

## 장대사면 내 억지말뚝의 억제효과 (현장 Case-Study 중심으로) Reinforcing Effects of Micro-Piles in a high Cut Slope

정성윤<sup>1)</sup>, Sung-Yun Jung, 김경태<sup>2)</sup>, Kyung-Tae Kim, 장기태<sup>3)</sup>, Ki-Tae Chang, 한희수<sup>4)</sup>, Heui-Soo Han

<sup>1)</sup> (주)GMG 과장, Section Chief, Geotechnical Monitoring Group Co. Ltd.

<sup>2)</sup> (주)GMG 과장, Section Chief, Geotechnical Monitoring Group Co. Ltd.

<sup>3)</sup> 금오공과대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering Kum-Oh National Institute of Technology

<sup>4)</sup> 금오공과대학교 토목공학과 조교수, Assistant Professor, Dept. of Civil Engineering Kum-Oh National Institute of Technology

**SYNOPSIS** : Several sensor systems are used to estimate the reinforcing effect of pile in high cut slopes, and to find a failure zone in slopes effectively. Inclinator, extensometer and V/W sensor have shown a great potentiality to serve real time health monitoring of the slope structures. They were embedded or attached to the structures, we conducted field tests and test results have shown great solutions for sensor systems of Civil Engineering Smart Structures. This research is to seek for the relationships among the slope movement and the reinforcing effect of pile, and the strain distribution in a active zone by analyzing the data from the in-situ measurement so that the possible failure zone should be well defined based on the relationships. Also, the relationships between temperature and reinforcing effect of pile, and the strain distribution are estimated in this paper.

**Key words** : slope stability, temperature, reinforcing pile, strain distribution, active zone

### 1. 개요

본 연구사면은 국도 변에 위치한 사면으로, 사면 경사를 1:1.8로 완화하면서 10m 마다 2m의 소단을 설치하였으며, 억지말뚝의 전단력을 증가시키기 위하여 강관(D=267.4mm, t=10mm)내에 H-pile, 속채움 콘크리트를 타설한 복합말뚝을 사용하였다. 설치간격은 말뚝 설치지점에 따라 1.1~2.4m 간격으로 4단의 억지말뚝을 시공하였다. 보강사면의 풍화작용의 진행을 방지하기 위해 녹생토 공법을 시행하였으며, 암질 및 사면 거동의 조사 및 지질특성 검토 결과 본 사면의 안정화 방법으로 사면 구배를 완화함과 동시에 억지말뚝 공법을 적용하였다.

사면에서 붕괴 및 활동 발생지점을 중점대상으로 보강재의 응력 측정 및 변위 수반여부를 판단하기 위하여 계측기기 선정, 설치위치 선정 및 조정, 설치수량 조정 등을 포함한 계측 계획을 수립하여 2001년 8월 이후 현재까지 정밀 계측을 수행하고 있다. 대상 사면 내 억지말뚝의 기후 및 사면의 변형으로 인한 해석을 위해 장대사면 내에 설치된 억지말뚝에 직접 계측기를 부착, 시공하였다.

## 2. 사면의 특성

본 연구사면의 주요 구성 지질은 백악기의 경사층군에 해당하는 퇴적암들로서, 연화동층 및 그 상부에 하산동층과 하천을 따라 발달된 제 4기의 충적층으로 구성되어 있다. 연화동층은 사암 및 세일, 역암 등으로 구성되며, 하산동층은 기본적으로는 연화동층과는 차이가 없으나 입도가 작고, 적색층의 협재가 특징이다. 암질은 세일, 사질 세일 등의 적색의 세립질 암질이다. 충적층은 제 4기 지층으로 다른 암체들을 부정합으로 피복하고 있다. 미고결 상태의 자갈, 모래, 점토 등으로 구성된다.

사면의 예상 파괴면은 경암이 분포하는 경계부로서, 그 상부의 연암 및 보통암은 파괴활동에 의해 심하게 교란되었거나 파쇄 균열대를 형성하고 있는 것으로 판단되었다.

