
강우의 영향을 고려한 불안정 사면의 변형거동 특성

The Characteristics of Deformation Behaviour on Unstable Slope Considering Rainfall Effects

정철호, 최진국, ◦임혜식
대한주택공사

〈요지〉

부산 택지개발사업지구의 불안정사면에 대해 현장계측을 실시하고 그 결과를 강우량, 시간경과적 변화, 지하수위 등과 연관시켜 변형거동특성을 분석하므로서 보다 합리적인 재해방지 예측기법을 규명코자 하였다.

〈Abstract〉

We had a field measurement on unstable slope of site development area in Busan. And we analyzed deformation behaviour characteristics of slope in relation to the rainfall, time lapsed variation and ground water level etc. As results we tried to find out the proper prediction technique for disaster prevention.

1. 서론

부산택지개발사업지구의 토목공사에 있어 단지내 계획 평균경사도를 1:1.5~1:2.0으로 계획하였으나, 동지구가 지형상 급경사지이며 태풍에 의한 집중호우의 영향을 많이 받는 곳으로서 부산지방 특유의 붕적토층에서 발생하는 사면붕괴사고를 고려하여, '89. 12월 단지내 설계사면을 포함하여 단지의 남측 상층부 자연사면에 대해 안정여부를 검토하고 불안정사면에 대해서는 사면안정H형강 억지용 줄말뚝으로 보강하여 안정대책을 강구하였다.

'91. 8. 22~23일 양일간에 걸쳐 태풍 글래디스호가 동반한 집중호우로 201 및 202동 후측단지 경계 사면에 설치된 사면안정 H형강 억지용 줄말뚝의 20m 구간이 1. 2m정도 전방변위를 일으켰으며, 사면보호공(K-블럭, U형측구, 옹벽등)으로 시공중이었던 구조물의 손상이 발생되었다.

이에 대해 원상태로 수해복구공사를 완료한 후, 사면의 변형거동을 사전에 파악하여 재해예방을 위한 예보체제로 활용하기 위해 '92. 9. 23일 지표변위말뚝을 6개소에 설치하고, '93. 3월 해빙기까지 계측을 수행한 결과, 지표변위말뚝에서 발생한 수직변위량이 3. 4~4. 9cm로 판명되어, 침투압에 의한 지반의 변형을 고려한 재해방지대책으로 기존의 사면안정 H형강 억지용 줄말뚝을 따라 어스앵카를 추가 보완 시공하였다. 또한 지표변위말뚝 하부의 토층에서 발생하는 지반내의 변형거동을 알아내기 위해 '93. 6. 17일 사면과 역T형 옹벽에 계측기기를 각각 6개소씩 설치하여 현재까지 계측을 실시하고 있다.

본 논문에서는 앞에서 이미 설명한 바와 같이 불안정사면에 대한 사면안정검토에 따른 대책공법을 논의 하고, 현장 계측자료에 의해 강우침투에 의한 사면의 변형거동특성을 분석하여, 보다 합리적인 재해방지 예측기법을 제안하고자 한다.

2. 사면의 토층구성 현황

동 설계사면의 전체 길이는 약 1,000m, 최대 및 최소폭은 각각 70m, 18m(평균 : 30m)정도이고 표고는 60~100m 이며, 자연사면의 표고는 100~145m이다.

그리고, 201 및 202동 후측 사면의 지층구성상태는 현 지표면하로 부터 점토자갈층 및 풍화토, 풍화암 그리고 기반암인 연암의 순으로 형성 분포되어 있다.

점토자갈층은 점토에 자갈을 함유한 상태의 혼합층으로 호박돌이 협재된 상태로 나타나며 지층의 두께는 1. 2m, N치는 17로 조사되었다. 반면, 풍화토층은 풍화암의 점토질화된 지층으로 그 층후는 0. 4m이며, N치는 50회 이상으로 나타나고 있다. 점토자갈층과 풍화토 하부에 존재하는 풍화암층은 기반암인 화강암이 풍화되어 생성된 풍화대로 그 두께는 1. 4~1. 8m로 발달되어 있으며, N치는 50회를 상회하는 치밀 견고한 지층을 보인다. 풍화암층 하부의 연암층은 절리 및 균열이 매우 발달되어 있고, 2. 0~7. 0m두께로 분포되어 있다. 그림 2. 1 은 동사면의 대표적인 지층 단면도와 현황을 보인 것이다.

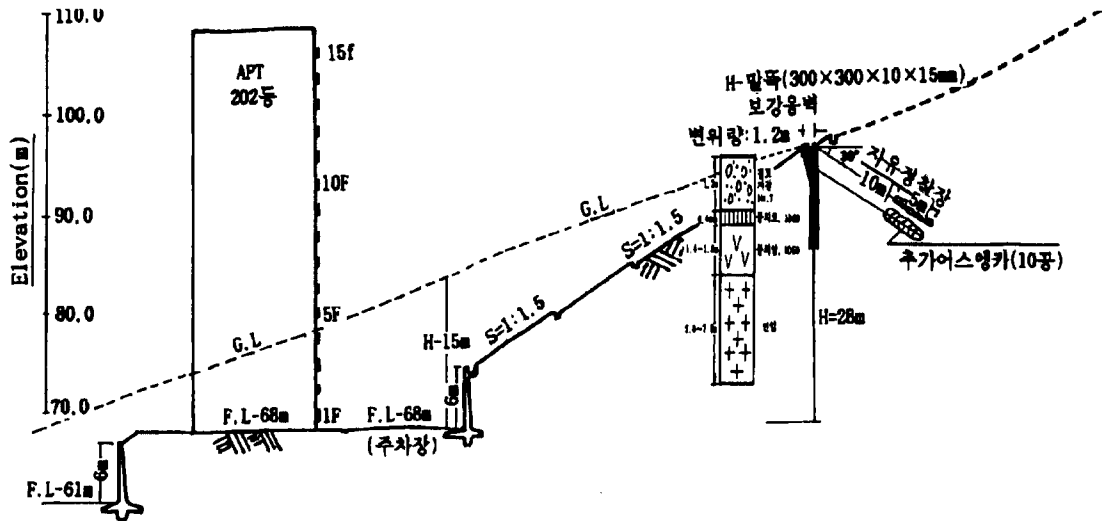


그림 2.1 사면 현황과 지층단면도

3. 사면보강 공사 및 계측기 설치 현황

3.1 1차 사면 보완공사

사면안정 검토결과 일부단면은 집중호우시 지하수위의 상승에 의해 불안정할 것으로 판단되어 단지 남측 배수로 외측에 사면안정 H형강(300×300×10×15mm)역지용 줄말뚝(3m간격, 30t인장)을 설치하고, 지하수위가 붕적토층내에 존재할 경우에는 연암층에 충분한 근입장을 갖도록 설치하고, 이들 말뚝의 두부는 띠장(250×250×9×14mm)으로 서로 연결하여 어스앵카(L-15m, 30t인장)로 지지하는 것으로 결정하였다.(그림 2. 1)

3.2 집중호우에 의한 변형 및 보완

본지구는 '91. 8. 22~23일 양일간에 걸쳐 태풍 글래디스호가 동반한 집중호우(누계강우량 : 505.5mm, 일강우량 : 439mm, 시간 최대강우량 : 37.7mm)로 201 및 202동(그림 2. 1) 후측단지 자연사면에 3m 간격으로 설치된 사면안정 H형강 역지용 줄말뚝의 20m 구간이 두부에서 1.2m정도 전방변위를 일으켰으며, 사면보호공으로 시공중이었던 K-블럭과 U형측구의 파손, 시공중인 옹벽구조물의 매몰 등의 상당한 피해가 발생하였다.

201 및 202동 후측 단지 자연 및 설계사면의 변형거동을 사전에 파악하여 재해예방을 위한

예보체제로 활용하기 위해 원상태로 수해복구공사를 완료한 후, '92. 9. 23일 지표변위말뚝(5×5×150cm)을 6개소에 설치하고(그림 3. 1), 계측을 수행한 결과, '93. 3월 6분의 지표변위 말뚝에서 발생된 수직변위량이 '92. 9. 23일 측정치에 비해 지반고의 변위가 3. 4(No. 1)~4. 9cm(No. 3)로 판명되어, 침투압에 의한 지반의 변형을 고려한 재히방지대책으로 기존의 사면안정H형강 억지용 줄말뚝을 따라 어스앵카 10공을 1. 5m간격으로 추가 보완 지지시키므로써, '93. 7. 29일 114mm의 강우직후에도 안정성을 확보할 수 있었다.

또한, 자연 및 설계사면의 보다 과학적인 유지관리방안으로서 지표변위말뚝 하부의 봉적토층, 풍화토층 및 풍화암층과 연암층에서 발생하는 지반내의 변형거동을 알아내기 위해 '93. 6. 17일 지중경사계, 지하수위계와 사면하단의 역T형 옹벽(H-6.0m)에 구조물 기울기 측정기를 각각 6개소씩 설치한 이후 현재까지 정기 및 특별점검(집중호우 및 태풍이 지난후, 지반의 동결 및 융해기간)으로 구분하여 계측을 실시하고 있다.(그림 3.1, 3.2)

4. 계측결과 및 분석

동 사면의 변위말뚝 과 계측기기 설치위치도는 그림 3. 1 및 3. 2와 같다. 이들에 대해 '92. 9. 23설치 이후 '94. 12까지 계측을 실시한 결과를 강우와 지표변위, 지하수위, 경사계 측정값을 시간경과별로 나타내 보면 그림 4.1~4.24 와 같다.

4. 1 경사계 계측결과 분석

1번 경사계는 전반적으로 시간경과에 따라 변위가 증가하는 경향을 보였으며 지표아래 0. 5m부근에서 가장큰 1.47mm의 변위가 발생된 것으로 나타났다.

2번 경사계에서는 '94. 8 이후 한단계 변위의 증가가 있었으며 두부 앵커의 영향으로 시간이 경과함에 따라 지표면하 약 1. 5m부근에서 최대 4. 4mm의 변위가 일어났다.

