

## 현장계측에 의한 지반거동 분석 Ground Movement Analysis by Field Measurements

전용백\*, 조상완\*\*  
Yong-Back Chon\*, Sang-Wan Cho\*\*

### <Abstract>

This study is analysis for adjacent structures and ground movement by deep excavation work. Underground Inclinator has shown that deformation of increment is minor within to allowable limit. According to the measurements result of slope and crack for adjacent structures, a detached house showed bigger than hospital structure to deformation of increment. Variation of underground water level didn't effect so much to ground and adjacent structures movement because underground water flows in rock and didn't give the water press to propped walls. Measurement data of strut variation is within tolerance limit. Because excavation site's wall was strengthened suitably. This study will contribute in establishment of measurement standard and information-oriented construction during deep excavation in multi-layered ground including rock masses.

**Key Words:** *Deep excavation, Underground Inclinator, Slope and crack for adjacent structures, Underground water level, Strut variation*

### 1. 서론

최근 들어 급속한 경제 성장과 빠른 도시화로 인해 도심지내에 많은 지하 공간의 개발이 불가피하게 되었다. 또한 도심지 공사현장의 경우 일반적으로 현장에 인접해서 많은 건물들이 위치한다.

이러한 상황에서 깊은 굴착은 필수적이며,

이로 인해 유발되는 인접지반의 움직임을 미리 예측하고 대비하는 일은 매우 중요한 일이라 할 수 있다. 그러나 지반의 움직임에 영향을 미치는 요인은 매우 많고 미리 예측하기 힘든 현장의 시공성에도 큰 영향을 받기 때문에 지반의 거동을 정확하게 해석하는 것은 매우 어려운 일이다. 따라서 본 구조물과 인접 구조물의 안정성을 확보하기 위해서는 공사 진행과 함께 현장 계측이 필수적이며, 이러한

\* 정회원, 대구대학교 건설환경공학부 교수, 工博  
E-mail : yongbaek@biho.daegu.ac.kr

\*\* 대구대학교 대학원 토목공학과 졸업, 공학석사

\* Prof. Division of Architectural, Civil and Environmental Engineering, Daegu University

계측을 통해 축적된 자료를 바탕으로 인접구조물 및 지반의 거동을 미리 예측하여 이에 합당한 대책을 세우는 것은 매우 중요하다.

따라서 본 연구에서는 암반을 포함한 다층지반의 특성을 가진 대구광역시 달서구 두류동 470-1번지에 위치한 재건축 지하굴착공사현장을 실험 연구 모델로 선정하고 장기간에 걸쳐 실험현장의 굴착시공에 따른 지중경사계를 통한 지반의 수평변위, 구조물기울기 측정기(Tiltmeter)를 통한 인접구조물의 기울기 변화, 균열계이지(Crack Gauge)를 이용한 인접구조물의 균열변위, 지하수위계를 통한 지하수위의 변화, 변형률 측정기(Strain Gauge)를 통한 버팀보의 변형률 변화를 측정하여 그 자료를 이용, 수치해석하고 그 결과에 대한 객관적, 합리적인 판단에 의해 도심지 깊은 굴착시공에 따른 암반을 포함한 다층지반에서의 지반 및 주변 구조물의 거동양상을 기존 이론과 비교 분석 고찰 하였다.

