

사면보강재의 강우 및 온도에 의한 변형 해석

Deformation Estimation of Slope Reinforced Materials by Rain and Temperature

홍성진¹⁾, Sung-Jin Hong, 장기태²⁾, Ki-Tae Chang, 한희수³⁾, Heui-Soo Han

¹⁾ 지한엔지니어링(주) 사원, Staff, Ji-Han Eng.

²⁾ 금오공과대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering Kum-Oh National Institute of Technology

³⁾ 금오공과대학교 토목공학과 조교수, Assistant Professor, Dept. of Civil Engineering Kum-Oh National Institute of Technology

SYNOPSIS : It is necessary, in the light of the importance of long-term slope stability problem, to develop a simple method or tool which can figure out the possible failure zone resulted from weathering effect and other factors. The FBG sensor system is used to estimate the correlations between the temperature and the slope in Yunhwajae, and to find a failure zone in slopes effectively.

This research is to seek for the correlation between the soil temperature distribution 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 correlation.

The zone of high temperature fluctuation can be regarded as one of the possible sliding zone due to the weathering effect while the constant temperature depth of the ground, if exists, would not be relatively affected by the weathering process.

Key words : slope stability, FBG sensor, soil temperature distribution, strain distribution, active zone

1. 연구 배경 및 목적

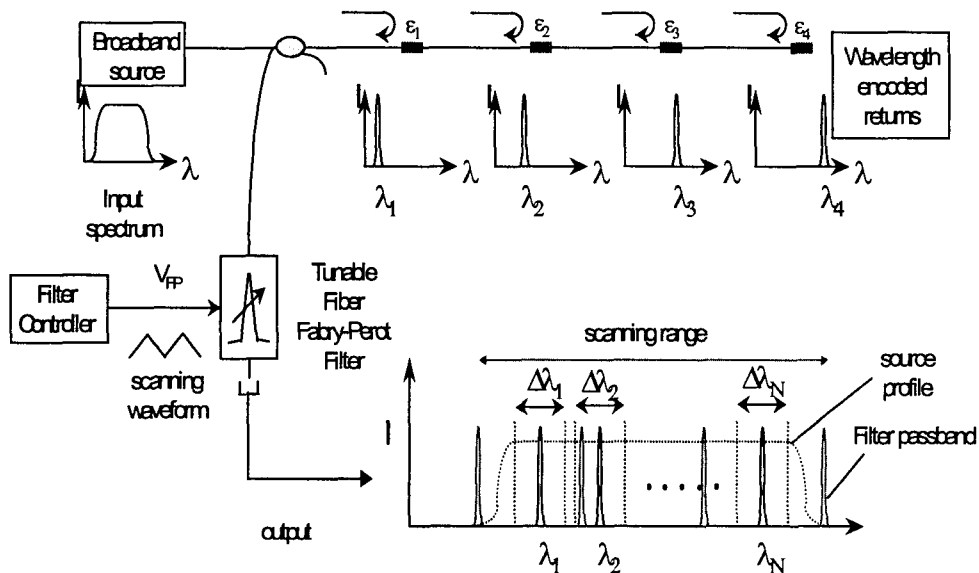
사면의 붕괴를 유발하는 요인은 지반의 풍화, 지하수의 유입, 대기온도의 변화 등 매우 다양하다. 이중 온도의 변화는 지하수 및 토립자의 물성을 변화시켜, 사면의 붕괴에 많은 영향을 끼치므로, 사면내의 온도의 변화구간과 항온 구간을 구분할 수 있다면, 사면의 파괴면을 예측할 수 있을 것이다. 이 가상활동 파괴면을 추정하여 사면의 거동과 안정을 예측하고, 나아가 사면안정 설계 및 계측에 반영할 수 있다.

본 연구에서는 사면 현장에 설치된 상용계측기 및 광섬유를 이용한 계측기의 사면 계측 데이터를 바탕으로 사면의 가상활동 파괴면의 추정과 항온심도의 결정 그리고, 이들의 연관성을 검토하였다. 본 연구의 검토

결과를 토대로, 사면내의 지중온도와 사면보강재의 변형간의 상관관계를 규명하고, 사면의 안정성을 확보하는 방안을 제시하고자 한다.

