

## 안전한 건설공사를 위한 계측정보 활용

정대석\*/김춘호\*\*

### 요 약

최근 대규모 구조물 건설공사가 많이 진행되고 있으며 이에 따른 크고 작은 피해가 유발된다. 설계에서 예측한 지반의 거동과 실제 굴착할 때 지반의 거동과의 차이가 발생되면 피해가 발생하는 경우가 많다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 건설공사 현장에서 계측기를 설치하여 수집되는 정보를 분석함으로써 구조물과 지반의 거동을 예측하고 위험요소를 제거할 수 있음을 확인하고, 또한 향후 유사공법을 적용하여 시공할 때 지반 공학적인 측면에서 계측된 정보를 제공하고자 하였다.

## I. 서론

최근 산업발달과 인구증가로 인해 구조물 건설공사는 점차 정밀화 대형화가 되고 있으며 안전한 구조물을 건설하기 위해 설계 및 시공 분야에 새로운 공법이 도입되고 있다. 그러나 합리적이고 안전한 구조물을 설계하고 시공하기 위해서는 설계시 사용되는 재료의 불확실한 물성치와 실제 시공시 재료의 물성치의 불일치로 인하여 시공이 진행되는 동안 구조물이나 기초 지반의 거동에 차이가 발생하는 문제들을 해결하는 것이 선행과제이다. 그러므로 이러한 문제를 해결하기 위한 방법중 하나로 본 연구에서는 현장 신축 굴토공사중 토류벽체 및 인접지반의 거동에 관한 정보를 계측 및 분석하여 배면지반 및 인접구조물의 향후 거동을 미리 예측하여 다음 단계의 시공에 반영하며, 차후 유사한 공법

을 적용할 때 지반공학적인 측면에서 계측정보를 제공하는데 그 목적이 있다.

## II. 계측

굴착공사에 따른 토류구조물 및 인접 건물에 미치는 영향을 판단하기 위하여 현장내 경사계 7개소, 수위계 4개소, 하중계 13개소, 건물경사계 5개소, 지표침하계 20개소를 설치하여 계측완료 시까지 공사 상황에 따라 계측 항목별로 정리하여 정보를 비교 분석하였다.

### 2.1 계측기기

흙막이 구조체의 안전여부의 판단과 주변지반과 인접 구조물에 대한 영향을 파악하기 위한 정보를 수집하기 위한 목적으로 다음과 같은 계측장비를 각각 설치하였다.

\* 중부대학교 건설공학부 조교수

\*\* 중부대학교 건설공학부 전임강사

굴착에 따른 벽체의 수평변위를 측정하여 지반이완 여부를 판단할 수 있는 경사계 7개 측정점, 지하수위 변화를 측정하여 각종 계측자료에 이용함으로써 지하수위의 변화원인 분석 및 관련 대책을 수립하기 위한 수위계 4개 측정점, 토류 구조물의 각부재와 인근 구조물의 각지점 및 타설콘크리트 등의 응력변화를 측정하여 변형 파악 및 대책수립을 위한 하중계 13개 측정점, 주변 건물, 인근 주요 구조물에 설치하여 구조물의 경사 및 변형을 계측하여 안전진단에 활용할 수 있는 건물경사계 5개 측정점, 굴착 및 배수에 따른 주변지반의 침하량 및 침하범위를 파악할 수 있는 지표침하계를 20개 측정점에 설치하였다.

## 2.2. 계측위치 선정

현장계측은 가장 큰 변위와 응력이 작용할 것으로 추정되어 지는 부위에 측정 가능한 계측기를 중점으로 선정 배치하였다. 나아가 안전성을 확인할 수 있도록 합리적이고 경제적인 측면에서 토류구조물 및 배면지반의 거동을 대표할 수 있는 최소한의 측정점을 설치하여 계측하였다.

## III. 계측결과

### 3.1. 경사계

경사계는 굴착에 따른 배면 토류벽의 수평변위를 측정하여 지반의 이완 여부를 판단하는 기기로써 당 현장의 굴토 진행시 각 과정의 토류벽 수평변위량을 주간별로 측정된 결과는 <표 1>과 같다.