3번 경사계에서는 풍화암과 연암층 사이에서 변위의 변곡점이 발생하는 경향이 관측 되었다.

5번 경사계에서는 지표면하 6m 지점에서 토층변화로 인한 변곡점이 관측되었다

6번 경사계에서는 두부 앵커의 영향과 토층 경계면의 복합작용으로 지표면하 6m 및 8.5m 지점에서 변위의 극대점, 극소점이 나타나는 형상을 보였다.

4. 2 강수와의 관계

1번, 3번, 4번 계측기 설치 위치에서 강수와 지하수위와의 관계를 살펴보면 집중호우후 지하수위가 상승하는 경향을 보이고 있다.

강수와 최대 지중 변위와의 관계는 계측 실시후 증가하던 변위량이 오히려 감소되는 경향을 보이거나(그림 4.2, 4.6, 4.12)증가율이 거의 정지된 경향을(그림 4.14) 나타내고 있다.

강수와 지표면 침하 와의 관계에서는 전반적으로 초기에는 큰 변위가 관측 되었으나 장비와 측정 오차요인을 나름대로 보완한 93년 말 부터의 경향을 살펴볼때 크게 지표면 변동 상황은 관찰되지 않고 있으며 강수와의 연관성도 명확하게 나타나지 않고 있다.

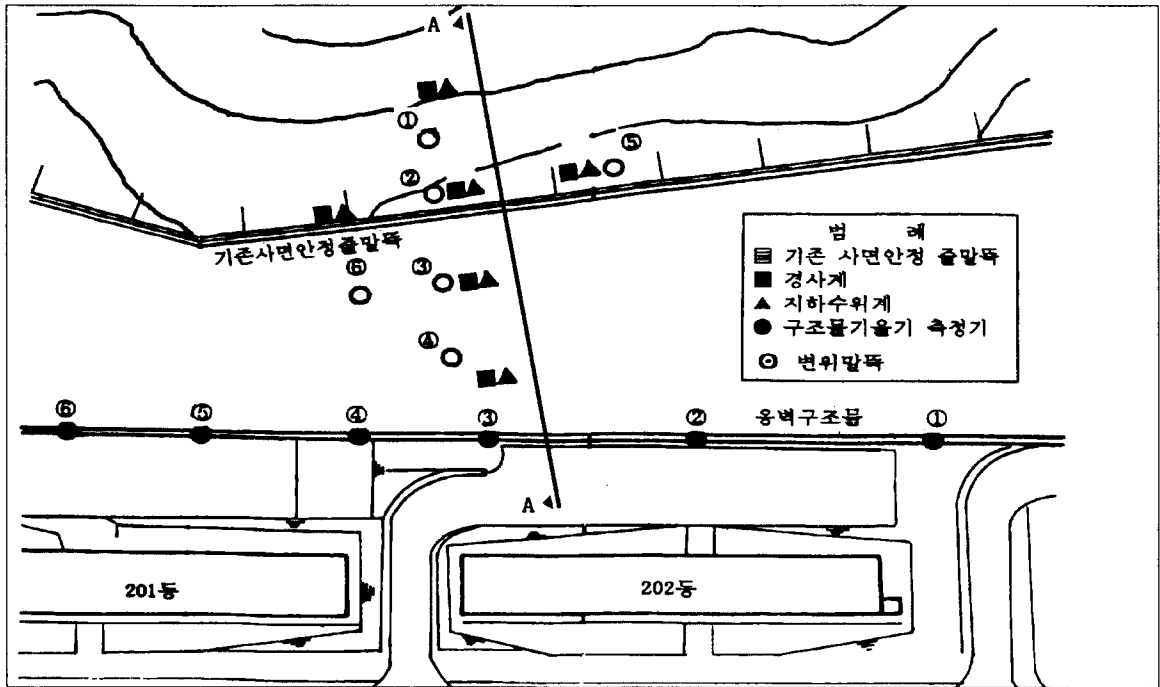


그림 3.1 계측기 설치현황 (평면도)

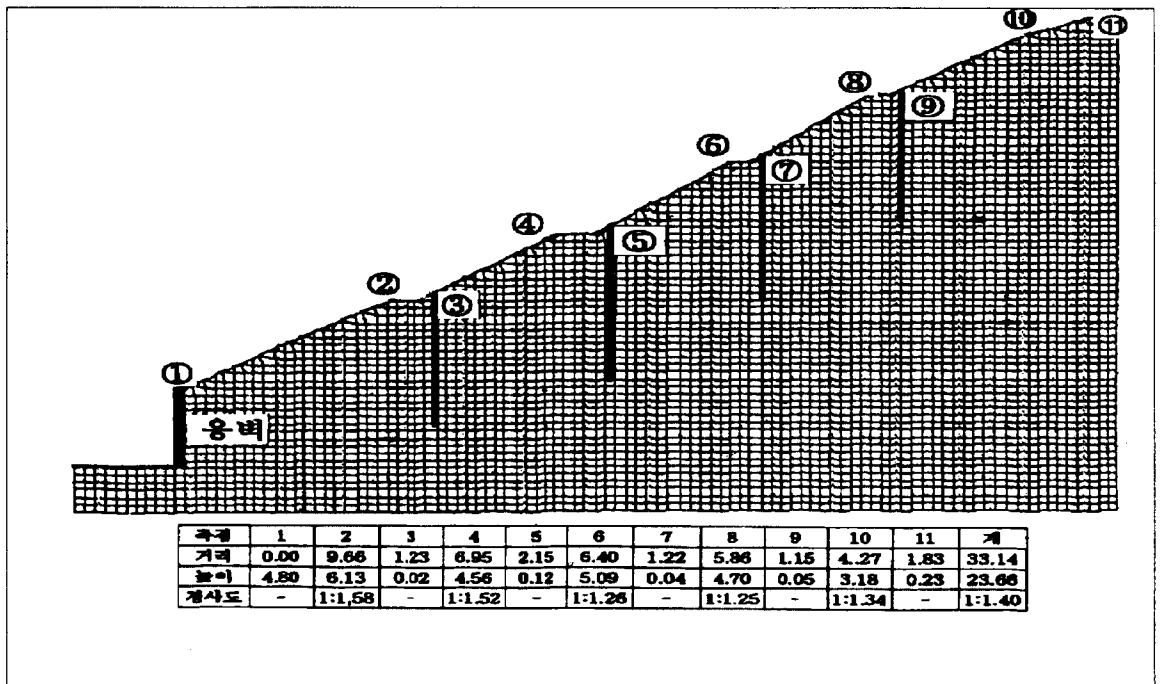


그림 3.2 계측기 설치위치 (단면도A-A)

5. 결 론

부산 택지개발 사업지구의 불안정사면에 대한 현장 계측 결과를 강수량과 연관시켜 사면의 변형거동특성을 분석하여 재해방지 예측기법을 제안하고자 한 본 논문의 내용을 요약하면 다음과 같다.

(1) 201, 202동 후측사면에 사면안정을 위해 설치한 H형강 억지말뚝과 어스앵커 보강체는 '93. 7. 29일 일강우량 114mm직후에도 안정성을 확보할 수 있었으며 효과적인 사면 보강공법으로 판단되었다.

(2) 지중 경사계에 의한 계측 결과에 의하면 지중 최대변위값이 시간의 경과에 따라 증대하다 감소 또는 증가율이 수렴되는 관계를 보이고 있어 지반이 안정화 됨에 따른 지중응력 재배열에 의한 영향이 시간경과중 일정구간에서의 강수영향 보다 큰 경향을 보이고 있다.

(3) 강수와 지하수위와의 관계는 집중호우후 지하수위가 거의 동시에 상승하는 경향을 보여 강수에 따른 지하수위 변동이 민감하게 발생되고 있음을 알 수 있다.

(4) 지표면 침하 관측 결과에 의하면 장비 및 관측오차에 기인한다고 판단되는 영향을 제외하고는 지반이 안정된 근래시점에서의 관측치는 큰 변화가 없는 것으로 분석 되었다.

이로부터 판단해 보면, 지표면 침하관측은 상대적으로 변위가 크고 변형 속도가 어느정도 있는 불안정한 사면등에서 정밀한 계측방법으로 변형량을 측정하여 재해방지 예보체제로 활용하는 것이 바람직 하다고 생각된다.

참고문헌

- (1) 정철호, 최진국, 권형석,(1994), 한국지반공학회,대한주택공사 주최학술발표집
- (2) 대한주택공사(1989), 대한주택공사 부산덕천지구 사면안정검토 연구용역 보고서, 대한토질공학회.
- (3) 정철호, 최진국, 권형석, 김효진(1994), 지반침하 및 토목구조물의 변형거동 분석, 대한주택공사.
- (4) 정철호(1990), 산사태방지대책공법의 실용화 방안, 대한주택공사.
- (5) Dunnichiff John(1988), Geotechnical Instrumentation for Monitering Field Performance, A Wiley Interscience Publication John Wiley and Sons, New York, PP.216~274.
- (6) Geotechnical Control Office(1984), Engineering Development Department, Hong Kong, Geotechnical Manual for Slope, PP.123~138.

