

## 지반굴착공에서 계측 Data 정리 및 활용방안

장찬수<sup>1)</sup> Jang, Chan Soo, 주재건<sup>2)</sup> Choo, Jae Keon, 김동준<sup>2)</sup> Kim, Dong Jun

<sup>1)</sup> (주) 천일지오컨설턴트 대표이사, 토질 및 기초 기술사, President, P.E Soi mechanics and Foundation eng., Chunil Geo-Consultants Co., Ltd.

<sup>2)</sup> (주) 다산컨설턴트 부사장, 토질 및 기초 기술사, Vice-President, P.E Soil mechanics and Foundation eng., Dasan Consultants Co., Ltd.

<sup>3)</sup> (주) 천일지오컨설턴트 대리, Engineer, Chunil Geo-Consultants Co., Ltd.

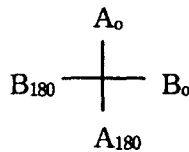
### 1. 계측기별 Reading 값의 계산방식 및 분석방법

#### 1.1 경사계 (Inclinometer)

굴착에 따라 발생하는 수평변형량 중 최대값은 굴착심도에 따라 발생하는 위치와 그 크기를 달리하게 된다. 그러므로 내부 경사계는 지반내의 수평변위의 발생방향, 크기, 속도등을 측정하는데 이용되며, 측정된 변위의 크기를 설계치와 비교하여 구조물의 안정성을 검토하고, 지반변형의 진행속도를 관측하여 갑작스런 지반의 변형에 대응할 수 있는 방안수립에 활용할 수 있다. Reading 치의 계산방법 및 오차보정 방법은 다음과 같다.

##### 1.1.1 Reading 치 계산방법

경사계의 Reading 그림 1.1 과 같은 측정원리에 의하며, Reading 치를 이용하여 횡방향변위량을 계산하는 방법은 다음과 같다.



$$\cdot \text{Reading 치} = \text{Factor} \times \sin \theta, \quad \sin \theta = \frac{\text{Reading 치}}{\text{Factor}}$$

$$\cdot \text{변위 (D)} = L \times \sin \theta$$

$$= L \times \frac{\text{reading치}}{\text{Factor}}$$

$$= L \times (\text{Ao Reading 치} - \text{A180 Reading 치}) / (2 \times \text{Factor})$$

여기서, L : Probe 길이

Factor : English Type - 20000

Metric Type - 25000

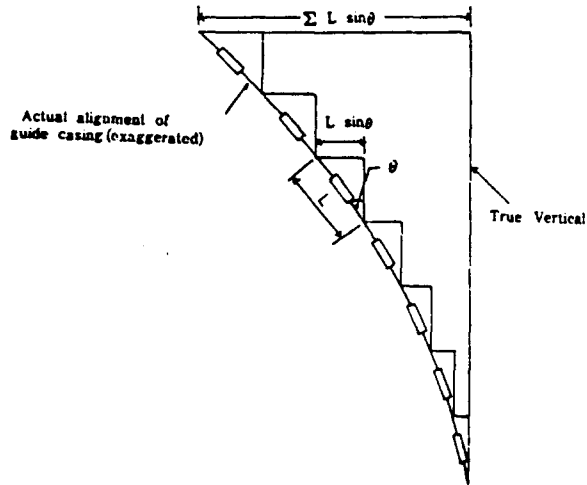


그림 1.1 경사계의 측정원리 (Hanna, 1985)

### 1.1.2 측정범위 및 오차의 정도

경사계의 감지 Probe 의 측정범위 및 오차의 정도는 경사계의 종류에 따라 차이가 있으나 현재 널리 사용되는 평형력 가속도계의 원리를 이용한 경우 측정범위는  $\pm 30^\circ$  정도이고 조건에 따라  $\pm 90^\circ$  까지 측정이 가능하다. 오차의 정도는 측정깊이 30 m 당  $\pm 1 \sim 13$  mm 정도이고, 지시계의 경우 전 시스템에 걸쳐 0.1 % 정도의 오차가 발생하는 것으로 알려져 있다.

### 1.1.3 측정오차의 보정

경사계에 의해 지반의 계측을 실시할 때 오차는 다음과 같은 원인에 의해서 발생될 수 있다.

- 경사계 설치시
  - 천공수직도 불량
  - 경사계관 비틀림
  - 여굴 그라우팅 불량
  - 경사계관 이음불량
  - 경사계관에 부력발생
- 경사계 측정시
  - 측정빈도에 따른 오차
  - 계측기의 오차
  - 기술적인 오차

경사계 계측시 발생될 수 있는 오차의 보정 방법은 다음과 같다.

#### (1) 천공수직도에 대한 보정

튜브를 매입하기 위해 장비로 굴착을 실시하는 경우 장비나 지반조건에 따라 수직도를 충분히 유지하지 못하는 경우가 있다. 그러므로 천공시 최대한 수직이 유지될 수 있도록 장비를 수평으로 거치시키고 수시로 천공상태의 수직정도를 점검하여야 한다. 수직도를 점검한 결과 기울기 및 만곡의 정도가

심하지 않은 경우에는 계측에 큰 문제가 없으나 심한 경우는 굴착전에 미리 경사계의 수직상태를 파악하여 재설치 하는 것이 필요하다.

(2) 비틀림에 대한 보정

그림 1.2 와 같이 경사계관에 비틀림이 발생하면 경사계 Probe 의 Roller 가 경사계관의 홈을 따라 이동하게 되므로 변위방향과 다른 방향의 변위를 측정하게 된다. 단면 1-1 에서는 A 축에만 변위가 나타나지만 단면 2-2 에서는 실제변위와 측정되며, 그 값은 그림 1.3 에 보이는 바와 같다. 경사계관의 제작상 허용비틀림 각은  $0.1^\circ / 3.0 \text{ m}$  이며, 길이 30.0 m 일때 최대  $1^\circ$  의 비틀림각이 예상된다. 현장에서는 이러한 제작상의 비틀림 이외에 경사계관 야적 보관시의 온도변화 (일조차) 에 따른 휨과 동시에 비틀림이 발생할 수 있으며, 설치시에도 경사계관 근입 하부가 고정된 상태에서 경사계관 상부를 회전시키면 비틀림이 발생할 수 있다.

이러한 경사계관의 비틀림을 측정할 수 있는 측정기로는 “Spiral Sensor” 과 “평판에 연결된 Rod 형” 두가지가 있다. 그림 1.4 와 같이 Spiral Sensor 는 Sensor 를 경사계관으로 진행시키면서 경사계의 비틀림을 Sensor 로 읽는 것이며, Rod 형은 경사계관 상부에  $360^\circ$  로 분할된 각도가 표시된 평판을 설치하고, Rod 를 경사계관으로 진행시키면서 그 각도를 측정하는 것이다.

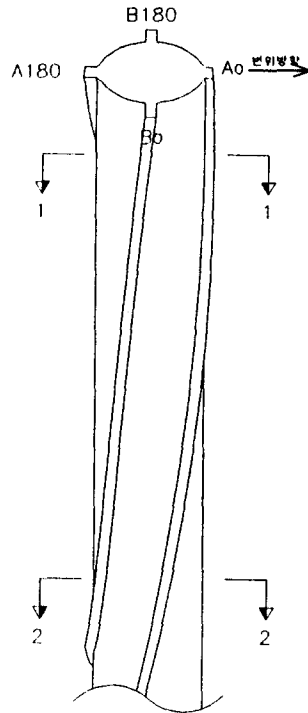


그림 1.2 경사계관의 비틀림

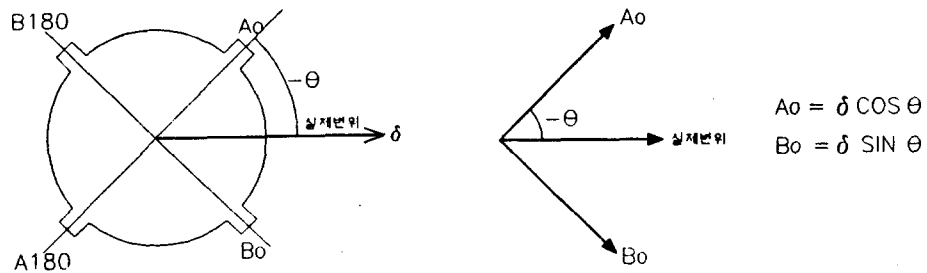


그림 1.3 비틀린 경사계에서의 실제 변위와 계측변위

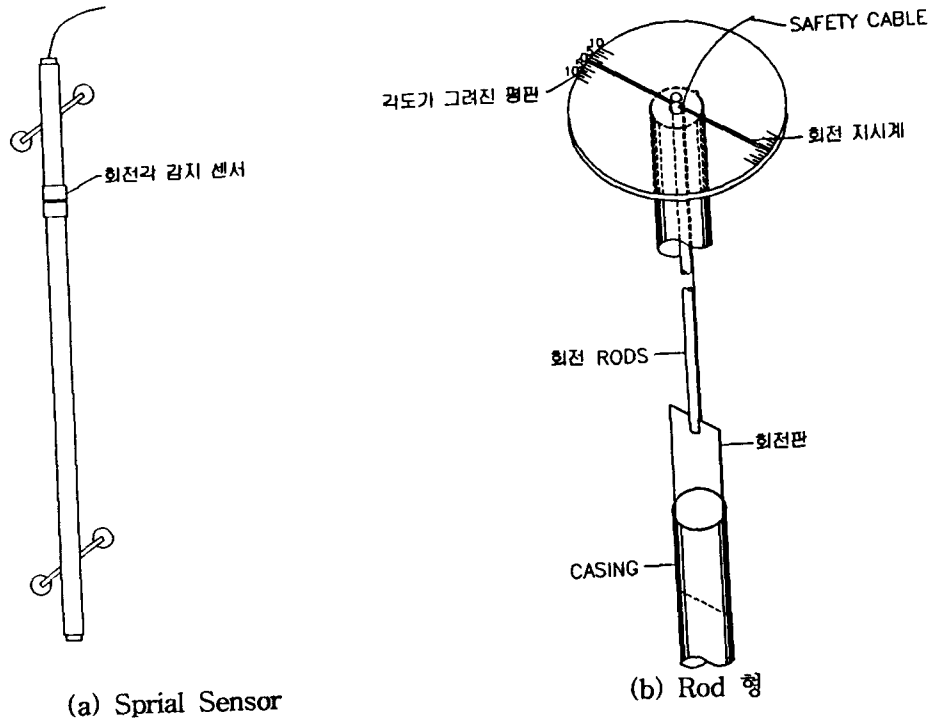
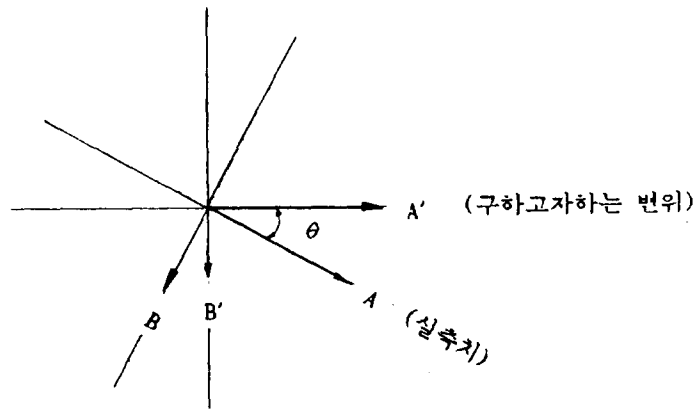


그림 1.4 경사계관 비틀림 측정기 모식도

이와같이 경사계관이 비틀렸을때 A 축 및 B 축에 대한 측정결과는 실제 변위와 계측변위와는 오차가 발생될 수 있으며, 그림 1.5 와 같은 방법에 의하여 보정될 수 있다.



$$A' = A \cdot \cos\theta - B \cdot \sin\theta$$

$$B' = A \cdot \sin\theta - B \cdot \cos\theta$$

그림 1.5 비틀린 경사계 보정

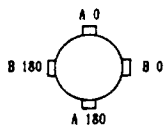
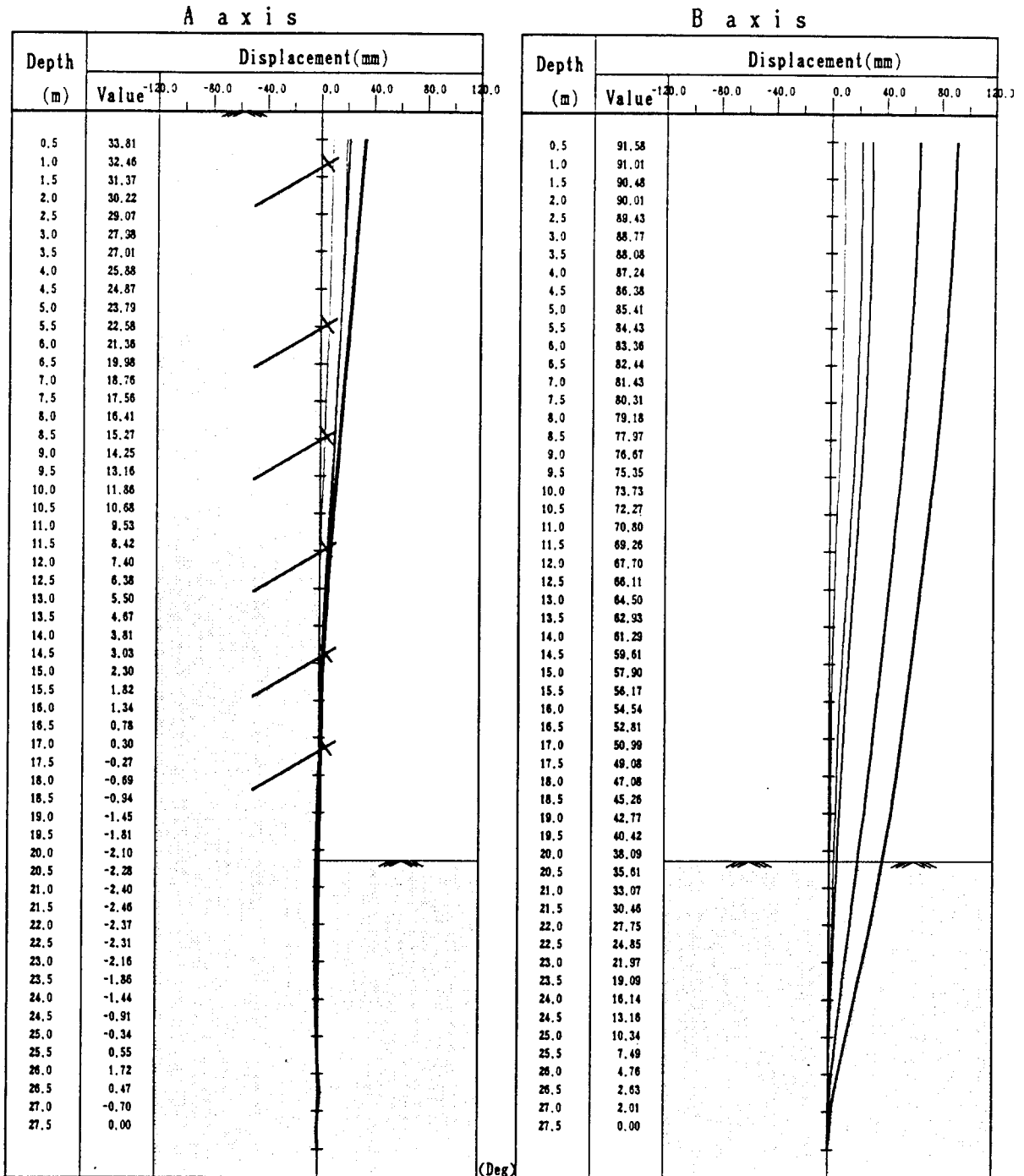
그림 1.6 (a) 및 (b) 는 경사계관의 비틀림에 대한 보정전·후의 변위를 나타내는데 그림 1.6 (a) 는 보정전의 경사계 계측 결과로서 최대 변위는 33.8 mm 이며, 굴착과 직각인 B 축에도 상당한 변위가 있는 것으로 나타나 있다. 보정을 위하여 깊이 50 cm 마다 비틀림을 측정하였으며, 굴착바닥면 까지 누적된 비틀림은 135° 였다.

보정결과는 그림 1.6 (b) 와 같이 상단변위는 101 mm 로서 67.2 mm 가 증가 되었다. 따라서 당초의 계측결과를 그대로 공사관리에 적용했다면 횡방향 변위를 과소평가하고 있어서 안전에 문제가 발생될 수 있다.

