◇ 講　　座 ◇

흙막이 구조물(Ⅻ-2)

고　용　일*1
남　순　성*2

7.5 계측기법

7.5.1 토압계

(1) 사용목적

토압을 계측하는 목적은 장래의 설계자료를 얻기 위한 것으로 일반적으로 건물, 터널, 케이슨과 같은 지하벽면, 기초말뚝 또는 널말뚝 배면, 옹벽과 배면토사이, 성토층 등에 설치하여 성토나 주변지반 하중으로 인한 토압을 측정하여 구조물 및 성토층의 안정검토에 이용된다.

(2) 적용 및 활용

토압계는 측정목적에 따라서 제체 토압계(embankment earth pressure cell)와 접촉 토압계(contact earth pressure cell)로 구분된다. 제체 토압계는 성토로 인하여 발생하는 지중의 응력상태를 알 수 있으며, 접촉토압계는 구조물에 작용하는 토압을 측정할 때 사용한다.

(3) 구성

토압셀은 다이아프렘셀과 유압셀로 구분되는데, 다이아프렘셀은 그림 7.25에서 보인 바와 같이 견고한 원형의 멤브레인이 있어서 토압을 받으면 이것이 휘어지므로 그 안쪽에 부착된 스트레인 게이지 또는 진동현에 의하여 그 처짐량이 측정되어 이것이 토압으로 환산된다.

유압셀은 두개의 원형 또는 사각판의 둘레가 서로 용접되어 있고 중앙의 내부 공간에는 유체가 들어 있다. 압력이 가해지면 그림 7.26에서와 같이 트랜스듀서에 압이 전해져 측정된다.

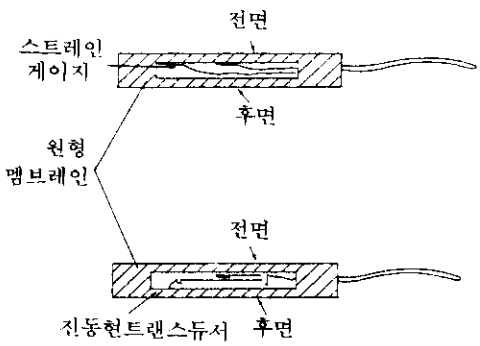


그림 7.25 다이아프렘셀의 형태

(4) 설치 및 측정방법

토압계의 설치방법은 제체 토압셀의 경우와 접촉 토압셀의 경우로 구분되며 제체 토압셀 설치는 그림 7.27을 참조하여 설명하면 다음과 같다.

① 토압계를 24시간 물에 담구어 놓은 후 영점을 읽고 기록한다.

*1 정회원, 한라건설 기술연구소 차장
*2 정회원, 은진건설엔지니어링 대표이사

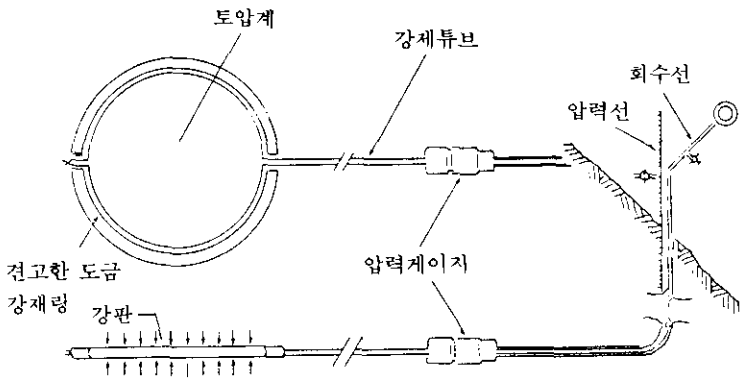


그림 7.26 유압셀의 단면도

② 설치하고자 하는 위치의 지반을 8×3×1m 정도로 굴착하고 바닥면을 균일하게 다짐한 후 지면의 수평을 확인한다.