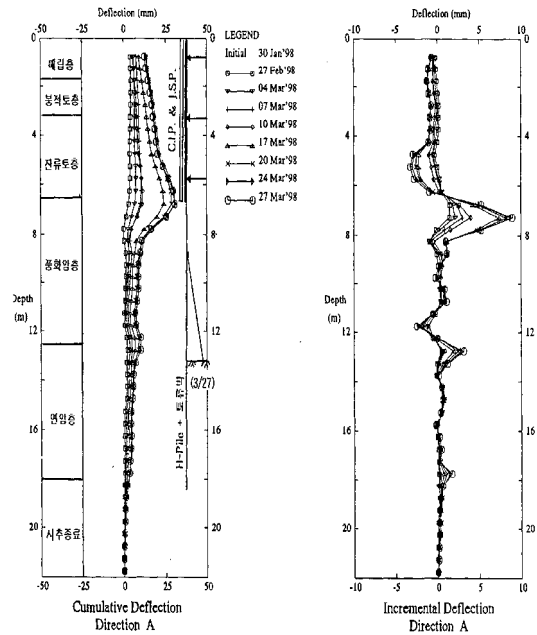


Fig. 1 주열식 벽체구간 변형사례

## 2. 기존 지중경사의 변화 분석이론

### 2.1 주열식 벽체구간 지반변형 특성

C.I.P(Cast in Place Pile), S.C.W(Soil Cement Mixing Wall), J.S.P(Jumbo Special Pattern), Micro Pile 등 주열식 벽체 시공구간에서 주열식 벽체 배면에 설치된 지중경사계 증가변형 그래프 형태는 Fig.1과 같이 회전변형 특성, 강성변화부에서 변형급증 특성을 일반적으로 나타내며 과굴착, 지하수위 저하 및 토립자 유출현상이 변형량을 증가시키는데 기여하는 것으로 나타나고 있다.

### 2.2 지층경계부 변형특성

굴착진행시 지층경계부에서의 움직임이 나타나는 사례로 지중경사계 증가변형 그래프의 형태는 Fig.2와 같이 나타나며 지층경계부의 움직임이 지표로 연결될 때에는 지표면에서의 인장 균열이 발생하며 영향권 안에 건물이 위치할 경우에는 건물의 손상이 나타나게 된다.

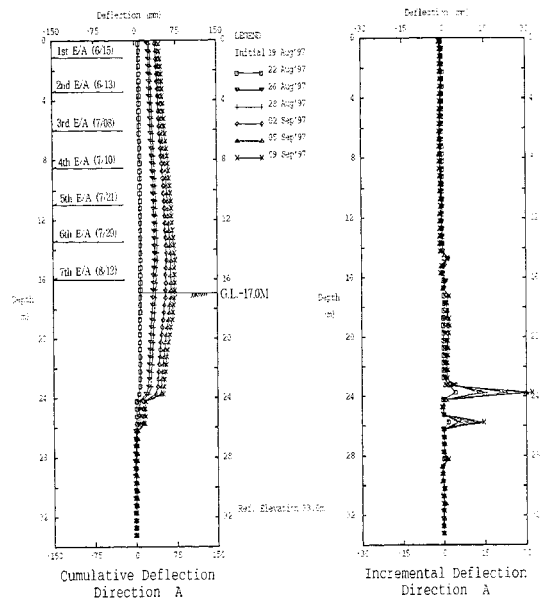


Fig. 2 지층경계부 변형사례

2.3 토립자 유출 변형특성

투수성이 큰 토사지반에서 굴착진전에 따라 수위가 저하될 때 토립자 유실이 동반되는 사례로 지중경사계 증가변형 그래프의 형태는 그림 Fig.3과 같이 나타나며 이 경우 인접구조물에서의 피해사례가 많이 나타나고 있다. 인접구조물의 기초형태를 포함한 기하구조, 원지반의 다짐 및 공극특성에 따라 피해특성이 달라진다.

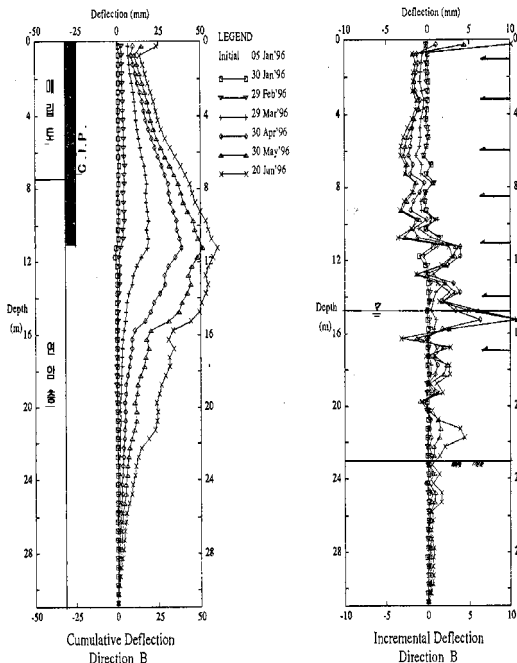


Fig. 3 토립자 유출 변형사례

2.4 지중경사와 수위 변화의 상관성

수위저하 구간에서 Fig.4와 같이 지중경사계 증가변형 그래프의 변형 급증과 함께 상부구간에서도 이에 따른 후속변형이 나타날 때는 토류벽체 배면에 공극이 크게 발생하는 상황이 생길 수 있다.