공사시점부터 종료시까지 전반적인 변위 진행

상태를 살펴보면 초기에는 굴착에 따른 증가양상을 나타냈으며, 굴착 완료후 되메우기 작업이 이루어지면서 전반적으로 지반이 안정적인 추세로 진행되는 것으로 나타났다. 특히 현장내 옹벽구간에 설치한 경사계 IC-3번과 4번홀에서는 최대 누계변위가 22.19mm와 21.10mm로 관리기준치( $\delta=13.33\text{mm}$ )를 상회하는 값으로 나타났는데 그 원인은 연약한 표토층이 해빙기에 용해되어 배면지반이 이완되었고, E/Anchor 설치시 천공작업 및 토류벽체를 통한 누수와 토사유출이 원인이었던 것으로 판단되어 현장의 재빠른 방수포설치와 레미콘 타설로 지반 보강조치와 시공속도 관리가 적절히 이루어져 계측종료 시까지 굴토 공사로 인한 인접건물 및 주변도로에 별다른 이상 없이 공사를 완료할 수 있었다.

### 3.2. 지하수위계

수위계는 지하 수위변화를 실측하여 각종 계측자료에 이용하고, 지하수위의 변화 원인분석 및 관련대책을 수립하기 위하여 설치하였다.

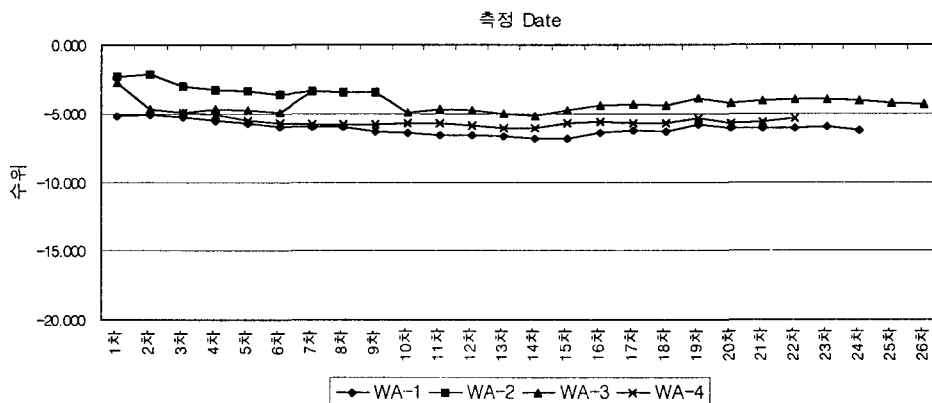
당 현장에는 4개의 홀을 설치하여 계측하였으며 지하수위의 변화는 (그림 1)과 같다.

굴토공사 실시전 지반조사에 의하면 당 현장의 지하수는 G.L.(-)4.2m~8.3m에 분포하고 있는 것으로 나타났으나 공사시점의 초기수위가 G.L.(-)2.3m~5.2m로 지반조사시 보다 높게 측정되었는데, 이는 본격적인 굴착공사가 실시되기 전에 표토제거 및 1차 부지정리 및 배면측 사면처리 작업에 따라 지하수위 측정위치의 차이가 발생된 것으로 판단된다. 현장내 수위변화는 개수성인 흙막이 벽체에 따른 굴착공사가 진행됨에 따라 자연적인 수위저하를 보였고, 굴토공사 완료시 G.L.(-)4.3m~6.2m로 초기치에 비해 0.5m~1.5m가 저하된 것으로 계측되었다.