③ 셀의 하부를 보호하기 위하여 체가름한 흙을 20cm 높이로 수평되게 성토한다.

④ 셀을 설치한 후 상부를 고른 흙으로 15cm 가량 성토하여 셀을 보호한 후 다음 단계 성토를 한다.

⑤ 성토시 셀의 위치에서 1m 까지는 소형 다짐기로 다짐을 한다.

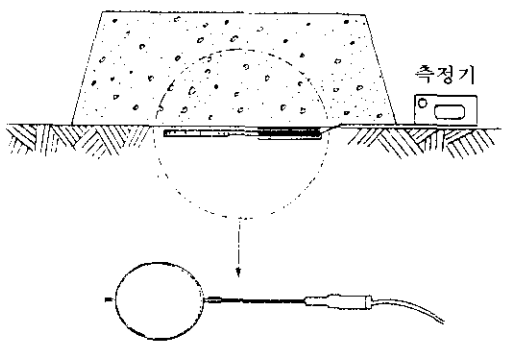


그림 7.27 제체 토압계의 설치단면

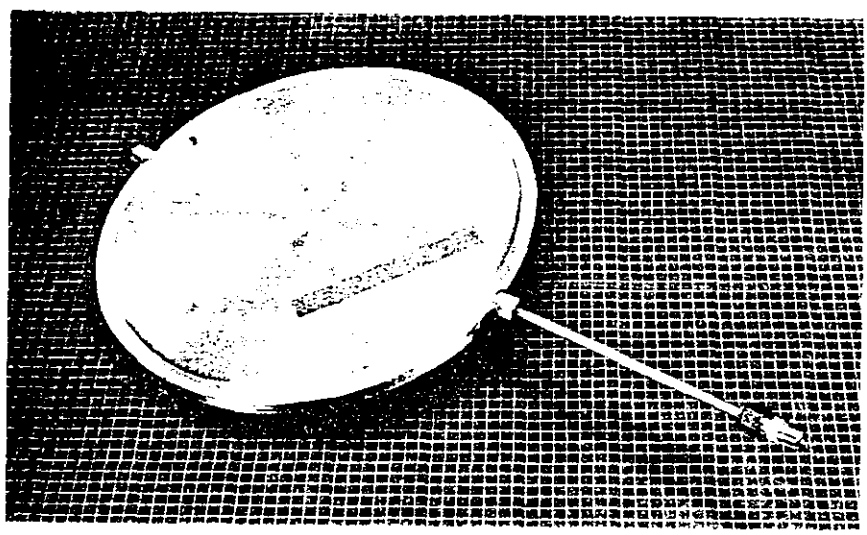


사진 1. 토압계(total pressure cell) 1)

접촉 토압셀의 설치방법에는 다음의 3가지로 분류할 수 있다. 첫째는 셀을 거푸집에 붙여서 콘크리트 구조물과 일체로 만든다. 둘째는 미리 셀이 들어갈 자리를 마련해 두고 콘크리트를 타설한다. 셋째는 콘크리트면에서 약간 떨어져 성토부위에 셀을 매설한다.

이중 첫째 경우는 셀의 작동면이 콘크리트면과 일치하므로 가장 좋은 방법이나 콘크리트 양생시 온도상승으로 인하여 계측에 영향을 줄 수도 있다. 둘째 경우는 셀의 작동면과 콘크리트면이 정확하게 한 평면을 이룰 때만 정확하게 측정이 가능하나, 한 평면을 이루지 못하면 계측에 있어서 오차가 발생한다. 셋째 경우는 부득이한 경우를 제외하고는 사용하지 않는 것이 좋다.

