의 경우 암회색 사암과 이암의 호층대는 282.5-2352.72 kg/cm²의 변화를 보여주는 데, 신선한 암석의 경우 매우 높은 강도치를 보이며 Rock Hammer Test로 구해진 일축압축강도 345-2453 kg/cm²과 거의 유사한 범위 내에서 변하고 있다. 파괴 활동면의 녹회색 이암을 각주상으로 6개의 시료를 형성하여 직접전단시험을 한 결과, 평균값은 내부마찰각이 43.064°, 점착력이 0.434 kg/cm²로 풍화되어 점토광물로 변하기 전에는 상당히 높은 강도치를 보여주고 있다. 활동면에서 채취된 대부분의 점토는 녹니석(chlorite)과 일라이트(illite)로 구성되며 녹니석 및 일라

이트는 다른 점토광물에 비하여 팽창성이 약한 안정된 점토광물이다. 따라서 녹색 이암이 지하수의 침투에 의해 풍화되어 생성된 것으로 여겨지는 이 점토는 팽창에 의한 응력보다는 산사태 활동면의 전단강도를 감소시키는 요인으로 작용한 것으로 생각된다. 항공사진 판독결과, 산사태가 발생한 구역에 사면과 평행한 선구조들이 1년 전부터 관찰되며 산사태 발생범위와 대략 일치하는 것으로 보아 산사태가 급작스럽게 발생하지 않고 장기간에 걸쳐 진행되어 왔음을 암시해준다.

DIPS 프로그램을 이용하여, 사면의 주향경사를 N34°W, 29°SW로 설정하고 측정된 모든 수직절리와 층리의 주향 및 경사들을 입력시킨 결과 신선한 암석의 내부마찰각(ϕ)을 40°을 적용했을 때는 사면파괴의 위험성이 없었으나, 활동면에서 채취한 점토시료 직접전단시험 결과인 내부마찰각 20°를 적용하였을 때는 전도파괴(toppling) 및 평면파괴의 위험성이 있는 것으로 확인되었다

1차 산사태는 일시적으로 발생한 것이 아니고 장기간에 걸친 강우의 지하침투에 의해 간극수압이 증가해 수직절리의 틈이 상하부로 연결되어 인장균열이 발생 한 뒤, 단단한 암석층에 협재되어 있는 녹회색 이암이 지하수에 의해 풍화되어 점토화 되어 활동 파괴면으로 작용하게 되었다. 상부 3-5m의 토사부는 원호상 파괴면을 그리고 그 하부 암반부에서는 절리에 의한 수직 파괴면을 보여준다. 연약층은 1개조가 아니라 3m 구간에 3-10 cm 폭으로 4개조가 발달하며 이중 각기 다른 3개 면을 따라 암체의 활동이 일어났다. 즉, 4개조의 얇은 연약층 중 각 부분에서 가장 풍화가 잘 진행되어 분리되기 쉬운 곳을 따라 활동이 발생되었다고 사료된다. 연약층 상부의 신선한 암석은 매우 단단하기 때문에 분리되지 않고 큰 암체를 형성해, 연약층 면을 따라 약 30-60m 정도 암체가 활동한 평면파괴의 전형적인 유형이다. 2차 산사태는 파괴가 일어난 암체와 그로 인해 생겨난 수직절개지 사이에 느슨하게 토사를 매워 파괴부분에 대한 토사제거작업을 하던 중 이 부분에 강우가 침투하여 배수가 되지않아 간극수압이 상승하게 되어 잔류 응력 만이 남아 있는 파괴암체가 한번 더 활동을 하게 되어 발생한 것으로 사료된다. 3차 산사태는 파괴되지 않고 남아 있는 수직 절개지 부분이 앞에서 받쳐주던 암체가 제거됨으로써 발생한 응력이완 현상으로 도로와 평행한 방향으로 인장균열

이 수개 조 발달하게 되었고 2차 산사태 발생 후 균열의 폭은 시간이 갈수록 넓어지게 되었다. 결국 2차 산사태 발생 후 하루만에 수직절개지의 일부가 파괴되었다. 이 부근에는 수개조의 진행성 인장균열이 분포하고 있어 인장균열 발생 후 이 부분은 제거되었다.

이상과 같은 분석을 토대로 사면 상에 남아 있는 활동면 상부의 층을 보강하기 위하여 4개의 연약층 하부까지 결속시키는 억제말뚝공을 시공하였고, 소단을 설치한 사면구배가 1:1.8 (전체사면 1: 2.0)이 되도록 사면구배를 완화하였다 (최정찬 과 백인성, 2002). 파괴활동면 가능성이 있는 녹회색 이암층들에 대해서는 수평변위, 간극수압, 축력의 변화를 관찰하기 위한 수동 및 자동계측이 2000년 8월 공사중일때부터 시작되어 2002년 2월까지 시행되었다.

유지관리 계측은 사면의 거동과 손상을 자동적, 연속적, 객관적으로 모니터링하고 관리하는 시스템을 구축하여 과학적이며, 체계적인 유지관리를 목적으로 한다. 이러한 유지관리 계측을 통하여 사면의 안정성과 도로통행의 안전성을 확보하고 축적된 자료를 이용하여 효율적인 유지보수를 할 수 있다.