# INCLINOMETER DISPLACMENT REPORT

Project : PUSAN LOTTE WORLD  
 Location No. : I-110  
 Rotation Ang. at Top: 0.00 deg (+:Clockwise)  
 Shift at Bottom : 0.00 mm(A), 0.00 mm(B)

Initial Date: 04/30/93  
 Current Date: 12/13/93  
 Measured By:  
 Checked By :  
 Gauge Factor: 25000



A 0 : FIELD  
 A 180 : OFFICE  
 B 0 : SOUTH  
 B 180 : NORTH

Rotation  
 ——— 06/03/92  
 ——— 07/06/93  
 ——— 08/30/93  
 ——— 11/10/93  
 ——— 12/13/93

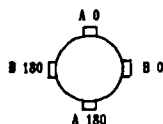
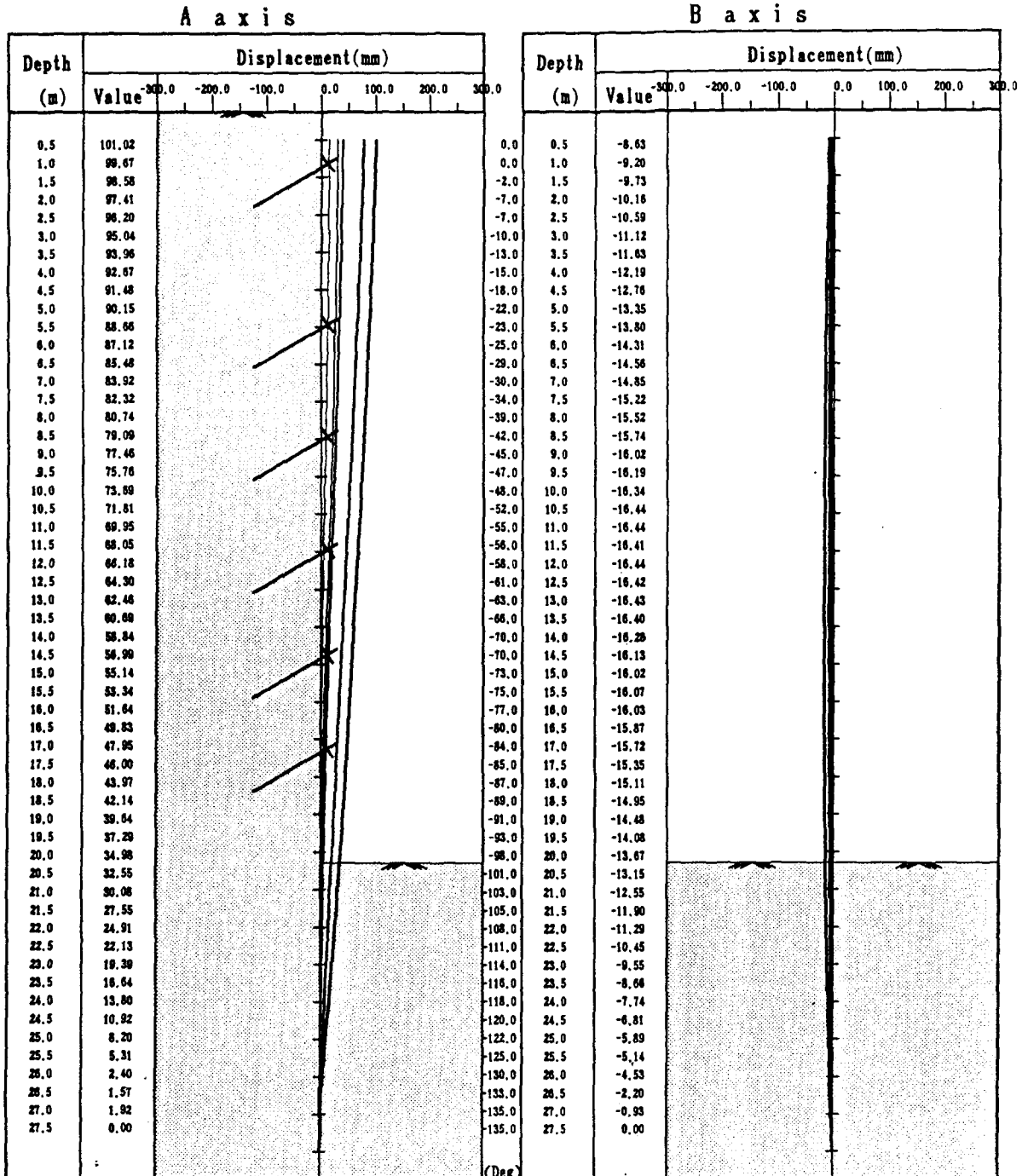
그림 1.6 (a) 경사계관 비틀림에 대한 오차 보정전

# INCLINOMETER DISPLACEMENT REPORT

Project : PUSAN LOTTE WORLD  
 Location No. : I-110  
 Rotation Ang. at Top: 0.00 deg (+:Clockwise)  
 Shift at Bottom : 0.00 mm(A), 0.00 mm(B)

Initial Date: 04/30/93  
 Current Date: 12/13/93  
 Gauge Factor: 25000

Measured By:  
 Checked By :



A 0 : FIELD  
 A 180 : OFFICE  
 B 0 : SOUTH  
 B 180 : NORTH

그림 1.6 (b) 경사계관 비틀림에 대한 오차 보정후

(3) 계측기의 오차

계측기의 오차를 점검하기 위해서는 정밀측정 장치가 있는 계측기 생산공장에서 보정이 가능하지만, 충격이나 고장에 의하여 큰 오차가 발생되었는지 또는, Factor 가 20000 인가 아니면 25000 인지를 알기 위하여 그림 1.7 과 같은 방법으로 약식 점검이 가능하다.

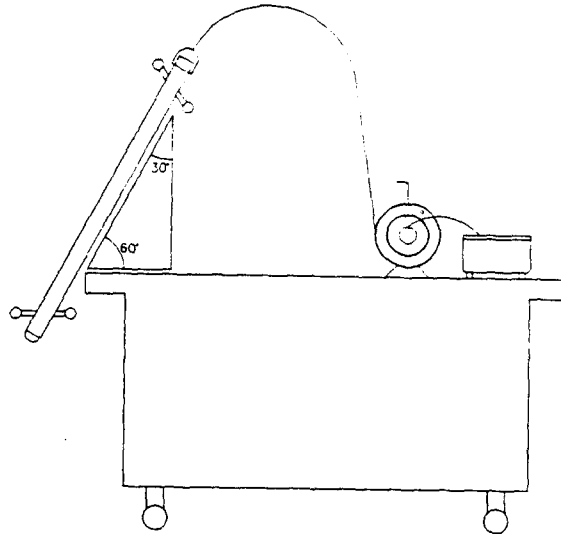


그림 1.7 경사계의 약식 오차점검 방법

Note. ① 책상위에 삼각자를 놓은 다음 그 위에 경사계 Probe 를 올려 놓은 후 Reader 에 Cable 을 연결한다.

② 축을 번갈아 삼각자 위에 올려 놓아 보아 그 값을 읽는다. Reading 치는  $\pm \text{Factor} \times \sin 30^\circ$  이며, Factor 가 25000 일때  $25000 \times \sin 30^\circ = 12500$  의 값을 나타내어야 하며, 실제 읽히는 값과의 차이로 오차를 계산한다.

예) Reading 치가 12300 이 읽히는 경우

$$\frac{12500 - 12300}{12500} = 1.6\% \text{ 오차}$$

③ 본 방법의 경우 책상의 수평유지, 삼각자의 각도등에 의한 오차가 발생될 수 있으므로 정밀한 오차 검증은 아니지만, 고장으로 인한 오차는 점검할 수 있다.

예로서 현장에서 이와 같은 방법에 의해서 30° 인 경우와 45° 인 경우를 측정한 결과를 표로 나타내면 표 1.1 및 1.2 와 같다.

표 1.1 각도가 30° 인 경우의 점검결과

측정회수	A <sub>0</sub>	A <sub>180</sub>	B <sub>0</sub>	B <sub>180</sub>
1	+ 10200	- 10200	+ 10190	- 10200
2	+ 10200	- 10180	+ 10190	- 10180
평균	+ 10200	- 10190	+ 10190	- 10190
측평균	10195		10190	
Factor	20390		20380	

표 1.2 각도가 45° 인 경우의 점검결과

측정회수	A <sub>0</sub>	A <sub>180</sub>	B <sub>0</sub>	B <sub>180</sub>
1	+ 14250	- 14300	+ 14260	- 14320
2	+ 14230	- 14280	+ 14200	- 14290
평균	+ 14240	- 14290	+ 14230	- 14305
측평균	14265		14267	
Factor	20173		20176	

주) Reading = Factor x sinθ 에서  
 Factor = Reading / sinθ 로 구함.

검사결과 본 계측기는 Factor 가 20000 형인 것을 알 수 있다.

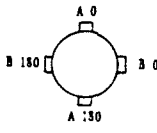
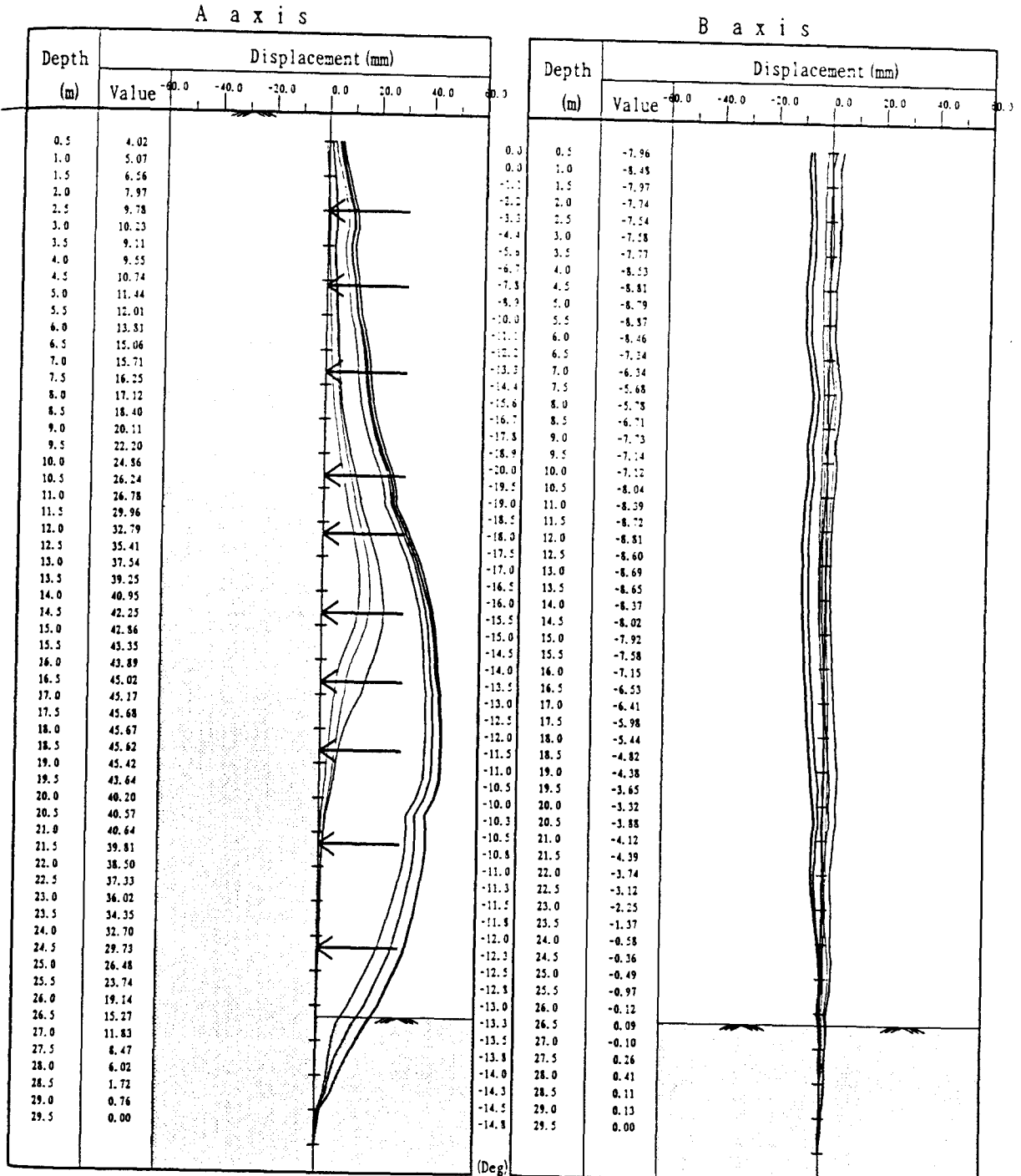


1.1.4 계측결과 정리

INCLINOMETER DISPLACMENT REPORT

Project : PUSAN SUBWAY 2 LINE 222 ( LOTTE )  
 Location No. : STATION 21KM + 392  
 Rotation Ang. at Top : 0.00 deg (+:Clockwise)  
 Shift at Bottom : 0.00 mm (A), 0.00 mm (B)

Initial Date: 02/23/93 Measured By: Jang D. Y.  
 Current Date: 04/28/94 Checked By : Nam S. W.  
 Gauge Factor: 20000



- A 0 : FIELD
- A 180 : BUILDING
- B 0 : GaYA
- B 180 : JUNPO

- Rotation
- 03/03/94
  - 03/10/93
  - 03/17/94
  - 04/11/94
  - 04/15/94
  - 04/23/94
  - 04/28/94

그림 1.8 단계굴착에 따른 경사계 측정결과

## INCLINOMETER SEQUENTIAL DISPLACEMENT DATA

Project : PUSAN SUBWAY 2 LINE 222 ( LOTTE )  
 Location No. : STATION 21KM + 392  
 Rotation Ang. at Top: 0.00 deg (+:Clockwise)  
 Shift at Bottom : 0.00 mm(A) 0.00 mm(B)

Initial Date: 02/23/93 Measured By:  
 Current Date: 04/28/94 Checked By :  
 Gauge Factor: 20000

A a x i s (1)											
Depth (m)	Date (03/03/94)	Date (03/10/93)	Date (03/17/94)	Date (04/11/94)	Date (04/15/94)	Date (04/23/94)	Date (04/28/94)				Rotation (Deg)
0.5	-0.97	1.19	1.03	2.40	4.56	5.46	4.02				0.0
1.0	-0.49	1.80	1.85	3.56	5.76	6.66	5.07				0.0
1.5	-0.09	2.25	2.44	5.11	7.26	8.26	6.56				-1.1
2.0	0.33	2.68	2.96	6.44	8.66	9.72	7.97				-2.2
2.5	0.79	3.16	3.56	7.93	10.29	11.51	9.78				-3.3
3.0	0.94	3.13	3.53	7.99	10.48	11.94	10.23				-4.4
3.5	0.80	2.78	3.04	6.56	9.36	10.81	9.11				-5.6
4.0	0.91	2.88	3.20	7.22	9.73	11.22	9.55				-6.7
4.5	1.17	3.27	3.65	8.19	10.77	12.36	10.74				-7.8
5.0	1.42	3.51	3.98	8.78	11.38	13.03	11.44				-8.9
5.5	1.64	3.74	4.26	9.27	11.89	13.59	12.01				-10.0
6.0	2.01	4.19	4.82	10.82	13.54	15.32	13.81				-11.1
6.5	2.09	4.32	4.91	11.73	14.55	16.49	15.06				-12.2
7.0	2.31	4.53	5.20	12.21	15.13	17.15	15.71				-13.3
7.5	2.74	4.94	5.63	12.59	15.74	17.71	16.25				-14.4
8.0	3.43	5.59	6.40	13.77	16.66	18.62	17.12				-15.6
8.5	4.18	6.43	7.43	15.08	17.92	19.89	18.40				-16.7
9.0	5.01	7.40	8.57	16.66	19.37	21.54	20.11				-17.8
9.5	6.03	8.59	9.99	18.71	21.41	23.59	22.20				-18.9
10.0	7.17	10.03	11.67	21.27	23.93	26.19	24.86				-20.0
10.5	8.30	11.23	13.08	22.78	25.30	27.55	26.24				-19.5
11.0	9.42	12.45	14.51	23.48	25.93	28.04	26.78				-19.0
11.5	10.81	14.09	16.55	26.49	28.98	31.18	29.96				-18.5
12.0	12.23	15.77	18.67	29.34	31.70	34.02	32.79				-18.0
12.5	13.49	17.20	20.58	31.92	34.31	36.63	35.41				-17.5
13.0	14.32	18.14	22.04	34.04	36.38	38.83	37.54				-17.0
13.5	14.45	18.40	22.97	35.66	37.99	40.49	39.25				-16.5
14.0	14.10	18.17	23.45	37.12	39.50	42.11	40.95				-16.0
14.5	12.96	17.16	23.27	38.28	40.59	43.36	42.25				-15.5
15.0	10.41	14.65	21.76	38.71	41.08	43.87	42.86				-15.0
15.5	7.70	11.86	19.79	39.06	41.45	44.30	43.35				-14.5
16.0	6.08	10.04	17.36	39.35	41.85	44.80	43.89				-14.0
16.5	5.33	9.05	15.39	40.21	42.76	45.82	45.02				-13.5
17.0	4.61	7.96	11.97	40.04	42.74	45.91	45.17				-13.0
17.5	3.89	6.92	9.11	40.18	43.01	46.31	45.68				-12.5
18.0	3.20	5.90	7.19	40.01	42.84	46.20	45.67				-12.0
18.5	2.69	5.08	6.13	39.79	42.72	46.14	45.62				-11.5
19.0	2.22	4.32	5.21	39.28	42.32	45.98	45.42				-11.0
19.5	1.65	3.35	3.97	36.93	40.19	44.01	43.64				-10.5
20.0	0.95	2.20	2.53	33.10	36.48	40.45	40.20				-10.0
20.5	0.67	1.76	1.96	33.24	36.75	40.79	40.57				-10.3
21.0	0.31	1.16	1.30	32.97	36.65	40.82	40.64				-10.5
21.5	0.17	0.96	1.09	31.94	35.77	39.96	39.31				-10.8
22.0	0.14	0.90	1.03	30.20	34.31	38.63	38.50				-11.0
22.5	0.11	0.83	0.96	28.37	32.92	37.31	37.33				-11.3
23.0	0.10	0.78	0.91	26.37	31.42	35.91	36.02				-11.5
23.5	0.02	0.64	0.82	24.14	29.47	34.13	34.35				-11.8
24.0	-0.06	0.48	0.69	22.00	27.66	32.39	32.70				-12.0
24.5	-0.04	0.39	0.58	18.81	24.59	29.44	29.73				-12.3
25.0	0.01	0.31	0.44	15.33	21.31	26.21	26.48				-12.5
25.5	0.04	0.29	0.43	12.35	18.54	23.50	23.74				-12.8
26.0	0.01	0.22	0.36	7.93	14.07	18.83	19.14				-13.0
26.5	-0.05	0.06	0.13	6.03	10.72	15.11	15.27				-13.3
27.0	-0.07	0.05	0.15	5.13	7.54	11.72	11.83				-13.5
27.5	-0.08	0.00	0.08	4.19	5.46	8.37	8.47				-13.8
28.0	-0.07	-0.00	0.05	3.19	4.19	6.05	6.02				-14.0
28.5	-0.06	-0.06	-0.01	0.96	1.26	1.70	1.72				-14.3
29.0	-0.01	-0.11	-0.04	0.29	0.57	0.69	0.76				-14.5
29.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				-14.8