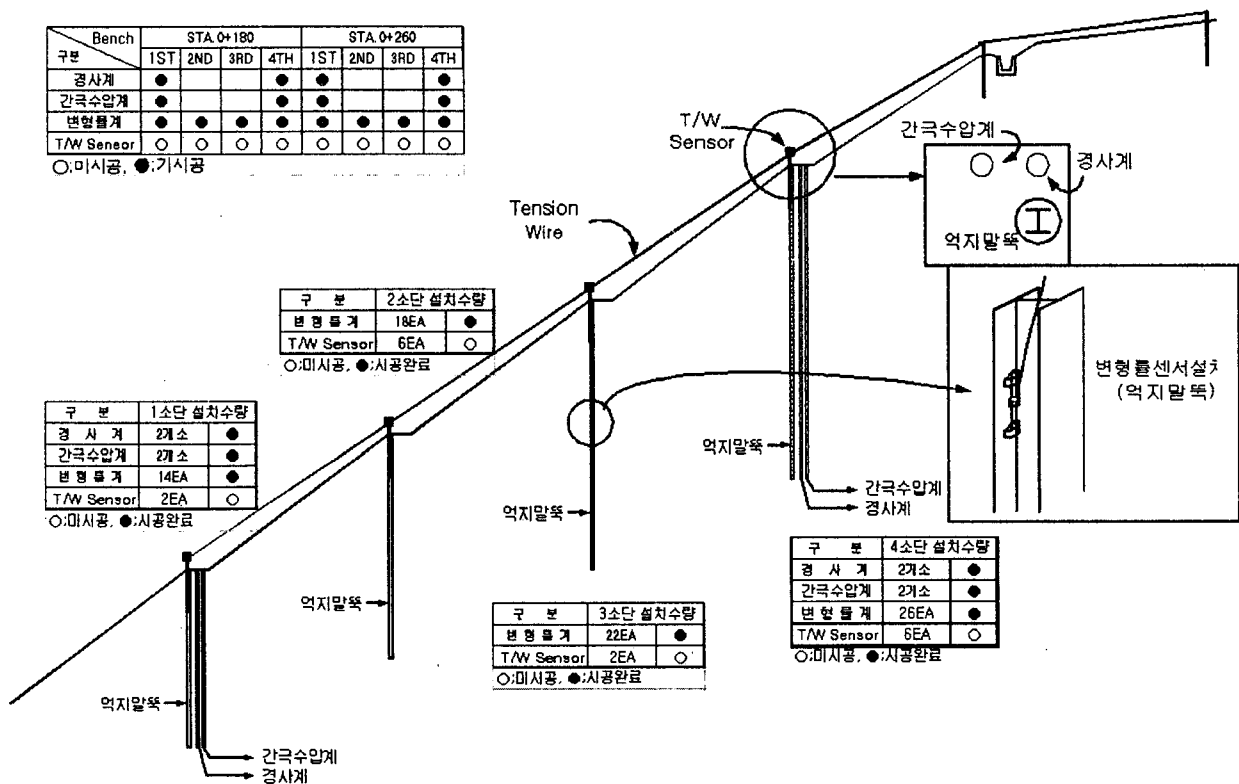
예상 파괴면의 분포심도는 14.0~33.0m이고 대략 5m 내외의 두께로 발달된 것으로 해석된다.

## 3. 현장 적용 센서 및 계측결과

본 현장의 계측센서는 경사계 2단면 4개소, 간극 수압계 2단면 4개소, 변형률계 2단면 8개소에 총 80개의 센서 매설하였다. 그림-1은 각 계측기가 설치된 위치를 보여준다.

지반의 수평변위 및 말뚝의 방향에 대한 자료를 수집하기 위한 경사계는 상부 4단과 하부 1단 소단에 설치되었다. 억지말뚝의 변형을 측정하기 위한 변형률계는 각 소단에 설치된 억지말뚝의 H-Pile의 플랜지에 용접하여 지중에 매설하였다. 지반 내의 간극수압을 측정하기 위한 간극수압계는 4소단과 1소단에 설치되었다.