Gottadi와 Tonni(2003)는 특히 강우와 관련되어 대규모 산사태가 발생한 사면에 대해 안정성해석과 더불어 유지관리 계측으로 산사태의 재발방지에 효과적임을 밝히고 있다. 본 연구의 대상인 황령산 산사태도 이와 유사한 조건으로 강우와 관련되어 발생되었다. 일반적으로 파괴가 발생한 사면의 전단강도는 급격히 감소되어 추가파괴에 대한 가능성이 있으며, 황령산 진입로는 부산교통순환의 중심지로 그 중요도가 크기 때문에 유지관리 계측이 필요하다.

유지관리 계측 시스템

연구지역의 유지계측을 수행하기 위하여 자동측정장치가 현장에 설치되었으며 자동 및 수동계측을 위해 경사계 4개소(3개소에 자동측정공 및 수동측정공 각각 1개소 설치, 1개소는 자동측정공만 설치), 간극수압계 3개소, 하중계 4개소 및 우량계 1개소를 설치하였다(Fig. 1). 경사계는 도로방향과 산정상 방향(A-B 방향)의 변위를 측정하였으며, 상

단 계측점, 중단계측점, 하단계측점을 선정하였고 자동계측 센서는 심도 3m, 5m, 7m, 9m 및 11m에 설치하였다. 본 계측지점들은 과거 활동면으로 작용한 녹색이암층들 상부에 남아 있는 층들에 대한 평면파괴의 가능성을 분석하고자 설치하였는데 3개소를 일직선상으로 연결하면 남쪽으로 퇴적층의 경사방향이 된다. 수평간극수압계도 이 곳 3개소에 수평변위 및 간극수압의 상관관계를 분석하려고 설치하였다. 나머지 자동경사계는 억지말뚝공 전면에 설치되어 억지말뚝공에서의 수평변위를 측정하기 위하여 설치하였다. 하중계 사면 최하부 도로와의 경계부에 건설된 옹벽내의 어스앵커에 설치하였다.

우량계의 측정은 수동으로 하여 부산기상청과 비교분석하였으며, 우량계를 제외한 모든 자동 계측자료는 모뎀을 통해 연구실의 컴퓨터와 연결되었고, 자료의 획득, 분석을 위한 계측관련 소프트웨어는 (주)진산지오시스템의 Zerozone ver.1.0을 이용하였다. 전체적인 실시간 계측 계통도는 Fig. 2와 같다.

계측결과 분석

경사계 계측자료 분석결과

수동 측정공들은 3개소에 설치되어 있는데, 평면파괴의 가능성을 알아보기 위하여 파괴방향의 연장선상에 설치된 상단, 중단 및 하단 자동측정공 옆에 위치하고 있다. 2000년 7월27일에 측정된 자료를 초기치로 하여 2001년 8월 11일까지 약 1년 여 동안 계측을 실시하였다. 자동측정공의 자료가 획득되기 시작한 2001년 1월 5일까지는 일 2회, 그 후 자동측정공의 자료가 획득되기 시작한 후로는 월 1회-2회로 계측을 수행하여 왔다.

수동 측정 자료에 의하면 세 공 모두 절개면이 준공된 2001년 2월까지 2mm이하의 변위를 보이며 소폭으로 완만하게 증감을 반복하였다. 그 후 6월 달까지는 최대 3mm정도로 비교적 급격하게 증가하다 다시 변위가 감소하여 안정되는 추세이다(Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5). 공사 준공 후 가파른 수평변위의 증가는 ASNA 공법에 의한 배토조성물로 법면이 피복되어 지하수가 유동경로를 찾을 때까지 일시적으로 배수가 되지 않아 일어난 현상으로

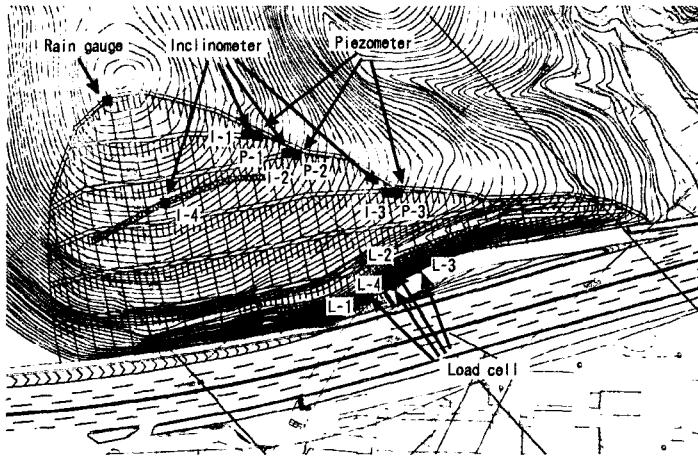


Fig. 1. Location of the slope monitoring installations.