〈표 1〉 경사계 계측결과 요약

Hole No.	IC-1		IC-2		IC-3		IC-4		IC-5		IC-6		IC-7	
최종굴착깊이(GL-m)	5.50		4.00		4.00		4.00		4.00		6.50		5.50	
지보재설치단수	E/A 2단		E/A 1단		E/A 1단		E/A 1단		E/A 1단		E/A 2단		E/A 2단	
측정일	최대 변위	발생 지점	최대 변위	발생 지점	최대 변위	발생 지점	최대 변위	발생 지점	최대 변위	발생 지점	최대 변위	발생 지점	최대 변위	발생 지점
1차(1.13)	초기치		초기치		초기치		초기치		초기치					
2차(1.18)	1.96	0.5m	-0.17	1.5m	1.31	0.5m	1.19	0.5m	-0.13	1.0m				
3차(1.25)	4.07	0.5m	5.6	1.0m	8.51	0.5m	6.73	0.5m	2.94	0.5m	초기치		초기치	
4차(1.28)	19.35	0.5m	5.71	1.0m	10.28	0.5m	8.88	0.5m	5.47	0.5m	-0.89	0.5m	-4.86	0.5m
5차(2.01)	20.5	0.5m	7.87	0.5m	11.56	0.5m	11.15	0.5m	8.42	0.5m	2.19	1.0m	-7.59	0.5m
6차(2.04)	21.53	0.5m	9.93	0.5m	12.4	0.5m	13.21	0.5m	10.45	0.5m	3.07	1.0m	-6.73	0.5m
7차(2.08)	22.19	0.5m	8.72	0.5m	12.79	0.5m	16.27	0.5m	13.43	0.5m	8.07	1.0m	-4.92	0.5m
8차(2.11)	22.35	0.5m	8.49	0.5m	12.87	0.5m	18.27	0.5m	15.44	0.5m	11.11	1.0m	-5.03	0.5m
9차(2.22)	20.85	0.5m	8.88	0.5m	13.53	0.5m	17.8	0.5m	15.49	0.5m	15.58	0.5m	-5.11	1.5m
10차(3.02)	20.67	0.5m			14.59	0.5m	15.91	0.5m	15.42	0.5m	14.43	0.5m	-5.17	1.5m
11차(3.08)	19.89	0.5m			14.6	0.5m	16.31	0.5m	15.47	0.5m	14.83	0.5m	-4.09	1.5m
12차(3.15)	19.89	0.5m			16.06	0.5m	16.61	0.5m	15.43	0.5m	14.97	0.5m	-4.2	1.5m
13차(3.22)	20.08	0.5m			18.24	0.5m	17.46	0.5m	15.5	0.5m	14.38	0.5m	-3.96	1.5m
14차(3.29)	19.72	0.5m			20.03	0.5m	18.12	0.5m	15.43	0.5m	15.38	0.5m	-3.75	1.5m
15차(4.06)	20.37	0.5m			21.47	0.5m	18.88	0.5m	15.46	0.5m	14.71	0.5m	-2.73	1.5m
16차(4.12)	21.04	0.5m			22.19	0.5m	19.08	0.5m	15.5	0.5m	15.06	0.5m	2.56	5.0m
17차(4.19)	20.07	0.5m			21.48	0.5m	20.15	0.5m	15.03	0.5m	15.01	0.5m	2.6	5.0m
18차(4.26)	20.15	0.5m					20.12	0.5m	15.9	0.5m	14.4	0.5m	2.48	5.0m
19차(5.03)	20.32	0.5m					20.58	0.5m	15.79	0.5m	14.82	0.5m	2.74	4.0m
20차(5.10)	20.53	0.5m					21.07	0.5m	15.73	0.5m	16.17	0.5m	3.04	5.0m
21차(5.17)	19.97	0.5m					21.1	0.5m	15.67	0.5m	16.61	0.5m	3.1	5.0m
22차(5.24)	20.28	0.5m					20.93	0.5m	15.76	0.5m	15.89	0.5m		
23차(5.31)	20.96	0.5m					21.03	0.5m	15.79	0.5m	15.94	0.5m		
24차(6.07)	20.64	0.5m					20.74	0.5m	15.73	0.5m				
25차(5.31)							20.62	0.5m	15.59	0.5m				
26차(6.07)							20.59	0.5m	15.52	0.5m				