현장 계측 수행은 최초 억지말뚝 시공 후 작업공정과 병행하여 계측기 설치와 계측을 병행하였다.



<그림-1> 계측기 설치 위치도

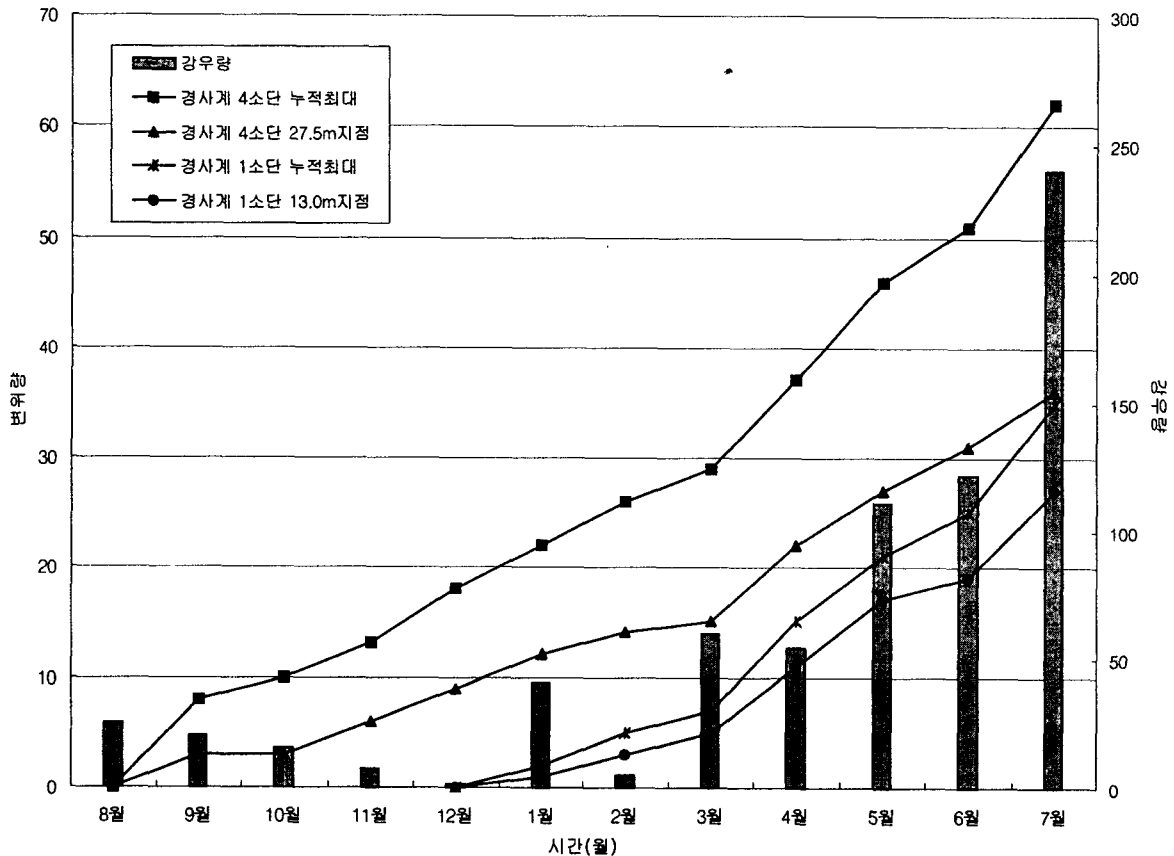
### 3.1 경사계

그림-2은 2001년 8월부터 2002년 7월까지 월별 강우량과 억지말뚝에 설치된 경사계 변위의 상관관계를 보여준다. 누적 강우량이 증가할수록 이에 따른 억지말뚝의 경사변화가 증가하는 것을 알 수 있다. 그러므로, 강우량이 사면의 활동과 직접적인 상관관계가 있음을 확인할 수 있다.