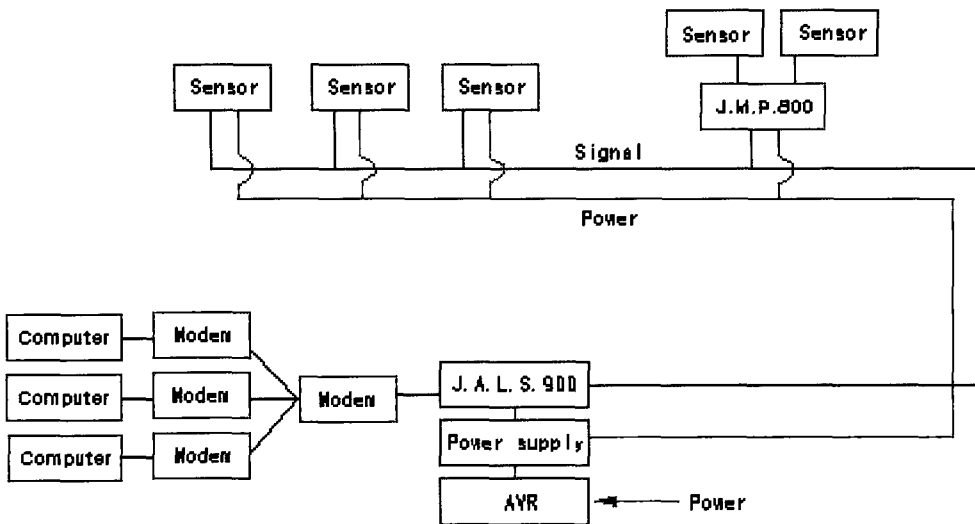


Fig. 2. The Flow chart of the real-time monitoring system

사료된다. 참고로, 2000년 12월부터 2001년 4월까지의 가뭄으로 인하여 지표수가 지하수로 거의 유입되지 않았다. 따라서, 향후 수평변위의 변화를 계속 계측할 필요가 있다.

자동 측정공에서 상단(I-1), 중단(I-2) 및 하단(I-3) 측정공은 최종적으로 2001년 3월 14일자를 초기치로하여 측정하였다. 본 공들은 심도가 11m로 자동계측 센서는 심도 3m, 5m, 7m, 9m 및 11m에

설치되어 있다. 추가계측공(I-4)은 억지말뚝이 형철로 시공된 전면에 위치하며 자동 수평변위 센서는 3m간격으로 심도 3m, 6m, 12m 및 15m에 설치되어 있으며 2001년 4월 16일자 자료를 최종 초기치로 하여 계측을 실시하였다. 이 공의 경우에는 대비되는 수동계측공이 설치되어 있지 않다.

앞에서도 언급한 바와 같이 이 시기에 수동측정공의 자료에 의하면 변위가 가파르게 증가하였으

며 자동 측정공들의 경우도 같은 양상을 보인다 (Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9).

간극수압계 계측자료 분석결과

간극수압계는 평면파괴의 가능성을 알아보기 위하여 파괴방향의 연장선 상에 상단(P-1), 중단(P-2) 및 하단(P-3)에 설치하였다. 2000년 7월 27일부터 약 1년 여 동안 간극수압이 측정되었으며 본 연구에 이용된 계측프로그램에서 압력수두(Piezometric head)로 환산하여 계산된다. 초기수위는 상단, 중단 및 하단이 각각 -6.87m, -6.80m 및 -8.77mm로 지형과 거의 비슷하게 형성되어 있었다.

P-1의 압력수두는 설치시기가 장마기간임에도 불구하고 완만하게 하강하여 2000년 10월 5일 -8.22m 까지 하강하였고, 그 후 완만하게 회복되어 2001년 장마기에는 -6.848m까지 회복되어 초기치와 거의 비슷하여졌다. 사면의 상부에 위치하고 있어 압력수두의 변화가 다른 간극수압계의 압력수두 변화보다 적음을 보여준다(Fig. 10).

P-2의 압력수두의 경우 2000년 10월 25일 -9.64m까지 하강하였으나 그 후 다시 회복되어 2001년 7월 15일에는 -6.55m로 초기 치와 비슷해졌다(Fig. 11).

P-3의 압력수두는 2000년 10월 12일까지 -10.32m에 이르기까지 완만하게 수위가 하강하였으나, 이후 급격히 상승하여 2000년 10월 30일 -8.44m까지 초기 치와 비슷하여졌다. 초기치와 비슷해 진후 완만히 감소하였으며 2001년 장마기에도 수위가 9.0m이하에서 형성되어 초기치보다 약 50cm정도 수위가 낮게 형성되었다(Fig. 12).

P-2 및 P-3의 압력수위도 2001년 장마기에 폭우가 내린 후 수위가 일시적으로 높아지다가 즉시 압력수두의 감소를 보여 이 구간의 배수가 원활한 것으로 사료된다.

하중계 계측자료 분석결과

하중계의 경우에는 백양로로 올라가는 램프교대와 옹벽에 설치되어 있다. 하중계 L-1은 옹벽 1단(터널방향), L-2는 교대부 1단, L-3는 옹벽 1단(대남로터리 방향), L-4는 교대부 4단에 설치되었으며, 구조물의 안정성과 직접적인 연관성이 있으므로

가능한 1회/일 간격으로 측정하도록 하였다.

하중계 L-1의 경우, 2000년 11월 6일부터 측정이 되었다. 인장 당시 45.56t이었으나 인장 직후 39.78t, 2000년 11월 7일에는 28.66t으로 대폭 감소하였다. 그 후 완만한 감소세를 보여 2000년 11월 22일에는 26.51t이었으나 2000년 11월 22일 재 인장 후 50.99t을 나타내었고 인장 직후에는 42.94t, 2000년 11월 23일에는 40.02t으로 측정되었다. 그 후 완만한 감소세를 유지하여 2001년 1월 22일에는 35.05t을 기록하였고 2001년 8월 5일 마지막 측정 시에는 37.126t의 축력을 보여 거의 변동 없이 축력이 유지되는 것으로 측정되었다(Fig. 13).