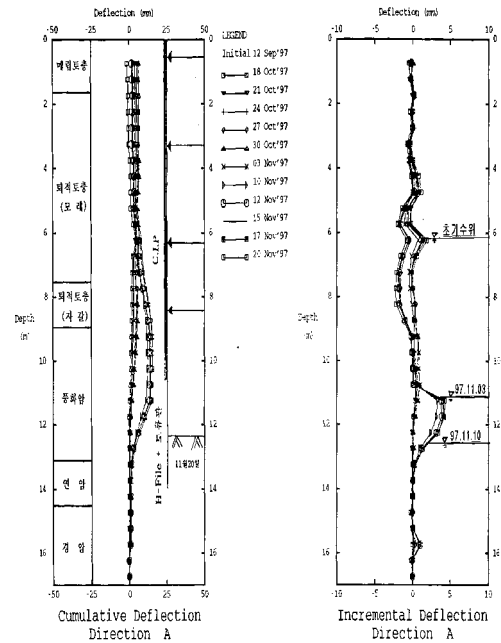


Fig. 4 수위저하와 연계된 변형사례

2.5 버팀보 해체시 경사계 변형 특성

굴착공사에서 버팀보 해체시에는 버팀보가 담당하는 토압범위 안에서 지반변형이 발생하는데 지중경사계 증가변형 그래프의 변형 형태는 Fig.5와 같으며 기굴착과정에서 변형량이 많았던 구간은 특히 주의를 요한다.

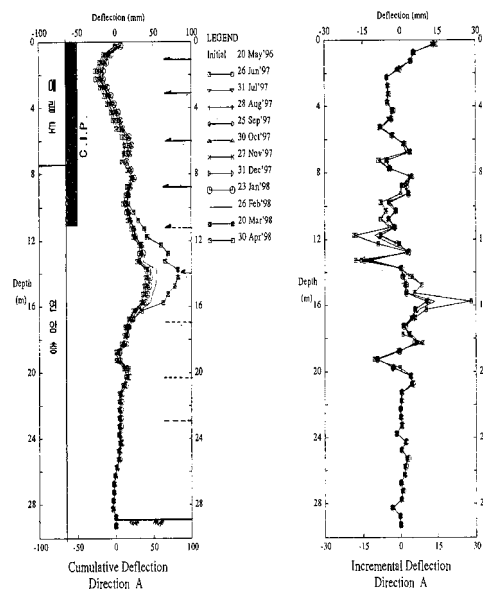


Fig. 5 버팀보 해체시 변형사례

2.6 경사계 설치후 인접시공에 따른 변형 특성

경사계 설치지점과 인접부에서 추가 계측기 설치를 위한 천공작업 또는 기존 지하철 공사 완료구간 인접부에서 경사계 및 타 보조공법 병행 후 그라우트재의 충분한 양생기간이 확보되지 못한 상태에서 굴착 및 네일 등의 시공이 이루어질 때 지반조건에 따라 교란지반의 안정화과정에서 Fig.6과 같이 지반 변형이 발생할 수 있다.

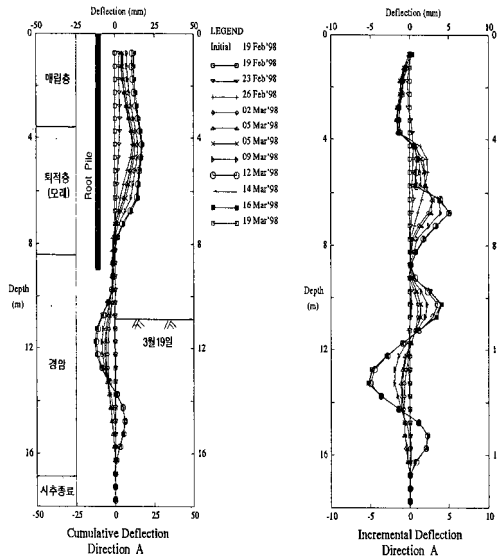


Fig. 6 경사계인접시공에 따른 변형사례

상기에서 언급한 경사계 변형은 단독으로 나타나기도 하지만 복합적으로 나타나는 것이 일반적이다.