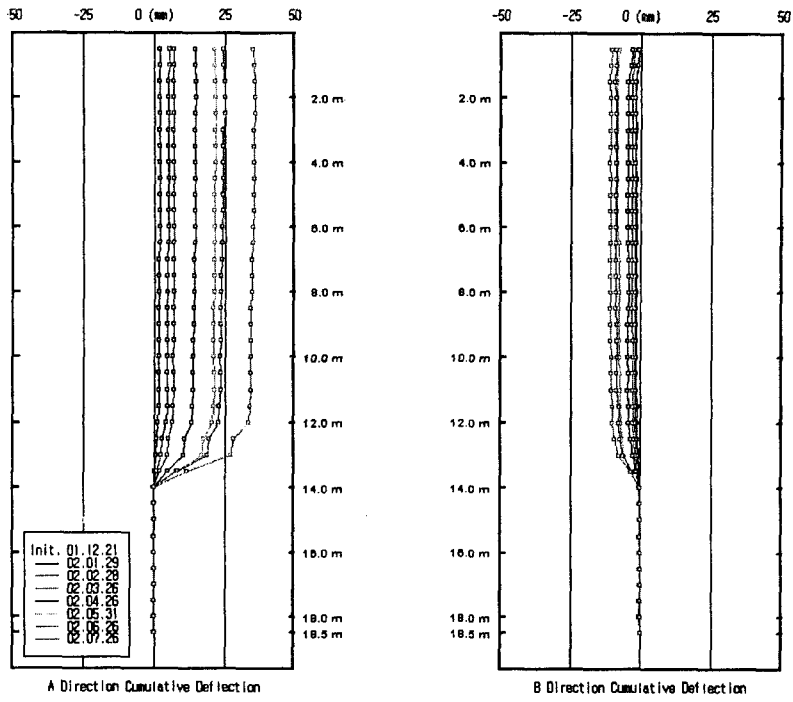
1단의 경사계는 2001년 12월에 설치되어 3월까지의 변위량이 미소하였으나, 4월 이후 변위가 증가되었다. 초기 경사계 변위는 모두 시공 중 천공에 의한 지반진동과 하부 법면 굴착에 의한 응력 해방에 기인한 변위로 판단된다. 경사계의 월간 변위 증가 속도는 3, 4, 5월, 그리고 6, 7월 중 강우량이 다소 많을 때 상당히 증가하였고, 이는 강우에 의한 침투수 영향으로 판단된다. 말뚝의 경사변화는 지하 13m 근처에서 급격히 발생하였다. 그림-3 1소단에 설치된 경사계로부터 예측된 억지말뚝의 경사변화를 보여주고 있다.

그림-4은 4소단 억지말뚝의 경사변화로서, 4소단에 설치된 경사계의 측정 결과, 최대 변위는 5.0m 깊에서 62.8mm의 변위가 관측되었다. 지하 27.5m에서 급격히 말뚝의 경사변화가 발생하는 것으로 관측되었으며, 공사 완료 후 휴지기인 3월까지의 변위의 증감이 다소 작다. 그러나 해빙기인 3월과 4월, 우기가 시작된 6월, 7월의 변위는 월 6.0~10.0mm로 관측되었다.