2. 계측시스템

본 연구의 계측에 사용된, 광섬유 브래그 격자 센서(Fiber Bragg Grating sensor, FBG sensor) 시스템은 변형율과 온도 등의 변화를 반사 파장의 변이 측정을 통해 간단히 측정할 수 있고, 통신상에 이용되던 파장분할 다중화(Wavelength-Division Multiplexing, WDM) 기법을 사용함으로써 동시에 다점 측정 기술을 쉽게 구현할 수 있다. 또한, 변형의 절대량 측정이 가능하고, 출력신호가 빛의 파장에만 관계하므로 광강도의 변화에 무관하여 시스템 구성이 용이하며, 출력 신호가 변형에 대하여 선형적이며 센서가 광섬유 자체의 강도를 거의 유지하므로 강도 특성이 우수하다는 장점이 있다. 그림-1은 광원과 광스펙트럼 분석기(OSA)를 이용하여 광섬유 한줄에 여러 파장대의 센서를 동시에 감지하는데 필요한 FBG시스템이다.



<그림-1> ASE광원을 이용한 FBG 센서의 Multiplexing

3. 현장 계측 결과

3.1 연화재사면 현장개요

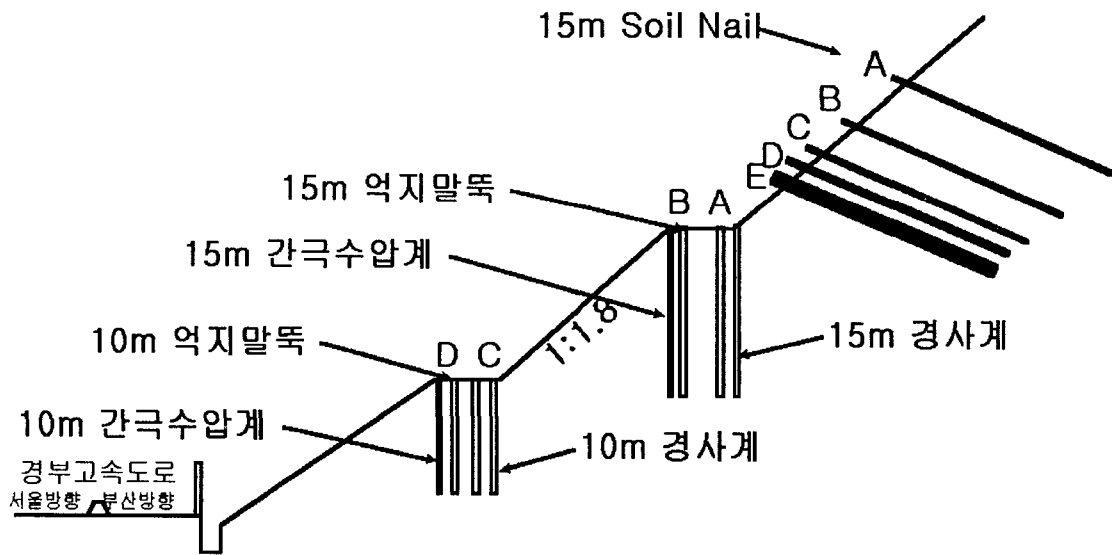
본 연구대상사면인 연화재 사면은 경부고속도로 서울기점 부산방면으로 279km 지점에 위치한 대절토 사면으로, 지질학적 특성은 대절토 사면으로 퇴적암층중 사암과 역암, 부분적으로 이암과 셰일로 이루어진 사면으로 층리가 우세하게 발달하여 절토사면의 낙반사고가 예상되는 구간이다.

사면 절취 및 활동에 대한 보강으로 시점 우측은 층리 및 절리가 복잡하게 발달, 용출수가 많아 우기 시 강도저하로 인한 붕괴가 예상 되어 FRP, Rock Bolt, 수발공으로 보강을 실시하였다. 사면 중앙 좌측 2단 소단에 인장균열(99년 9월)이 80m 가량 발생되었고, 대규모 층리면이 발달하여 사면 전체거동이 예상되어 Rock-Anchor, 억지말뚝, Rock Bolt, Soil Nailing으로 보강을 실시하였다.

연화재 사면의 보강공중 억지말뚝과 Soil Nail에 상용 및 광섬유를 이용한 계측기를 설치하였다. 설치된 계측기의 종류와 수량은 표-1에 나타난 바와 같으며, 설치위치는 그림-2와 같다.