- (7) Möuller, B., Lindholm.D.(1970), Experience of a Computerised Monitoring System for Landslides., Geotechnical Instrumentation in Practice, Thomas Telford, London, PP.95~106.
- (8) Ting,W.H., Toh,C.T.(1990), The Behavior of an Instrumented Dowel Intalled to Stabilise Slope Movement., Geotechnical Instrumentation in Practice, Thomas Telford, London, PP.107~112.
- (9) 総合土木研究所,地すべり防止.斜面安定

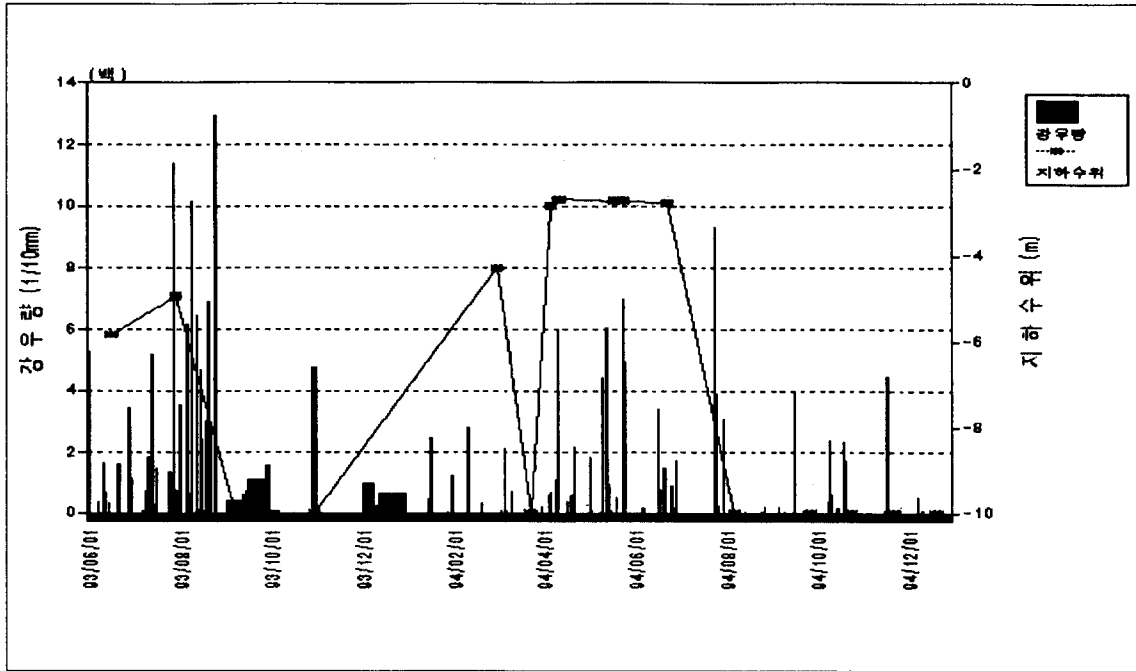


그림 4.1 강수와 지하수위 변화 (1번)

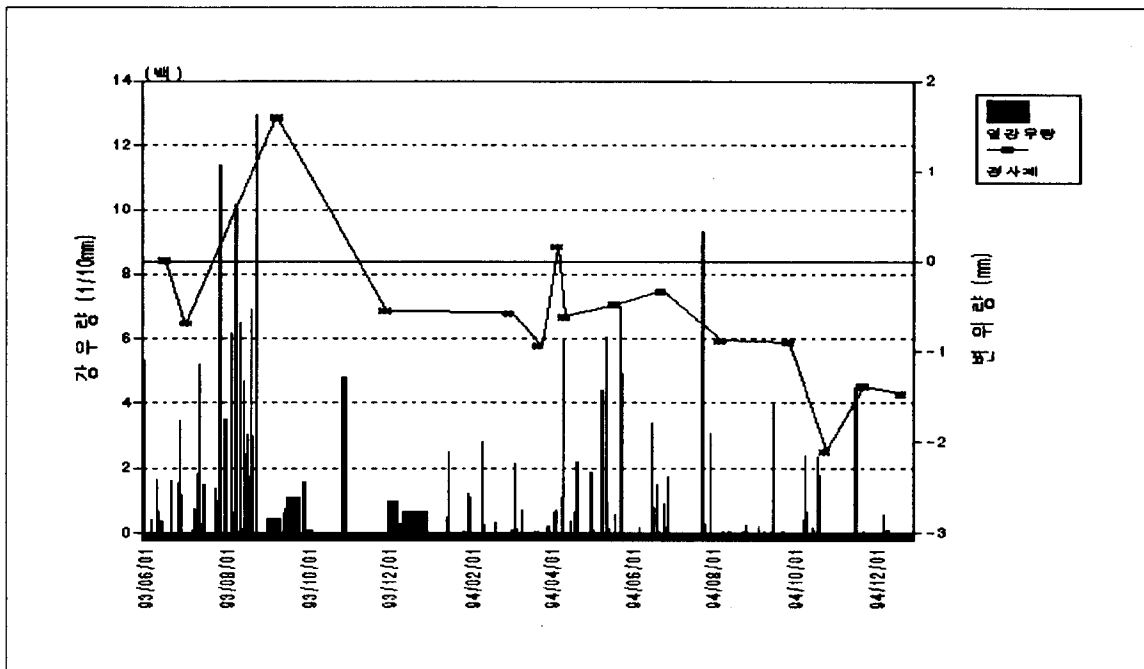


그림 4.2 강수와 사면 변위량(1번)

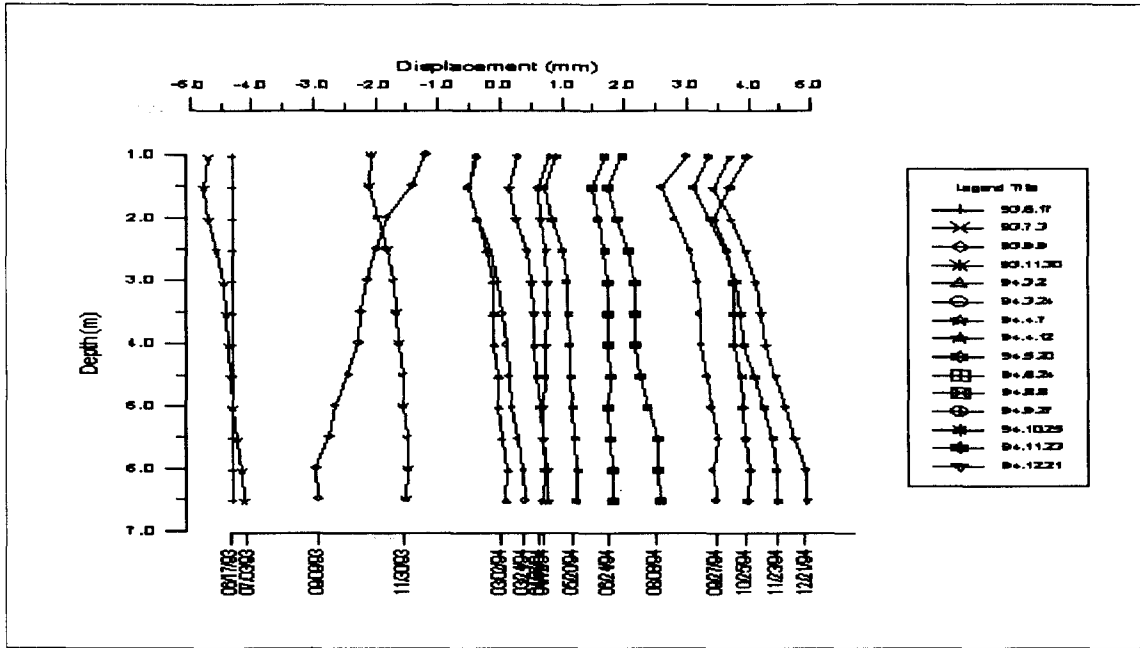


그림 4.3 지중경사계의 시간적 변화 (1번)

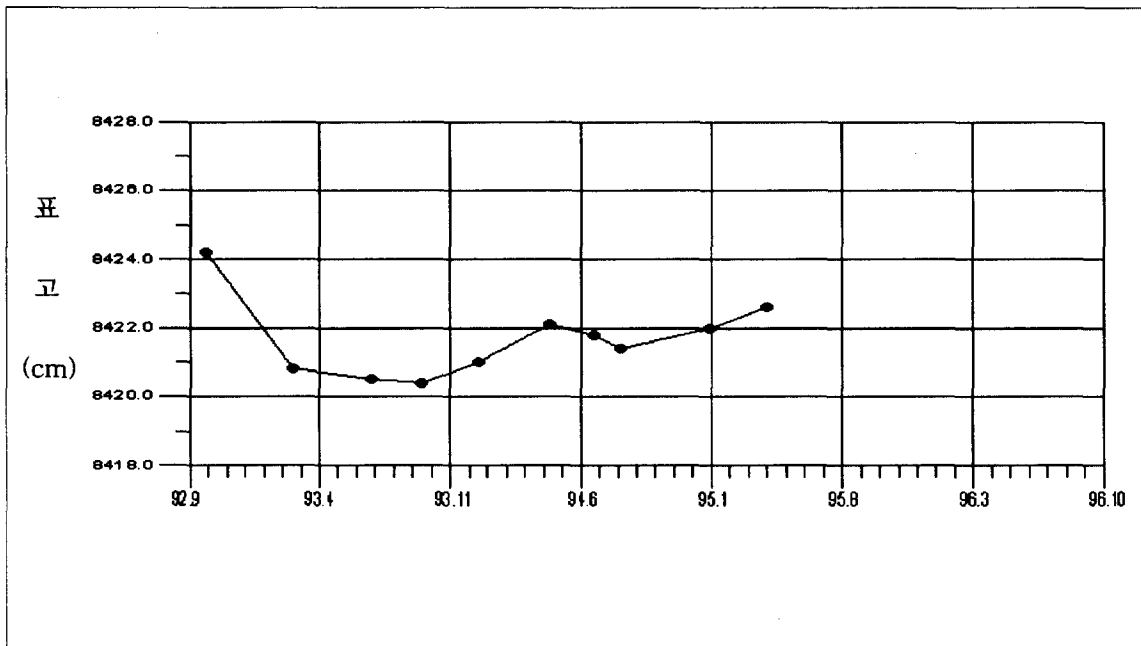


그림 4.4 지표면 침하의 시간적 변화 (1번)