3. 실험현장의 개요

Table. 1 사례 현장의 개요

토류공법	H-Pile + C.I.P 와 H-Pile + 토류판공법
지지공법	STRUT에 의한 지지공법
지반보강 및 차수공법	Micro Pile공법과 L.W Grouting, Cap Con'c, Cement Mortar공법
지반상태	토사층이 심도 1.0~1.5m로 비교적 얇게 분포하고 그 하부는 암반층이 형성

4. 계측결과 및 분석

4.1 지중경사

실험현장의 각 지점별 최대 지중경사변위와 발생 심도는 Table.2와 같이 나타났으며 Fig.8 과 Fig.9는 각 지점 중 그 변화형태가 큰 제3 지점과 제4지점의 지중경사 변화형태를 나타 낸 것이다.

Table. 2 각 지점별 최대 지중경사변위와 발생심도

설치 번호	발생심도 (m)	최대변위 (mm)	설치깊이 (m)	설치 위치
I-1	-21.0	0.838	25	그림 3.1 참조
I-2	-22.5	1.238		
I-3	-12.0	-16.725		
I-4	-4.50	-4.988		

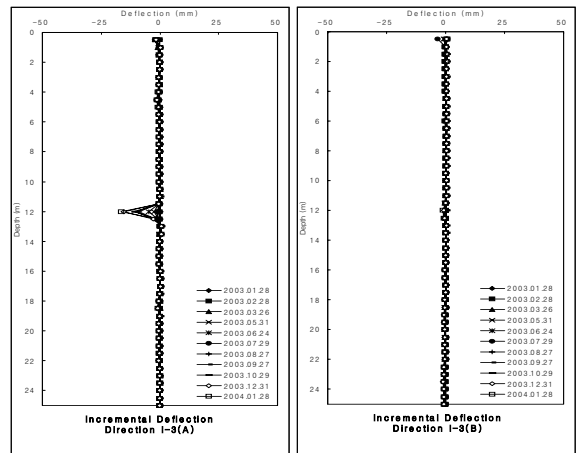


Fig.8 제3지점 지중경사변화 형태

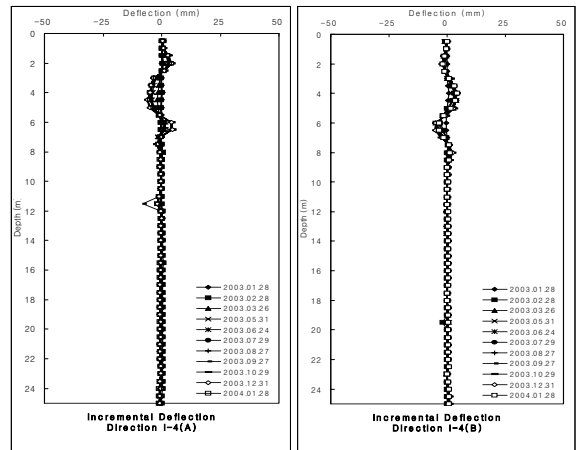


Fig. 9 제4지점 지중경사변화 형태

실험현장의 제1지점의 지중경사계는 시공 중인 대구지하철2호선의 가시설 벽체와 4m~12m 이격된 지점에 위치한 것으로 초기굴착당시의 우려와는 달리 별다른 변화 형태를 보이지 않았으며 지상8층 지하1층의 기독한방병원과 인접하여 설치된 실험현장의 제2지점의 지중경사계 또한 변화 없이 초기값을 유지하고 있음을 알 수 있다.

이와는 달리 실험현장의 제3지점과 제4지점의 지중경사계는 수평변위가 허용범위 내에서 지중경사계의 일반적 변화형태를 갖고 있다. 여기서 제3지점은 Fig.8에 나타난 것과 같이 암반 경계부인 12m지점에서 최대변위 -16.725mm의 변위가 발생하였다. 이는 기존 지중경사의 변화분석 이론에서의 Fig.2 지층 경계부의 변형에 따른 변화와 유사함을 알 수 있다. 또 제4지점은 Fig.9에서와 같이 굴착공사가 심층부로 진행되면서 수평변위의 변화형태는 초기 굴착단계에서 발생한 수평변위 값을 수렴하고 있으며 초기굴착단계에서의 심도 1.5m에서 6.5m까지의 변화형태는 Fig.6 경사계 인접부 시공에 따른 변화 형태와 유사하게 나타났다.