<표-1> 계측기 설치 현황

위		치	계측항목	수 량
연화재 사면	역지말뚝 계 측	상 부 (Pile L=15m)	변형율계	15개 지점
			FBG Sensor	10개 지점
			경사계	1 개소
			수위계	1 개소
	하 부 (Pile L=10m)	변형율계	8개 지점	
		경사계	1 개소	
		수위계	1 개소	
Nail 계측	Nail 시공부	FBG Sensor	30개 지점	
		변형율계	20개 지점	



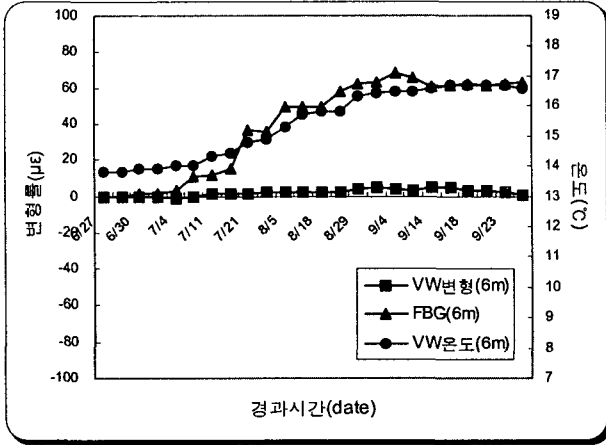
<그림-2> 계측기 설치 위치도

3.2 연화재 사면 보강재의 변위해석

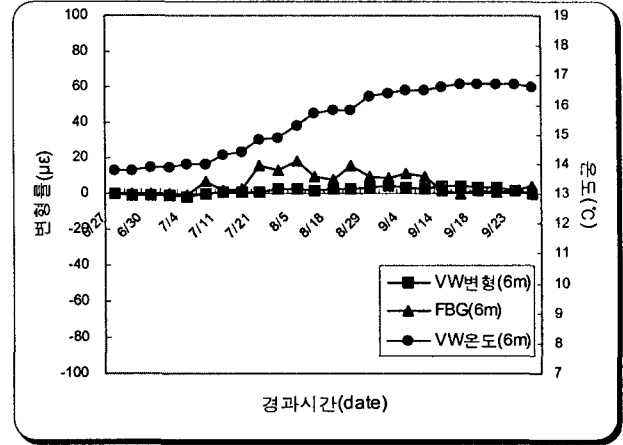
3.2.1 FBG Sensor와 V/W Gauge의 계측결과 비교

그림-3과 그림-4는 연화재 사면에 설치된 역지말뚝 변형율의 계측결과를 보여준다. 그림-3은 동일한 역지말뚝의 6m 지점에 같이 설치된 V/W Gauge와 FBG Sensor의 온도 보정 전후의 계측결과이며, 그

림-4는 10m 지점에 같이 설치된 두 계측기의 온도보정 전후의 계측결과이다. 그림-3 a 및 그림-4 a에서 보듯이, FBG Sensor의 온도 계측결과와 V/W Gauge의 온도 계측결과가 거의 일치함을 알 수 있다. 또한, 그림-3 b 및 그림-4 b는 두 계측기의 변형을 계측결과가 거의 일치함을 보여준다. 그러므로, 이는 FBG Sensor의 계측결과가 상당히 신뢰성이 있음을 증명한다.