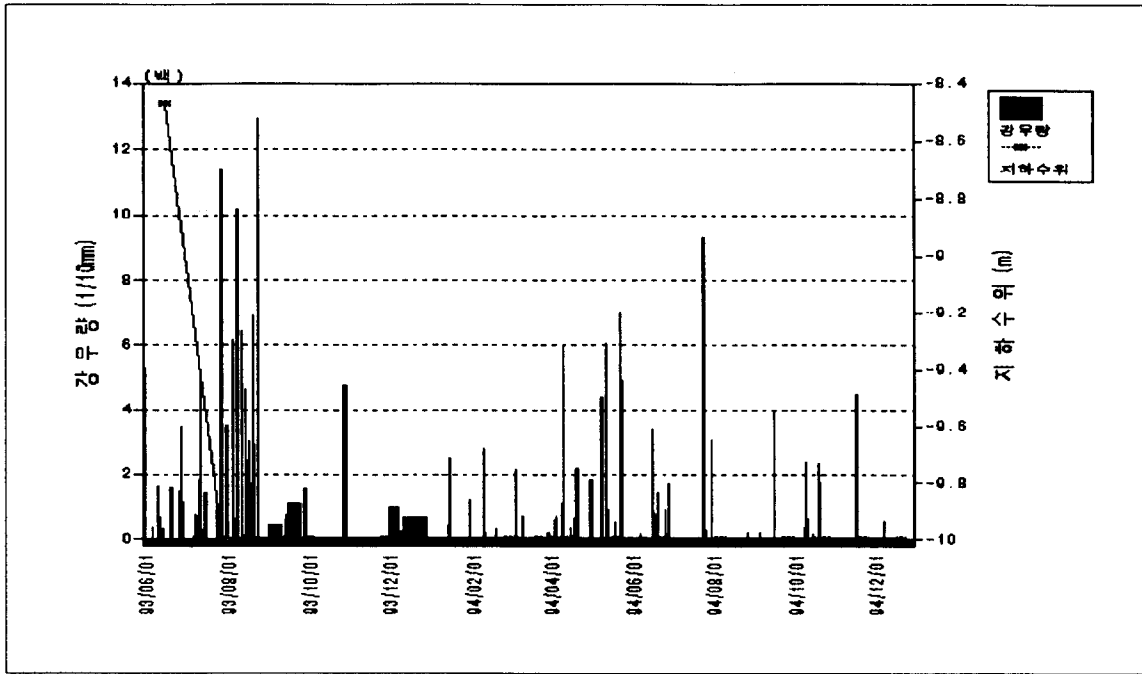


그림 45 강수와 지하수위 변화 (2번)

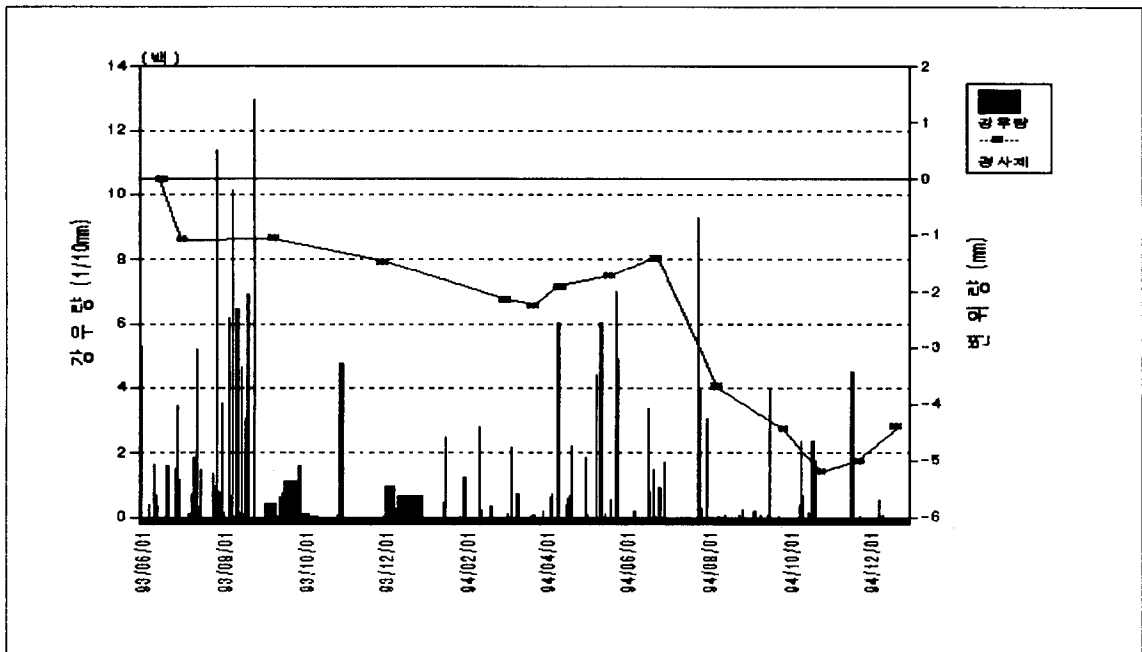


그림 46 강수와 사면 변위량 (2번)

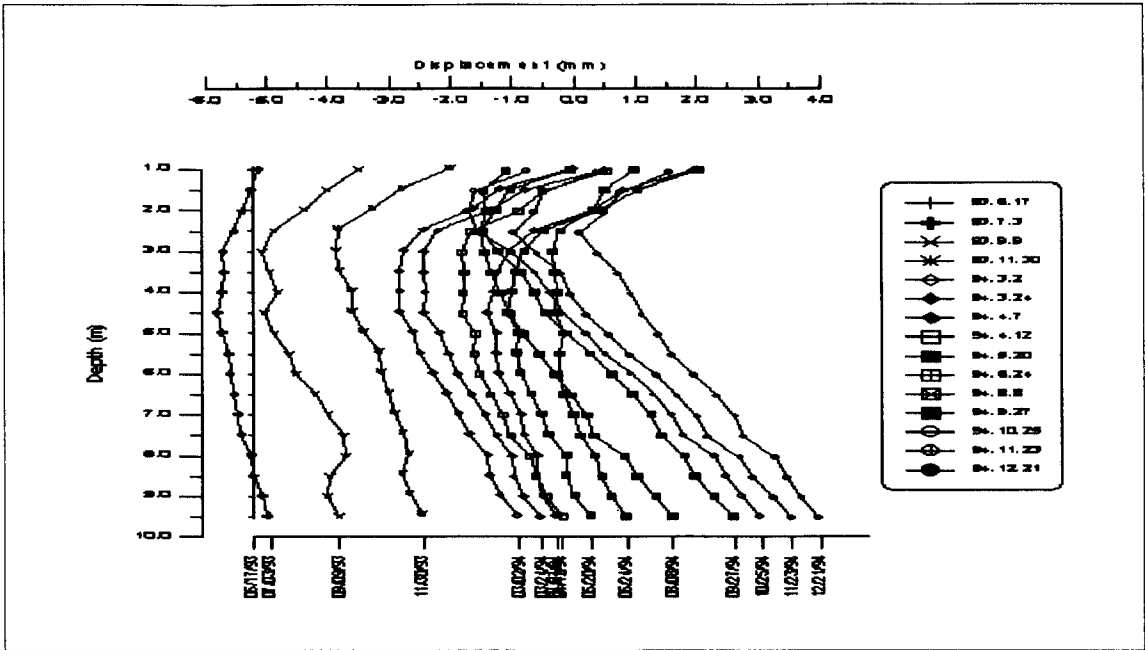


그림 4.7 지중경사계의 시간적 변화 (2번)

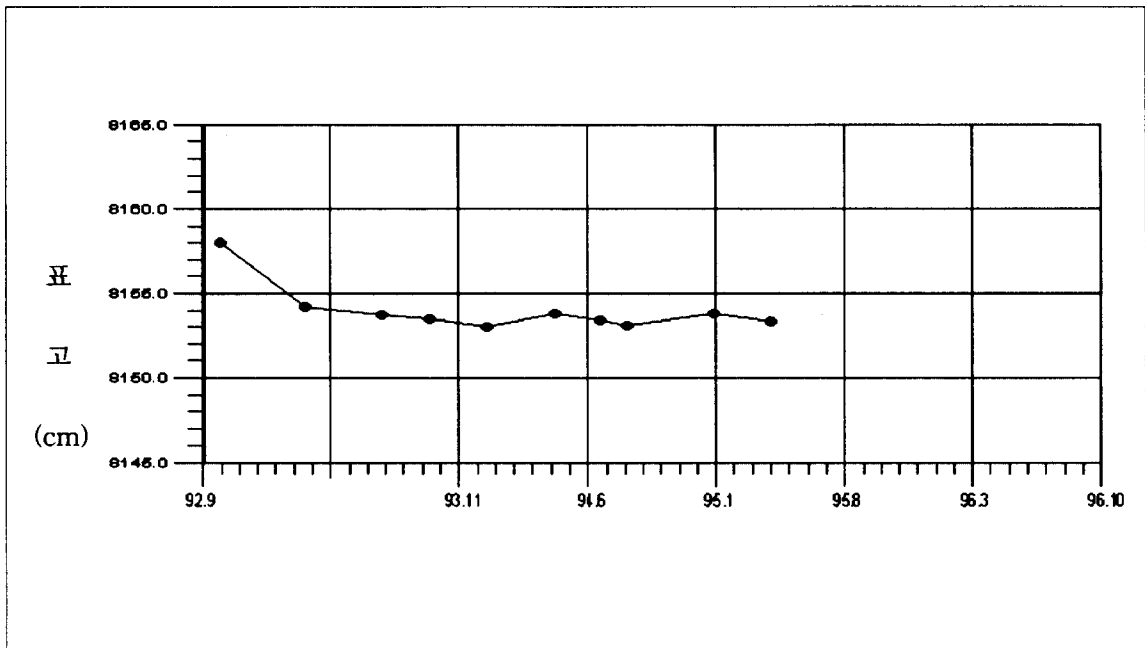


그림 4.8 지표면 침하의 시간적 변화 (2번)