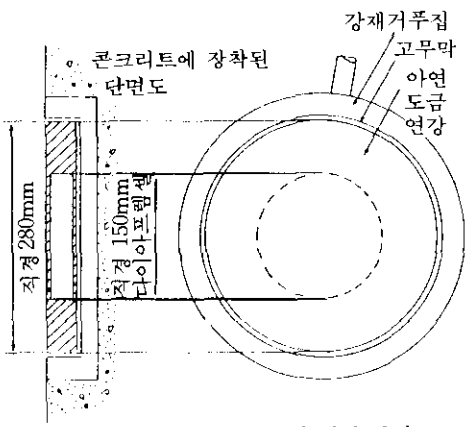


그림 7.28 접촉 토압셀의 설치 단면도

측정방법은 측정기에 의해 시간에 따른 토압을 측정하며 토압은 식(7.6)으로부터 구한다.

$$\text{토압 } P = (F_0 - F_1)G + C(T_1 - T_0) \qquad (7.6)$$

여기서, F_0 : 초기 측정치

G : 계기상수

T_1 : 초기온도

F_1 : 측정치

C : 온도보정 상수

T_0 : 계측온도

7.5.2 지하수위계

(1) 사용목적

공사전 정상상태의 수위와 굴착, 그라우팅 등으로 인한 수위, 수압의 변동을 측정하여 주변 지반의 투수성, 거동 등을 예측하는데 이용된다.

(2) 적용 및 활용

① 굴착에 따른 수위변화를 측정하여 흙막이 벽체의 안정 및 주변 구조물에 미치는 영향 검토
② 제방 및 dam의 안전성 검토 및 통제
③ 투수성 측정
④ 수위의 증가, 감소 조정

(3) 구성

지하수위계의 종류에는 부저식, 탐침식, 수압식이 있는데, 가장 널리 쓰이는 부저식을 기준으로 설명한다.

① 기자재
- water level meter
- 감지기가 부착된 proge
- 눈금이 표시된 cable
- cable이 감겨있는 릴

② 소모자재
- standpipe, coupling, end cap, 보호관, casagrande tip, sealing kit

(4) 설치방법

① 원하는 위치에 계획 심도까지 굴착
② 굴착후 casagrande tip과 PVC stand pipe를 coupling으로 연결한 후 굴착공내에 차례로 설치한다.
③ 모래를 이용하여 투수층을 형성
④ 벤토나이트 차수층 형성
⑤ 지표면까지 grouting을 하고 보호 cap을 설치

(5) 측정방법

① probe를 stand pipe 안으로 삽입하여 내

토압계 Data Sheet

현 장 명 :
위치명(Hole No.) :
계 기 상 수(G) :
초 기 치(F_0) :
온도보정상수(C) :
초 기 온 도(T_0) :
설 치 일 자 :

일 시	계 측 치		온 도 T_1	토 압	토 압	비 고
	CF=(F_1)	저항(resistance : kΩ)	(temperature : ℃)	(earth pressure : PSI)	(earth pressure : kg/cm^2)	

확 인	감리 : 인
	감독 : 인

린다.

② probe가 파이프내의 수면에 닿을 때 빨간불이 켜지고, 부저가 울리는 깊이를 측정한다.

(6) 측정치 기록 및 분석

(가) 기록

"(5)"항의 측정수위는 첨부양식(지하수위계 data sheet)에 다음 사항을 기록한다.

① 측정일자 시간

② 측정수위

③ 초기치와의 대비(증감변화수위)

④ 측정 수위고에 따른 자연수압

$P = \gamma_w \cdot H$

P : 수위높이 "H"의 자연수압(t/m^2)

γ_w : 물의 단위중량 (t/m^3)

H : 수위 측정관 설치 하단부로 부터 지하 수위까지의 높이 (m)

⑤ 기타사항

지하수위 측정시의 배수상태 및 굴착작업상태등 수위와 관련된 주변상황을 기록하며, 수위 영향 변동 요인을 빠뜨리지 않음이 수위변화 분석에 매우 중요하다.