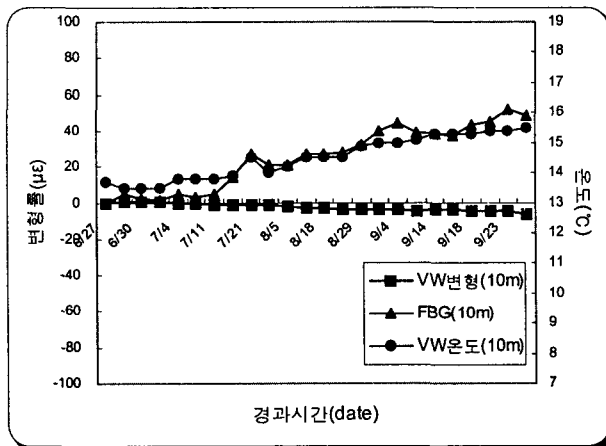


(a) 온도보정 전

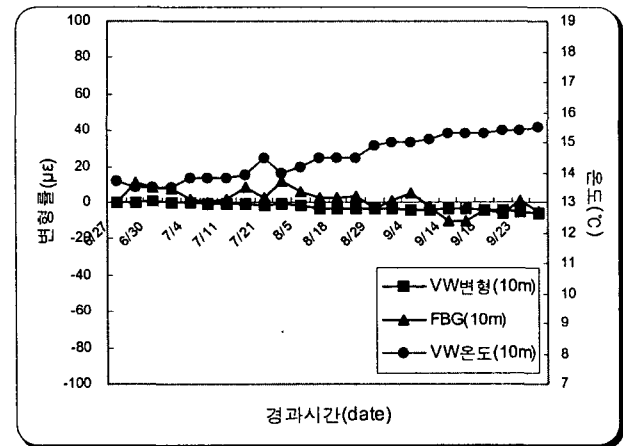


(b) 온도보정 후

<그림- 3> V/W와 Fo sensor의 비교(6m)



(a) 온도보정 전



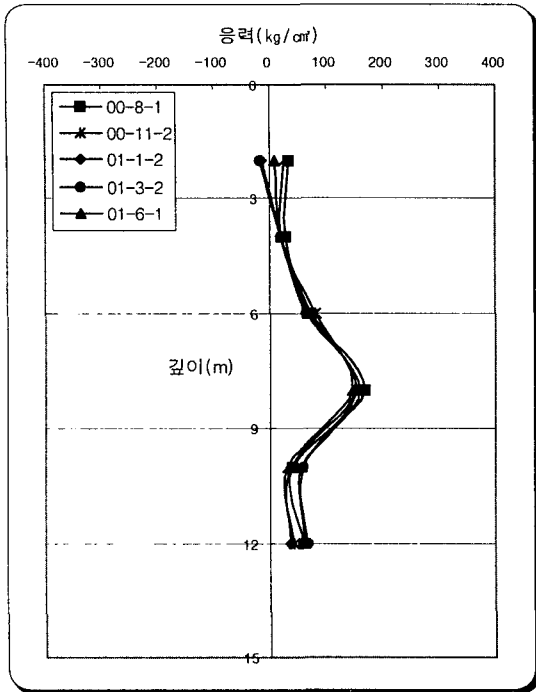
(b) 온도보정 후

<그림- 4> V/W와 Fo sensor의 비교(10m)

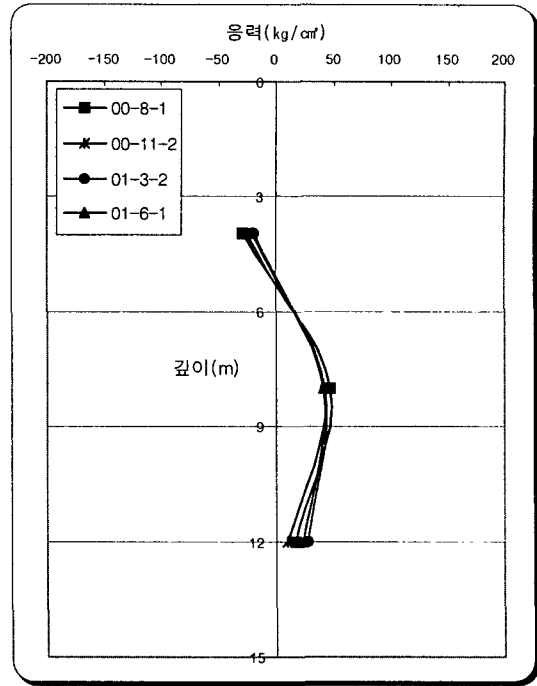
3.2.2 억지말뚝의 응력경로

억지말뚝의 계측결과에 의한 응력분포를 통해, 사면의 활동면을 추정해 보면 그림-5과 같이 억지말뚝 A, B의 경우, 지반심도 8~9m에서 사면이 활동하는 것을 볼 수 있으며, C, D 말뚝의 경우 심도 4m 부근에서 급격한 응력 변화를 보이고 있다.