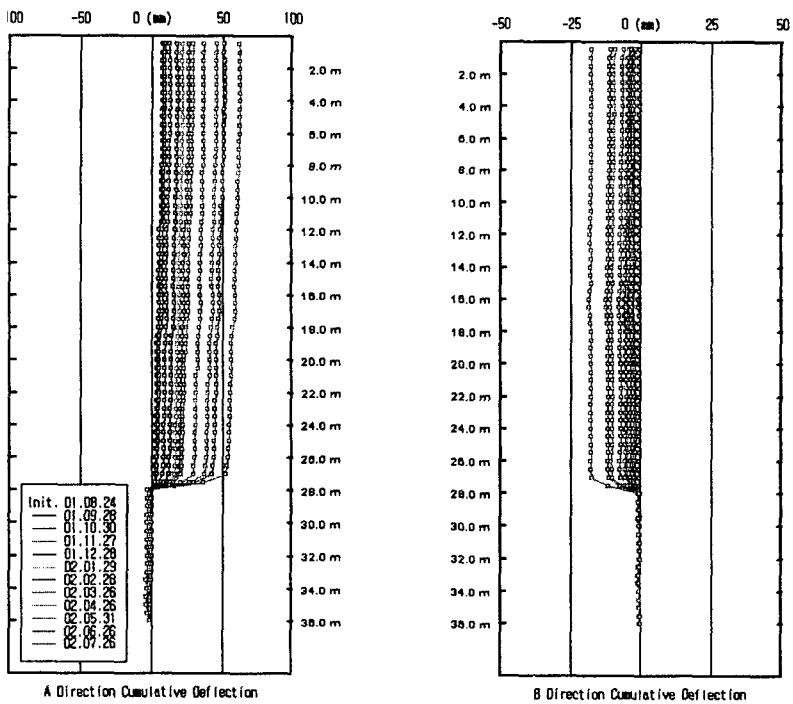
1소단 및 4소단에 설치된 억지말뚝의 경사변화를 통하여 개략적인 사면의 활동면을 추정할 수 있을 것이다.