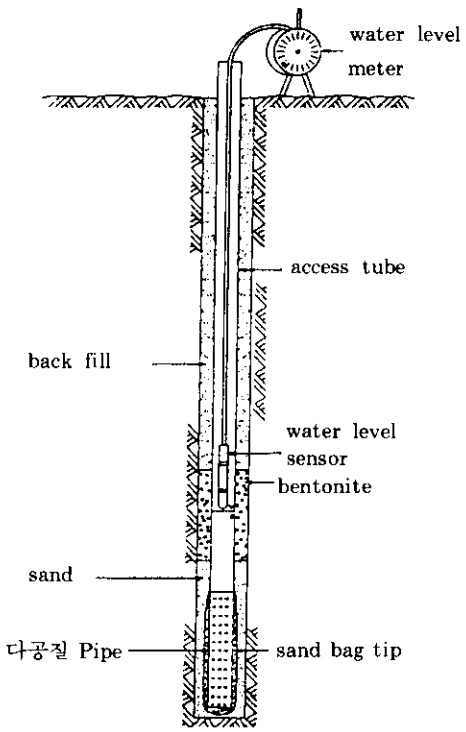


그림 7.29 지하수위 측정 상세도

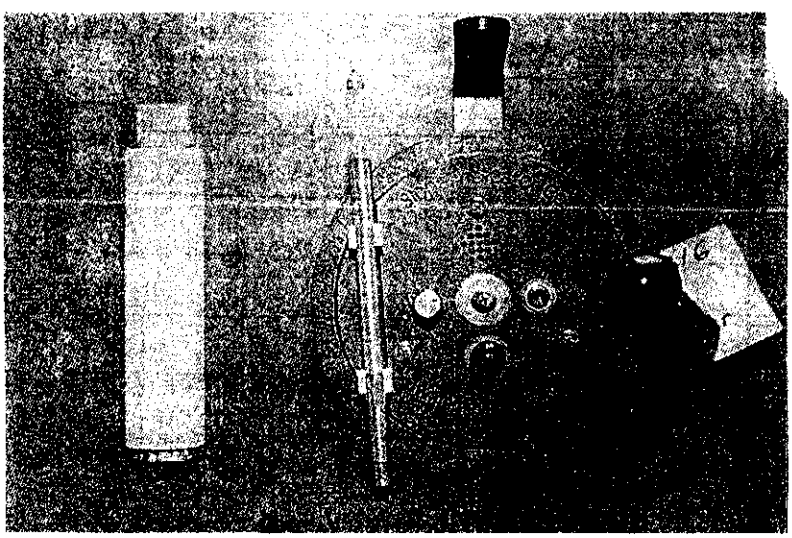


사진 2 지하수위계 및 Casagrande tip

(나)분석

① 수위의 경시변화(經時變化) graph를 작성

· 첨부, graph 참조 (그림 7.30참조)

② 이상수위 변화시

· 강우, 배수 및 굴착개방 등 수위변화 요인 분석

· 적용토압의 적정성 검토

· 간극수압계에 의한 측정간극수압과 자연수압과의 비교 및 분석

③ ②항의 분석에 따른 배수의 조절 및 가시설 보강 등 대책수리

7.5.3 간극수압계

(1) 사용목적

굴착에 의한 지반내의 간극수압의 증감을 측정하여 지반의 안정성을 파악하므로써 시공속도를 조절하고, 토류구조물의 안정성을 검토하는 데 이용된다.