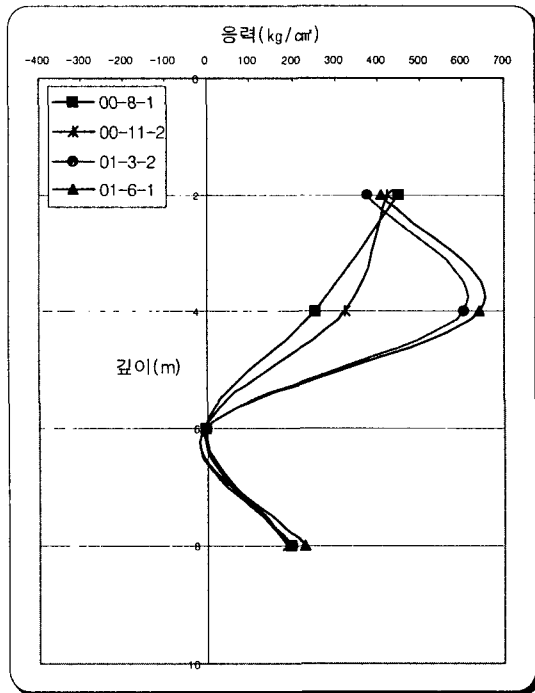
C말뚝의 경우, 말뚝으로부터 5m전방의 법면 Shotcrete에 균열이 크게 발생한 것을 육안으로 확인하였으며 이로 인한 토괴의 이동으로 응력 증가가 생겼을 것으로 사료된다. 현재 더 이상의 응력증가는 없으며 수렴되고 있음을 알 수 있다.