하중계 L-2는 이전 하중계의 오작동으로 인하여 교대 1단에 새로 설치되었으며 2000년 11월 28일부터 측정이 시작되었다. 11월 28일 인장 시 축력은 52.15t으로 측정되었고 인장 직후 46.39t의 축력을 유지하였다. 그 후 완만한 감소세를 유지하여 2001년 1월 16일에는 40.729t을 기록하였고 2001년 8월 5일 마지막 측정 시 40.109t으로 축력이 거의 변동없이 유지되고 있다(Fig. 14).

하중계 L-3의 경우, 2000년 10월 17일에 설치되었다. 인장 당시 축력이 47.67t이었으나 인장 직후 45.02t으로 약간 감소하였고 2000년 10월 30일 36.88t으로 비교적 크게 감소하였으며, 2001년 6월 15일 35.61t으로 완만하게 증감을 반복하였다. 그 후 불규칙적으로 급격히 축력이 증가하여 2001년 8월 3일 최고 축력 70.613t을 기록하였다. 하중계 L-3이 설치된 곳은 되메우기를 한 지역으로 배수가 불량하거나 혹은 침하에 의한 편압의 형성 등이 고려될 수도 있다고 사료된다. 또한, 하중계 센서의 오작동도 고려되어야 할 것이다(Fig. 15).

하중계 L-4는 2000년 10월 17일부터 계측이 실시되었으나 센서의 이상으로 인하여 2001년 1월 25일 이후 계측이 불가능 하였다.

강우계 계측자료 분석결과

2000년 8월 16일부터 2001년 8월 14일까지 1년간의 강우량을 비교해보면 부산시 평균강우량은 총 1,475.40mm이고 현장에서 측정한 강우량은 총 1,222.15mm로 부산시 측정자료가 현장 측정 자료보다 120.72%로 약 20%정도 더 많이 내린 것으로 나타났다.

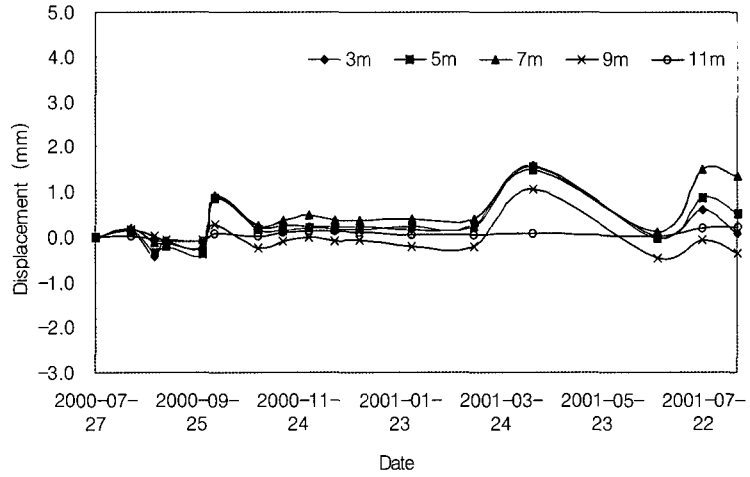


Fig. 3. Result of horizontal displacement with the inclinometer(I-1, manual measurement).

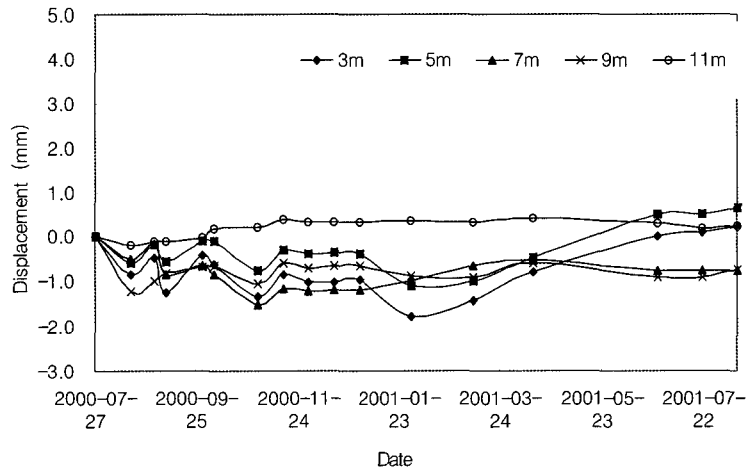


Fig. 4. Result of horizontal displacement with the inclinometer(I-2, manual measurement).