<그림-2> 월별 강우량 및 경사계 변위



<그림-3> 1소단 월별 경사계 변위 추이



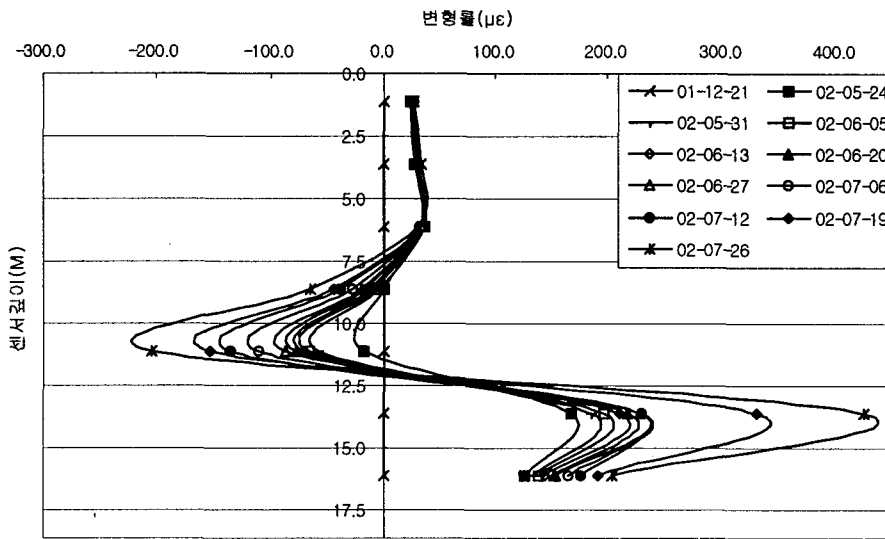
<그림-4> 4소단 월별 경사계 변위 추이

### 3.2 변형률계

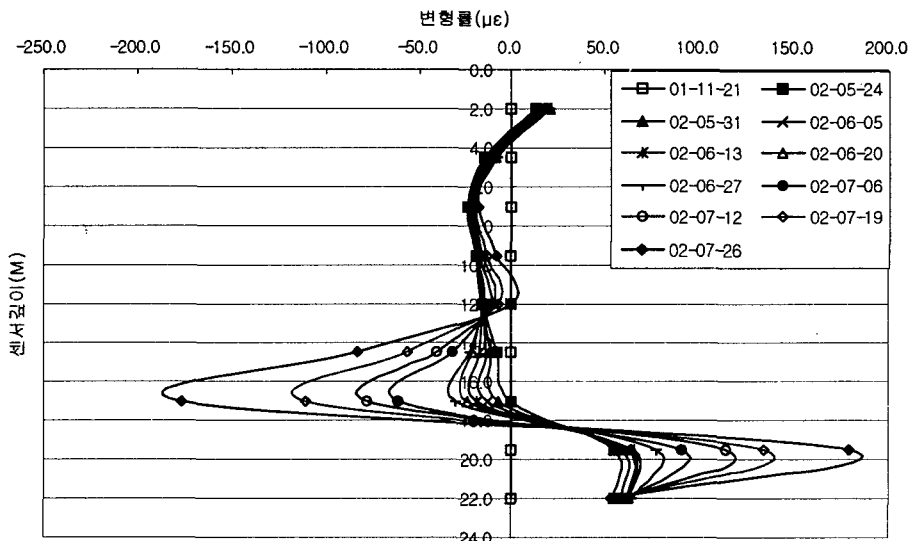
변형률계는 각 소단에 설치된 억지말뚝의 H-Pile의 플랜지에 용접하여 지중에 매설하였다. 그림-5~8은 1소단에서 4소단까지 억지말뚝에 설치된 변형률계의 계측결과를 보여주고 있다. 변형률계의 전반적인 변형을 값들은 미소하나, 증감의 양상은 경사계의 변위와 상당히 유사한 경향을 나타내는 것으로 관측되었다. 최초 설치시 말뚝 설치를 위한 천공 여굴의 폐합단계 후 변형률 증가가 관측되었다가, 하부 법면 굴착과 천공중에는 변형률이 미소하게 감소되는 것으로 측정되었다.

변형률계의 변형률 추이는 각 소단에서 유사한 경향을 나타내고 있다. 억지말뚝 상부는 미소한 변형을 보이며, 사면의 활동면으로 추정되는 말뚝 하부지점은 급격한 변형률의 변화를 나타내고 있다.

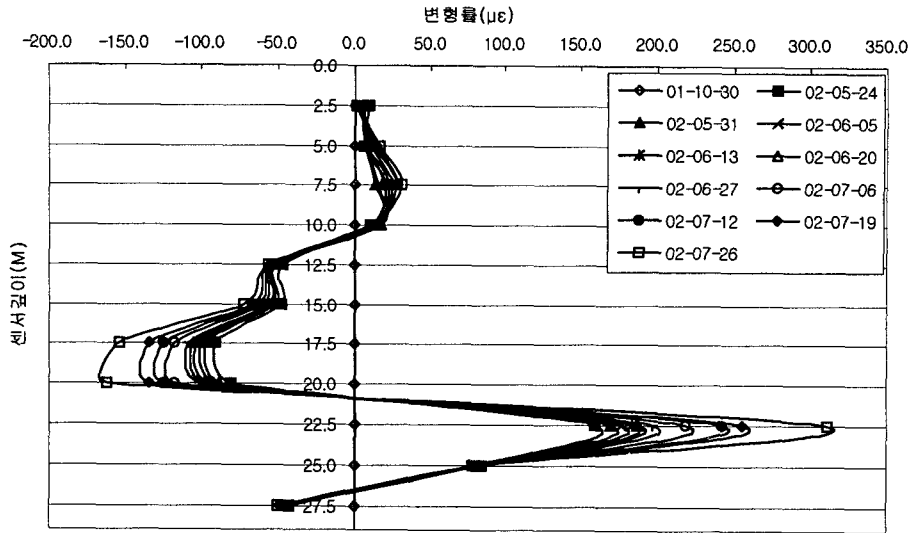
경사계로 관측된, 억지말뚝의 경사변화가 급격히 일어나는 지점에서 말뚝의 변형을 또한 급격한 것을 알 수 있다. 그러므로, 경사계의 경우와 같이 말뚝의 변형이 급격히 일어나는 지점들을 연결하면 개략적인 사면의 활동면을 추정할 수 있을 것이다.