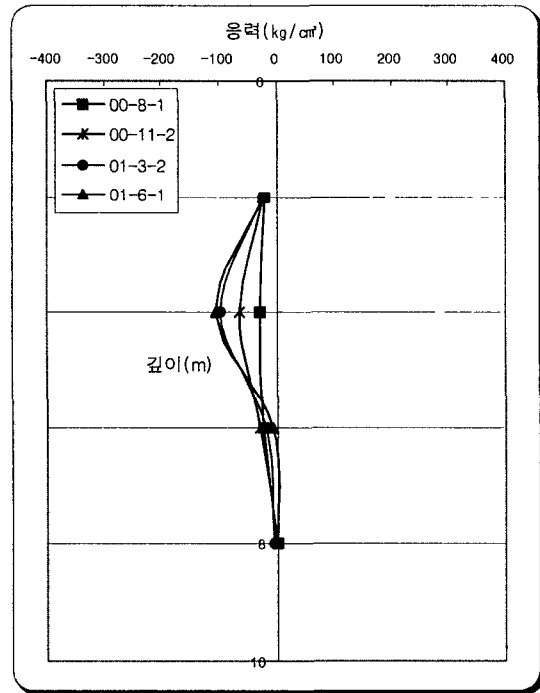
(a) A역지말뚝의 응력



(b) B역지 말뚝의 응력



(c) C역지말뚝의 응력

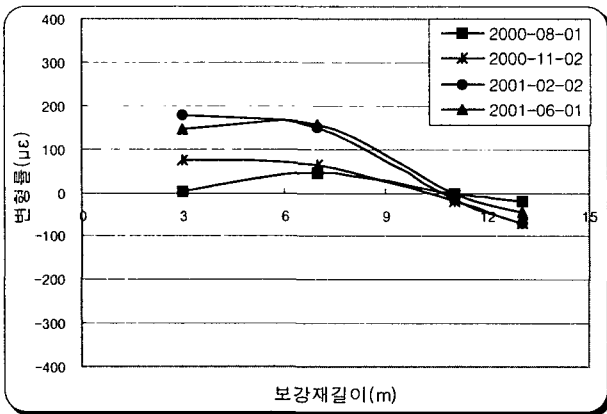


(d) D역지말뚝의 응력

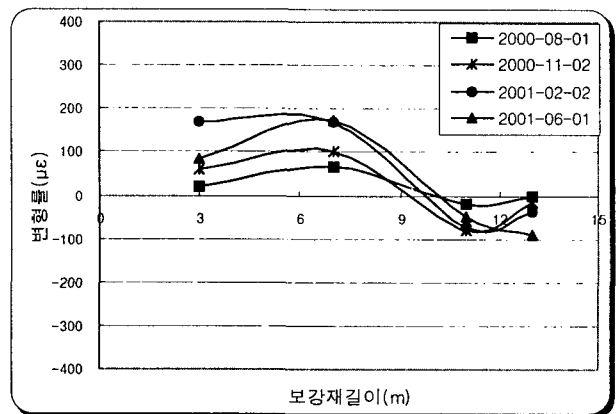
<그림-5> 역지말뚝의 응력 경로

3.2.3 Soil Nail의 변형율경로

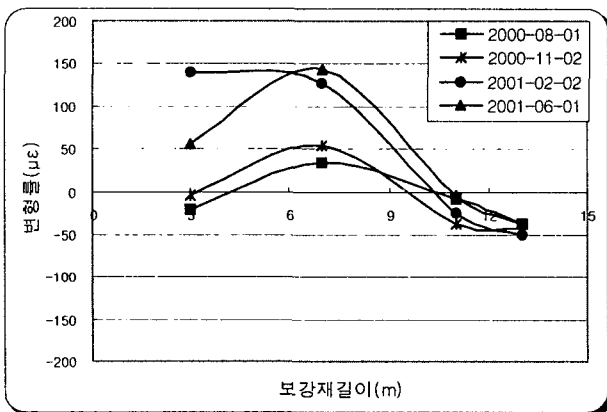
그림-6은 연화재 사면 2소단에 설치된 Soil Nail의 깊이별 변형율을 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 7~8m 지점에서 가장 높은 변형율을 보이며, 시간에 따라 Nail의 변형이 조금씩 증가하고 있다. 3m 지점에서는 2001년 2월 계측치보다 2001년 6월 계측치가 모두 떨어진 것을 볼 수 있다. 이는 수직 수평 질리가 우세하게 발달된 사암, 세일의 표면 노출 후 극심한 풍화로 지표면 부근에서의 풍화의 영향으로 사료된다.