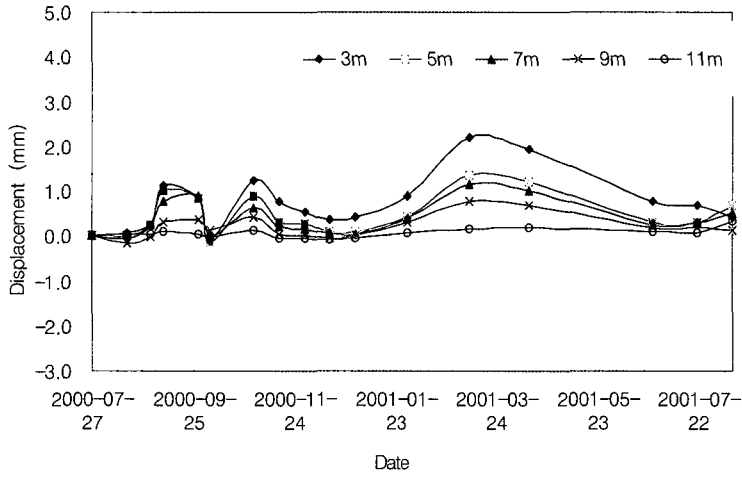


Fig. 5. Result of horizontal displacement with the inclinometer(I-3, manual measurement).

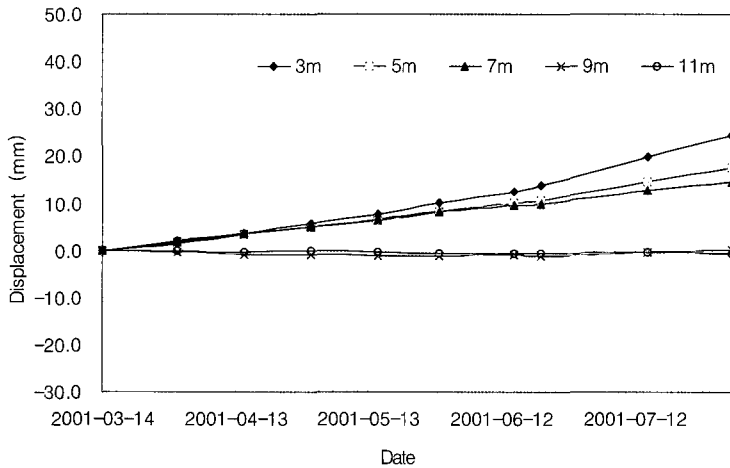


Fig. 6. Result of horizontal displacement with the inclinometer(I-1, automatic measurement).

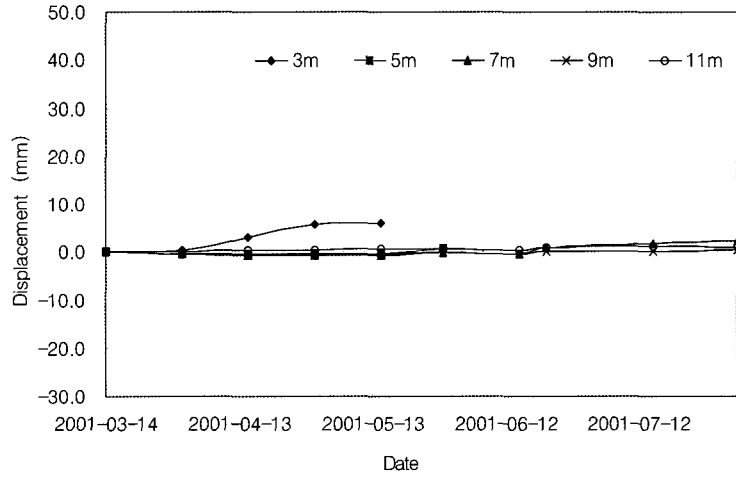


Fig. 7. Result of horizontal displacement with the inclinometer(I-2, automatic measurement).

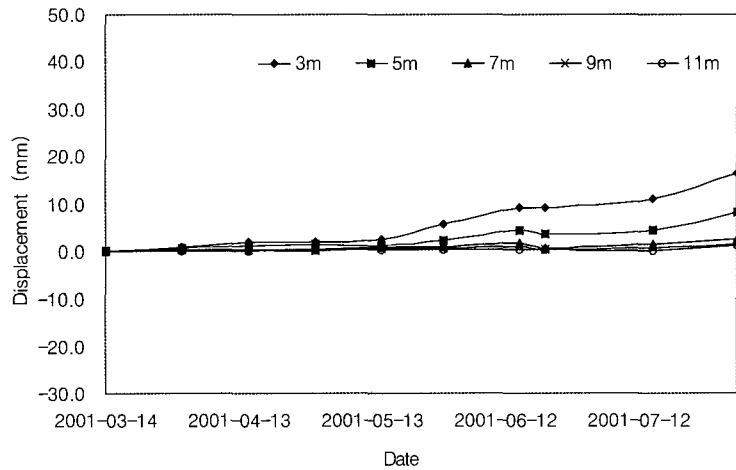


Fig. 8. Result of horizontal displacement with the inclinometer(I-3, automatic measurement).

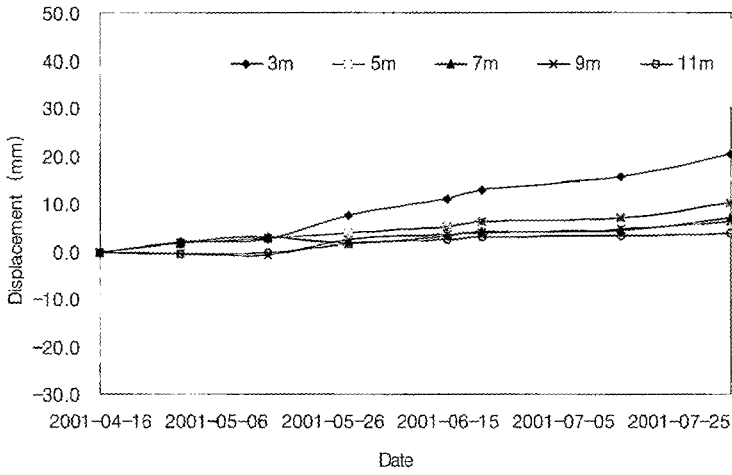


Fig. 9. Result of horizontal displacement with the inclinometer(I-4, automatic I measurement).