Table. 3 인접구조물의 최종 기울기 변화

위 치	설치번호	허용범위	경 사 각
기독한방병원	T-1	1/500 (6' 53")	-0.0493 (-2' 57.48")
	T-2	1/500 (6' 53")	0.0069 (24.84")
	T-8	1/500 (6' 53")	-0.0092 (-33.12")
단독 및 연립주택	T-3	1/500 (6' 53")	0.0011 (3.69")
	T-4	1/500 (6' 53")	0.0321 (1' 55.56")
	T-5	1/500 (6' 53")	-0.0310 (-1' 56.16")
	T-6	1/500 (6' 53")	-0.0906 (-5' 26.16")
	T-7	1/500 (6' 53")	-0.0757 (-4' 32.52")

#### 4.2 인접구조물의 기울기

실험현장 주변 인접구조물의 최종 기울기의 변화량은 Table. 3과 같고 Fig. 10과 Fig. 11은 여러 기울기 측정값 중 다소 큰 변화값을 보인 지점의 측정값을 시간에 따른 변화값의 그래프로 나타낸 것이다.

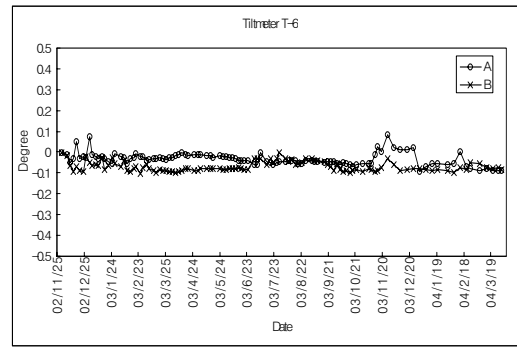


Fig. 10 제6지점 인접구조물의 기울기변화 형태(T-6)

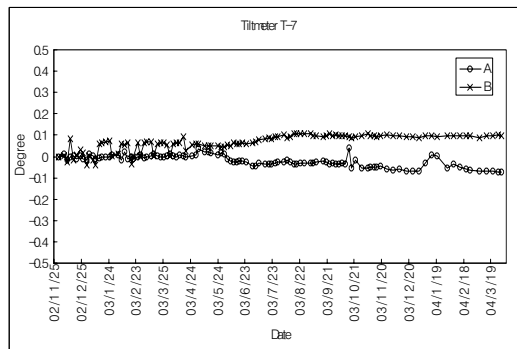


Fig. 11 제7지점 인접구조물의 기울기변화 형태(T-6)

여기서 제1지점, 제2지점 그리고 제8지점은 현장과 인접한 기독한방병원의 옥상과 1층 바닥, 그리고 외부 벽면 하부에 측정판을 설치하여 측정 하였으며, 제3지점에서 제7지점까지는 인접구조물의 벽체에 측정판을 설치하여 측정 하였다.

굴착 초기단계에서의 우려와는 달리 제1지점, 제2지점 그리고 제8지점의 구조물의 기울기 측정값은 초기 측정값과 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 구조물의 기초가 암반층에 위치한 것에 다소 큰 영향을 받은 것으로 판단된다.

제3지점, 제4지점, 제5지점 그리고 제7지점

구조물의 기울기 측정값은 일부 구간에서 초기측정값을 중심으로 압축과 인장을 반복하고 있지만 전반적인 그래프의 형태로 볼 때 안정된 상태를 보이고 있음을 알 수 있다.

이와 달리 제6지점에서는 구조물의 기울기 측정값이 허용범위 안에는 있지만 굴착공사가 진행됨에 따라 지속적으로 증가하였으며 굴착심도가 최고심도인 23.05~24.75m에 가까워지면서 구조물의 기울기 측정값이 수렴상태로 지속되었다.

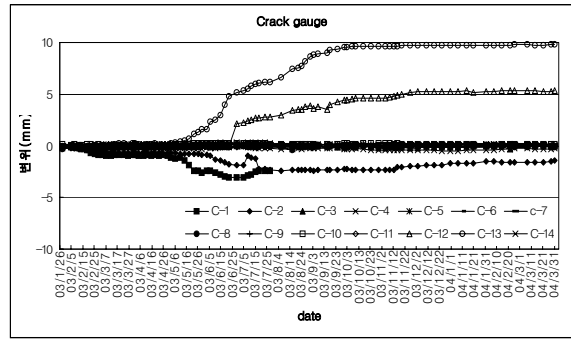


Fig. 12 인접 구조물의 균열변화 형태

4.3 인접 구조물의 균열

주변 인접구조물의 최종 균열폭의 변위값은 Table.4와 같이 나타났으며 또 측정 자료를 시간에 따른 균열폭의 변화 그래프로 나타낸 것은 Fig.12와 같다.