A axis : Perpendicular to the Site  
 B axis : Parallel to the Site

CHUN IL Geoconsultants Co., Ltd. (Tel 561-3131, FAX 561-3135)

그림 1.9 단계굴착에 따른 경사계 읽음치 (계속)

# INCLINOMETER SEQUENTIAL DISPLACEMENT DATA

Project : PUSAN SUBWAY 2 LINE 222 ( LOTTE )      Initial Date: 02/23/93      Measured By:  
 Location No. : STATION 21KM + 392      Current Date: 04/28/94      Checked By :  
 Rotation Ang. at Top: 0.00 deg (+:Clockwise)      Gauge Factor: 20000  
 Shift at Bottom : 0.00 mm(A)      0.00 mm(B)

B a x i s (2)											
Depth (m)	Date (03/03/94)	Date (03/10/93)	Date (03/17/94)	Date (04/11/94)	Date (04/15/94)	Date (04/23/94)	Date (04/28/94)				Rotation (Deg)
0.5	4.59	0.49	-1.29	1.66	4.43	-6.80	-7.96				0.0
1.0	3.58	0.13	-1.99	0.23	3.19	-6.65	-8.48				0.0
1.5	3.48	0.03	-2.04	0.46	3.44	-6.17	-7.97				-1.1
2.0	3.35	-0.07	-2.18	0.63	3.64	-5.88	-7.74				-2.2
2.5	3.29	-0.23	-2.16	0.76	3.83	-5.62	-7.54				-3.3
3.0	3.11	-0.35	-2.25	1.05	3.67	-5.58	-7.53				-4.4
3.5	3.14	-0.26	-2.12	0.96	3.56	-5.63	-7.77				-5.6
4.0	2.96	-0.66	-2.45	0.70	2.96	-6.30	-8.53				-6.7
4.5	2.76	-0.82	-2.55	-0.10	2.53	-6.56	-8.81				-7.8
5.0	2.66	-0.30	-2.55	-0.12	2.43	-6.56	-8.79				-8.9
5.5	2.53	-1.00	-2.65	-0.23	2.16	-6.71	-8.87				-10.0
6.0	2.45	-0.99	-2.57	0.01	2.37	-6.36	-8.46				-11.1
6.5	2.60	-0.72	-2.23	0.93	3.24	-5.33	-7.24				-12.2
7.0	2.67	-0.51	-1.88	1.51	4.10	-4.31	-6.34				-13.3
7.5	2.82	-0.25	-1.64	2.19	4.76	-3.53	-5.68				-14.4
8.0	2.68	-0.38	-1.69	1.50	4.67	-3.58	-5.78				-15.6
8.5	2.59	-0.61	-1.85	0.64	3.91	-4.35	-6.71				-16.7
9.0	2.44	-0.87	-2.09	-0.34	2.92	-5.50	-7.73				-17.8
9.5	2.29	-0.93	-2.08	-0.06	3.51	-5.01	-7.14				-18.9
10.0	2.01	-1.08	-2.26	0.10	3.44	-4.88	-7.12				-20.0
10.5	1.70	-1.37	-2.47	-0.42	2.71	-5.65	-8.04				-19.5
11.0	1.28	-1.60	-2.51	-0.56	2.36	-6.06	-8.59				-19.0
11.5	1.01	-1.76	-2.51	-1.10	2.14	-6.24	-8.72				-18.5
12.0	0.67	-1.95	-2.64	-1.28	1.93	-6.37	-8.81				-18.0
12.5	0.52	-1.92	-2.54	-1.23	2.07	-6.22	-8.60				-17.5
13.0	0.43	-1.93	-2.61	-1.25	1.97	-6.25	-8.69				-17.0
13.5	0.50	-1.95	-2.56	-1.13	2.03	-6.19	-8.65				-16.5
14.0	0.50	-1.90	-2.41	-1.16	2.12	-6.05	-8.37				-16.0
14.5	0.69	-1.67	-2.01	-0.86	2.47	-5.74	-8.02				-15.5
15.0	0.82	-1.51	-1.73	-0.61	2.65	-5.53	-7.92				-15.0
15.5	1.06	-1.13	-1.35	-0.36	2.95	-5.19	-7.58				-14.5
16.0	1.42	-0.70	-0.84	-0.11	3.22	-4.81	-7.15				-14.0
16.5	1.64	-0.21	-0.43	0.48	3.77	-4.22	-6.53				-13.5
17.0	1.64	-0.14	-0.17	0.64	3.89	-4.09	-6.41				-13.0
17.5	1.62	-0.08	0.18	1.12	4.35	-3.61	-5.98				-12.5
18.0	1.78	-0.04	0.36	1.62	4.76	-3.16	-5.44				-12.0
18.5	1.76	0.01	0.39	2.20	5.22	-2.60	-4.82				-11.5
19.0	1.72	-0.04	0.39	2.69	5.28	-1.59	-4.38				-11.0
19.5	1.65	-0.11	0.24	2.21	4.82	-1.88	-3.65				-10.5
20.0	1.41	-0.41	-0.02	2.47	5.03	-1.57	-3.32				-10.0
20.5	1.53	-0.28	0.20	1.68	4.22	-2.15	-3.88				-10.3
21.0	1.50	-0.27	0.32	1.33	3.72	-2.46	-4.12				-10.5
21.5	1.37	-0.34	0.30	0.65	3.08	-3.12	-4.39				-10.8
22.0	1.36	-0.25	0.43	1.10	3.43	-2.56	-3.74				-11.0
22.5	1.38	-0.16	0.53	1.11	3.49	-2.28	-3.12				-11.3
23.0	1.42	-0.09	0.62	1.53	3.68	-1.62	-2.25				-11.5
23.5	1.33	-0.06	0.68	2.11	3.57	-0.83	-1.37				-11.8
24.0	1.31	0.18	0.82	2.78	4.19	-0.04	-0.58				-12.0
24.5	1.26	0.25	0.81	2.87	3.87	0.25	-0.36				-12.3
25.0	1.05	0.20	0.18	2.56	3.50	0.14	-0.49				-12.5
25.5	0.95	0.09	0.16	1.66	2.57	-0.64	-0.97				-12.8
26.0	0.94	0.00	0.19	2.17	2.69	0.26	0.12				-13.0
26.5	0.93	0.11	0.23	2.35	2.32	0.49	0.09				-13.3
27.0	0.89	0.16	0.29	1.97	1.89	0.05	-0.10				-13.5
27.5	0.74	0.08	0.25	1.81	2.19	0.44	0.26				-13.8
28.0	0.65	-0.01	0.21	1.43	1.89	0.63	0.41				-14.0
28.5	0.46	-0.13	0.20	0.97	0.68	0.11	0.11				-14.3
29.0	0.08	-0.23	0.08	0.78	0.24	0.11	0.13				-14.5
29.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				-14.8

A axis : Perpendicular to the Site  
 B axis : Parallel to the Site

CHUN IL Geoconsultants Co., Ltd. (Tel 561-3131, FAX 561-3135)  
 그림 1.9 단계굴착에 따른 경사계 읽음치

## 1.2 하중계 (Load cell)

구조물에 작용하는 하중을 정확하게 측정하기 위한 것으로 흙막이벽체의 경우 버팀대 또는 Earth Anchor 에 작용하는 인장력 및 압축력을 측정하여 공사진행 또는 공사완료후의 지반이나 구조물의 변형을 예측하여 안정관리 자료로 활용할 수 있다.

### 1.2.1 측정원리

하중계는 진동현식, 전기저항식, 수압식 등이 있으며, 현재 널리 사용되고 있는 진동현식은 현의 길이가 짧아지면 (압축) 진동수가 빨라지며, 하중과 진동주파수 (f) 와의 관계는 다음식과 같다.

$$\text{주파수 } f = \frac{1}{T}, f = \frac{1}{2 \cdot L_w} \left( \sqrt{\frac{F}{m}} \right)$$

여기서,  $L_w$  : 현의길이     $m$  : 현의질량 (단면적 x 단위질량)

$F$  : 인장력 (단면적 x 변형량 x E)

정리하면 현에 대한 진동수 - 변형 관계가 얻어짐

$$f = \frac{1}{2 \cdot L_w} \left( \sqrt{\frac{F}{m}} \right)$$

$\varepsilon$  (변형율) =  $K \cdot f^2$  또는  $\varepsilon = K / T^2$  (T 를 실제로 측정함)

K 는 Sensor 의 Wire 길이, 단면적, 탄성계수에 의해서 정해지는 상수이며, 진동현의 주기 및 주기 - 변형율 관계는 각각 그림 1.10, 1.11 과 같다.

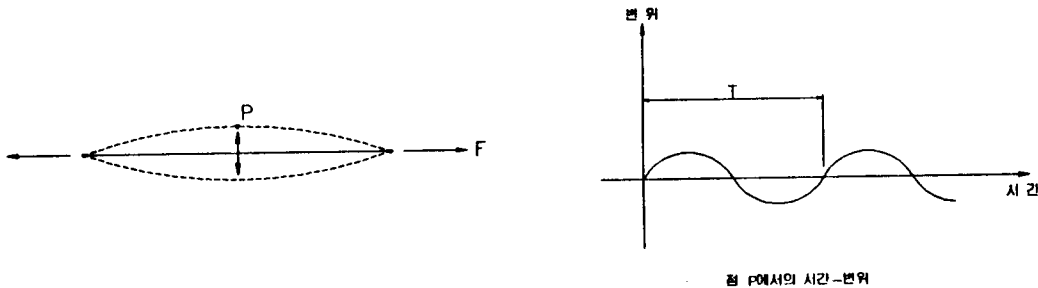


그림 1.10 진동현의 주기관계 모식도

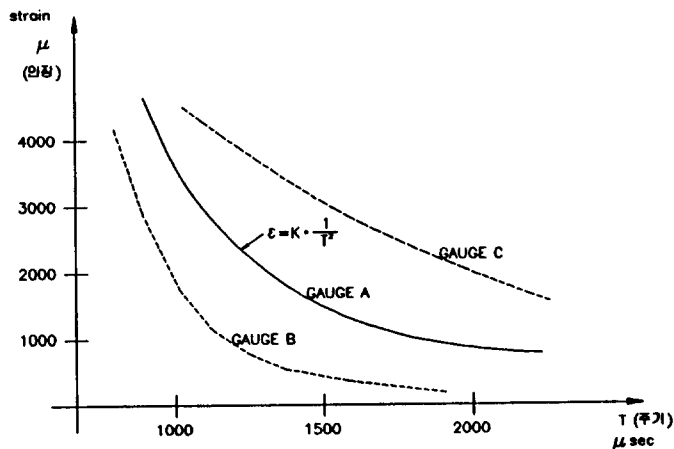


그림 1.11 점 P 에서 주기 - 변형율 관계도

$$P = K (f^{\beta} - f_0^{\beta})$$

여기서, P : 하중

K : 강선길이, 고정방법 및 재질에 따른 물리적 상수

$f_0, f$  : 하중전·후의 진동주파수

### 1.2.2 Reading 치 계산방법

주파수에 의한 계산을 간단하게 하기 위하여 지시계에서는 주파수 대신 기계내부에서 미리 계산된 R 값을 읽어서 계산하는 방법이 많이 사용된다. 지시계에서 읽어진 값을 다음식에 의하여 인장력 또는 압축력 계산을 한다.

$$P = G (R_0 - R_1) + (T_0 - T_1)$$

여기서, G : 계기상수                      K : 온도보정상수

$R_0, R_1$  : 초기 및 계측시의 읽음치

$T_0, T_1$  : 초기 및 계측시 온도

### 1.2.3 측정범위 및 오차의 정도

가설훅막이 벽체의 시공시 지보공의 인장력 및 압축력을 측정하는데 이용되며, 하중계 센서의 오차 정도는  $\pm 2\%$  정도이고, 지시계의 오차는  $\pm 1\%$  정도로 나타나 있다.

### 1.2.4 오차의 보정

하중계에 의해 지보공의 인장력 및 압축력을 측정할 때 발생할 수 있는 오차는 다음과 같은 원인에 의해서 발생될 수 있다.

- 하중계 설치시
  - 인장시 하중계에 편심이 걸림
  - 하중계 자체의 결함
  - Strand 강선 불량 또는 정착 불량
- 하중계 측정시
  - 측정빈도에 따른 오차
  - 계측기의 오차
  - 기술적인 오차

만능시험기등에 의해서 하중 - 반력의 관계를 설치전에 시험하여 정밀도에 이상이 없는지를 먼저 검사한다. 하중계 설치시 지지판을 하중계의 상·하에 설치하여 Strand 인발시 편심이 작용되지 않도록 해야 한다.

하중계 설치전에 먼저 초기 하중계의 Reading 값을 읽고, 하중계 설치중에 Jacking 력 10t, 20t, 30t . . . 마다 Reading 값을 읽어서 초기 하중계의 값과의 차를 하중계 Factor 와 곱하여 실제 Jacking 력과 근사한지 확인하고, 설치가 종료된 후 다시 하중계를 읽어 오차가 발생었는지 확인한다.

Earth Anchor 나 버텨보에 설치된 하중계를 정기적으로 계측하고, 각 측정당시의 굴착공정과 비교함으로써 오차를 분석할 수 있다.

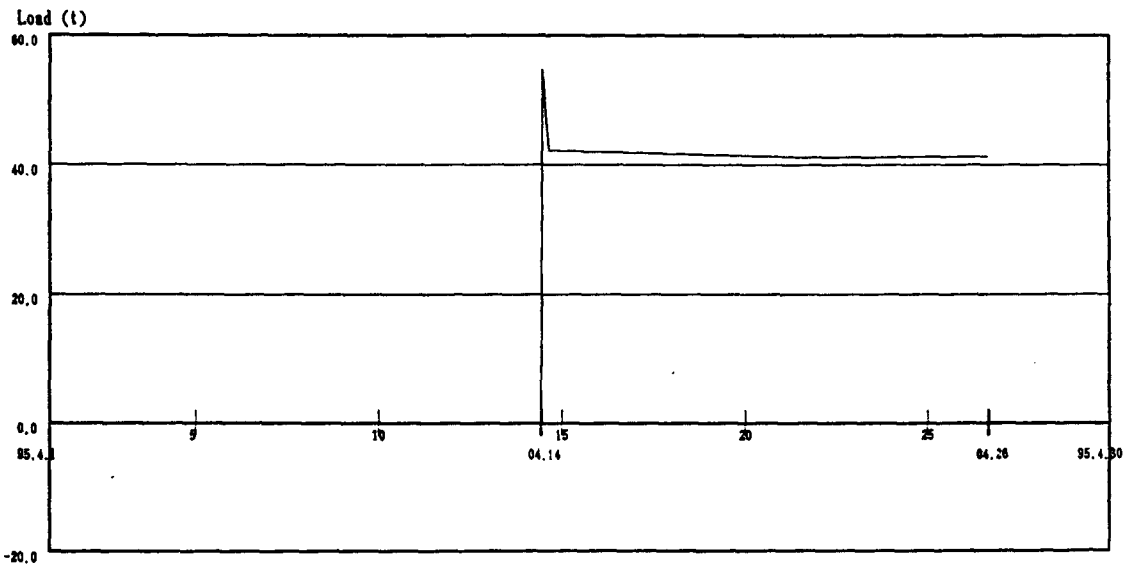
1.2.5 계속결과 정리

LOAD CELL DATA SHEET

Project : G.I.B BUILDING  
 Location No. : 32-3 (S042)  
 Measured By :  
 Checked By :

Gauge Factor(K) : 1.629E-01  
 Temp Factor(T) : 2.750E-00

No.	Date Time	Gage 1	Gage 2	Gage 3	Temp	Load (t)	No.	Date Time	Gage 1	Gage 2	Gage 3	Temp	Load (t)
0	1995.04.14.10	6596.7	6613.8	6613.1	28.1	0.0							
1	1995.04.14.11	5055.7	5705.7	5707.2	28.9	54.7							
2	1995.04.14.15	5297.0	5973.5	5981.1	27.8	42.2							
3	1995.04.21.15	5322.3	5997.3	5971.7	27.6	41.2							
4	1995.04.26.16	5322.7	5994.3	5989.6	24.2	41.3							



CHUN IL Engineering Co.,Ltd. (Tel 561-3131/4, FAX 561-3135)

그림 1.12 하중계 (Load cell) 측정 결과

### 1.3 변형율계 (Strain gauge)

변형율계는 강재구조물이나 철골구조물 등에 부착하여 굴토작업 또는 주변작업으로 인한 구조물의 응력상태변형을 측정하여 공사의 안정성을 예측하거나 콘크리트속에 매립하여 콘크리트 구조물의 변형을 측정하는데 사용된다.

#### 1.3.1 측정원리

Strain gauge 의 종류에는 진동현식 (Vibrating wire type), 전기저항식, 차동 Trans 식이 있으며, 이중 진동현식의 측정원리는 하중계의 측정원리에 나타난 바와 같다.