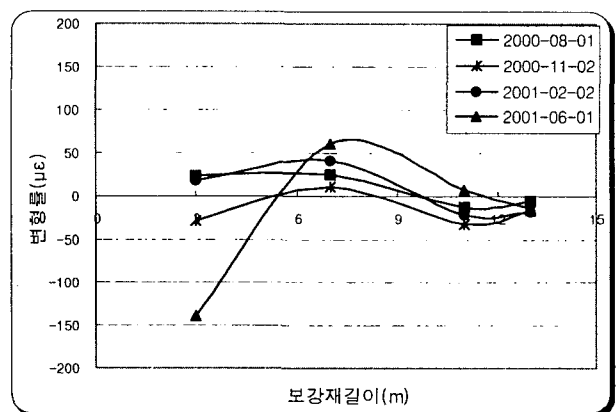
(a) A Soil Nail 응력경로



(b) B Soil Nail 응력경로



(c) D Soil Nail 응력경로

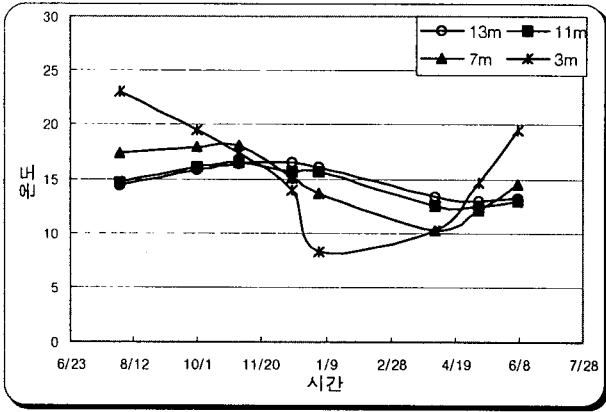


(d) E Soil Nail 응력경로

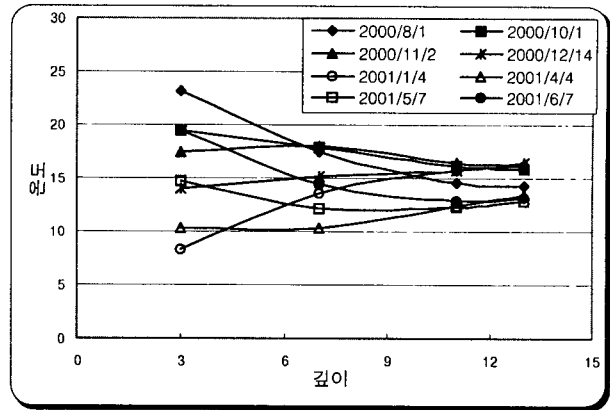
<그림-6> Soil Nail의 응력 경로

3.2.4 연화재 사면의 온도해석

그림-7~그림-9는 시간 및 지반 깊이에 따른 Soil Nail에 설치된 계측기의 온도변화를 보여준다. 지표 온도와 지중온도를 비교하여 볼 때 3m, 7m지점에서는 지표온도와 거의 흡사한 경향을 나타내는 것을 알 수 있으며 11m, 13m 지점에서는 지표온도와 상관없는 온도의 변화를 볼 수 있다. 또한 3m, 7m의 지점에서는 각각 8℃~23℃, 10℃~18℃ 의 큰 편차를 나타내고 있고, 반면에 11m, 13m 지점에서는 13℃~16.5℃, 12.5℃~16.5℃로 4℃내외의 적은 범위 내로 온도의 수렴을 보이고 있다. 이를 통하여 7m, 11m 사이인 8~9m 지점이 외부온도의 변화에 영향이 없는 항온심도라 사료된다.