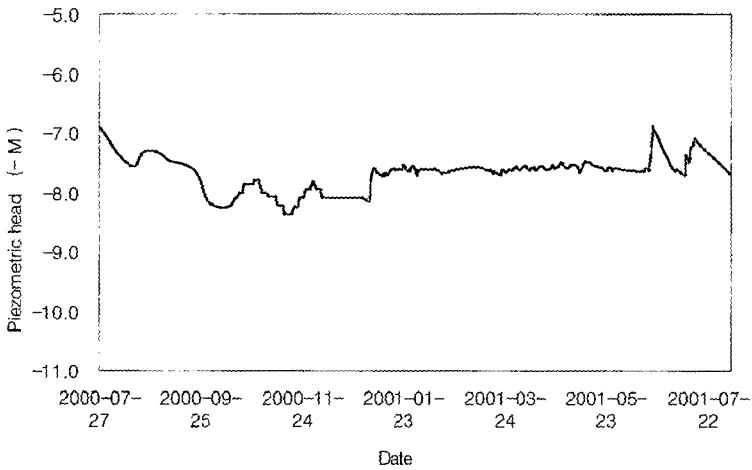


Fig. 10. Result of piezometric head with the piezometer(P-1).

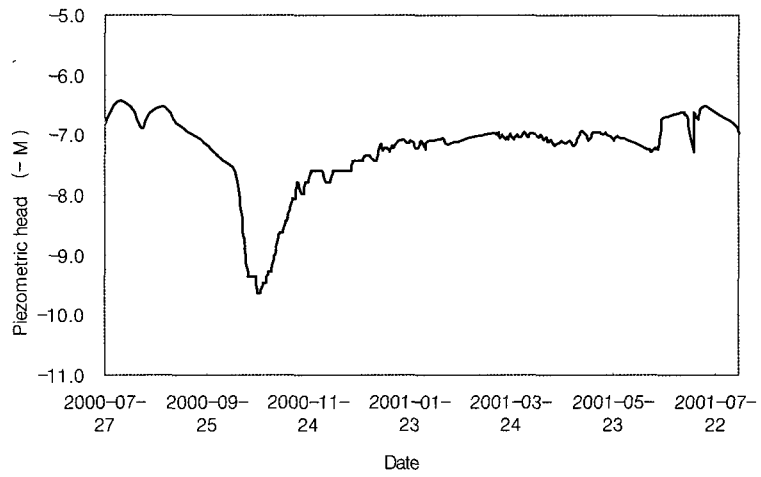


Fig. 11. Result of piezometric head with the piezometer(P-2).

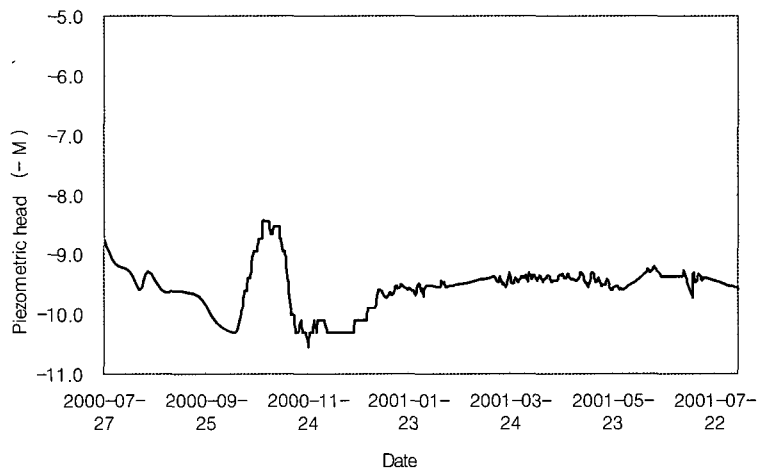


Fig. 12. Result of piezometric head with the piezometer(P-3).

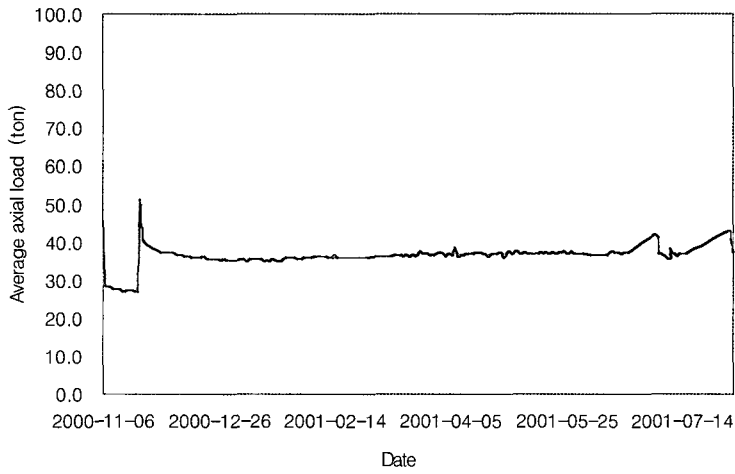


Fig. 13. Result of average axial load with the load cell(L-1).