#### 1.3.2 Reading 치 계산방법

Strain gauge 의 결과치에 대한 계산은 다음과 같은 방법에 의한다.

$$\begin{aligned} \Delta\varepsilon &= \varepsilon_c - \varepsilon_o \\ &= K \left( \frac{1}{T_c^2} \right) - K \left( \frac{1}{T_o^2} \right) = K \left( \frac{1}{T_c^2} - \frac{1}{T_o^2} \right) \\ &= K (F_c^2 - F_o^2) \end{aligned}$$

여기서,  $\varepsilon_o, T_o, f_o$  : 초기의 변형, 주기, 읽음치  
 $\varepsilon_c, T_c, f_c$  : 현재의 변형, 주기, 읽음치  
 K : Gauge factor

Strain gauge 의 초기변형을 가산하는 경우는 다음식에 의해 변형을 구한다.

$$\varepsilon = \varepsilon = K (f_c^2 - f_o^2) + Offset$$

Offset : 센서를 부착할 당시의 모재의 초기변형 = T (모부재의 초기인장력) / A · E

온도에 대한 보정은 모부재의 온도와 센서의 온도가 같을 경우에는 탄성계수가 거의 같으므로 모부재의 온도 팽창수축과 센서의 온도 팽창수축이 거의 같으므로 모부재와 센서의 변형은 같으므로 보정이 불필요하다. 그러나 모부재와 센서가 온도가 서로 틀려서 보정이 필요할 경우에는 다음식을 적용하며, 온도센서의 온도 - 저항치 읽음값과의 관계는 그림 1.13 과 같다.

$$\varepsilon = K \left( \frac{1}{T_c^2} - \frac{1}{T_o^2} \right) + Offset + 1.08 \times 10^{-5} (t_c - t_o)$$

여기서,  $1.08 \times 10^{-5}$  : 열팽창계수  
 $t_o$  : 초기온도  
 $t_c$  : 현재온도

그러므로 부재에서 발생되는 응력 ( $\sigma$ ) =  $\varepsilon \times E$  와 같으며, 축력은 응력에 구조물의 단면적을 곱하여 얻을 수 있다.

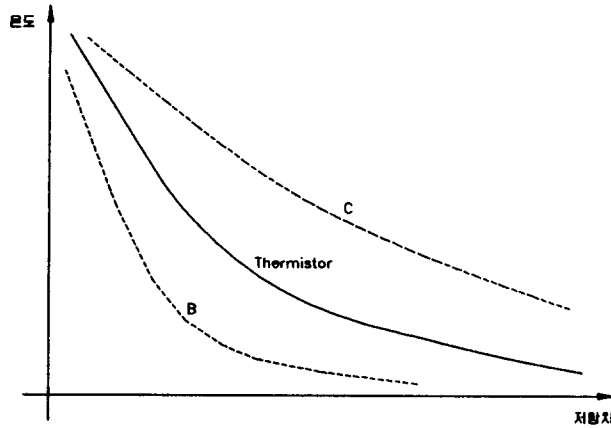


그림 1.13 온도 - 저항치 읽음과의 관계

온도변화에 따른 Strut의 축력 보정은 그림 1.14와 같이 지반스프링을 가정하여 보정한다.

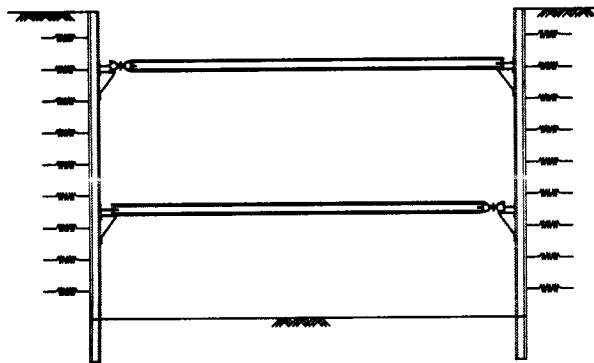


그림 1.14 온도변화에 따른 축력 보정을 위한 지반스프링 모델

Strut의 양단이 자유로울때 온도변화에 대한 신축이 자유로우므로 Strut의 응력 변화는 없으며, 변형은 열팽창계수  $\alpha$  온도차이로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{즉, } \Delta\sigma &= 0 \\ \Delta\varepsilon &= \alpha \cdot \Delta t \end{aligned}$$



만약, Strut의 양단이 완전히 고정일 경우에 변형은 0이며, 응력은 열팽창계수  $\alpha$  온도차  $\Delta t$  단면적  $A$  탄성계수가 된다.

$$\begin{aligned} \text{즉, } \Delta\sigma &= \alpha \cdot \Delta t \cdot A \cdot E \\ \Delta\varepsilon &= 0 \end{aligned}$$



실제의 Strut에서는 완전자유도 완전고정도 아닌 지반 Spring에 의해 탄성지지된 것으로 볼 수 있으며, 응력 및 변형은 두 경우의 중간 어느 위치에 있게 된다. (그림 1.15 참조)



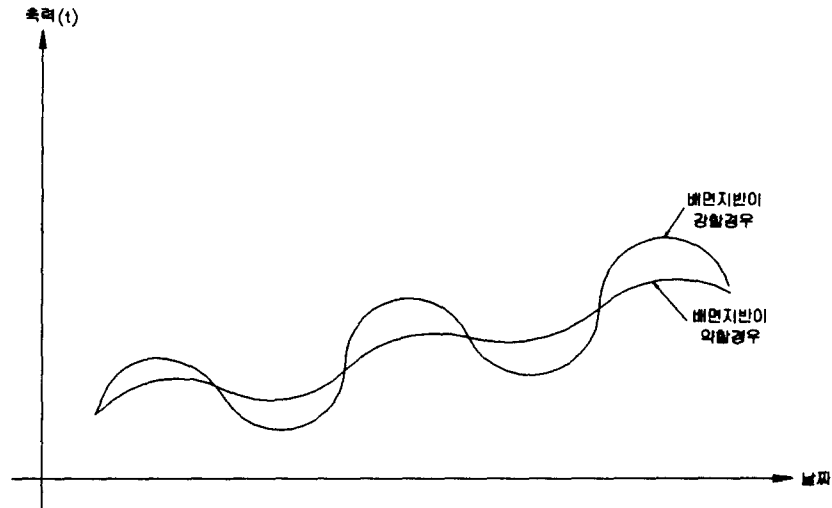


그림 1.15 지반조건에 따른 축력

### 1.3.3 측정범위 및 오차의 정도

진동현식 변형율계의 경우 측정범위는 3000 microstrain ( $6300 \text{ kg/cm}^2$ ) 이상 이며, 측정오차는 0.5 microstrain 정도이다. 테이프형 편형율 측정기의 측정범위는 필요에 따라 조정할 수 있으며, 정밀도는 0.1 mm 정도이다.

### 1.3.4 오차의 보정

- 변형율계 설치시
  - 부착위치의 부적절한 선정
  - 변형율계 자체의 결함
  - 변형율계 설치시의 결함
- 하중계 측정시
  - 측정빈도에 따른 오차
  - 계측기의 오차
  - 기술적인 오차

변형율계의 부착위치는 그 부재를 대표할 수 있는 위치에 설치해야 하며, 측정목적, 측정의 용이성 및 변형율계의 보존성등을 고려하여야 한다. 특히 버팀보에서 발생하는 축력은 흙막이 벽체 부근에서 벽체축으로 분산될 수 있으므로 벽체에서 버팀보 부재 폭의 5 배 이상을 이격하여 설치하고, 용접이나 볼트의 연결부에서 최소 1.0 m 정도 이격하는 것이 바람직하다. 또한 변형율계를 부재의 웨브면의 중립축상에 양쪽으로 설치하여 오차를 보정할 수 있도록 한다.

1.3.5 계속결과 정리

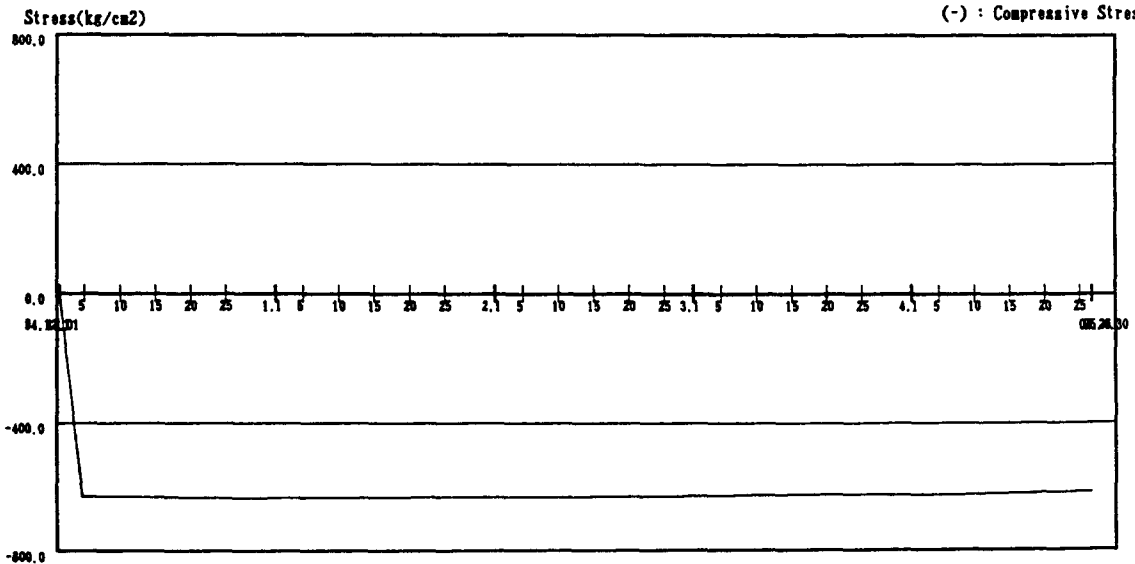
STRAIN GAUGE DATA SHEET

Project : G.I.B BUILDING  
 Location No. : NO27-7C  
 Measured By :  
 Checked By :

Gauge Factor(K) : 4.062E-09  
 Temp Factor(T) : 1.080E-05  
 Elastic Modulus(E) : 2.040E+00  
 Area(A) : 6.42

No.	Date Time	Period (μs)	Temp (°C)	Strain (με)	Stress (σ)	Force (t)	No.	Date Time	Period (μs)	Temp (°C)	Strain (με)	Stress (σ)	Force (t)
0	1994.12.01	1282.19	28.7	0.0	0.0	0.0							
1	1994.12.04	1192.33	18.3	-309.0	-630.3	-4.0							
2	1994.12.09	1191.94	18.2	-309.4	-631.2	-4.1							
3	1994.12.15	1191.77	18.2	-310.2	-632.8	-4.1							
4	1994.12.20	1191.62	18.0	-310.9	-634.3	-4.1							
5	1994.12.27	1191.54	17.9	-311.3	-635.1	-4.1							
6	1995.01.03	1191.61	17.9	-311.0	-634.4	-4.1							
7	1995.01.09	1191.67	17.9	-310.7	-633.8	-4.1							
8	1995.01.16	1191.73	17.9	-310.4	-633.2	-4.1							
9	1995.01.23	1191.79	17.9	-310.1	-632.7	-4.1							
10	1995.02.10	1191.85	17.5	-309.8	-632.1	-4.1							
11	1995.02.17	1191.96	17.5	-309.3	-631.0	-4.1							
12	1995.02.24	1191.99	17.4	-309.2	-630.7	-4.0							
13	1995.03.03	1192.22	17.4	-308.1	-628.4	-4.0							
14	1995.03.10	1192.35	17.4	-307.4	-627.2	-4.0							
15	1995.03.17	1192.56	17.3	-306.4	-625.1	-4.0							
16	1995.03.24	1192.54	17.3	-306.5	-625.3	-4.0							
17	1995.03.31	1192.38	17.2	-307.3	-628.9	-4.0							
18	1995.04.07	1192.42	17.1	-307.1	-628.5	-4.0							
19	1995.04.12	1192.63	17.1	-306.1	-624.4	-4.0							
20	1995.04.21	1193.12	18.8	-303.8	-619.7	-4.0							
21	1995.04.28	1193.19	17.1	-303.4	-619.0	-4.0							

(+) : Tensile Stress  
 (-) : Compressive Stress



CHUN IL Engineering Co.,Ltd. (Tel 561-3131/4, FAX 561-3135)

그림 1.16 변형율계 (Strain gauge) 계측 결과

## 1.4 토압계 (Pressure cell)

성토층, 옹벽 지반사이 및 지하연속벽의 측벽등에 설치하여 성토층이나 구조물의 안전을 검토하는데 이용된다.

### 1.4.1 측정원리

토압셀은 다이어프램셀과 유압셀로 구분되며, 다이어프램셀은 원평판의 중앙부분에 견고한 원형의 멤브레인이 있어서 토압을 받으면 휨을 받도록 되어 있으며, 그 내부에 Strain gauge 또는 진동현에 의해 처짐량이 측정된다. 유압셀은 두개의 원형 또는 사각판에 둘레가 서로 용접되어 있고, 중앙의 내부 공간에는 유체가 있다. 압력이 가해지면 변환기에서 압력이 측정된다.

### 1.4.2 Reading 치 계산방법

측정치는 하중계의 지시계에서와 동일한 방법으로 계산한다.

### 1.4.3 측정범위 및 오차의 정도

토압셀의 오차는 유압셀의 경우 0.4% 이며, 다이어프램셀은 0.25% 정도이다.

### 1.4.4 오차의 보정

토압셀의 형상비, 흙 / 셀 강성비, 셀의 크기, 흙의 응력 - 변형 거동, 설치시의 영향, 편심에 의한 불균형 및 집중하중, 구조물이나 다른 계측기와와의 근접, 셀의 방향성, 셀의 가장자리에 수직응력의 집중, 작용면의 변형, 설치시의 응력, 부식과 습기, 온도, 동적응력의 측정에 따라 토압측정에 영향을 받을 수 있다.

그림 1.17 은 Diaphragm Wall 에 토압계를 설치하였을 때의 시간 경과에 따른 토압의 변화를 나타낸다. 토압의 변화는 양생과정중은 정지토압으로서 토압의 변화가 없으나, 굴착후 설치 위치에 따라 주동 및 수동토압으로 변화한다.

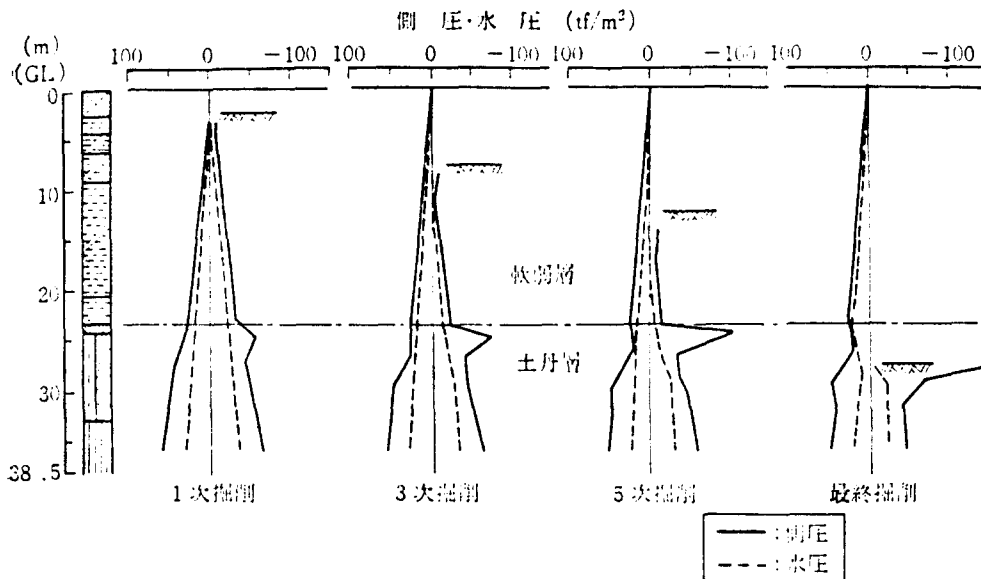


그림 1.17 Diaphragm Wall 에 설치된 토압계의 토압측정 예

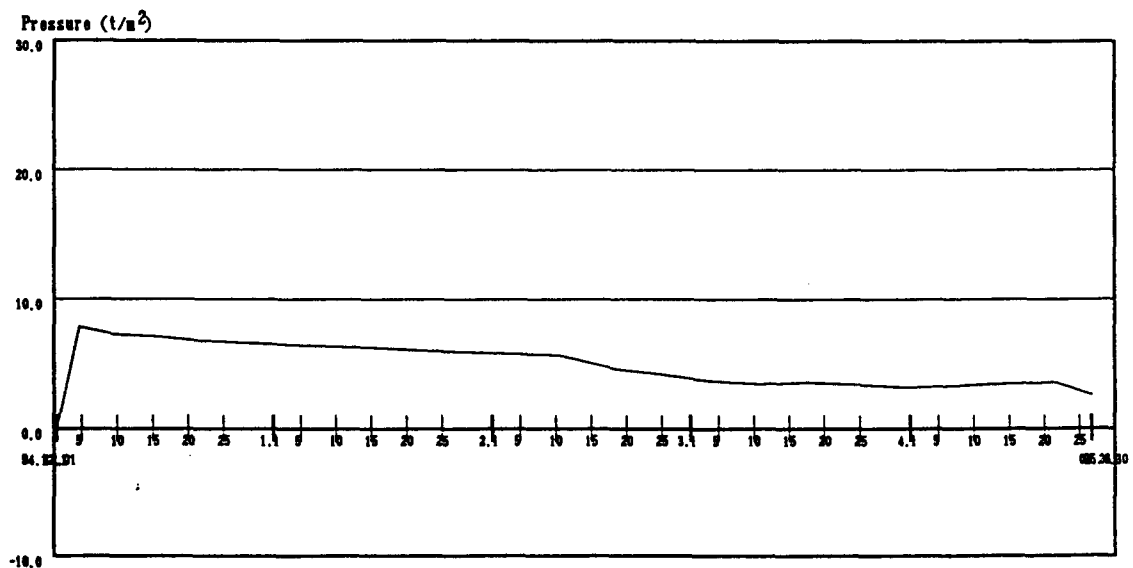
1.4.5 계속결과 정리

TOTAL PRESSURE CELL DATA SHEET

Project : G.I.B BILDING  
 Location No. : NO.9-6A  
 Measured By : HAN C H  
 Checked By : KIM Y H

Serial Number : 23540  
 Calibration Factor(C) : 2.304E-02  
 Thermal Factor(K) : -1.844E-02

No.	Date Time	Reading	Temperature	Pressure (PSI)	Pressure (t/m <sup>2</sup> )	No.	Date Time	Reading	Temperature	Pressure (PSI)	Pressure (t/m <sup>2</sup> )
0	1994.12.01.09	7230.0	19.8	0.0	0.0						
1	1994.12.04.15	6749.1	18.7	11.1	7.8						
2	1994.12.09.15	6784.1	18.7	10.3	7.2						
3	1994.12.15.15	6794.5	18.6	10.1	7.1						
4	1994.12.20.15	6812.3	18.6	9.6	6.8						
5	1994.12.27.13	6822.6	18.5	9.4	6.6						
6	1995.01.03.13	6835.4	18.5	9.1	6.4						
7	1995.01.09.13	6841.8	18.4	9.0	6.3						
8	1995.01.16.13	6850.1	18.3	8.8	6.2						
9	1995.01.23.13	6863.7	18.2	8.5	6.0						
10	1995.02.10.10	6883.1	18.0	8.0	5.6						
11	1995.02.18.09	6950.6	18.0	6.5	4.5						
12	1995.02.24.11	6972.4	17.9	6.0	4.2						
13	1995.03.03.09	7004.9	17.9	5.2	3.7						
14	1995.03.10.11	7020.8	17.9	4.9	3.4						
15	1995.03.17.13	7013.5	17.8	5.0	3.5						
16	1995.03.24.15	7023.6	17.8	4.8	3.4						
17	1995.03.31.11	7035.3	17.8	4.5	3.2						
18	1995.04.07.10	7028.4	17.8	4.7	3.3						
19	1995.04.12.10	7021.1	17.8	4.9	3.4						
20	1995.04.21.10	7012.0	19.3	5.0	3.5						
21	1995.04.26.16	7073.5	17.5	8.6	2.6						



CHUN IL Engineering Co.,Ltd. (Tel 561-3131/4, FAX 561-3135)

그림 1.18 토압계 (Pressure cell) 의 계속 결과

## 1.5 구조물 기울기 측정기 (Tiltmeter)

지하흙막이 공사시 인접해서 기존 건물이있는 경우 또는 자연적인 영향으로 인한 지반이나 구조물의 경사 변화를 측정하기 위한 것으로 옹벽, 콘크리트담, 암반사면 등의 기울기를 측정하는데 이용된다.