지하수위계 Data Sheet

Project Name :
Description : 15K 410(L)
Sensor Type : Water Level Meter
Init. Value : 2.450
Ground Level : 0.000

date	value	variation	level	date	value	variation	level
년/월/일	m	m	m	년/월/일	m	m	m
93/11/15	2.450	0.000	−2.450	93/12/04	1.660	0.790	−1.660
94/01/06	1.992	0.458	−1.992	94/02/02	2.208	0.242	−2.208
94/03/03	3.042	−0.592	−3.042	94/04/01	2.823	−0.373	−2.823
94/05/04	2.565	−0.115	−2.565	94/06/03	1.510	0.940	−1.510
94/07/05	2.974	−0.524	−2.974	94/08/03	3.298	−0.848	−3.298
94/09/02	4.047	−1.597	−4.047	94/09/06	4.155	−1.705	−4.155
94/09/09	4.246	−1.796	−4.246	94/09/13	4.283	−1.833	−4.283
94/09/16	4.327	−1.877	−4.327	94/09/23	4.340	−1.890	−4.340
94/09/27	4.400	−1.950	−4.400	94/09/30	4.475	−2.025	−4.475
94/10/04	4.575	−2.125	−4.575	94/10/07	4.644	−2.194	−4.644
94/01/12	4.783	−2.333	−4.783	94/10/14	4.816	−2.366	−4.816
94/10/18	4.846	−2.396	−4.846	94/10/21	4.930	−2.480	−4.930
94/10/25	4.998	−2.548	−4.998	94/10/28	3.895	−1.445	−3.895

(2) 적용 및 활용

① 굴착이나 성토지반 등의 안전성 검토 및 시공속도 조절

② 수위측정의 monitoring

③ 유선망을 작성하고 침투수량을 산정

④ 수리조사, 오염 및 환경조사

⑤ 댐 제체나 사면의 안정검토

(3) 종류

간극수압계에는 다음과 같은 종류가 있으며,

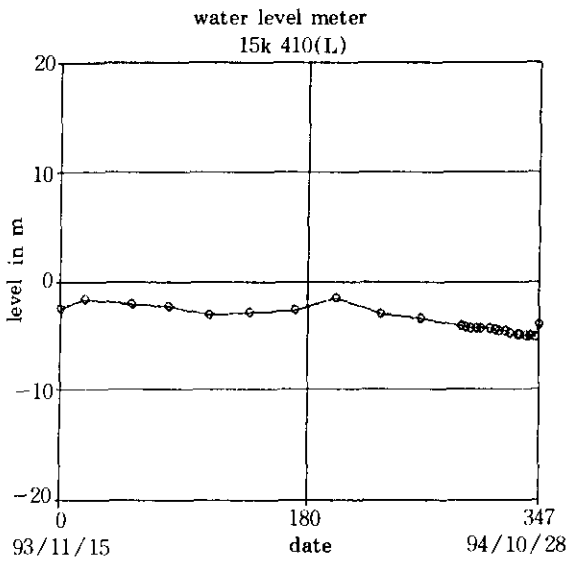


그림 7.30 지하수위의 측정 결과 graph

① 진동현식 간극수압계 (vibrating wire piezometer)
② 개방식 간극수압계
③ 유압식 간극수압계
④ 기압식 간극수압계
⑤ 스트레인게이지식 간극수압계

이하 국내에서 널리 사용되고 있는 진동현식 간극수압계에 대하여 구성, 특징, 설치방법에 대하여 기술하였다.

(4) 구성

① V.W.piezometer tip
② 4 core conductor cable
③ joint sealing kit
④ indicator

(5) 특징

① 장기 안정성이 뛰어나다.
② 정확한 간극수압측정이 가능하다.
③ 간극수압평형에 필요한 유량이 매우 작아 (0.005ml) 지체시간이 짧다.
④ 현재 우리나라에서 널리 사용된다.

(6) 설치방법

① 간극수압계 tip을 cable에 연결후 24시간 동안 물에 담가 놓는다.
② 24시간이 지난후 초기값을 읽고 기록지에 기록한다.
③ 정해진 설치점에 보링을 한다.
④ 케이싱을 한다.
⑤ 간극수압계의 tip이 묻힐 굴착공은 설치전에 굴착 파편이 없이 깨끗하게 세척하여야 한다.
⑥ 깨끗한 모래를 설치공 내에 깔아준다.
⑦ 물속에 담겨있는 간극수압계 tip을 물에 잠겨있는 채로 현장에 운반하여 설치 package나 filterbag을 이용하여 설치한다.
⑧ 모래로 투수층을 형성한다.
⑨ 벤토나이트로 차수층을 형성한다.
⑩ 상부까지 시멘트 그라우팅을 한다.
⑪ 보호막을 만들어 보호해준다.