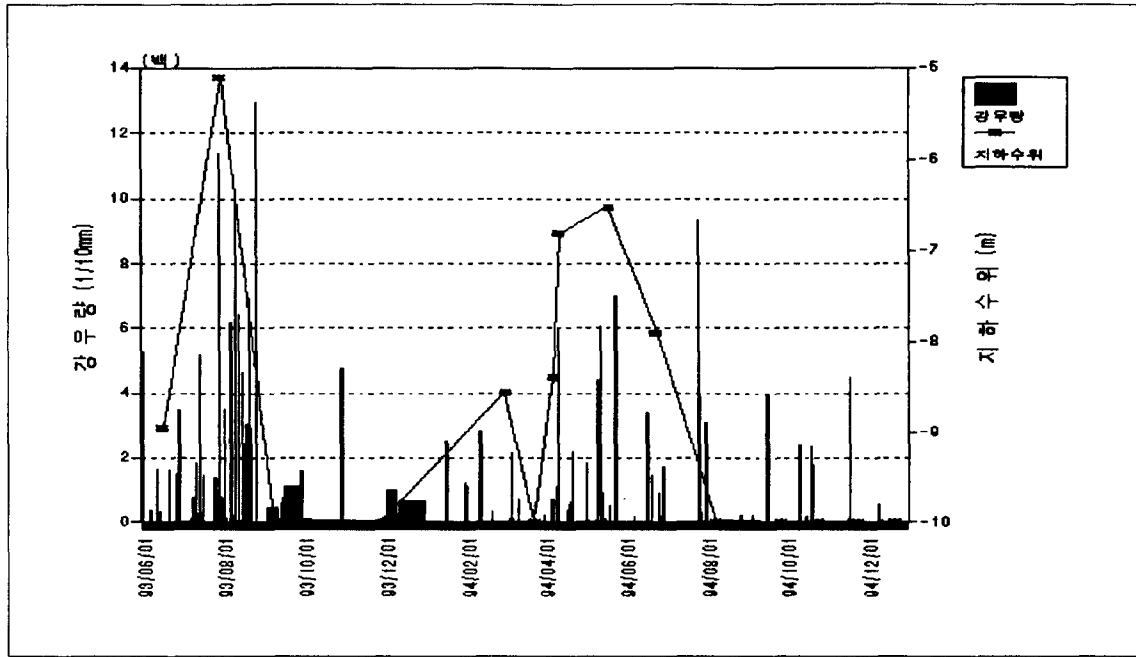


그림 4.9 강수와 지하수위 변화 (3번)

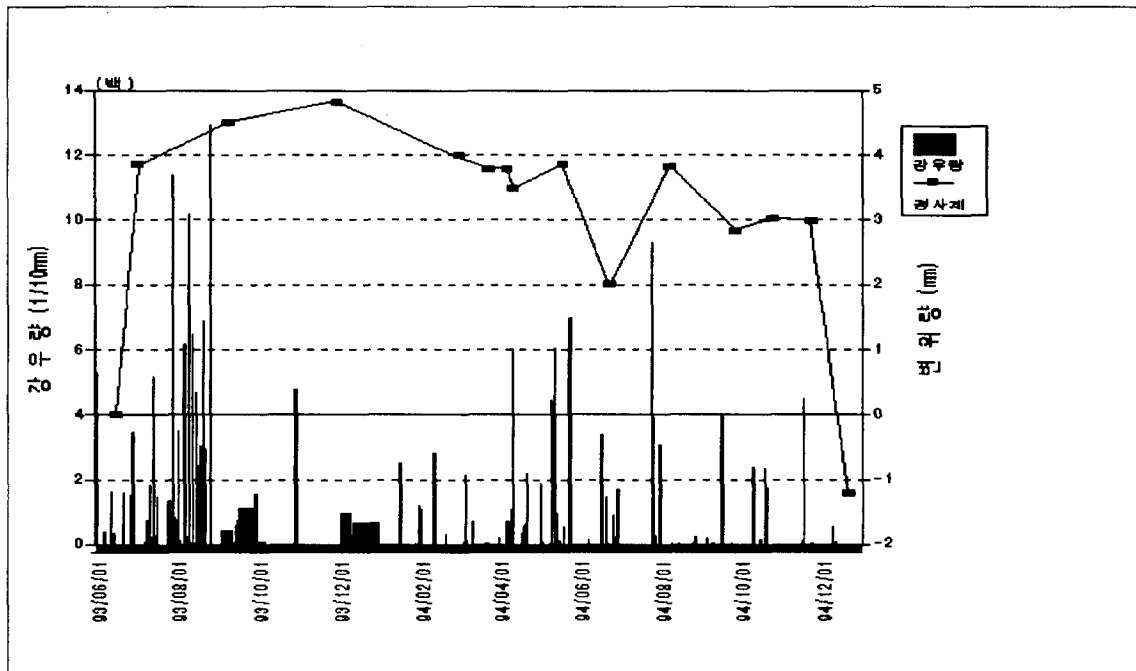


그림 4.10 강수와 사면 변위량(3번)

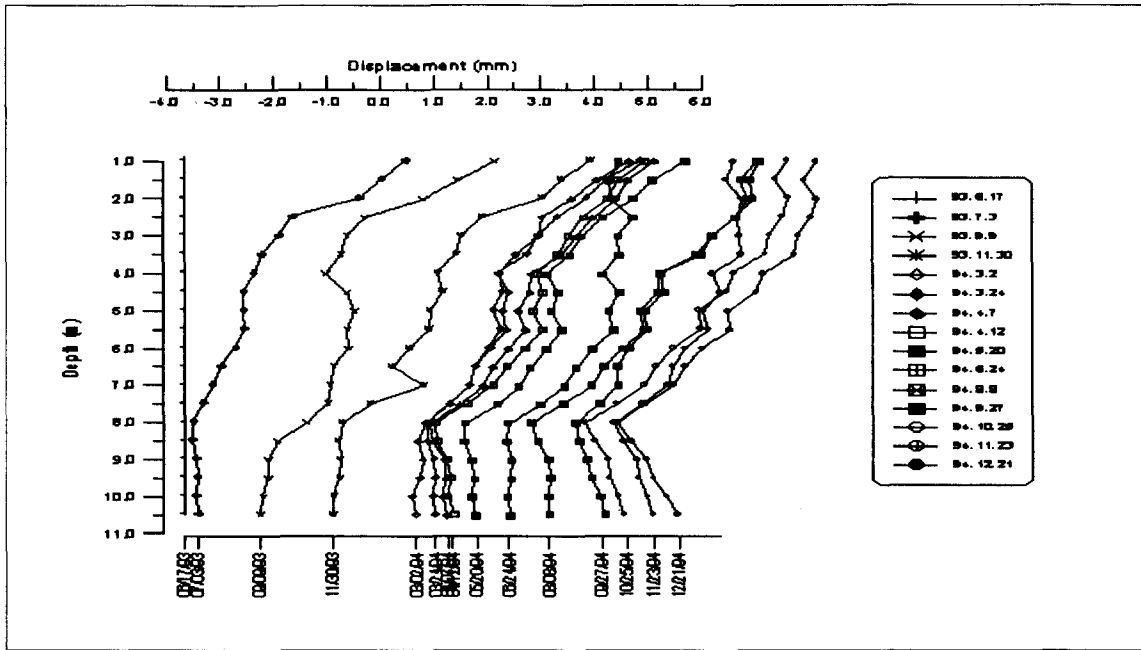


그림 4.11 지중경사계의 시간적 변화 (3번)

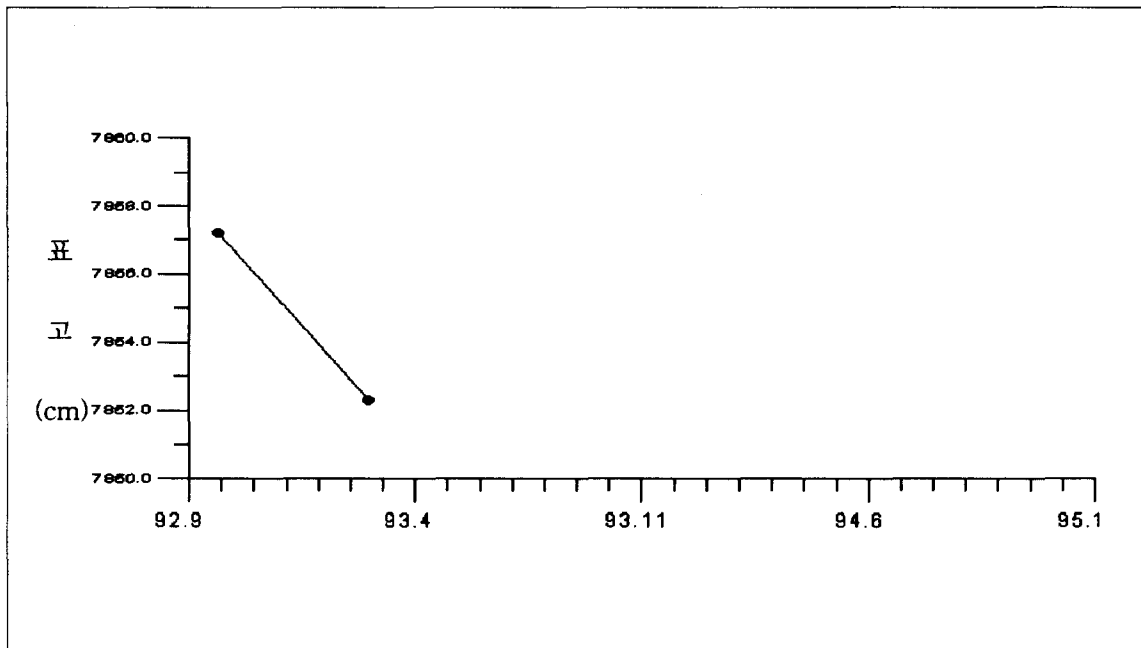


그림 4.12 지표면 침하의 시간적 변화 (3번)