### 1.5.1 측정원리

Tiltmeter 은 튜브형과 Plate 형의 두가지가 있으며, 튜브형의 경우 경사계와 같은 평형력가속계의 원리를 이용하는 것으로 질점의 변동에 따라 전자기력이 생기고 이러한 전자기력을 이용하여 구조물의 기울기를 측정하는 것이다.

### 1.5.2 Reading 치 계산 방법

Tiltmeter 의 결과치에 대한 계산은 다음과 같은 방법에 따른다.

$$\theta = (R_1 - R_0) \cdot G + (T_1 - T_0) \cdot C$$

여기서,  $R_0$  : 초기 측정치

$R_1$  : 현 측정치

$T_0$  : 초기 온도

$T_1$  : 현 온도

$G$  : 계기 상수

$C$  : 온도 상수

### 1.5.3 측정범위 및 오차의 정도

벽면경사계의 측정범위는  $\pm 53^\circ$  정도까지 가능하며, 오차는  $\pm 53''$  정도이다. 구조물의 허용경사는 1/170 일때 기초작업이 곤란하고, 1/500 일때 균열을 허용할 수 없는 빌딩에 대한 한계이고, 1/100 일때는 건물의 구조적인 손상이 예측될 수 있다.

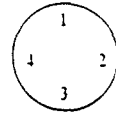
### 1.5.4 오차의 보정

굴착현장에 인접한 건물의 기울기를 측정하는 경우 건물에서 발생할 수 있는 침하형태를 전반적으로 판단하기 위해서는 최소 4 개 이상의 측정점을 설치하여 구조물의 거동 및 침하원인을 분석하여야 한다. 또한 Tiltmeter 측정결과와 굴착현장의 굴착고 및 지하수위 강하량등 현장여건과 비교 하여야 한다.

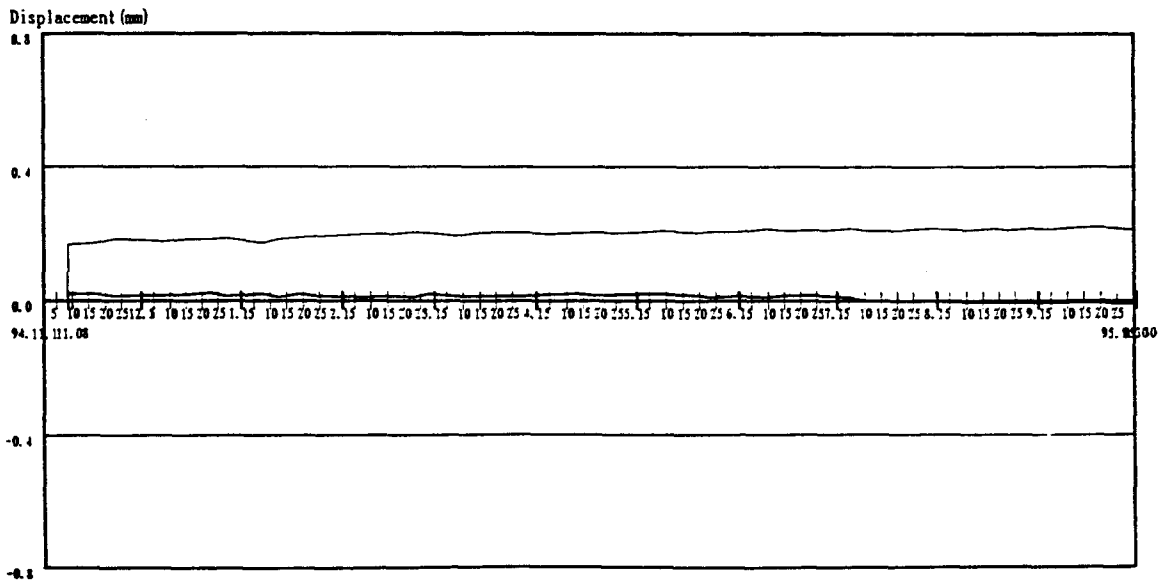
1.5.5 계속결과 정리

TILTMETER DATA SHEET

Project : PUSAN SUBWAY 222 (LOTTE CONSTRUCTION) 1 : FIELD  
 Location No. : SAMICK PLANO (21KM+390) 2 : GAYA  
 Measured By : JANG D. Y. 3 : HOUSE  
 Checked By : NAM S. W. 4 : JEONPO



No.	Date Time	1-3 disp (mm)	2-4 disp (mm)	1-3 slope (1/N)	2-4 slope (1/N)	No.	Date Time	1-3 disp (mm)	2-4 disp (mm)	1-3 slope (1/N)	2-4 slope (1/N)
0	1994.11.08.13	0.000	0.000	0.0	0.0	25	1995.05.04.14	0.205	0.020	487.8	5000.0
1	1994.11.08.14	0.167	0.020	597.0	5000.0	26	1995.05.08.14	0.207	0.020	481.9	5000.0
2	1994.11.16.14	0.170	0.020	588.2	5000.0	27	1995.05.19.14	0.200	0.015	500.0	6666.7
3	1994.11.22.14	0.182	0.012	547.9	8000.0	28	1995.05.22.14	0.205	0.010	487.8	10000.0
4	1994.11.30.14	0.180	0.015	555.6	6666.7	29	1995.05.31.14	0.205	0.012	487.8	8000.0
5	1994.12.07.14	0.175	0.015	571.4	6666.7	30	1995.06.09.14	0.212	0.010	470.6	10000.0
6	1994.12.15.14	0.182	0.018	547.9	5714.3	31	1995.06.15.14	0.207	0.015	481.9	6666.7
7	1994.12.22.14	0.182	0.022	547.9	4444.4	32	1995.06.23.14	0.210	0.015	476.2	6666.7
8	1994.12.27.14	0.185	0.012	540.5	8000.0	33	1995.06.28.14	0.210	0.012	476.2	8000.0
9	1995.01.07.14	0.170	0.020	588.2	5000.0	34	1995.07.05.14	0.215	0.007	465.1	13333.3
10	1995.01.12.14	0.182	0.010	547.9	10000.0	35	1995.07.10.14	0.207	-0.002	481.9	5-10000.0
11	1995.01.18.14	0.188	0.020	533.3	5000.0	36	1995.07.20.14	0.207	-0.002	481.9	5-40000.0
12	1995.01.24.14	0.190	0.012	526.3	8000.0	37	1995.07.24.14	0.212	-0.002	470.6	5-40000.0
13	1995.02.08.14	0.197	0.010	506.3	10000.0	38	1995.07.31.14	0.215	-0.002	465.1	5-40000.0
14	1995.02.16.14	0.197	0.012	506.3	8000.0	39	1995.08.09.14	0.210	-0.005	476.2	5-20000.0
15	1995.02.22.14	0.203	0.010	493.8	10000.0	40	1995.08.18.14	0.215	-0.005	465.1	5-20000.0
16	1995.02.27.14	0.200	0.020	500.0	5000.0	41	1995.08.22.14	0.210	-0.007	476.2	5-13333.3
17	1995.03.07.14	0.192	0.012	519.5	8000.0	42	1995.08.29.14	0.215	-0.007	465.1	5-13333.3
18	1995.03.14.14	0.200	0.012	500.0	8000.0	43	1995.09.05.14	0.212	-0.007	470.6	5-13333.3
19	1995.03.21.14	0.203	0.012	493.8	8000.0	44	1995.09.13.14	0.218	-0.005	459.8	5-20000.0
20	1995.03.28.14	0.203	0.012	493.8	8000.0	45	1995.09.19.14	0.220	-0.007	454.5	5-13333.3
21	1995.04.04.14	0.197	0.018	506.3	5714.3	46	1995.09.30.14	0.210	-0.010	476.2	5-10000.0
22	1995.04.13.14	0.200	0.020	500.0	5000.0						
23	1995.04.18.14	0.203	0.015	493.8	6666.7						
24	1995.04.26.14	0.200	0.018	500.0	5714.3						



CHUN IL Geoconsultants Co., Ltd. (Tel 561-3131/4, FAX 561-3135)

———— 1-3 axis  
 ———— 2-4 axis

그림 1.19 구조물기울기 (Tiltmeter) 측정 결과

## 1.6 지하수위계 (Stand pipe piezometer)

지하흙막이 공사시 지하수의 급격한 상승은 흙막이 벽체에 수압에 의한 하중이 증가되어 안정에 문제가 발생할 수 있으며, 수위의 강하는 흙막이 벽체 배면에서 침하를 일으킬 수 있으므로 공사가 완료될 때 까지 정기적으로 측정해야 한다.

### 1.6.1 측정원리

지하수위계에는 부자식, 촉침식 및 수압식이 있으며, 작동원리는 다음과 같다.

- 부자식 : 나무, 고무, 합성수지계의 부자를 스틸테이프 하단에 연결한 것으로 비교적 수위가 낮고 공경이 큰 관측정에 사용한다.
- 촉침식 : 전원, 전선, 전류계를 연결하여 수면에 검출부가 접촉되었을때 전류를 감지하는 방식으로 작은 공경에 적합하고 사용이 간편하다.
- 수압식 : 수심에 따라 변화하는 수압을 감지하는 것으로 작은 공경에서도 측정이 가능하며, 간극수압계로 겸용할 수 있다.

### 1.6.2 측정범위 및 오차의 정도

수위계를 이용하여 지하수위를 측정하는 경우는 지층이 균질하고, 수압이 깊이에 따라 증가하는 경우에 정량적인 측정치를 얻을 수 있으며, 지층이 불규칙한 경우 투수계수가 낮은 경우는 수위의 변화가 느려서 오차가 심할 수 있다.

### 1.6.3 오차의 보정

지하수의 자유수면 곡선은 포물선 또는 직선을 나타내므로 어느 측정점의 지하수위가 특이점을 나타낼 때는 재검토 또는 재조사가 필요하며, 2 점의 수위를 직선으로 연결하여 중간지점의 수위를 추정하는 것은 부정확하므로, 3 점 이상의 수위를 곡선으로 연결하여 수면의 형상을 구하는 것이 바람직하다.

1.6.4 계속결과 정리

WATER LEVEL DATA SHEET

Project : G.I.B BILDING

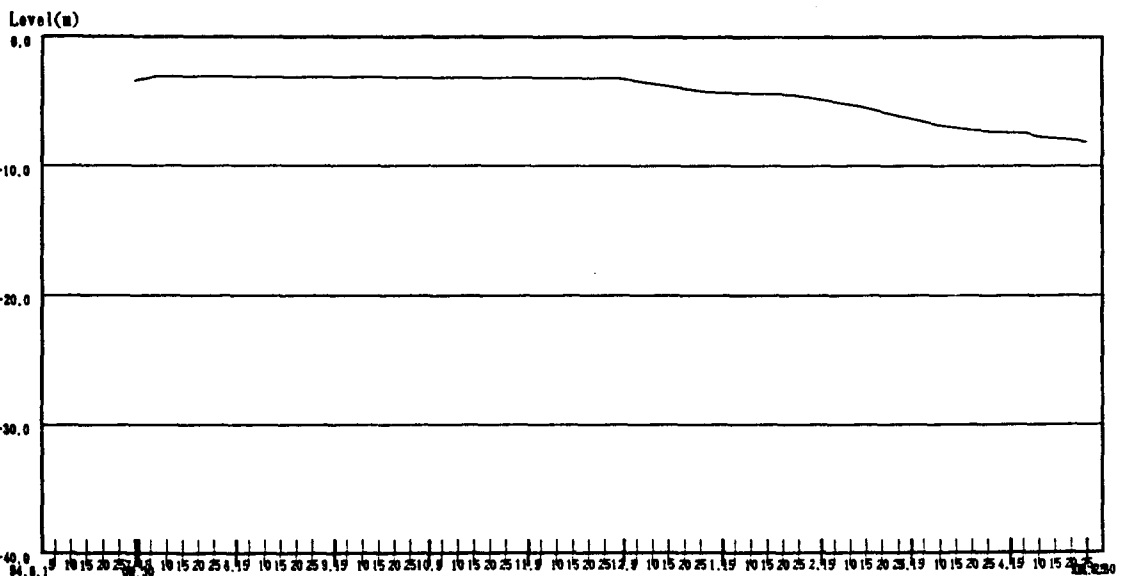
Location No. : 1

Elevation : 0.000

Measured By :

Checked By :

No.	Date Time	Reading	Elevation	Displacement	No.	Date Time	Reading	Elevation	Displacement
0	1994.06.30	3.41	-3.410	0.00					
1	1994.07.31	3.32	-3.320	-0.09					
2	1994.07.04	3.27	-3.270	-0.14					
3	1994.07.06	3.09	-3.090	-0.32					
4	1994.07.08	3.10	-3.100	-0.31					
5	1994.07.11	3.10	-3.100	-0.31					
6	1994.11.29	3.20	-3.200	-0.21					
7	1994.12.27	4.28	-4.280	0.87					
8	1995.01.23	4.47	-4.470	1.06					
9	1995.02.13	5.35	-5.350	1.94					
10	1995.02.24	6.05	-6.050	2.64					
11	1995.03.10	6.86	-6.860	3.45					
12	1995.03.20	7.17	-7.170	3.76					
13	1995.03.27	7.37	-7.370	3.96					
14	1995.04.06	7.44	-7.440	4.03					
15	1995.04.10	7.75	-7.750	4.34					
16	1995.04.18	7.93	-7.930	4.52					
17	1995.04.25	8.11	-8.110	4.70					



CHUN IL Engineering Co.,Ltd. (Tel 561-3131/4, FAX 561-3135)

그림 1.20 지하수위계 (Water level) 계측 결과



## 1.7 간극수압계 (Piezometer)

지반의 유효응력에 의한 설계 및 시공관리를 목적으로 하며, 지반내의 유선망을 작도하거나 침투유량을 계산할 수 있다. 또한 성토시 발생하는 과잉간극수압을 측정하여 탈수나 배수를 효과적으로 측정하여 지반의 안정성 검토 및 시공속도 등의 시공관리에 활용이 가능하다.

### 1.7.1 측정원리

스텐드파이프식 간극수압계는 고강성 파이프의 하단에 연결되어있는 팁으로 수압을 측정하는 구조로서 상단이 대기에 노출되어있는 개단 간극수압계와 상단이 밀폐되어있는 마노미터형이 있다. 전기계측식 간극수압계는 선단의 필터와 압력 변환부가 흙의 유효응력을 차단하고 수압을 전기량으로 변환하여 리드선을 거쳐 지시부에 전달되도록 되어 있다. 진동현식은 두 고정단의 상대변위에 따라 강선의 진동주파수가 변화하는 원리를 이용한 것이다.

### 1.7.2 Reading 처 계산방법

간극수압은 간극수압계의 지시계에서 읽어들이 값을 다음식에 의해서 계산한다.

$$P = G (R_0 - R)$$

여기서, G : Gauge 상수

R<sub>0</sub> : 매설후 압력이 0 일때 초기 읽음치

R : 계측시의 읽음치

### 1.7.3 측정범위 및 오차의 정도

간극수압계의 특성에 따라 다소 타임래그가 예상되고, 이를 정확하게 추정하여 측정치를 추정하는 것은 어려우므로, 최소 1 시간에 1 회 측정으로 1 일 평균치를 구하여 타임래그의 영향을 제거하도록 하여야 한다. 또한 재하의 영향, 강우에 의한 지하수의 상승등 외적조건의 변화에 따라 측정간격을 적절히 결정하여 자료의 신뢰성을 높여야 한다. 간극수압의 오차의 정도는 약 ±0.5% 정도인 것으로 나타나 있다.