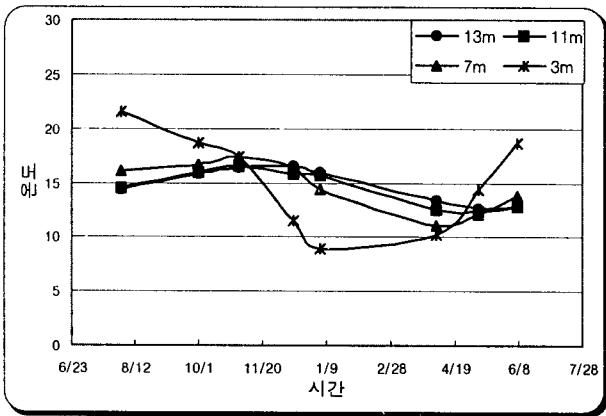


(a) 시간-온도

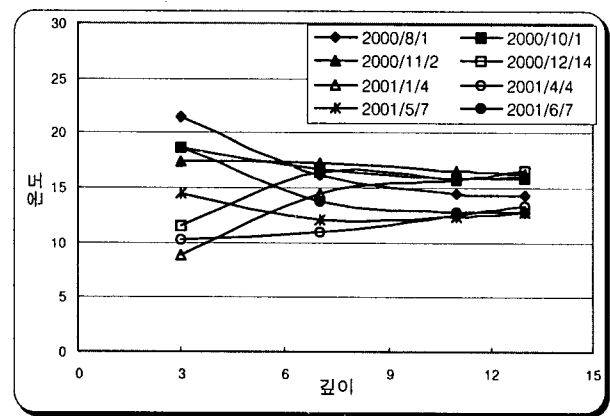


(b) Nail 의 깊이-온도

<그림-7> 연화재 사면 A Soil Nail

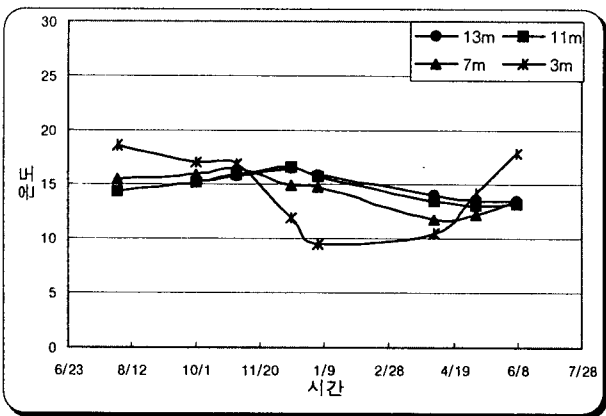


(a) 시간-온도

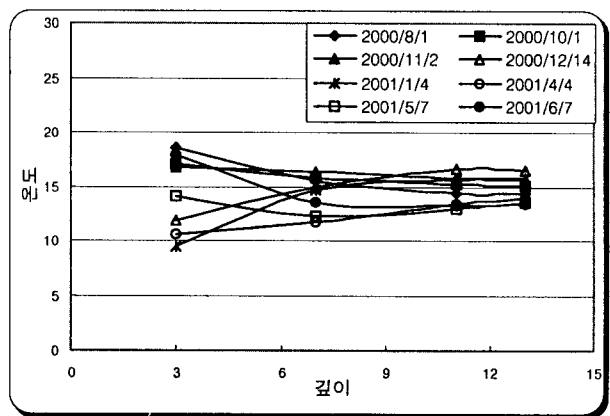


(b) Nail 의 깊이-온도

<그림-8> 연화재 사면 B Soil Nail



(a) 시간-온도



(b) Nail 의 깊이-온도

<그림-9> 연화재 사면 E Soil Nail

4. 결론

연구 대상 사면(구미-동대구간 경부고속도로 8차선 확장공사 구간에 위치한 서울 기점 부산방면 279km 지점의 연화재 사면)에 설치된 계측기 V/W gauge 와 FBG Sensors의 계측치를 바탕으로 다음과 같은 결론을 유추할 수 있었다.

1. 상용 계측기의 계측결과와 FBG Sensor의 계측결과가 거의 일치함을 알 수 있으며, FBG Sensor를 이용한 실시간 계측결과가 토목구조물의 안정성 평가에 많은 도움을 줄 수 있을 것이다.
2. 사면의 파괴면 예측에 중요한 요소인 항온심도를 결정하는 요인은 지반 고유의 열전도도와 지하수의 유무가 중요한 인자임을 알 수 있다.
3. 연화재 사면에서 항온심도와 가상활동 파괴면이 거의 일치함을 볼 수 있다. 그러므로, 지중온도의 측정으로 사면의 거동과 안정성을 예측할 수 있으며, 나아가 사면 보강재 설계에 반영할 수 있을 것이라 사료된다.
4. 지하수가 지반에 존재한다면 지중의 온도 변화폭이 작음을 알 수 있다. 이는 지중온도의 측정으로 항온심도에서의 온도 변화폭이 미소할 경우, 사면안정의 중요한 요인으로 작용하는 지하수의 유무를 판단할 근거가 될 수 있을 것으로 판단된다. 지중온도 측정기와 측정방법에 어려움이 많으나, 실내시험과 현장 계측 데이터를 통해 검증된 FBG센서를 이용한 지중온도 측정은 이러한 어려움을 수월하게 해결할 수 있을 것이다.
5. 본 사면의 계측 데이터를 분석한 결과, 사면이 비교적 미소한 응력을 받고 있음을 알 수 있으며, 억지말뚝보다 Soil Nail의 응력이 더 크게 나오는 것을 알 수 있다. 이는 사면의 활동이 시작될 때 보강효과란 1차적으로 Soil Nail이 받아주는 힘이 크기 때문임을 알 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. 한중근(1996), "억지말뚝으로 보강된 절개사면의 강우시 거동", 한국지반공학회지, 02 v.12, n.1, pp35-46 1225-9632
3. 이우진, "광섬유 센서에 의한 말뚝 하중전이 측정", 한국지반공학회, pp.397-404
4. 장기태, 한상목, 김경태, 유원위(2000), "FBG센서를 이용한 철근 콘크리트의 휨거동 실험", 대한토목학회, 구조/원자력2000학술발표회 논문집, pp.469-472
5. 장기태, 강창국, 홍성진, 정경선, 김성환, 박권제, 이원효, 김경태(2001), "광섬유격자 센서를 활용한 사면거동 실시간 안전 진단 시스템", 한국지반공학회 사면안정기술위원회 학술발표회, pp.59-79
6. 장기태, 권병근, 이선경, 남궁한, 유병선, 김경태(2001), "네일로 보강된 구조물에서의 변이영역과 변형을 분포", 한국지반공학회 사면안정기술위원회 학술발표회, pp.233-248
7. 윤기재(1989), "보강토의 강도특성에 관한 보강효과의 실험적 연구", 금오공대 토목공학과 석사논문
8. 남궁한(1993), 보강 옹벽구조물의 변이 영역에 관한 실험연구, 금오공대 토목공학과 석사논문
9. 권병근(2000), "대절토 사면안정을 위한 Nailing공법과 현장계측 분석에 관한 연구", 금오공대 토목공학과 석사논문
10. 강창국(2000), "현장계측을 통한 억지말뚝 분석에 관한 연구", 금오공대 토목공학과 석사논문