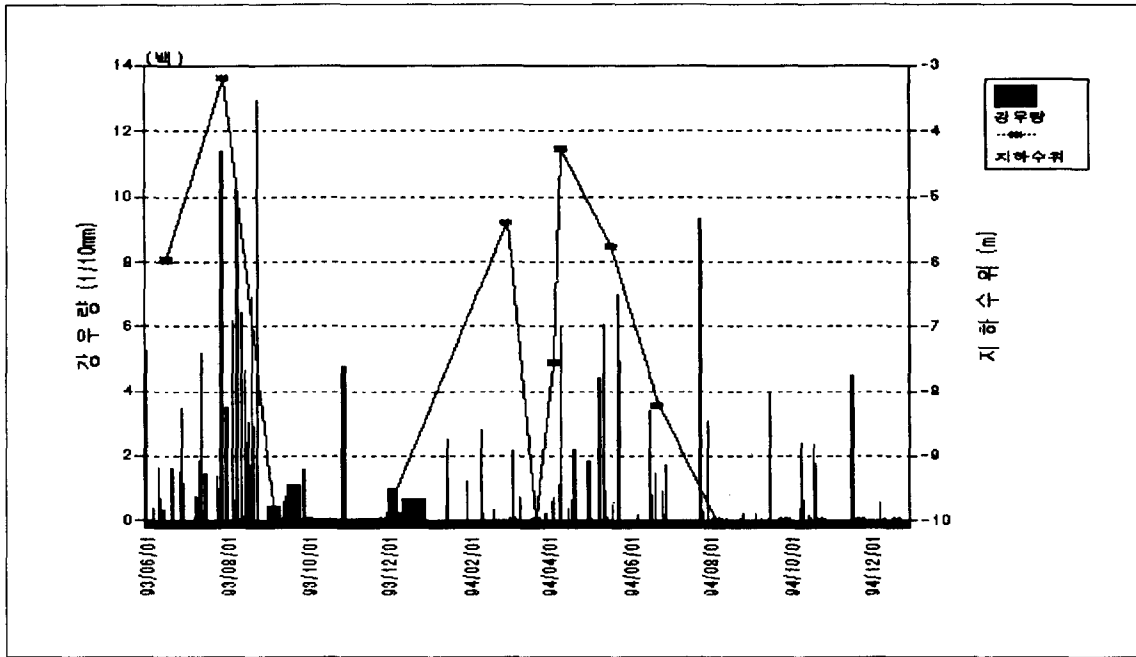


그림 4.13 강수와 지하수위 변화 (4번)

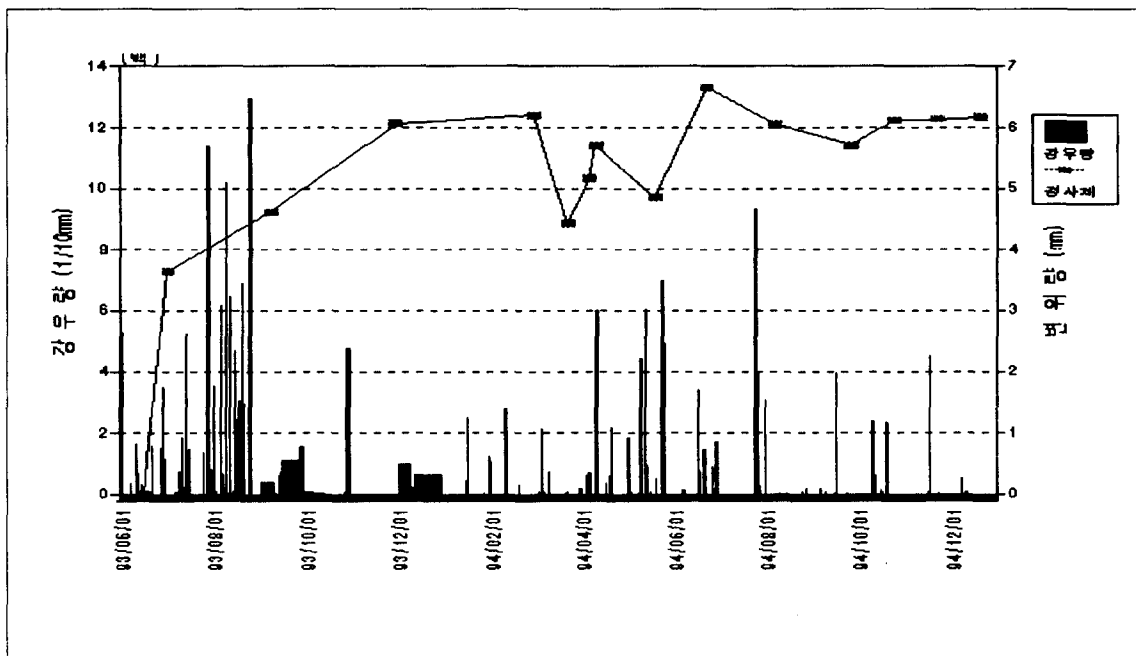


그림 4.14 강수와 사면 변위량(4번)

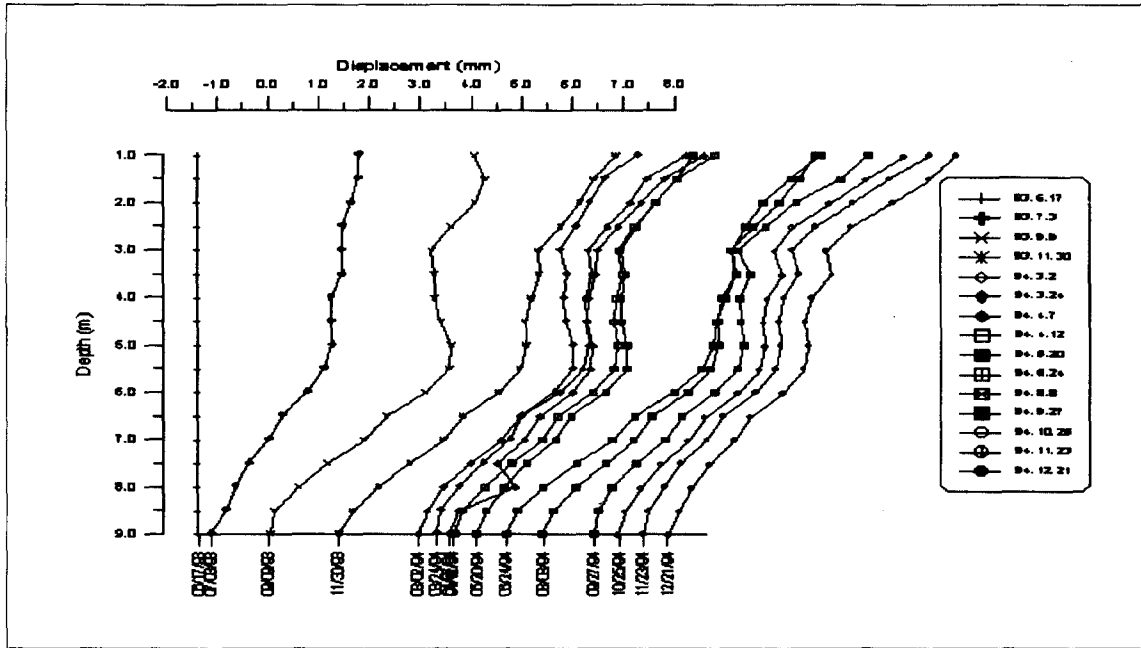


그림 4.15 지중경사계의 시간적 변화 (4번)

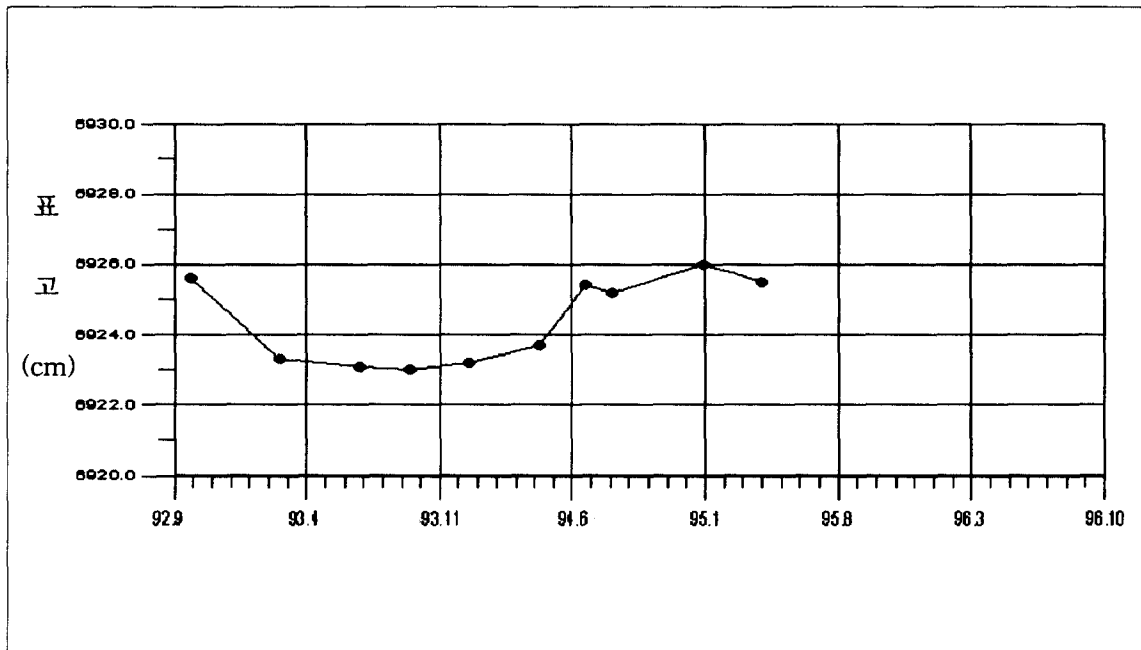


그림 4.16 지표면 침하의 시간적 변화 (4번)