(7) 측정방법

간극수압감지기에 연결되어진 케이블을 측정기와 연결하여 계측치를 읽은 후 초기치와 계측치 및 계기의 상수를 환산공식에 적용하여 수압을 산정한다.

(8) 측정치 분석

① 측정한 계측치는 온도와 계기상수를 환산공식에 대입하여 간극 수압을 산정한다.

$P=(F_0-F_1)\times G+(T_1-T_0)\times C$

P : 간극수압(kg/cm²)
F_0 : 초기치
F_1 : 계측치
T_0 : 초기측정시 온도
T_1 : 계측시 온도
G : 계기상수
C : 온도상수

② 수위측정에 의한 자연수압과 측정간극수압 및 과잉간극수압 data 및 경시변화 graph 출력
③ '+' 또는 '−'로 발생되는 과잉간극수압의 원인 및 대책검토
④ 지반유효응력 검토

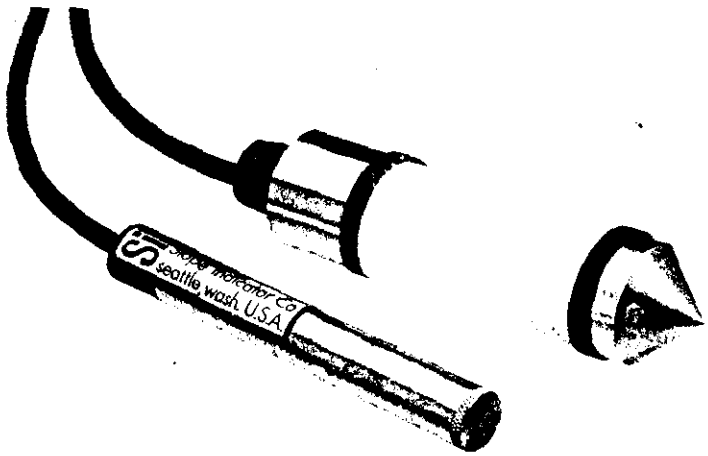


사진 3 VW piezometer

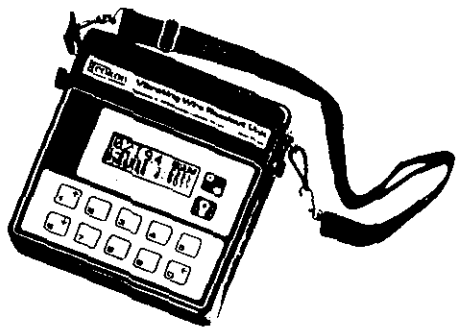


사진 4 VWP indicator

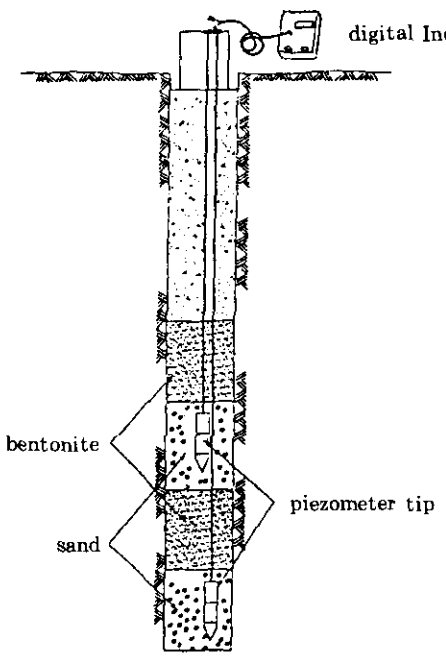


그림 7.31 간극수압계 상세도

7.5.4 하중계

(1) 사용목적

pile, strut 또는 earth anchor의 하중 및 인장력을 측정하여 설계력과 비교·검토하고, 공사시 지반상황을 위해 사용한다.