1.7.4 계측결과 정리

간극수압계 (2, B) : -4.560 (BL, M)

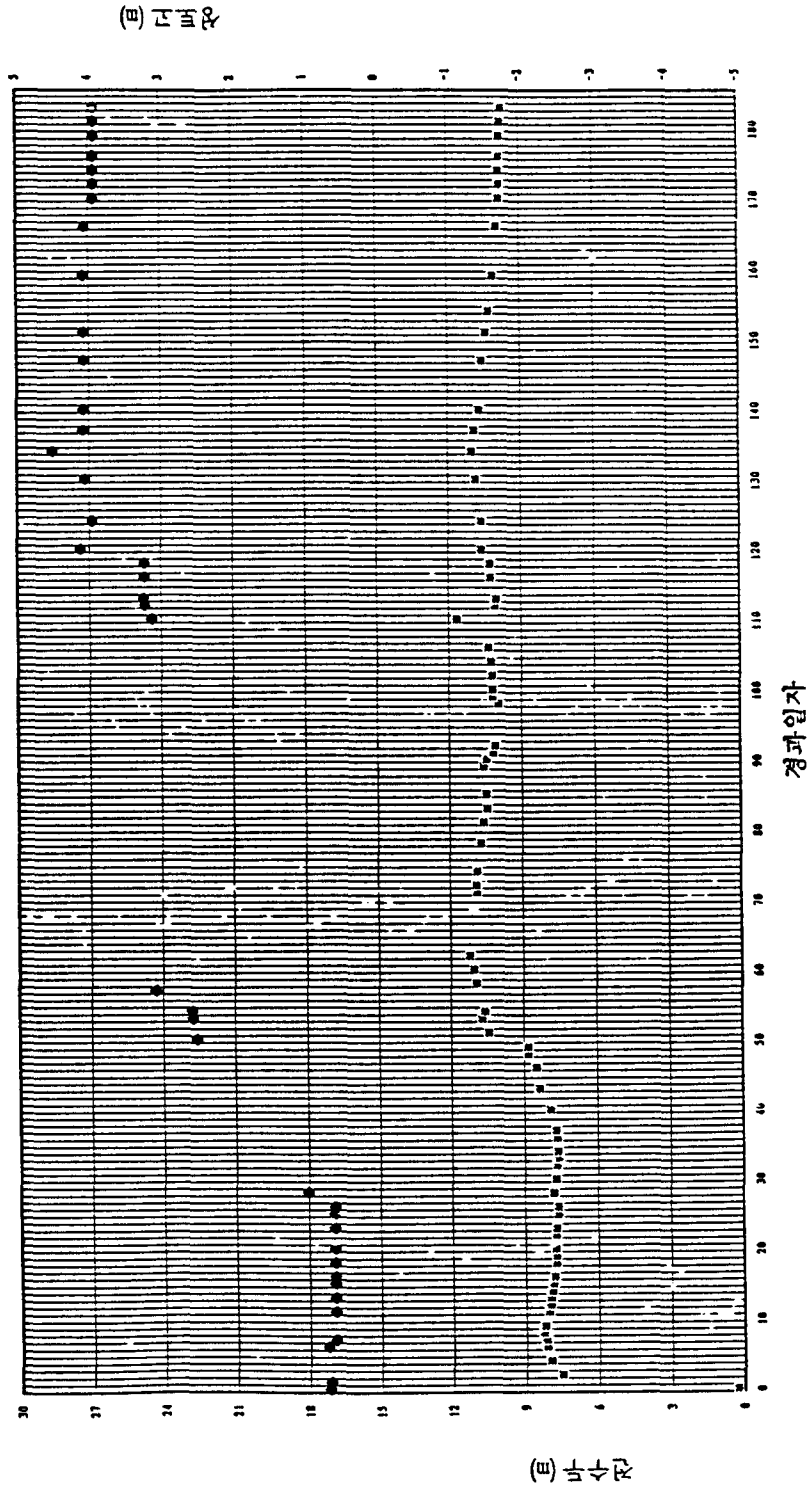


그림 1.21 성토고에 따른 간극수압 (Piezometer) 계측 결과

## 간극 수압계 (2. B)

설치일자 : 95.09.28

설치위치 : -11.560 (EL. M)

Serial NO. : 29697

초기치 : 9262, 21.5

Factor (C : 0.02279, K : -0.02962)

P=0.07030695 [C(R0-R1)+K(T1-T0)]

측정일자	경과일	읽음치 (DIGIT)	전압력 (Kg/cm2)	전수두 (m)	성토고 (m)	
95-09-28	0	9249.7	17.6	0.0278	0.2783	0.727
95-09-29	1					0.713
95-09-30	2	8419.6	14.2	1.3650	13.6498	
95-10-01	3					
95-10-02	4	8327.4	14.2	1.5127	15.1271	
95-10-03	5					
95-10-04	6	8269.7	14.2	1.6052	16.0517	0.755
95-10-05	7	8238.9	14.0	1.6549	16.5493	0.647
95-10-06	8	8217.9	14.2	1.6882	16.8816	
95-10-07	9	8204.3	14.2	1.7100	17.0996	
95-10-08	10					
95-10-09	11	8212.0	14.1	1.6978	16.9783	0.647
95-10-10	12	8200.7	14.1	1.7159	17.1593	
95-10-11	13	8293.0	14.1	1.5680	15.6804	0.647
95-10-12	14	8189.2	14.1	1.7344	17.3436	
95-10-13	15	8188.2	14.2	1.7358	17.3575	0.642
95-10-14	16	8189.7	14.2	1.7333	17.3335	0.643
95-10-15	17					
95-10-16	18	8194.5	14.1	1.7259	17.2587	0.644
95-10-17	19	8195.1	14.2	1.7247	17.2470	
95-10-18	20	8195.2	14.1	1.7247	17.2474	0.644
95-10-19	21					
95-10-20	22	8196.7	14.0	1.7225	17.2255	
95-10-21	23	8197.6	14.0	1.7211	17.2111	0.644
95-10-22	24					
95-10-23	25	8199.8	14.8	1.7159	17.1592	0.644
95-10-24	26	8201.3	14.2	1.7148	17.1476	0.641
95-10-25	27					
95-10-26	28	8204.1	14.2	1.7103	17.1028	1.009
95-10-27	29					
95-10-28	30	8204.7	14.2	1.7093	17.0931	
95-10-29	31					
95-10-30	32	8206.6	14.2	1.7063	17.0627	
95-10-31	33	8208.9	14.1	1.7028	17.0279	
95-11-01	34	8210.4	14.2	1.7002	17.0018	
95-11-02	35					
95-11-03	36	8212.5	14.2	1.6968	16.9682	
95-11-04	37	8213.2	14.2	1.6957	16.9569	
95-11-05	38					
95-11-06	39					
95-11-07	40	8206.2	14.2	1.7069	17.0691	
95-11-08	41					
95-11-09	42					
95-11-10	43	8186.3	14.2	1.7388	17.3880	

(주)천일저조엔지니어링 TEL: (02) 561-3131/4 FAX: (02) 561-3135

그림 1.22 성토고에 따른 간극수압 Reading 치

## 2. 계측결과 활용방안

### 2.1 역해석

역해석은 계측 Data 로 부터 얻어진 응력, 변형율, 변위등을 시공조건등과 비교하여 토질특성을 구하는 것이다. 구해진 토질특성과 설계시의 토질조건과 응력, 변위, 하중 등을 비교함으로써 적절한 해석이 이루어 졌는가 확인하는 동시에 추후 설계자료로 활용할 수 있는 기법이다. 역해석의 개략적인 흐름도는 그림 2.1 과 같다.

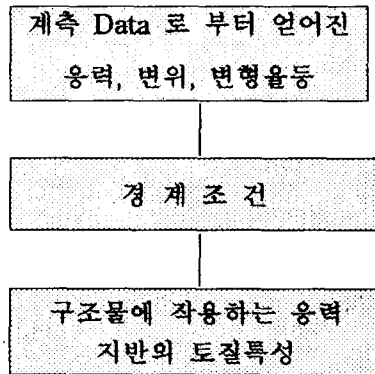


그림 2.1 역해석의 흐름도

#### 2.1.1 개요

굴착공사의 안전하고 합리적인 설계 및 시공관리를 하기 위해서는 지반·지하수위의 변동 토류벽의 변형, 지보축력의 변동등에 대한 계측 Data 를 분석하여 벽체거동의 정도가 높은 예측을 필요로 한다. 그러나 굴착의 진행 및 지보의 가설·철거에 따른 토류벽의 구조해석에 관한 단순한 모델에 기준한 이론적 고찰만으로는 정도가 높은 예측계산은 어렵다. 따라서, 시공관리를 위한 Data 분석에는 상당한 경험이 필요하게 된다. 굴착진행에 따라 생기는 복합적현상을 포착하기 위해 설계시의 설계 Data 중 주요한 변수를 Mode parameter 로서 설정하고 이를 이용한 Simulation 을 실행하여 현장에서 얻어진 계측 Data 와의 검토, 여러 Mode pattern 의 분석에 근거하여 토류벽 구조의 보다 적절한 Model 을 설정하여, 다음단계 굴착을 위한 설계용 Data 를 작성한다. 이 방법에 의해 토류벽의 복잡한 굴착거동에 대한 현실적인 예측이 가능하게 된다.

또한, 설계 Data 중 주요한 Data 를 적절하게 변경하고, 이 Data 에 의한 토류벽에의 영향을 분석하여 다양한 검토의 자료를 제공한다.

#### 2.1.2 주요기능

흙막이 Data 분석 System 에서는 토류공해석을 야마가타의 방법에 의해 계측 Data 를 최적으로 설명할 수 있는 구조계를 Simulation 에 의해 작성하는 것으로 다음과 같은 주요한 기능을 갖는다.

- (1) 굴착단계별 구조계의 변화
- (2) Simulation 해석기능
  - a. 기본해석 (예측계산) → 설계계산
  - b. 기본 Data 의 Parameter 분석
  - c. Mode 설계해석 (Pattern 해석)
  - d. 복수 Pattern 해와 그의 취사선택
- (3) 최적 Mode 해에 의한 구조계 (재설계용) 의 작성

### 2.1.3 구조계 모델

굴착공사에 있어서 토류공 해석에서는 벽체·지보 및 토질등의 구조계를 아래에 서술한 바와 같이 모델화 한다. (이러한 구조계에 관한 Data 를 기본 Data 로 정한다.)

#### (1) 토류벽체

##### a. 벽체두부 및 벽체선단

벽체가 길이는 유한하며, 벽체두부 및 벽체선단에서의 구속조건으로 Free, Spring, Fix 등의 상태를 선택

##### b. 벽체부

벽체는 복수의 재질을 고려할 수 있는 탄성정보로서 Model 화 한다.

#### (2) 지보공

- 굴착단계별로 지보의 설치전 및 설치후를 각각 Model 화 하여 해석한다.
- Preload 설치시 변위등을 고려한다.

#### (3). 작용측압

##### a. 상재하중

벽체배면측 및 굴착면측을 함께 고려한다.

##### b. 수압

##### c. 벽체 배면측 토압

- 주동토압 (Rankine, Coulomb, Pack 등)
- 정지토압
- 임의지정형 토압

##### d. 굴착측 토압

수동토압은 Rankine, Coulomb 토압중 선택

굴착면측에서는 소성영역과 탄성영역을 다음의 기준으로 구별한다.

- 소성영역 : 탄성스프링 반력  $\geq$  유효수동토압 (= 수동토압 - 정지토압)
- 탄성영역 : 탄성스프링 반력  $<$  유효수동토압

소성영역에서는 유효수동·정지토압이 탄성영역에서는 탄성반력·정지토압이 작용한다.

### 2.1.4 Simulation 해석

야마가타의 방법을 근거로 하여 굴착단계별로 구조계의 변동을 고려하기 위하여 탄·소성해석 Simulation 을 실행한다. Simulation 은 지정된 변수 (Mode 라 칭함) 에 대해 적당한 증분을 주어 탄 소성해석을 하며, 그 결과의 계측 Data 와의 오차를 최소로 하기 위해 적절한 증분을 최소자승법에 의해 결정한다. 이것에 의해 적합한 토류벽 Model 로서 Pattern 에 대응하는 Mode Data 의 조합을 복수 준비하여 여러개의 Pattern 해를 얻어, 이 가운데 최적해를 보존할 수 있다. Pattern 해 결정에 사용되는 계측 Data 는 주로 다음과 같다.

#### a. 벽체변위

#### b. 벽체 Moment

얻어진 Pattern 해를 가장 잘 설명할 수 있는 지보, Spring, 작용 Model (설계용 기본 Data) 로서 다음에 보이는 Parameter 중 Mode 로 지정된 것을 결정한다.

#### c. 작용압의 추정

- 정지토압 (배면 및 굴착면측)
  - 수압측압 계수
  - 임의의 하중형상 (배면측)
- d. 배면측 및 굴착면측의 지반강도 (c,  $\phi$ ) 추정
- e. 지반 Spring 정수의 추정
- f. 토류벽의 단면 2 차 Moment 의 추정
- g. 버팀보의 축력

Simulation Mode 는 표 2.1 과 같다.

표 2.1 Simulation Mode 일람표

No.	주 Mode	부 Mode
1	지반 Spring Mode	
2	토류벽체의 강성 Mode	
3	수동토압 Mode (c 또는 $\phi$ )	1. Rankine 토압 Mode 2. Coulomb 토압 Mode
4	배면측압작용 Mode	1. 정지토압 Mode 2. Rankine Mode 3. Coulomb Mode 4. 임의지정 Mode
5	수압 Mode	
6	Strut, Anchor Mode	
7	조합 Mode	1. 주동 Rankine + 지보공 · 수압 2. 수동 Rankine + 지보공 · 수압 3. 지반 Spring + 지보공 · 수압 4. 임의하중 + 지보공 · 수압 5. 토류벽 강성 + 지보공 · 수압

### 2.1.5 Parameter 분석

굴착단계별 구조계의 복잡한 거동을 충분히 검토할 수 있도록 주요한 기본 Data 를 해석 Parameter 로서 지정하여, 그 Parameter 의 구조계에의 영향을 분석한다. 이 Parameter 를 해석 Parameter 라고 부른다. 해석 Parameter 는 표 2.2 에 나타난 바와 같다.

표 2.2 해석 Parameter 일람표

변수명	비고
벽체선단구속	고정, 자유
벽체선단 스프링 정수	수평 스프링 정수 (t/m) 회전 스프링 정수 (t/rad)
단면 2 차 Moment 저감계수	
Moment 저감계수	
강성보정계수	
지보철거	
지보설치시 변위	
하중할증율	
수위	배면측, 굴착측

수압측압 계수	
과잉간극수압	
정지토압계수	
정지토압 보정계수	
간류수평력	
지반 스프링 정수	
토충분할	

## 2.1.6 Mode 해석의 상세

### (1) Mode Simulation 방법

굴착진행에 따라 생기는 복합적 현상을 포착하기 위해 기본 Data 중 주요한 변수를 Mode Parameter 로서 설정하여 이를 이용한 Simulation 의 실행, 양호한 예측 Data 와 Fitting Mode 의 상관관계 분석에 근거하여, 토류벽 구조의 보다 적절한 Model 을 결정한다.

Simulation 의 제 1 단계는 기초가 되는 기본 Data 에 대한 해 (기초해) 를 구한다. 다음은 기본 Data 중 Mode 로서 지정된 Data 에 대해서 적당한 증분을 주어 해 (Mode 해) 를 구한다. 이 Mode 해와 기본해 및 예측 Data 를 이용하여 최소자승법에 의해 예측 Data 에 최적한 증분 및 최적한 기본 Data 를 결정한다.

#### a. Pattern 해석

Mode 해석의 기본으로서 야마가타의 확장법에 의한 탄소성해석을 이용한다.

$$K_0 U_0 = f_0 \quad (1)$$

여기서,  $K_0$  : 벽체의 강성, 스프링정수, 지보의 강성에 의해 결정  
 $f_0$  : 작용하중,  $U_0$  : 변위, 변위각 등 식 (1) 을 풀어서 얻은 기본해

Simulation 계산에서는 강성  $K_0$ , 하중  $f_0$  에 식 (2) 에서와 같이 증분 (Mode) 를 증가시킨다.

$$\begin{aligned} f &= f_0 + f_i \\ K &= K_0 + K_i \end{aligned} \quad (2)$$

여기서,  $f_i$  : i Mode 하중 증분,  $K_i$  : i Mode 강성행렬 증분

식 (2) 에 대한 홀막이벽의 기본식

$$\begin{aligned} K_0 (U_0 + U_i) &= f_0 + f_i \\ (K_0 + K_i) (U_0 + U_i) &= f_0 \end{aligned} \quad (3)$$

식 (3) 의 해  $U_0 + U_i$  가 Mode 해가 된다. Mode 해는 지정된 Mode 수 만큼 얻어진다. 이러한 Mode 해를 종합하여 예측 Data 에 가장 잘 맞는 Pattern 해를 식 (4) 에 의해 결정하며, 여기서  $a_i$  는 Mode 조합 계수 이다.

$$U = U_0 + \sum a_i U_i \quad (4)$$

Mode 조합계수  $a_i$  를 사용하여 역으로 계측 Data 에 가장 잘 맞는 토류벽의 재질, 토질등을 결정하여 다음 단계 굴착에 대한 Model 작성에 이용할 수 있다.