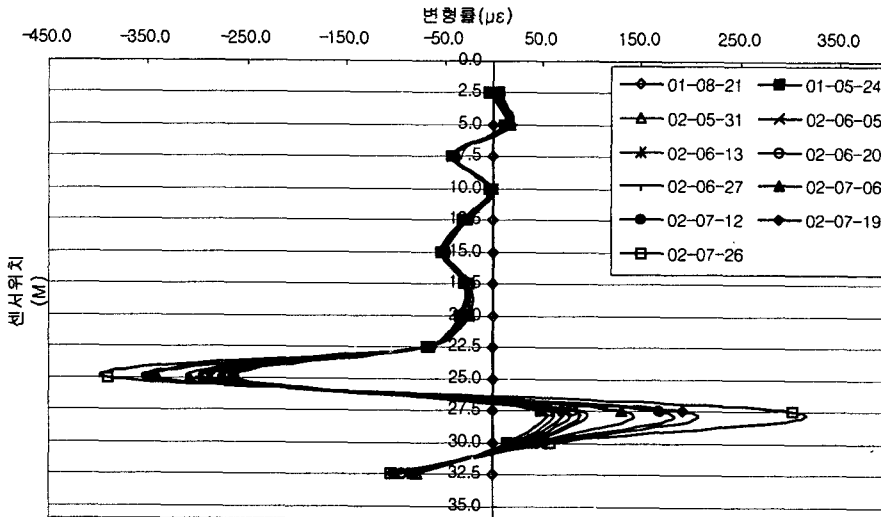
<그림-5> 1단 변형률 그래프



<그림-6> 2단 변형률 그래프



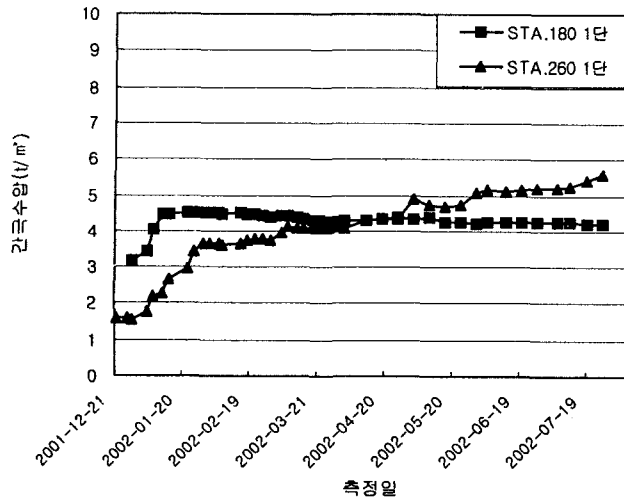
<그림-7> 3단 변형율 그래프



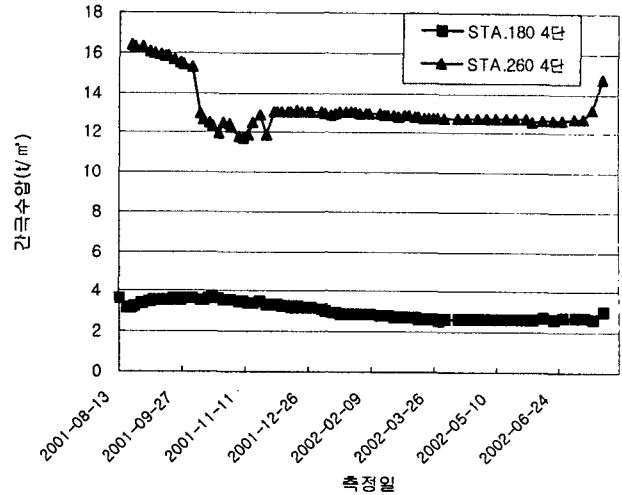
<그림-8> 4단 변형율 그래프

### 3.3 간극수압계

간극수압계는 1소단(2001년 12월 설치)과 4소단(2001년 8월 설치)에 설치되었다. 1소단의 평소 수위는 지표 아래 13m에 위치하는 것으로 측정되었다. 4소단의 평소 수위는 지하 24m에 존재하나, 2001년 7월 중 강우로 인하여 2m의 수위 상승이 관측되어 지하 22m에 지하수가 위치하는 것으로 측정되었다. 1소단과 4소단의 간극수압계 모두 설치 후 약 1개월이 지나면 일정한 간극수압을 나타내는 것을 볼 수 있다. 이는 간극수압계 설치를 위한 지반천공으로 교란된 지하수의 흐름과 지반이 원상태로 회복되었기 때문으로 사료된다.