수위변화도



(그림 1) 지하수위의 변화

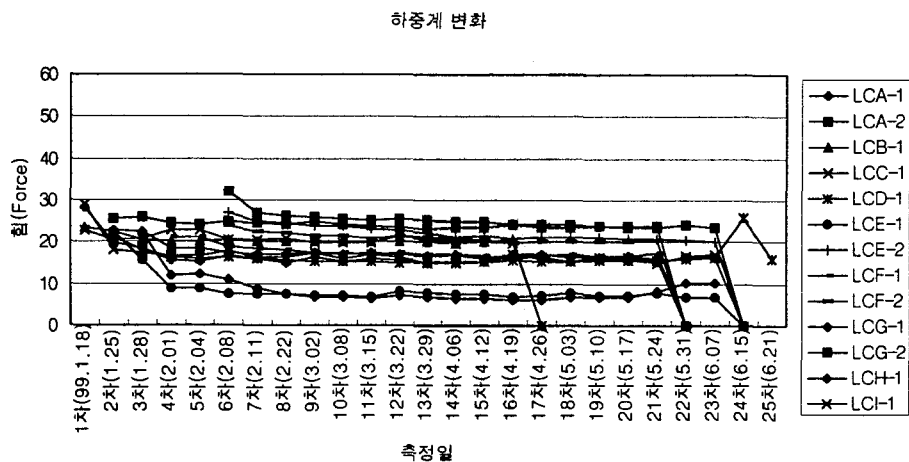
### 3.3. 하중계

하중계는 E/Anchor의 하중과 인장력을 측정하여 설계하중 및 인장력을 비교 판단함으로써 토류벽과 앵커체의 안전성을 판단하기 위한 목적으로 계측하였으며 결과는 (그림 2)와 같다.

사용토록 하였다.

### 3.4. 건물경사계

건물경사계는 현장에 인접한 건물 및 구조물에 설치하여 구조물의 경사 및 변형 상태를 측



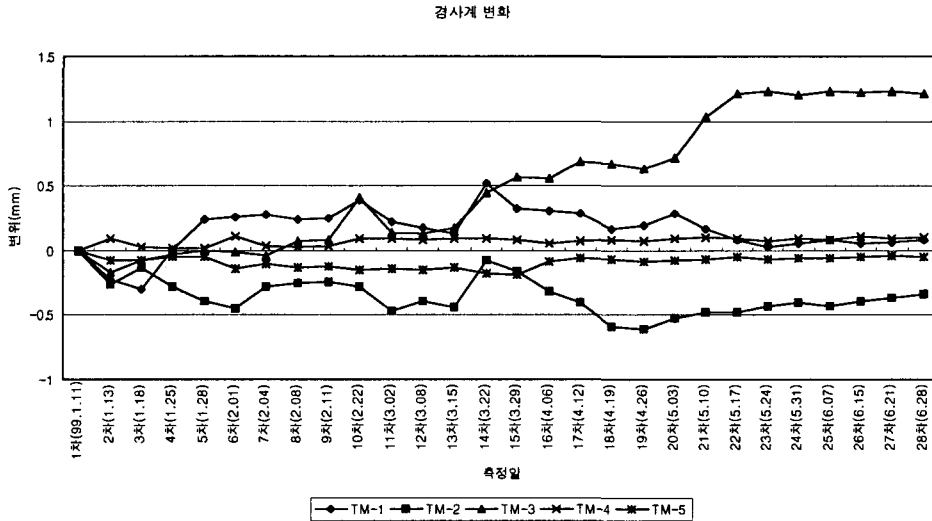
(그림 2) 하중계 변화

굴착공사가 실시되면서 경사계 설치 구간과 동일선상에 설치하여 E/Anchor 해체 완료시까지 주기적인 계측을 실시한 결과 최대하중은 20.99~31.90 ton으로 측정되었으며, 종료시점까지 하중변화는 -2.54~-16.15 ton으로 하중감소가 나타났다.