### (2) Mode Simulation 의 방법

Data 분석 System 실행시 (1) 의 Pattern 해석을 복수실행 할 수 있으며, 동시에 개개의 Pattern 해석의 결과를 검토하면서 그 결과의 보존여부를 결정한다. 결과를 보존한 경우 다음 Pattern 해석의 기초로 사용하며, Cancel 의 경우에는 기본해를 기초로한 새로운 Pattern 해석을 계속한다. Mode Simulation 전체의 해석 흐름도는 그림 2.2 와 같다.

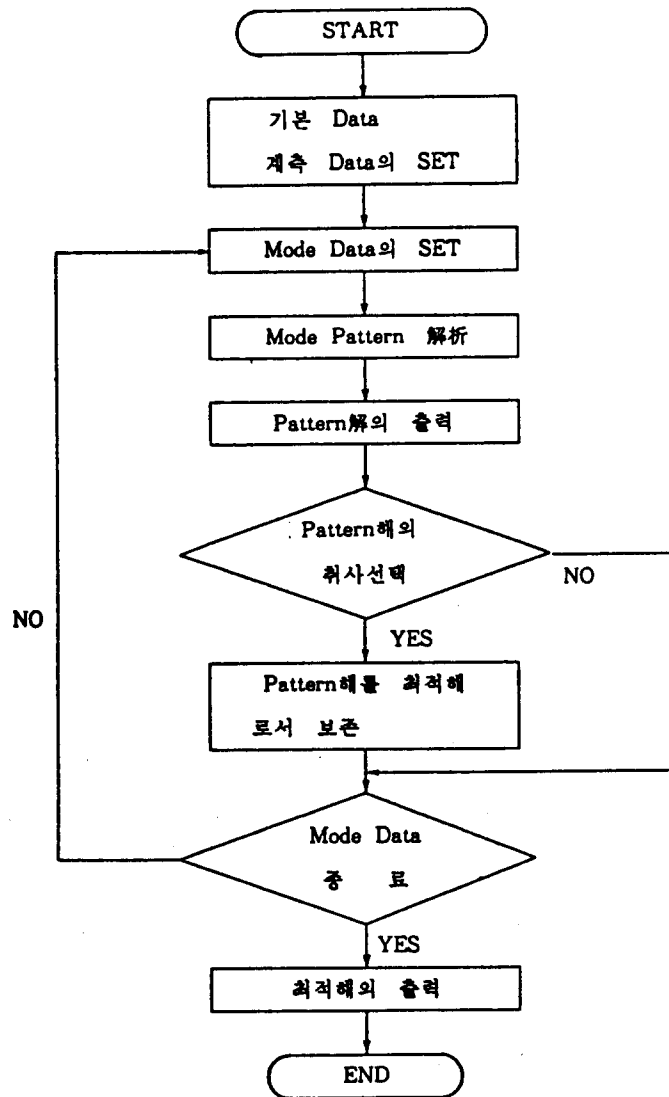


그림 2.2 Mode 해석의 Main 흐름도

### (3) Mode 의 설명

Mode 의 상세에 대한 몇가지 예는 다음과 같다.

#### a. 지반스프링 Mode

탄성역에 있어서의 토류벽 기본식은 지반의 스프링정수에 의존한다. 굴착에 따른 토질변화에 대응



시킴을 위해 지반스프링 Mode 해석에서는 다음과 같이 고려한다.

$$K = C_k \cdot K_s, \quad (C_k = C_{k0} + \Delta C_k) \quad (5)$$

여기서,  $K$  : 지반스프링 정수                       $K_s$  : 지반스프링 정수 (기본치)  
 $C_k$  : 스프링 보정계수                               $C_{k0}$  : 스프링 보정계수 (기본치)  
 $\Delta C_k$  : 스프링 보정계수 (증분)

b. 토압 Mode

$$C = C_o + \Delta C \text{ (점착력부분)} \quad (6)$$

$$\phi = \phi_o + \Delta\phi \text{ (마찰각부분)} \quad (7)$$

여기서,  $C_o$  : 점착력 (기본치)                       $\Delta C$  : 점착력 (증분)  
 $\phi_o$  : 내부마찰각 (기본치)                       $\Delta\phi$  : 내부마찰각 (증분)

식 (6) 및 (7) 을 적용하여 토압을 계산한다.

c. 지보공 Mode

Strut 및 Anchor 의 토류벽에 대한 축력

$$f_s = \beta \cdot f_o \quad (8)$$

$$\beta = \beta_o + \Delta\beta$$

여기서,  $f_o$  : 도입력                       $\beta$  : 지보 축력할증율  
 $\beta_o$  : 지보 축력할증율 (기본치)                       $\Delta\beta$  : 지보 축력할증율 (증분)

(4) Mode 조합계수의 결정

강성 Mode,  $k$ , 하중 Mode  $i$  로서 측정점을  $\alpha, \beta$  로 하고, 기본작용축압을  $f_o$ , 기본강성을  $K_o$  로 하면 작용축압 및 강성행렬은 다음식과 같다. 여기서,  $a_i$  는  $i$  하중에서 Mode Weight Factor 이며,  $b_k$  는  $k$  강성에서 Mode Weight Factor 이다.

$$\text{작용축압 } f_\alpha = f_{o\alpha} + \sum_{i=1}^n a_i f_{i\alpha} \quad (9)$$

$$\text{강성행렬 } K_{\alpha\beta} = K_{o\alpha\beta} + \sum_{i=1}^n b_k K_{k\alpha\beta} \quad (10)$$

기본해는 다음식에서 얻을 수 있다.

$$K_{o\alpha\beta} U_{o\beta} = f_{o\alpha} \quad (11)$$

$i$  Mode 해  $U_i$  및  $k$  Mode 해  $U_k$  는 다음식으로 부터 구할 수 있다.

$$K_{o\alpha\beta} U_o = f_{i\alpha} \quad (12)$$

$$(K_{\alpha\beta} + K_{k\beta})(U_{\alpha\beta} + U_{k\beta}) = f_{\alpha} \quad (13)$$

이 Mode 해를 이용하면 일반해로서 다음식을 얻을 수 있다.

$$U_{\alpha} = U_{\alpha\alpha} + a_i U_{i\alpha} + b_i U_{k\alpha} \quad (14)$$

이 시점에서 Weight factor 는 미정이다. Weight factor 는 다음과 같이 결정한다. 절점 Parameter U 는 변위 u, 변형각  $\theta$ , Moment M, 전단력 S 로 이루어지는 Vector 이다. Weight factor ai 의 결정에는, 변위 u, Moment M 및 변형각  $\theta$  만을 이용한다. 이러한 요소의 측정치를  $u_m, M_m, \theta_m$  으로 한다. 이때의 자승오차 S 는 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$S = W_u \cdot \sum (u_{\alpha} - u_{m\alpha})^2 + W_M \cdot \sum (M_{\alpha} - M_{m\alpha})^2 + W_T \cdot \sum (\theta_{\alpha} - \theta_{m\alpha})^2 \quad (15)$$

여기서,  $W_u, W_M, W_T$  : Weight Parameter,  $a$  : 측정점

일반해 식 (14) 을 식 (15) 에 대입하여 S 가 최소가 되도록  $a_i, b_k$  를 결정한다.

$\frac{\partial S}{\partial a_i} = 0, \frac{\partial S}{\partial b_k} = 0$  을 행렬식으로 풀어서 계산하면 Weight factor  $a_i, b_k$  를 결정할 수 있다. 이

계수를 이용하여 계측치에 맞게 하기 위해 필요한 신규하중 및 강성행렬을 얻는다.

$$f_{\alpha}^* = f_{\alpha} + a_i f_{i\alpha} \quad (16)$$

$$f_{\alpha\beta}^* = K_{\alpha\beta} + b_k K_{k\beta} \quad (17)$$

위 식으로 부터 기본관계식을 구할 수 있으며, 식 (2.18) 의 해  $U_{\alpha\beta}^*$  를 Pattern 해라 한다.

$$f_{\alpha\beta}^* U_{\alpha\beta}^* = f_{\alpha}^* \quad (18)$$

이 Pattern 해에 대해서 계가 비선형성으므로 반복계산하여, 최종적인 해를 얻는다. 반복계산에서는 소성역 반복계산과 아래의 오차수렴 계산이 이루어 진다.

$$\textcircled{a} |U_o^* - U_o| \leq E \text{ (수렴)} \quad (19)$$

$$\textcircled{b} |U_o^* - U_o| > E \quad (20)$$

만약  $\textcircled{b}$  라면  $K_{\alpha\beta}^*, f_{\alpha}^*$  를 기초로하여 다시 Pattern 해를 구해 위의 Process 를 반복한다. Mode simulation parameter 도 여기서 결정된 조합계수를 이용하여 갱신된다. 예를들면 주동도압 Mode 에서 점착력 c 가 Simulation 되어 있는 경우에는 다음과 같이 변경된다.

$$c^* = c + a \cdot \Delta c \quad (21)$$

위와 같은 방법에 의해서 Mode simulation 을 시행함으로써 현장에서 계측된 자료를 이용하여 다음 단계 굴착에서 발생될 수 있는 여러요소를 미리 예측할 수 있으며, 재설계에 반영할 수 있다.

### 2.1.7 현장에서의 간이 역해석법

현장에서 계측 Data 를 이용하여 간이 역해석을 실시할 수 있다. 그 예로서 3 단계 굴착시 (굴착 심도 G.L - 5.5 m, 2 단 Strut 설치) 경사계 계측결과는 그림 2.3 의 점선으로 그려진 부분으로서 최대 횡방향 변위가 15.1 mm 인 것으로 나타났다. 당초설계시 해석결과는 그림 2.3 의 좌측에 나타난 바와 같이 3 단계 굴착시 최대횡방향 변위가 8.05 mm 로서 실제 계측변위 보다 7.05 mm 적은 것으로 나타났다. 점선으로 나타낸 실측변위에 근사하도록 반복계산을 실시한 결과는 그림 2.3 의 우측 그림과 같다. 이와같이 역해석을 실시한 결과 실제시공 현장의 지반물성치는 표 2.3 과 같이 당초설계치 보다 다소 적은것으로 나타났다.

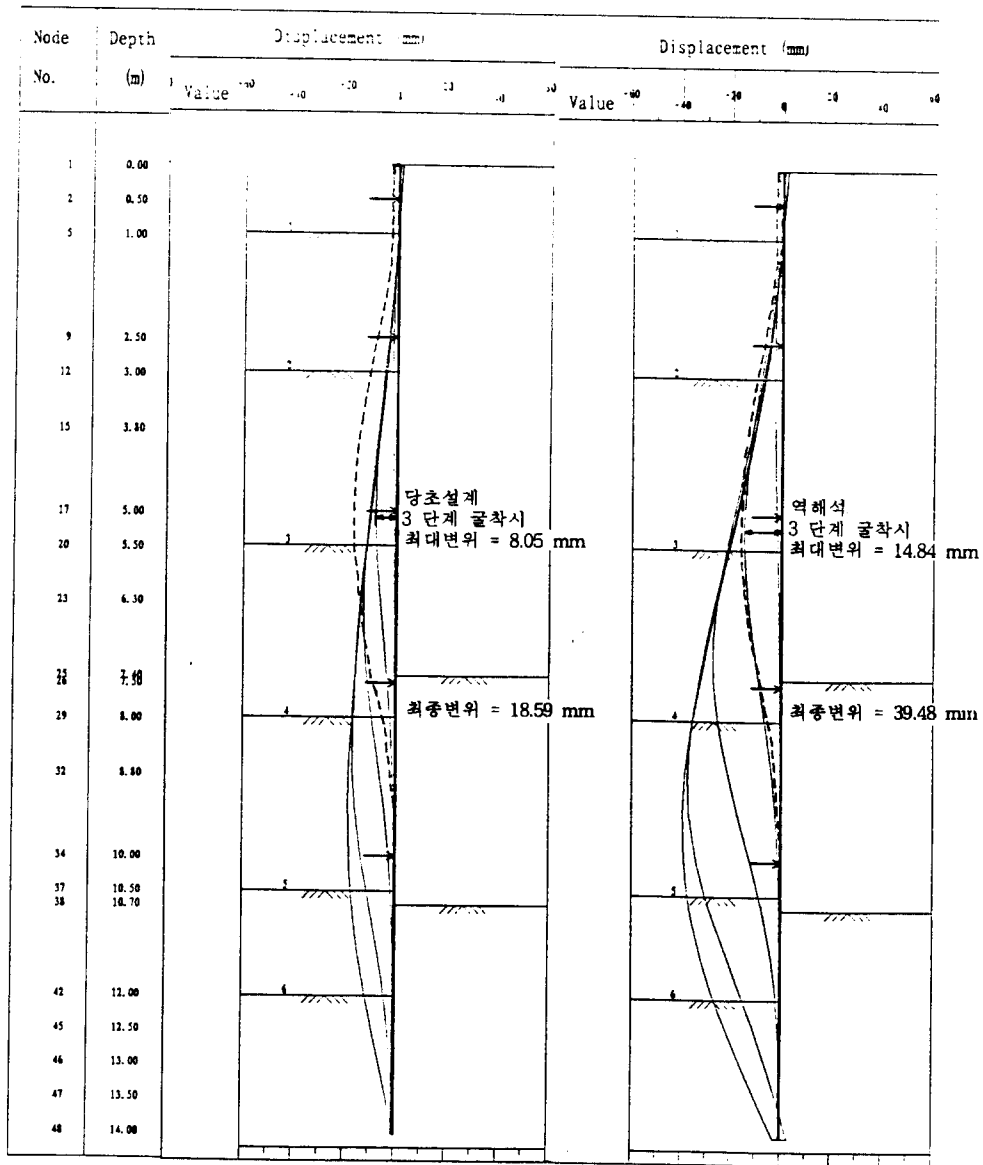


그림 2.3 현장에서의 간이 역해석 결과

표 2.3 역해석 결과 변경된 지반물성치

	당초설계치		역해석 결과치	
	C (t/m <sup>2</sup> )	φ (°)	C (t/m <sup>2</sup> )	φ (°)
매립층	0.0	27	0.0	20
풍화암층	2.0	30	1.0	23
연암층	3.0	35	3.0	30

## 2.2 계측관리 방법

훅막이 공사에서 계측관리방법중 다음의 3 가지 관리방법을 복합하여 이용하는 것이 타당하다.

### 2.2.1 절대관리치

계측관리 방법은 계측의 규모 및 내용에 따라 다소 차이가 있으나, 기본적으로는 과거의 Data 를 경시적 및 통계적으로 처리하여, 현재의 Data 로 공사의 안전성을 확인하면서 장래 시공의 예측에 연결 해 가는 것이 바람직하다. 계측관리의 기준치를 설정하는 기준은 표 2.4 와 같다.

표 2.4 계측관리 기준치

	계측관리대상	기준의 범위
벽 체	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 토류벽의 응력</li> <li>· 토류벽의 변형</li> <li>· Strut 의 축력</li> <li>· Strut 의 평면도</li> <li>· Wale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (장 + 단) / 2 ~ 단</li> <li>· 1 / 2000 또는 설계 여유 이하</li> <li>· (장 + 단) / 2 ~ 단</li> <li>· 1/1000</li> <li>· (장 + 단) / 2 ~ 단</li> </ul>
인 접 구 조 물	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 주변지반의 침하</li> <li>· 주변매설물</li> <li>· Gas 관</li> <li>· 상· 하수도</li> <li>· 지하철</li> <li>· 인접주변건물</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 각변위 : 1/500 ~ 1/200</li> <li>· 관리담당자와 협의가 필요함</li> <li>· 각변위 : 1/1000 ~ 1/300</li> </ul>

(주) 장 : 장기허용 응력도, 단 : 단기허용응력도

계측항목별로 표 2.5 와 같이 관리기준치를 2 단계로 나누어 설정하고, 실측치와 비교하여 상황에 따라 대응책을 강구한다. 관리기준치의 기본적인 방법은 벽체응력, Strut 축력등 부재의 허용응력을 관리의 대상으로 하는 것에 대해서 관리기준치의 제 1 차치로 한다.

1 차 관리기준치는 부재의 허용응력의 80 %, 2 차 관리기준치는 100 % 로 했다. 또한 설계자의 판단에 의한 사항이나 변형에 관한 것에 대해서는 100 % 를 1 차 관리기준치로 했다. 측정치와 관리기준치의 비교 결과 각 상황에 따른 대응방법의 기본적 개념은 다음과 같다.

- 측정치 ≤ 1 차 관리기준치
- 1 차 관리기준치 < 측정치 ≤ 2 차 관리기준치

허용응력을 2 차 관리기준치로 정하고 있으므로 측정치가 이 범위에 있을때는 특별한 문제는 없지만 다음 굴착단계에서 2 차 관리기준치를 초과하지 않는지의 여부를 검토할 필요가 있다. 만약, 2 차 관리기준치 < 측정치 인 경우에는 공사를 일시 중단하고, 토류구조물 전체에 대해서 구조적인 재 검토를 실시한 다음 굴착깊이의 변경이나 새로운 보강대책을 수립해야 한다.

표 2.5 관리기준치 예

계측항목	비교의 대상	관리기준치	
		제 1 차치	제 2 차치
측압·수압	설계측압 분포	100 %	-
벽체응력	1) 철근의 허용인장응력도	80 %	100%
	2) 허용휨 Moment	80 %	
벽체변형	기본계획시의 계산치	100 %	-
Strut 축력	허용압축응력 (좌굴을 고려)	80 %	100 %

또하나의 절대치관리방법은 안전율의 개념을 도입한 것으로, 사전에 각 항목별로 안전율을 설정하고 설계시에 사용한 추정치 및 계측결과치의 비와 안전율을 비교하여 공사의 안전성을 예측하는 방법이다. 표 2.6 은 안전율을 이용한 절대치관리방법의 예이다. 이상에서 설명한 것과 같이 절대관리치를 설정한 후 측정을 계속하여 측정결과치가 관리치에 접근하면 계측빈도를 높이는 등의 감시체제를 강화하고, 측정치가 더욱 증가하는 경향을 나타내면 시공을 일시 중단하고 원인을 분석한 다음 대책을 강구해야 한다.