Fig.12에서 보는바와 같이 균열폭의 변위값이 큰 C-12와 C-13은 조적식 단독주택 구조물에 설치된 것으로써 굴착공사가 본격화되고 굴착심도가 깊어짐에 따라 균열폭의 급격한 변화를 보여 이를 억제하기 위하여 벽체보강을 하였으며 이후 균열폭의 변위값은 점차 수렴하여 안정된 상태를 보였다. 나머지 지점에서의 균열폭의 변위값은 허용범위 내에서 안정된 상태를 보였다.

C-13의 최종 균열폭의 변위값이 9.8mm로 측정 되었으며 이는 공사 완료후 벽돌공에 의한 보수가 필요하다.

Table. 4 인접구조물의 최종 균열폭

설치 번호	초기값 (mm)	최종측정값 (mm)	최종변위폭 (mm)
C-1	86.35	83.95	-2.4
C-2	122.50	121.05	-1.45
C-3	150.85	150.85	0
C-4	67.75	67.75	0
C-5	69.60	69.65	0.05
C-6	65.80	65.80	0
C-7	64.25	64.40	0.15
C-8	70.45	70.35	-0.1
C-9	58.20	58.20	0
C-10	59.05	59.20	0.15
C-11	56.85	56.85	0
C-12	89.55	94.85	5.3
C-13	74.50	84.30	9.8
C-14	71.25	71.00	-0.25

4.4 지하수위

지하수위는 굴착된 상태에서 동수경사에 의해서 수위하강에 따른 침투압이 발생될 뿐만 아니라 수위변화에 따른 지반침하를 유발한다. 이러한 원인은 간극내 수위가 하강하면서 침하를 일으키는 원인이 된다.

굴착공사가 완료상태인 현재의 지하수위 변화량은 Table.5와 같으며 측정 자료를 시간에 따른 변화형태로 나타낸 것이 Fig.13이다.

굴착공사가 진행됨에 따라서 일부 구간에서는 지하수위의 하강 또는 상승을 보였지만 전체적으로 하강곡선을 그리고 있다. 굴착 심도가 최고심도 23.05~24.75m에 가까워지면서 지하수위는 일정 수위에서 수렴해감을 볼 수 있다.

Table. 5 각 지점별 최종 지하수위 단위(m)

설치 번호	초기 수위	최종 수위	변화량	설치깊이
W-1	-10.598	-15.668	-5.07	25
W-2	-5.128	-15.818	-10.69	
W-3	-3.808	-12.618	-8.81	
W-4	-3.888	-13.778	-9.89	

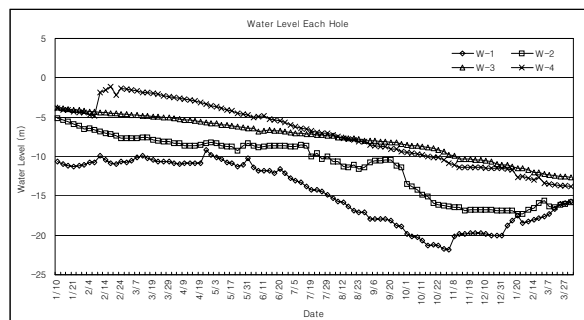


Fig. 13 지하수위변화 형태

4.5 버팀보 변형률

변형률 측정에 사용된 변형률측정센서는 굴착공사 진행과정에 맞추어 설치된 각 단별 버팀보에 설치 측정하였으며 측정값을 Fig.14와 같이 시간에 따른 변화형태로 나타내었다. S-4번을 제외하면 허용범위 내에서 큰 변화를 보이지 않고 안정화된 형태를 볼 수 있다.

S-4번은 최대 변화 값으로  $-1308.9\text{kg/cm}^2$ 을 나타내었다가 점차  $-1018.08\text{kg/cm}^2$ 에 수렴해감을 볼 수 있다.