하중감소 원인은 정착부와 인접지반의 미끌어짐과 배면지반의 이완에 따라 마찰저항이 감소되었고, 토류벽체와 E/Anchor 정착부 사이에 놓인 원지반의 압축 및 Anchor Strand 응력이완에 의해 하중감소가 발생한 것으로 판단되었으며 지속적으로 집중관리를 통하여 계측종료시까지 계측정보를 관리하여 시공관리에 참고자료로

정하였으며 그 구조물의 안전진단에 계측정보를 활용하였다. 측정결과는 (그림 3)과 같다.

건물경사계는 현장 외곽의 옹벽과 인접한 공장건물 5개소에 설치하여 계측한 결과 최대 발생변위가 0.1mm~1.23mm로 나타났다. 특히 현장 외곽의 옹벽구간에 설치했던 TM-3번은 최대발생변위가 1.23mm로 측정되었고 타 구간에 비해서 변위가 증가하는 양상을 보였으나, 관리기준치( $\delta=1.667\text{mm}$ )이내로서 옹벽구조물에서 이상변형은 발생하지 않은 것으로 나타났다. 이외 다른구간에서는 굴토공사시 지중수평변위로 나타날 수 있는 일반적인 변위를 나타냈으며, 구조물의 안전한계치 1/500과 외관상 첫 균열이



(그림 3) 경사계 변화

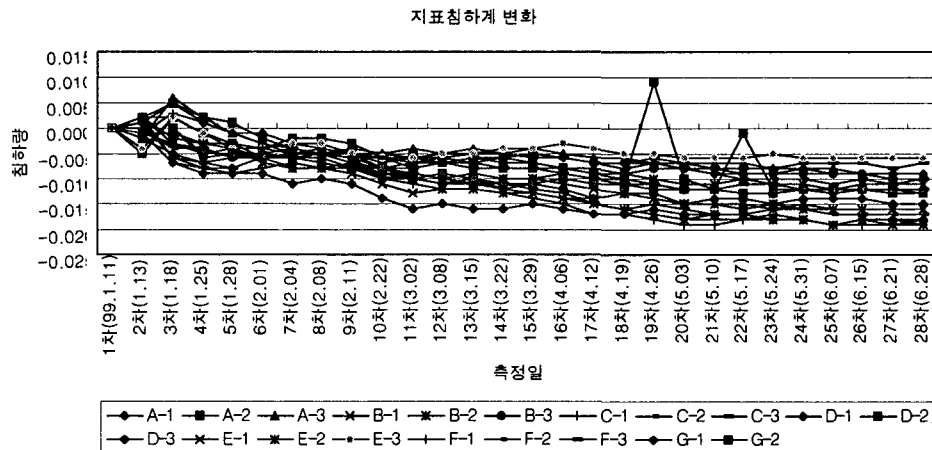
예상되는 한계 1/300 이내로 공사 종료시까지 안정적인 시공이 이루어진 것으로 사료된다.

### 3.5. 지표침하계

지표침하의 측정은 시공중에 발생될 수 있는 현장 주위 지반과 구조물의 부등침하 정도 및

속도를 신속히 파악하여 그 보강대책을 수립하거나 안정을 확인하는 정보로 사용하는 매우 중요한 계측항목이 된다. 현장에 설치한 지표침하계의 변화는 그림 5와 같다.

실측한 침하량이 인접도로 및 매설물 등의 각종 구조물에 미쳤던 영향을 비교검토한 결과 아래 표 2와 같으며, 부등침하량 및 허용침하량



(그림 4) 침하계 변화

모두 관리 기준값 이내로 분석되었으며 공사기간내 굴착공사로 인한 인접도로 및 구조물에는 큰 영향을 미치지 않은 것으로 판단되었다.

조치를 실시함으로써 공사종료까지 안정된 시공이 이루어질 수 있었음을 확인할 수 있다.