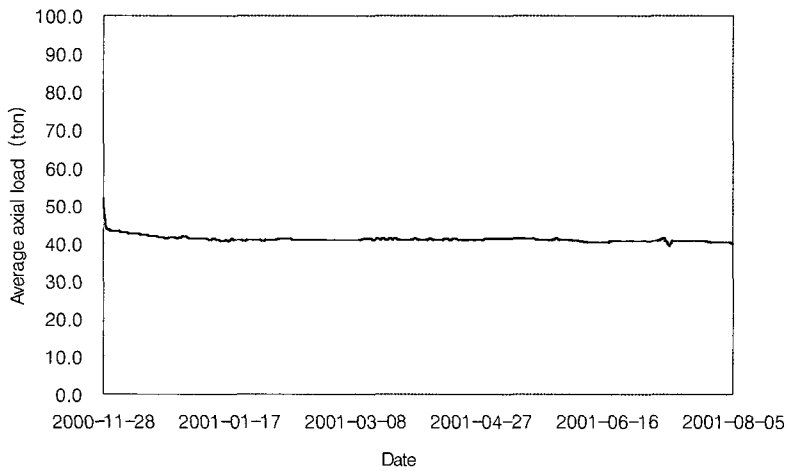


Fig. 14. Result of average axial load with the load cell(L-2).

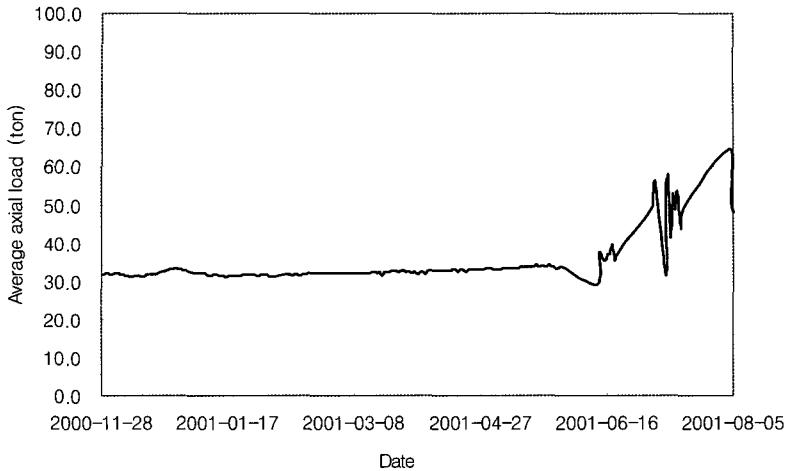


Fig. 15. Result of average axial load with the load cell(L-3).

결론 및 토의

계측자료가 신빙성이 있는 약 1년간의 계측 기간동안 자동경사계의 경우 최대 24.3mm(I-1, 3m 지점)로 도로방향으로의 변위를 보였다. 자동측정공의 변위량은 수동측정공의 약 10배 정도가 되어 센서의 민감도/안정성 및 공내 설치에 따른 기술적인 문제점에 기인하는 것으로 사료된다.

하중계의 계측결과 L-1은 2000년 11월 22일부터 급격한 축력증가를 보였으나 3일간의 감소 후 계측종료 시점인 2001년 8월 5일까지 비교적 큰 변화 없이 일정한 축력을 나타내었다. L-3은 2001년 7월 3일 이후 큰 폭의 이상축력치를 보이는데 센스의 오작동으로 사료되며, 기타 지점의 하중계에서는 일정한 축력치를 유지하였다.

간극수압계의 경우는 압력수두의 변화양상이 3 지점 모두 거의 비슷한 양상을 보이며, 사면의 최상부에 위치한 P-1의 경우 전반적으로 높은 압력수두를 형성하고 있고, 변화의 폭이 작았다. 간극수압계의 계측결과 전반적으로 강우량의 증감과 비례하여 압력수두의 증감을 보이니, 2000년 9월 28일 이후에 급격한 감소가 계측되었다. 이러한 감소현상은 사면하부에 어느양카 하중계의 설치를 위한 굴착 및 천공의 영향으로 일순간 배수가 급격히

발생된 것으로 사료된다. 3개 지점 모두 2001년 1월 중순부터 압력수위가 완만하게 상승하였는데 A SNA 공법에 의한 배토조성물로 법면이 피복되어 가면서 지하수위가 새로 형성된 것으로 사료되며, 이후 계측결과를 종합 고려하면, 강우량에 비례해서 간극수압이 증가되지만 강우 후 지반의 압력수두가 신속히 감소하여, 지표에서 유입된 강우가 사면을 따라 신속히 배출되는 것으로 사료된다.