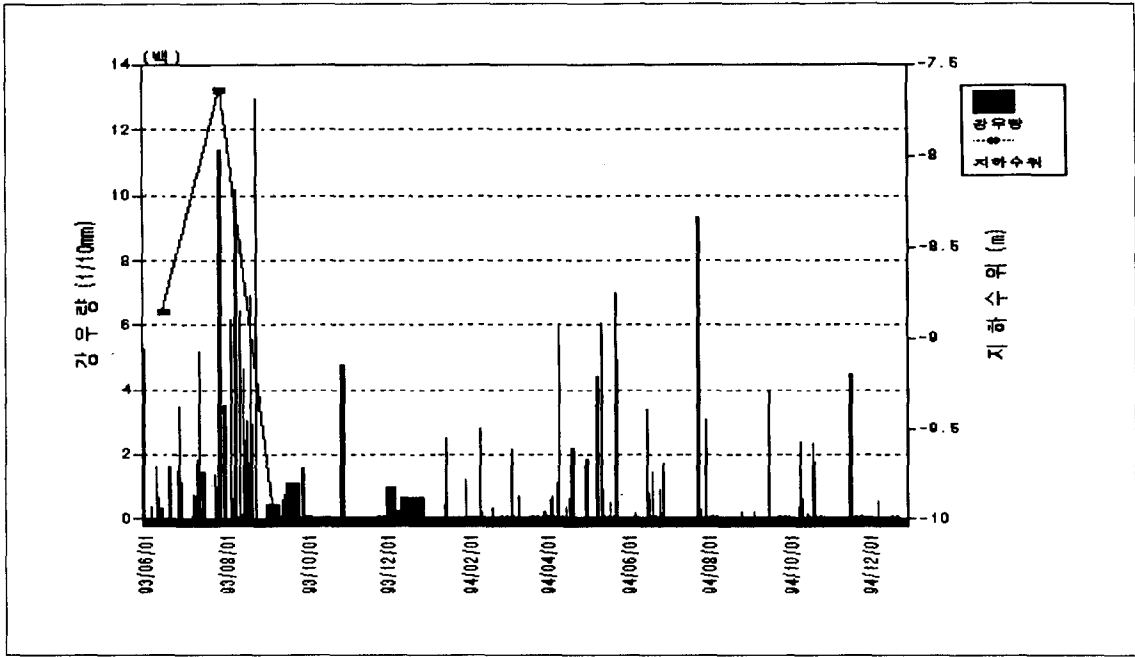


그림 4.17 강수와 지하수위 변화 (5번)

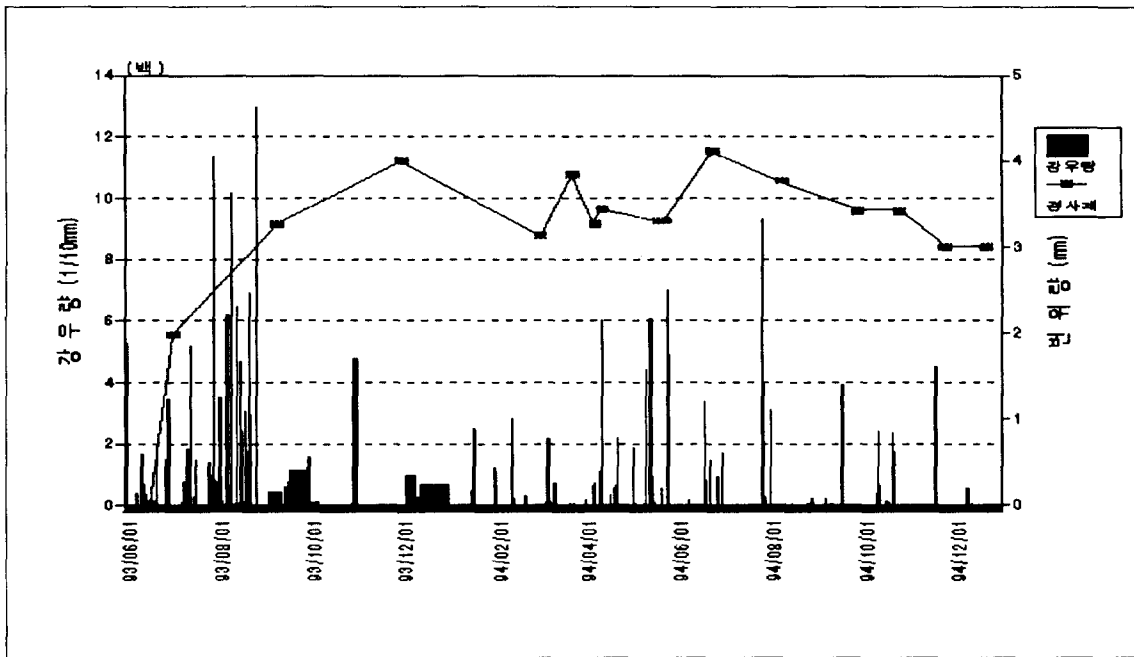


그림 4.18 강수와 사면 변위량(5번)

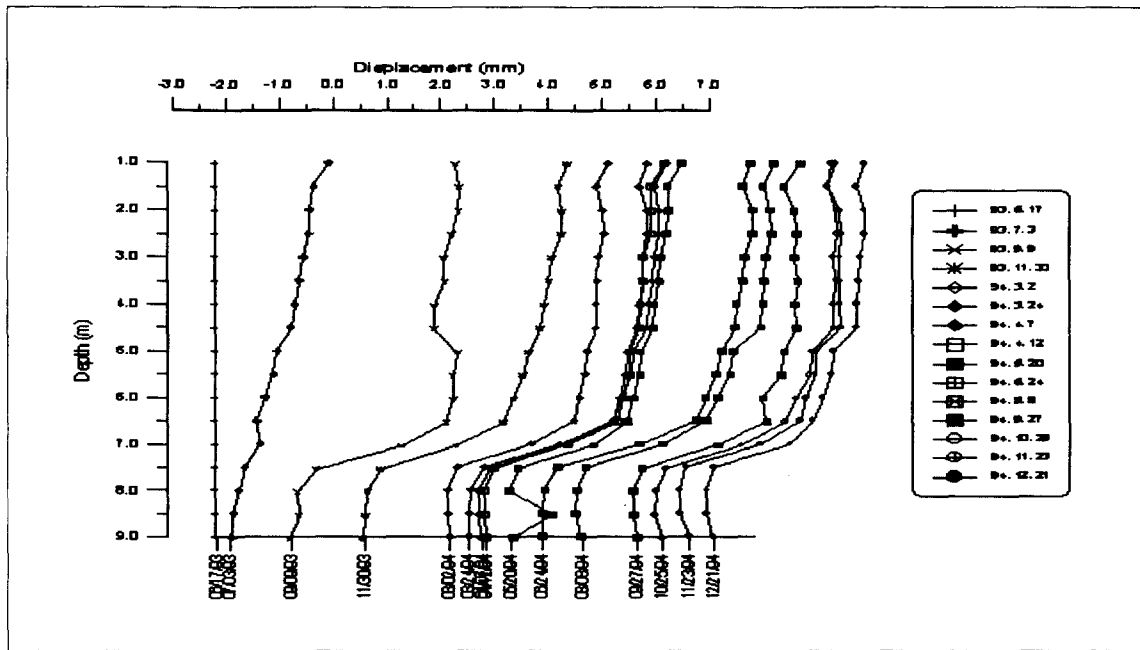


그림 4.19 지중경사계의 시간적 변화 (5번)

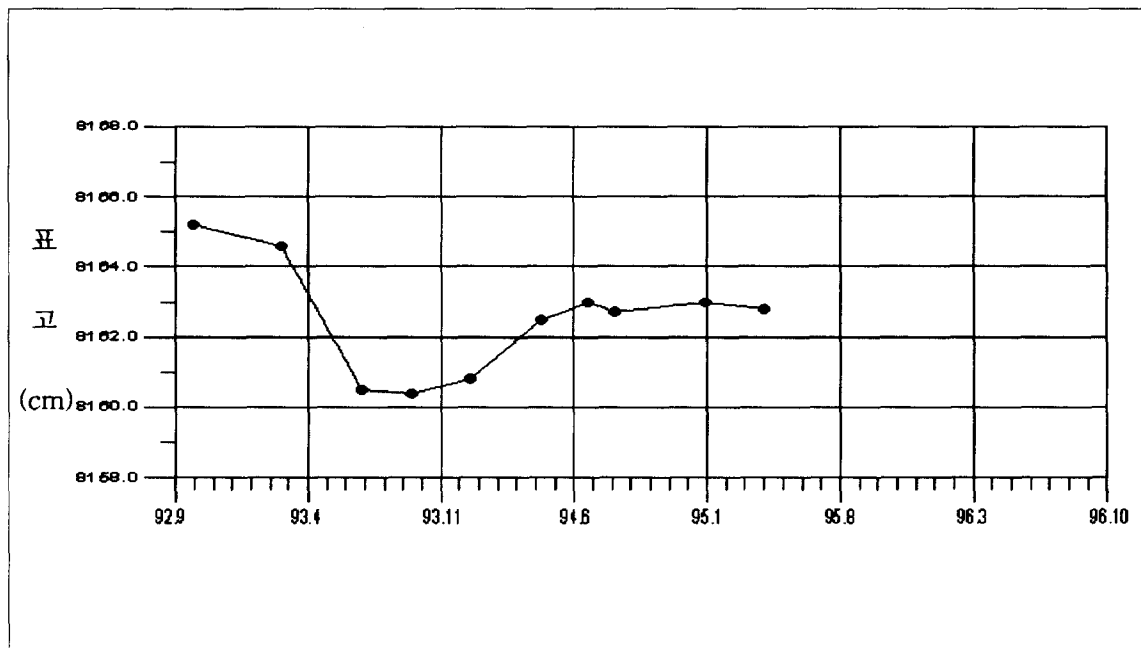


그림 4.20 지표면 침하의 시간적 변화 (5번)