그러므로 합리적이고 안전한 구조물을 설계하

〈표 2〉 인접도로 구조물 분석 및 결과

구간	인접 구조물	이격거리(m)		침하량(cm)		부등침하량(cm)	최대침하량(cm)	판정	
		시작점	종점	시작점	종점			부등침하량	최대침하량
A	25m 도로	4.00	29.00	1.50	0.90	0.60	1.50	O.K	O.K
B	25m 도로	4.00	29.00	1.90	1.00	0.90	1.90	O.K	O.K
C	25m 도로	4.00	29.00	1.80	0.70	1.10	1.80	O.K	O.K
D	25m 도로	4.00	29.00	1.80	0.90	0.90	1.80	O.K	O.K
E	10m 도로	3.00	13.00	1.60	0.60	1.00	1.60	O.K	O.K
F	10m 도로	10.00	20.00	1.90	1.20	0.70	1.90	O.K	O.K

#### IV. 결론

공사초기 굴착공사 진행중 비교적 원지반이 연약한 상태에서 우천으로 인하여 배면지반에 지표수가 유입되고 해빙에 의한 지반의 물리적 변화에 따라 지내력이 약화됨으로써 10.0m도로와 25.0m도로에서 미소한 균열이 발생되었다. 또한 현장외곽에 기 설치된 옹벽구간의 토류벽체에서 누수에 따른 토사유출로 일부구간에서 침하가 나타났으며 동일한 구간에 설치된 경사계와 건물경사계의 변위 또한 증가하였다. 그러나 재빠른 방수포설치와 레미콘 타설로 지반보강 및 현장내 지표수 유입을 억제하였으며, 또한 시공속도 완급조절 및 굴착후 조속한 지하구조물 시공과 되메우기 작업을 실시하여 예상되는 위험요소를 사전에 제거함으로써 차츰 안정을 회복할 수 있었다.

굴착 진행중 현장의 지반특성과 주변여건에 의하여 일부구간에서 이상변위가 발생되었으나 계측정보를 활용하여 적절한 사전대응 및 보강

조치를 실시하기 위해서는 시공이 진행되는 동안 구조물이나 기초 지반의 거동이 설계시 예측한 거동과 차이가 발생하는 문제들을 해결하기 위해서는 현장 신축굴토공사중 토류벽체 및 인접지반의 거동을 계측하고 정보를 분석하여 배면지반 및 인접구조물의 향후 거동을 미리 예측하여 다음 단계의 시공에 반영함으로써 해결할 수 있었으며 차후 유사한 공법을 적용할 때 토질공학적인 측면에서 계측정보를 제공할 수 있다.

#### 참고문헌

- Bowles, J.E. "Foundation Analysis and Design", 4th Ed., MGH, 1998
- Caspe, H.S. "Surface Settlement Adjacent to Braced Open Cuts", JSMFD, ASCE, Vol. 92, SM. 4 1996, pp51~59
- Clough, G. W. and O' Rourke, T. D., "Construction Induced Movements of Insitu

Walls", Design and Performance of Earth Retaining Structures, 1990.

건설교통부, "지하굴착공사 안전관리 편람", (재) 한국건설안전기술원, 1996.

건설교통부, "구조물기초 설계기준", 기술경영사, 1997.

오정환, "도심지 지하굴착시 인접지반 거동에 대한 분석", 한국지반공학회, 봄학술발표회 논문집, 1998.

한국지반공학회, "개착식 지반굴착에 따른 흠막 이벽의 해석기법", (주)신한, 1995.

한국지반공학회, "굴착 및 흠막이공법", 지반공학시리즈3, 1997.

---

## A Study on the Using Information of Measuring Data for Safe Construction

Dea-Suk, Chung\*/Chun-Ho, Kim\*\*

### Abstract

Recently, many large structures have been constructed so it has been occurred small or big problem. One of problems in a safe construction is that behavior of underground is different between design and construction. Therefore, the purposes this study are that set up measuring equipments in the site of construction and analyze information of measuring data for removing this problem, and measuring data use for similar method of construction in the engineering of ground.

---

\* School of Construction Engineering, Joongbu University

\*\* School of Construction Engineering, Joongbu University