표 2.6 토류공사의 안전시공관리를 위한 관리방법 예

측정항목	안전·위험의 판정 기준치	판정법			
		지표(관리기준)	위험	주의	안전
측압 (토압, 수압)	설계시에 이용한 토압분포 (지표면에서 각 단계 근입깊이)	F1 = 설계시에 이용한 토압/실측에 의한 토압 (예측)	$F1 < 0.8$	$0.8 \leq F1 \leq 1.2$	$F1 > 1.2$
벽체변형	설계시의 측정치	F2 = 설계시의 추정치/실측의 변형량 (예측)	$F2 < 0.8$	$0.8 \leq F2 \leq 1.2$	$F2 > 1.2$
토류벽내 응력	철근의 허용인장응력	F3 = 철근의 허용인장응력/실측의 인장응력 (예측)	$F3 < 0.8$	$0.8 \leq F3 \leq 1.0$	$F3 > 1.0$
	토류벽의 허용 축력	F4 = 부재의 허용축력/실측의 축력 (예측)	$F4 < 0.8$	$0.8 \leq F4 \leq 1.0$	$F4 > 1.0$
Strut 축력	부재의 허용 축력	F5 = 부재의 허용축력/실측의 축력 (예측)	$F5 < 0.8$	$0.7 \leq F5 \leq 1.2$	$F5 > 1.2$
굴착저면의 Heaving 량	실측결과 Lambe 이 제안한 허용영역의 Heaving 량	실측결과가 위험영역에 Plot 되는 경우	실측결과가 주의 영역에 Plot 되는 경우	실측결과가 안전영역에 Plot 되는 경우	
침하량	각 현장마다 허용치를 결정	각 현장상황에 맞는 허용침하량을 지정하고, 그 허용침하량을 초과하면, 위험 또는 주의신호로 판단한다.			
부등침하량	건물의 허용 부등 침하량	기둥간격에 대한 부등침하량 비	1/300 이상	1/300 ~ 1/500	1/500 이하

## 2.2.2 예측관리

흙막이해석용 Program 에 실측측압을 입력하여, 현시점까지의 굴착단계에 대해서 Simulation 을 하고, 이 해석에서 사용한 지반정수를 이용하여 다음 굴착 부터 최종단계까지의 예측계산을 한다. 그 결과로 부터 다음 굴착이후의 흙막이벽체 System 의 거동을 파악하여 공사에 대한 안전성을 사전에 확인 하면서 굴착을 실시한다.

## 2.2.3 경시관리

흙막이공사는 흙을 대상으로 하는 공사이므로 흙의 경시적인 거동을 파악해 두는 것도 중요하다. PC 를 이용한 자동화 계측 System 을 도입한 경우에는 적어도 1 일 1 회는 Data 를 수집하여 Data 의 경일변화도로 표시되는 일별 Data 의 변화구배로 부터 공사의 안전성에 대해 확인을 한다. 즉, 굴착이 진행되지 않은 상태에서 변위 및 응력이 증가한다든지, 또는 굴착중에 있어서도 변위 및 응력의 급작스런 증가는 사고로 이어지는 경우가 많으므로 계측 Data 를 신중히 검토한 다음 공사를 재개해야 한다.

## 2.3 계측관리체제

계측 Data 의 관리체제는 현장의 안전관리 상황에 따라 다음의 4 단계로 관리체제를 잡는것을 기본으로 한다.

### 1) 정상관리체제

1 주일에 1 회 계측을 하여 계측 Data 에 이상이 있는지, 관리기준치에 대해 안전한지를 판정하여 이상이 없다면 공사를 속행한다. 또한 육안관찰에 있어서도 이상유무가 없는지를 확인하고 이상이 없다면 공사를 진행한다.

각 굴착단계가 종료되었다면, 다음 굴착단계에 있어서의 벽체응력 및 벽체변형의 예측을 하여 관리기준치를 넘는다고 예측된다면 경시변화도 및 분포도를 작성하여 분석한다.

### 2) 주의체제

벽체단면응력도, 벽체변위량, 지보공 응력등이 제 1 차 관리기준치를 넘거나 기타 계측 Data 에 이상상태가 발생한 때에 이 체제로 이행한다.

계측빈도를 1회 / 일 로 하고 이상상태가 계속되거나, 측정치가 크게 변동했을때 원인을 규명하고, 벽체단면응력, 지보공의 응력을 예측하고, 대책공법을 협의 한다. 발주자, 감독측, 시공자가 상호협의 하여 계측점을 추가한다.

### 3) 경계체제

벽체단면응력도, 벽체변위량, 지보공응력이 제 2 차 관리기준치를 넘었을때 이 체제로 이행한다. 이상부분에 대해서 계측빈도를 2회/일 로 하고 관리기준치의 재검토를 포함하여 본격적인 원인규명을 하며, 대책공법을 협의하여 실시한다.

### 4) 공사중지체제

벽체단면 응력도, 벽체변위량, 지보공응력이 제 2 차 관리기준치를 초과하고 위험하다고 판단되면 감독측과 협의하여 공사를 중지한다. 이상부분의 감시를 강화하며 계측빈도를 2회/일 로 하고 본격적인 대책공을 실시하여 계측 Data 가 안정되면 경계체제로 돌아간다.

위의 4 개 관리체제의 중요성을 인식해야 하며, 계측결과를 정량적으로 분석 검토하고 이상이 있을 경우에는 즉시 대처해야 한다. 만약, 계측결과와 이상이 있을때 대책공법을 실시하지 않고 무리하게 공사를 진행한다면 대형사고를 유발할 수 있다.

## 2.4 인접구조물의 안전관리

### 2.4.1 건물의 영향판단

굴착공사시 흙막이 벽체는 어느 정도 변형이 발생되므로 주변에 인접한 건물에 침하, 균열 등의 영향을 미치게 된다. Skempton 과 MacDonald (1956) 는 굴착공사에 따른 피해정도를 다음과 같이 3 가지로 분류하였다.

- 외관상피해 (Architectural damage) : 마감벽에 발생하는 균열 폭이 0.5 mm 이하, 콘크리트나 석조벽에는 피해가 발생하지 않아 보수로서 기능을 회복할 수 있는 피해
- 기능상 피해 (Functional damage) : 문, 창문등의 개폐가 다소 어렵고 마감체가 본벽에서 이탈하지만 구조체에는 피해가 발생하지 않아 보수로서 기능을 회복할 수 있는 피해
- 구조상피해 (Structural damage) : 보, 기둥, 전단벽체 등에 균열, 뒤틀림 현상이 발생하여 보강이 필요한 피해

그러나 피해정도는 구조물의 노후정도, 지반강성 및 지하수위 조건등에 의해 변화하므로 어느 한계를 두어 명확히 구분하기는 어렵고 단지 육안에 의한 일차적인 분류방법으로 이해하는 것이 바람직하다. 보다 엄밀한 판단을 위해서는 균열 및 침하정도를 정확하게 측정할 필요가 있다. 여러 구조물에 대해 허용할 수 있는 침하량과 각변위에 대한 허용기준은 표 2.7 및 그림 2.4 와 같다.

표 2.7 구조물의 종류별 허용침하량 (Sowers, 1962)

침하형태	구조물의 종류	최대허용침하량 (cm)
전체침하	배수시설	15.0 ~ 30.0
	출입구	30.0 ~ 60.0
	석적 및 조적구조	2.5 ~ 5.0
	뼈대구조	5.0 ~ 10.0
	굴뚝, 사이르, 매트	7.5 ~ 30.0

△ 각변위 ( $\delta / l$ )

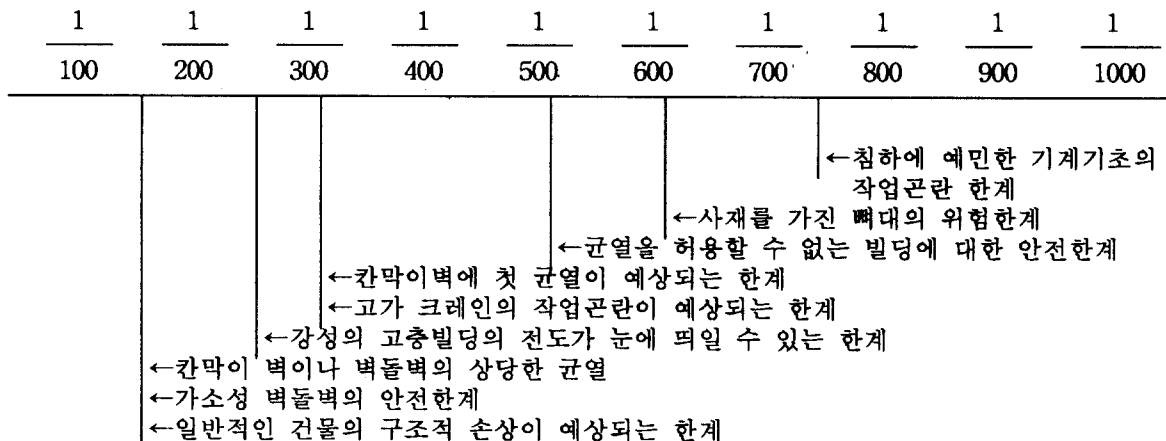


그림 2.4 구조물에 대한 각변위의 한계

여기서, 기초지반에 대한 특별한 언급은 없는데 사질토의 경우 즉시침하의 형태로 일시에 발생되므로 허용침하기준을 적용하는 것이 타당한 것으로 보이나, 점성토 지반의 경우 굴착영향이 즉시적으로 나타나는 것이 아니라 압밀등 시간의 경과에 따라 추가적으로 침하가 발생하므로 이에 대한 고려가 필요하다.

### 2.4.2 매설관의 영향판단

침하가 발생하면 주변에 매설된 관은 파손되거나 경사도가 변화하여 암거의 기능이 상실될 수 있다. 파괴형태는 다양하나 일반적으로 그림 2.5 와 같이 상재하중에 의한 축방향 파괴, 관거축 직각방향의 보파괴, 연결부의 전단파괴 및 파열 관거의 지내력 파괴 등으로 구분할 수 있다. 이외에도 침하영향과는 관련성은 적으나, 부식에 의한 암거벽 손상, 관 연결부에서의 틈 발생, 암거 유통 물질의 퇴적에 의한 관 기능의 상실등도 발생할 수 있다. 매설관의 피해는 어느 한가지의 형태로 발생하는 것이 아니라 복합적으로 발생될 수 있으므로 파괴 유발 원인을 분석할 때 주원인을 규명하기 어려운 경우가 있다.

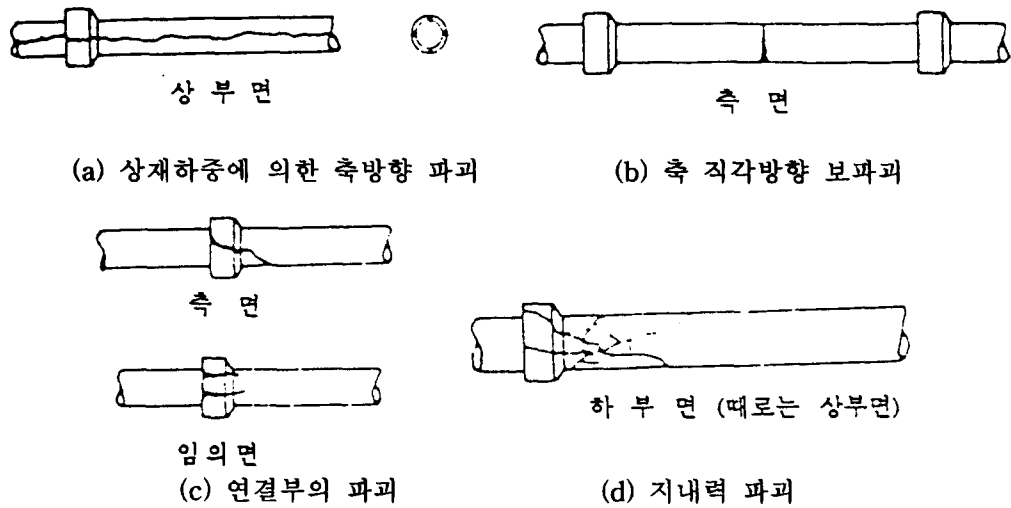


그림 2.5 매설관의 파괴 형상

암거의 피해는 거동방향이 수평, 수직방향의 거동속도 및 크기에 따라 달라지는데 피해정도는 변위속도와 관의 강성, 이음부 상태에 따라 지배받게 된다. 강성암거의 경우에는 기초지반이 침하될때 자체 강성에 의해 저항하므로 영향정도를 분석할때 암거의 강성이 중요한 원인이 될 수 있으나, 연성암거의 경우에는 침하와 매설관로의 거동을 동일시 할 수 있는 조건이므로 허용경사각은 다음식을 이용하여 침하각과 비교하는 것이 합리적이다. 식에서  $L_n$  (mm) 은 관의 유효길이이며,  $B_c$  (mm) 는 관의 외경이다.

- 소켓형 이음관 :  $S = 0.573 (L_n / B_c) (^\circ)$
- 슬리브형 이음관 :  $S = 1.146 (L_n / B_c) (^\circ)$

또한, 관로에서 누수가 발생되어 기초지반에 침투되면 지반의 강도가 급속하게 감소하여 피해의 정도가 증가될 수 있으므로 굴착공사전에 현장 주변에 매설되어있는 구조물의 위치, 제원, 노후정도 및 연결부위 상태등을 상세히 조사하여 안정성 여부를 사전에 확인하여야 한다.



### 3. 계측 Data 이용시의 문제점 및 개선 방향

지하터파기 현장에 계측이 도입된 후 그 결과를 잘 이용함으로써 위험의 예방과 경제적인 시공이 되고 있다. 그러나 아직 계측관리 도입의 역사가 짧아 완전히 정착되지 못하고 있는 사례가 많다. 틀린 계측 Data 를 발주처에 제시하여 불필요한 보강작업에 시간과 비용을 투입하게 하거나, 인접건물에 실제로 균열이 발생할 때 까지도 계측치는 안전한 것으로 표시되는등 문제가 있으며, 개선되어야 할 것이다. 그 예들은 다음과 같다.

#### (1) 초기치의 측정시기를 놓침

경사계관은 굴착전에 설치가 완료되고, 초기치가 측정되어야 한다. 또 Strut 의 Strain gauge 도 Strut 가 설치되지 않은 상태에서 부착하여 Jack 으로 초기 압축력을 주는 과정 부터 측정되어야 한다. Earth Anchor 인장력 측정기도 Jack 에 의해 긴장력을 가하는 과정을 포함하여야 한다.

#### (2) 센서 및 계측기의 검정

각종센서 (Load Cell, Strain Gauge 등) 은 시험실에서 하중을 가하여 계기상수가 맞는지를 확인해야 하며, 계측기도 정기적으로 점검하여야 한다.

#### (3) 자료의 정리

계측결과치는 계측의 목적에 맞도록 정리되어야 한다. 예를 들어 건물기울기 측정결과는 허용치 (1/300 또는 1/500) 과 비교할 수 있도록 분수 형태로 표시 되어야 하며, 각도, 소수 또는 mm 로 나타내는 것은 바람직하지 않다. 경사계와 지하수위 측정치를 나타내는 그림에는 굴착깊이가 같이 표시되어야 굴착과 연관시켜 검토하는데 편리하다.

#### (4) 경사계 관의 비틀림의 보정

경사계관의 비틀림을 측정하여 보정하여야 한다. 깊이가 20.0 m 이상으로 깊고, 사출방식으로 제작된 경사계관의 경우 비틀림이 크므로 반드시 보정하여야 한다. 비틀림이 심한 경우 굴착방향과 직각인 B 축에 변위가 나타나는 것을 알 수 있다.

#### (5) 부적절한 Program 사용

계기 Factor 가 20000 인 경사계를 25000 으로 설정된 Program 에 사용하거나 계산식이 틀린 Program 을 사용하는 경우가 있으므로, 초기에 수작업에 의한 결과와 비교하여 점검하여야 한다.

(6) Strut 의 축력측정 값은 온도에 따라 변화하므로 같은 시간 같은 온도일때 측정하는 것이 바람직하다.

(7) Corner 에서 45° 각도로 설치되는 Strut 는 직각으로 설치되는 Strut 에 비하여 강성이 작으므로 계측되는 축력도 대체로 값이 작은 경향이 있으므로 그 값을 보고 안전하다고 단정해서는 않된다.

(8) 계측기는 대표적인 위치에만 제한적으로 설치되므로 계측치에만 전적으로 의존할 것이 아니라 다른 가능한 수단을 병행하는 것이 필요하다. 즉, 경사계에 의한 변위측정 결과를 보완하기 위하여 흠막이 벽선을 따라 줄을 설치하고 전체적인 변위를 관찰할 수 있으며, 추를 사용하여 수직방향의 변화도 측정할 수 있다. 또, 주변도로나 건물에 대해서도 정기적으로 육안관찰을 실시하여 균열의 발생과 진행을 파악하고, 대책을 수립할 수 있도록 한다.

또한, 굴착벽면에서 지반상태가 어떻게 변화하는지를 관찰하는 것도 중요하다. 토사층에서의 지하수 상태, 자립상태등과 암반에서 균열의 각도, 방향, 충전물의 종류등도 주요 관찰 항목 이다.

(9) 계측 자동화

초기투자비는 많으나, 인건비를 절감할 수 있으며, 계측빈도를 30 분 단위 정도로 할 수 있어서 수동계측 (1회/일 ~ 1회/주) 에 비하여 경시적인 변동을 판단할 수 있는 장점이 있으므로 도입이 늘어날 것으로 전망된다.