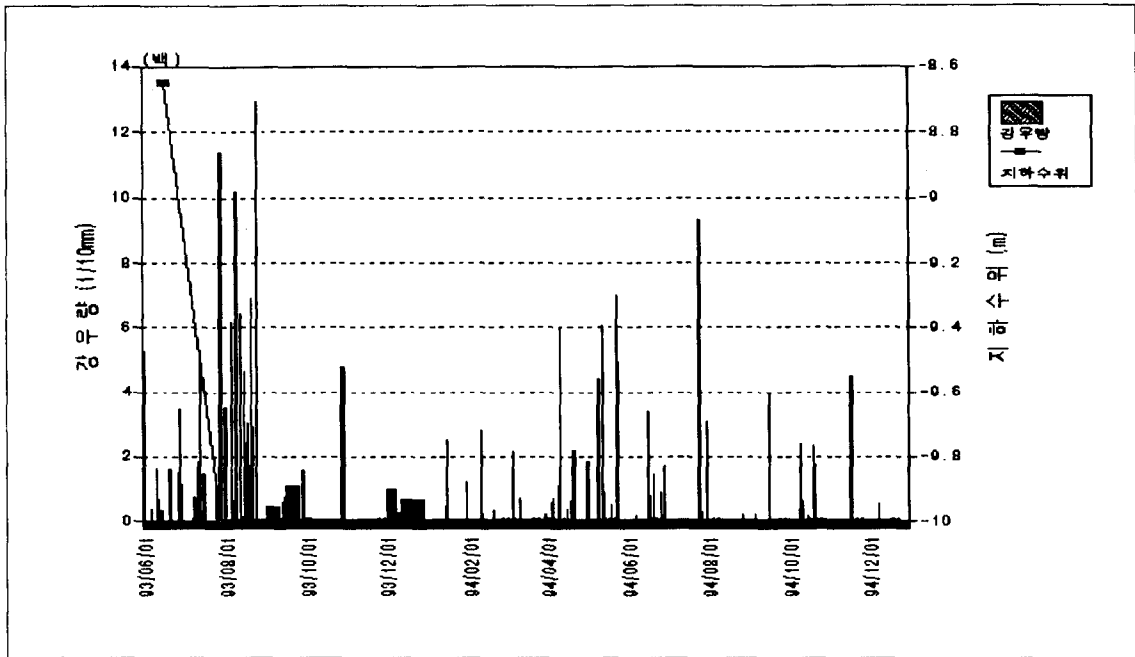


그림 4.21 강수와 지하수위 변화 (6번)

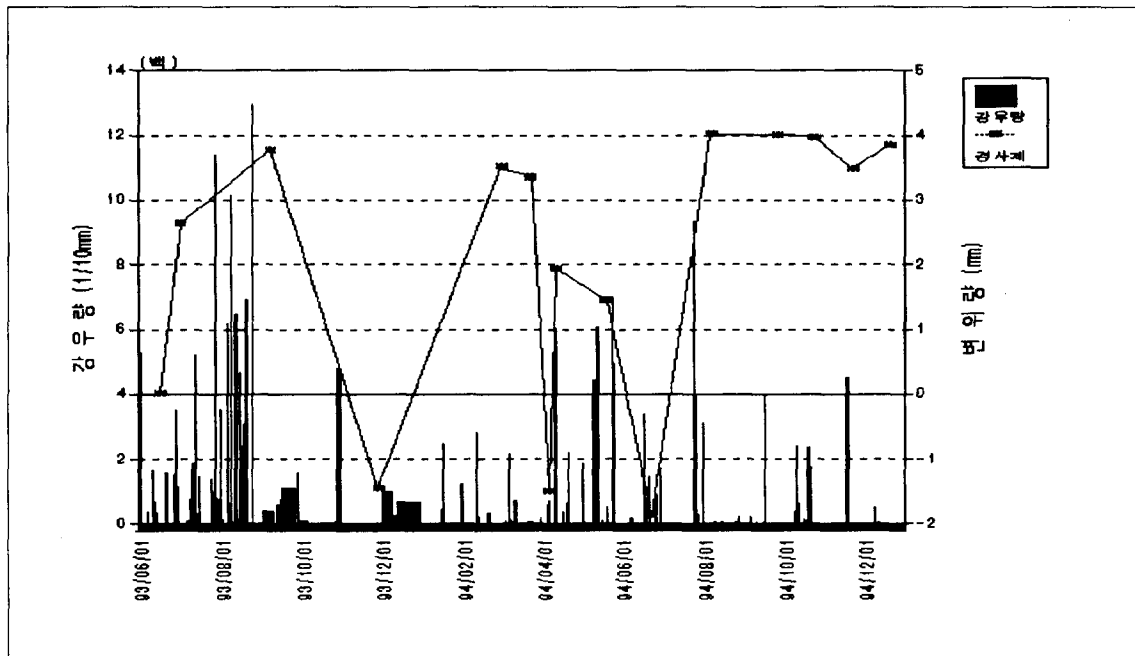


그림 4.22 강수와 사면 변위량(6번)

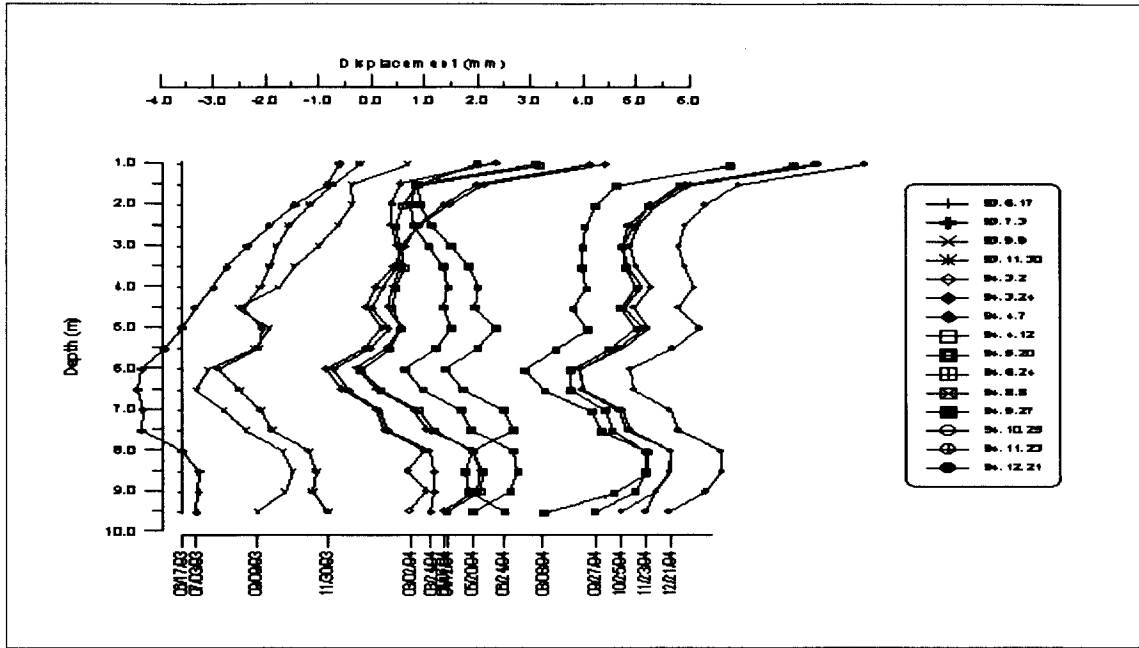


그림 4.23 지중경사계의 시간적 변화 (6번)

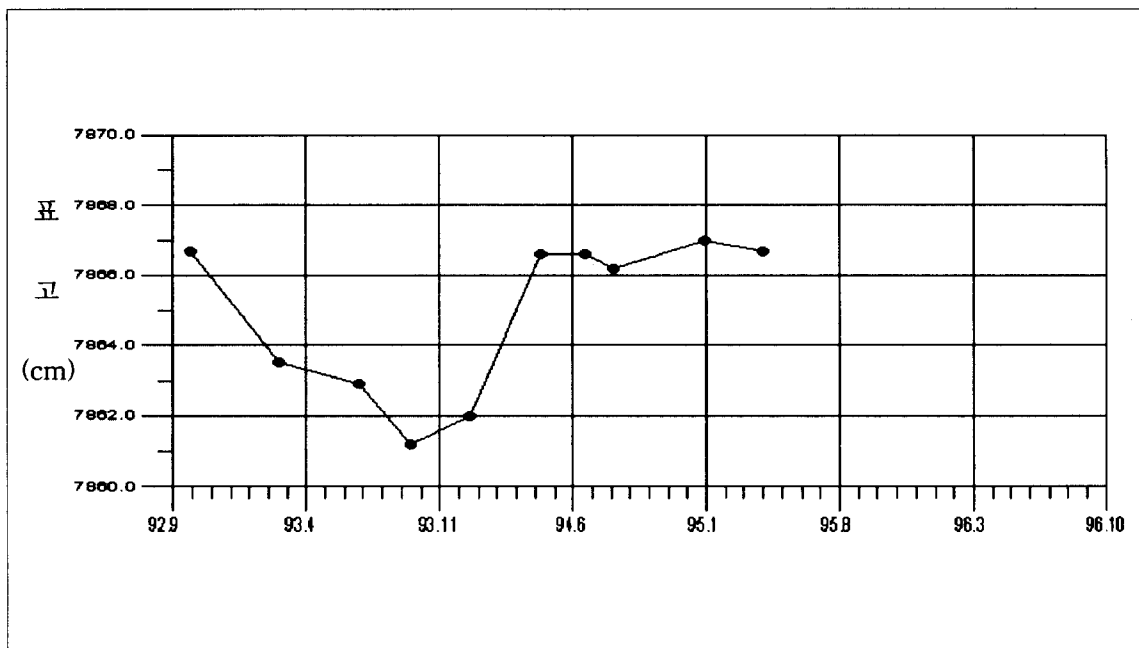


그림 4.24 지표면 침하의 시간적 변화 (6번)