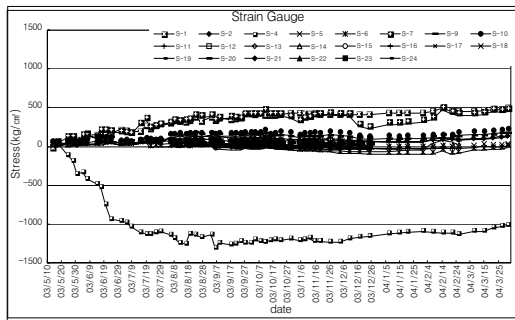


Fig. 14 버팀보 변형률변화 형태

5. 결 론

본 연구는 실험현장의 굴착시공에 따른 지중경사변화, 인접구조물의 기울기 및 균열, 지하수위의 변화, 버팀보의 변형률을 측정하고 그 자료를 정리하여 지반 및 주변 구조물의 거동양상을 분석, 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 지중경사 측정결과 기존 지중경사의 변화 분석 이론 중 재3지점은 지층 경계부의 변형에 따른 변화와 유사하였고 재4지점은 인접부 시공에 따른 변화와 유사하였다. 그리고 모든 지점에서 허용범위 내에서 소량의 변화를 보였는데 이는 현장의 굴착심도가 23.05m~24.75m인 것에 비해 토사층의 두께가 1.0m~1.5m로 토사층 밑으로는 암반층이 존재하여 굴착깊이에 따른 지중경사의 변화량을 억제하는데 큰 역할을 한 것으로 판단된다.
- (2) 인접구조물의 기울기 및 균열을 측정할 결

과 굴착시공 초기단계에서 염려했던 병원건물의 변화량은 허용범위 내에서 작은 변화를 보인 반면 단독주택에서는 허용 범위 내에서 다소 큰 변화를 보였다. 이는 병원건물이 철근콘크리트 구조물로 그 기초가 암반에 위치하는 것과는 달리 단독주택의 경우 토사층위에 위치한 조적식구조물이기 때문으로 판단된다.

- (3) 지하수위 변화는 주변지반 및 인접구조물의 거동에 큰 영향을 주지 않았다. 이는 실험현장내 지하수위가 토사층이 아닌 암반층에 형성되어 있어 지하수에 의한 흠막이 벽체 배면수압은 거의 작용하지 않은 것으로 판단된다.
- (4) 버팀보의 변형률은 측정자료를 분석 및 고찰한 결과 허용범위를 벗어나지 않았다. 이는 본 실험현장에 적합한 주변 지반의 벽체 보강에 의한 것으로 사료 된다.

본 연구는 실험모델로 선정된 실험현장과 같이 암반을 포함한 다층 지반에서의 깊은 굴착공사시 계측관리 기준치정립과 계측수행의 확립 및 정보화시공에 많은 도움이 될 것으로 사료된다.

참고문헌

- 1) 김두준 : 토류벽설계와 계측. 세론, 서울, (1998)
- 2) 김성욱, 김봉주 : 경사계의 전반적 고찰과 굴착공사에서의 변형분석 사례연구. 한국지반공학회 '98 가을 학술발표회 논문집, 233-240, (1998)
- 3) 박기태 : 인접굴착에 의한 토류벽체와 인접구조물의 상호 변형 영향. 서울대학교 대학원 석사학위논문, (1996)
- 4) 이은수, 남순성, 이승호 : 토목건축 현장계측계획. 탐구문화사, 서울, (1994)
- 5) 임희대, 박수용, 고근식 : 도심지 지반굴착으로 인한 주변 지반의 침하예측. 대한토목공학회 논문집, 21, 39-47, (2001)

- 6) 전용백, 광수정, 신기혁 : 현장계측에 의한 다층지반의 거동예측. 대한토목학회 1993년 학술발표회 개요집, 515-518, (1993)
- 7) Caspe, M. S : Surface settlement adjacent to braced open cuts. Journal of the Soil Mechanics and Foundation Engineering, ASCE, vol.92, SM4, 495-546, (1966)
- 8) Edward, J. Ulrich : Internally braced cuts in overconsolidated soils. journal of geotechnical engineering, ASCE, Vol.115, No.4, April, 504-519, (1989)
- 9) Lambe, T, W.,& Whitman, R. V : Soil mechanics. SI Version, John Wiley & Sons Inc, (1986)
- 10) Peck, R. B : Deep excavation and tunneling in soft ground. 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico, state of the art, vol4, 225-290, (1969)

---

(2005년 5월 25일 접수, 2005년 8월 20일 채택)