2000년 8월 16일부터 2001년 8월 14일까지 1년간의 강우량을 비교해보면 부산시 평균강우량은 총 1,475.40mm이고 현장에서 측정한 강우량은 총 1,222.15mm로 부산시 측정자료가 현장 측정 자료보다 120.72%로 약 20%정도 더 많이 내린 것으로 나타났다

계측결과를 종합 고려하면, 강우량에 비례해서 간극수압이 증가되지만 강우 후 지반의 압력수두가 신속히 감소하여, 지표에서 유입된 강우가 사면을 따라 신속히 배출되는 것으로 사료된다. 또한, 경사계 및 하중계의 계측자료 분석결과, 지반의 거동은 거의 없으므로, 사면도 안정된 것으로 사료된다. 특히 본 연구지역과 같이 강우와 관련된 산사태 지역의 경우 자동화 계측을 통해서 간극수압의 신속한 증감을 알 수 있었으며, 추후 이러한 주요 시설 사면에서 자동화 방식에 의한 유지관리계측이 사면의 안정성을 판단하는데 더욱 효과적인 것

으로 사료된다.

앞으로 국내사면의 안정성 검토에 있어서 활동면으로 작용하는 연약대의 존재유무에 대해 보다 세심한 조사가 선행되어야 할 것이다. 연약대가 존재할 시에는 연약대의 물성치로 사면을 설계해야 할 것으로 사료되며, 또한 시공이 완료된 이후에도 주요 사면시설인 경우 강우에 대비한 유지관리계측을 제안하는 바이다. 또한, 자동계측을 할 겨우 낙뢰시설을 필수적으로 설치하고 영점조정을 위하여 수동계측도 함께 수행하는 것이 바람직하다고 생각한다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원 기본연구사업 및 부경대학교 발전기금재단 학술연구 지원으로 수행되었으며 연구를 지원해주신 한국지질자원연구원 및 부경대학교 발전기금재단에 감사드립니다.

참고문헌

김경수, 조용찬, 이춘오, 채병곤, 최영섭, 김원영, 이문세, 2003, "부산-김해지역의 산사태 사례", 2003 대한지질공학회 정기총회 및 학술발표회집, pp. 3-9.

노한성, 유병옥, 황영철, 김태수, 김성환, 1999, "한국도로공사의 절토사면유지관리시스템", '99년도 한국지반공학회 사면안정위원회 학술발표회집, p. 176-185.

백용, 구호본, 배규진, 2003, "국내절토사면 붕괴 유형 및 특징", 지질재해 심포지움, 대한지질학회, pp. 13-27.

이수근, 김부성, 김민성, 2003, "절리 특성을 고려한 암반사면의 절취경사 기준 설정에 관한 연구". 2003 대한지질공학회 정기총회 및 학술발표회집, pp. 37-45.

장범수, 이사로, 최위찬, 2002, "지질구조자료를 이용한 산사태 취약성 분석 기법 개발 및 적용 연구", 한국GIS학회지, 제10권, 제2호, pp. 247-261.

조용찬, 김경수, 이춘오, 채병곤, 김원영, 2003, "태풍 '루사'에 의해 발생한 강릉지역 산사태의 특징", 2003 대한지질공학회 정기총회 및 학술발표회집, pp. 21-26.

채병곤, 김원영, 조용찬, 김경수, 이춘오, 최영섭, 이문세, 2003, "지질별 산사태 발생 정량적 예측모델", 2003 대한지질공학회 정기총회 및 학술발표회집, pp. 11-19.

최정찬, 백인성, 2002, "황령산 산사태 원인 분석에 대한 연구", 대한지질공학회지, 제12권, 제2호, p. 137-150.

Gottardi G., Tonni L., 2003, Interpretation of slope movements induced by adjacent large landslide in Northern Italy, Natural Hazard Review, Vol. 4, no. 2, pp. 71-77.

John Dunnycliff., Gordon E. Green., 1988, Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance, John Wiley & Sons, Inc., pp. 79-116.

Kyung Choi, Ho-Joong Yoon, 1994, Status and Characteristics of Landslide in Korea", Proceedings of the North-East Asia Symposium and Field Workshop on Landslides and Debris Flows, Seoul, Korea, pp. 19-26.

Sang-Kyu Kim, Yeon-Soo Jang, Heung-Seok Seo & Sung-Guil Han, 1994, "Failure Mechanism of the Landslides in Yongin-Ansung Country", Proceedings of the North-East Asia Symposium and Field Workshop on Landslides and Debris Flows, Seoul, Korea, pp. 107-117.

Yong-Won Park, 1994, "On the Rainstorm Induced Landslides in Yongin-Ansung Region", Proceedings of the North-East Asia Symposium and Field Workshop on Landslides and Debris Flows, Seoul, Korea, pp. 323-330.

투 고 일 2004년 11월 2일
 심 사 일 2004년 11월 3일
 심사완료일 2004년 12월 9일

라원진
 부경대학교 환경지질학과
 608-737 부산광역시 남구 대연3동 599-1
 Tel : (051) 620-6239, Fax : (051) 628-6432
 E-mail : lizard2537@hotmail.com

최정찬

부경대학교 환경지질학과
608-737 부산광역시 남구 대연3동 599-1
Tel : 051) 620-6239, Fax : 051) 628-6432
E-mail : jcchoi@pknu.ac.kr

조용찬

한국지질자원연구원 지질환경재해연구부
608-737 대전광역시 유성구 가정동 30
Tel : 042) 868-3059, Fax. : 042) 861-9723
E-mail : choy@kigam.re.kr

김경수

한국지질자원연구원 지질환경재해연구부
608-737 대전광역시 유성구 가정동 30
Tel : 042) 868-3054, Fax. : 042) 861-9723
E-mail : kks@kigam.re.kr