<그림-9> 1단 간극수압



<그림-10> 4단 간극수압

#### 4. 결론

연구대상 사면에 설치된 경사계, 변형율계 및 간극수압계로부터 아래의 결론을 유추할 수 있다.

- 1) 누적 강우량이 증가할수록 이에 따른 억지말뚝의 경사변화가 증가하는 것을 알 수 있다. 경사계의 월간 변위 증가 속도는 3, 4, 5월, 그리고 6, 7월 중 강우량이 다소 많을 때 상당히 증가하였고, 이는 강우에 의한 침투수 영향으로 판단된다. 그러므로, 강우량이 사면의 활동과 직접적인 상관관계가 있음을 확인할 수 있다.
- 2) 말뚝의 경사변화는 지하 13m 근처에서 급격히 발생하였고, 4소단의 경우 지하 27.5m에서 급격히 말뚝의 경사변화가 발생하는 것으로 관측되었다. 1소단 및 4소단에 설치된 억지말뚝의 경사변화를 통하여 개략적인 사면의 활동면을 추정할 수 있다.
- 3) 억지말뚝의 전반적인 변형률 값들은 미소하나, 증감의 양상은 경사계의 변위와 상당히 유사한 경향을 보여주고 있다. 억지말뚝 상부는 미소한 변형율을 보이며, 사면의 활동면으로 추정되는 말뚝 하부지점은 급격한 변형율의 변화를 나타내고 있다.
- 4) 억지말뚝의 경사변화가 급격히 일어나는 지점에서 말뚝의 변형률 또한 급격한 것을 알 수 있다. 그러므로, 경사계의 경우와 같이 말뚝의 변형이 급격히 일어나는 지점들을 연결하면 개략적인 사면의 활동면을 추정할 수 있을 것이다.
- 5) 1소단과 4소단의 간극수압계 모두 설치 후 약 1개월이 지나면 일정한 간극수압을 나타내는 것을 볼 수 있다.

#### 5. 참고 문헌

1. Chang, K. T., & Milligan, G. W. E.(1996), "Effect of the transition zone in a nailed wall model

test" University of oxford, UK

2. 장기태, 한상묵, 김경태, 유원위(2000), "FBG센서를 이용한 철근 콘크리트의 휨거동 실험", 대한토목학회, 구조/원자력2000학술발표회 논문집, pp.469-472
3. 장기태, 강창국, 홍성진, 정경선, 김성환, 박권제, 이원효, 김경태(2001), "광섬유격자 센서를 활용한 사면거동 실시간 안전 진단 시스템", 한국지반공학회 사면안정기술위원회 학술발표회, pp.59-79
4. 장기태, 권병근, 이선경, 남궁한, 유병선, 김경태(2001), "네일로 보강된 구조물에서의 변이영역과 변형을 분포", 한국지반공학회 사면안정기술위원회 학술발표회, pp.233-248
5. 윤기재(1989), "보강토의 강도특성에 관한 보강효과의 실험적 연구", 금오공대 토목공학과 석사논문
6. 남궁한(1993), 보강 옹벽구조물의 변이 영역에 관한 실험연구, 금오공대 토목공학과 석사논문
7. 권병근(2000), "대절토 사면안정을 위한 Nailing공법과 현장계측 분석에 관한 연구", 금오공대 토목공학과 석사논문
8. 강창국(2000), "현장계측을 통한 억지말뚝 분석에 관한 연구", 금오공대 토목공학과 석사논문