(2) 적용범위

① strut의 하중 측정

② earth anchor의 하중 및 인장력 측정

(3) 구성

load cell의 감지기에는 전기저항식, 진동현식, 유압식 등이 있으며, 주요 구성자재는 다음과 같다.

① 기자재

· 측정기

· load cell

② 소모자재

· upper and lower plate

· load cell cable

Piezometer Data Sheet

No.

공 사 명 : 설치일자 : 93. 02. 06
위 치 : 측정개시일 : 93. 02. 17
관리번호 : 설치지반고 : EL+0.19m
측정기기번호 : PZ 9(3m) 계기상수 : 0.02284 온도보정상수 : −0.01142

측정 번호	측정 일자	경과일(일) 기간	경과일(일) 경과일수	측 정 치 온도(℃)	측 정 치 측정압	간극수압 (t/m²)	정수압 (t/m²)	과잉간극수압 (t/m²)
150	08/30/94	4	559	14.7	8444.4	9.402	8.590	0.812
151	09/02/94	3	562	14.4	8429.4	9.645	8.520	1.125
152	09/05/94	3	565	14.4	8430.2	9.632	8.590	1.042
153	09/08/94	3	568	14.5	8439.2	9.487	8.540	0.947
154	09/12/94	4	572	14.5	8447.0	9.362	8.570	0.792
155	09/15/94	3	575	14.5	8450.2	9.310	8.550	0.760
156	09/17/94	2	577	14.4	8452.1	9.281	8.590	0.691
157	09/22/94	5	582	14.5	8456.7	9.206	8.520	0.686
158	09/24/94	2	584	14.5	8458.2	9.182	8.490	0.692
159	09/27/94	3	587	14.4	8460.3	9.149	8.410	0.739
160	09/30/94	3	590	14.5	8461.2	9.134	8.470	0.664
161	10/05/94	5	595	14.5	8441.2	9.455	8.480	0.975
162	10/07/94	2	597	14.4	8436.2	9.536	8.590	0.946
163	10/10/94	3	600	14.4	8422.4	9.758	8.520	1.238
164	10/15/94	5	605	14.1	8410.8	9.946	8.490	1.456
165	10/17/94	2	607	14.1	8391.2	10.261	8.570	1.691
166	10/20/94	3	610	14.2	8388.5	10.304	8.550	1.754
167	10/24/94	4	614	14.4	8373.9	10537	8.590	1.947
168	10/29/94	5	619	14.4	8372.2	10.564	8.620	1.944
169	11/01/94	3	622	14.4	8375.1	10.517	8.510	2.007
170	11/07/94	6	628	15.0	8380.6	10.424	8.490	1.934
171	11/10/94	3	631	15.2	8383.4	10.378	8.560	1.818
172	11/17/94	7	638	14.4	8392.9	10.231	8.610	1.621
173	11/23/94	6	644	14.4	8408.7	9.978	8.790	1.188
174	11/26/94	3	647	14.4	8413.5	9.901	8.890	1.011
175	11/29/94	3	650	14.4	8414.7	9.881	8.930	0.951
176								

(4) 설치방법

(가) earth anchor에 설치시

① load cell 설치 3~4시간전에 현장 그늘에 놓아둔다.

② cable을 연결한 후 초기치를 읽고 sheet에 기록한다

③ earth anchor strand 를 center hole 내부로 집어넣어 lower plate를 거치시킨다.

④ load cell을 거치시킨다.

⑤ upper plate를 거치시킨 후 지압판을 거치하고 유압잭을 이용하여 earth anchor를 인장한다.

⑥ earth anchor를 인장시킨 후 측정기

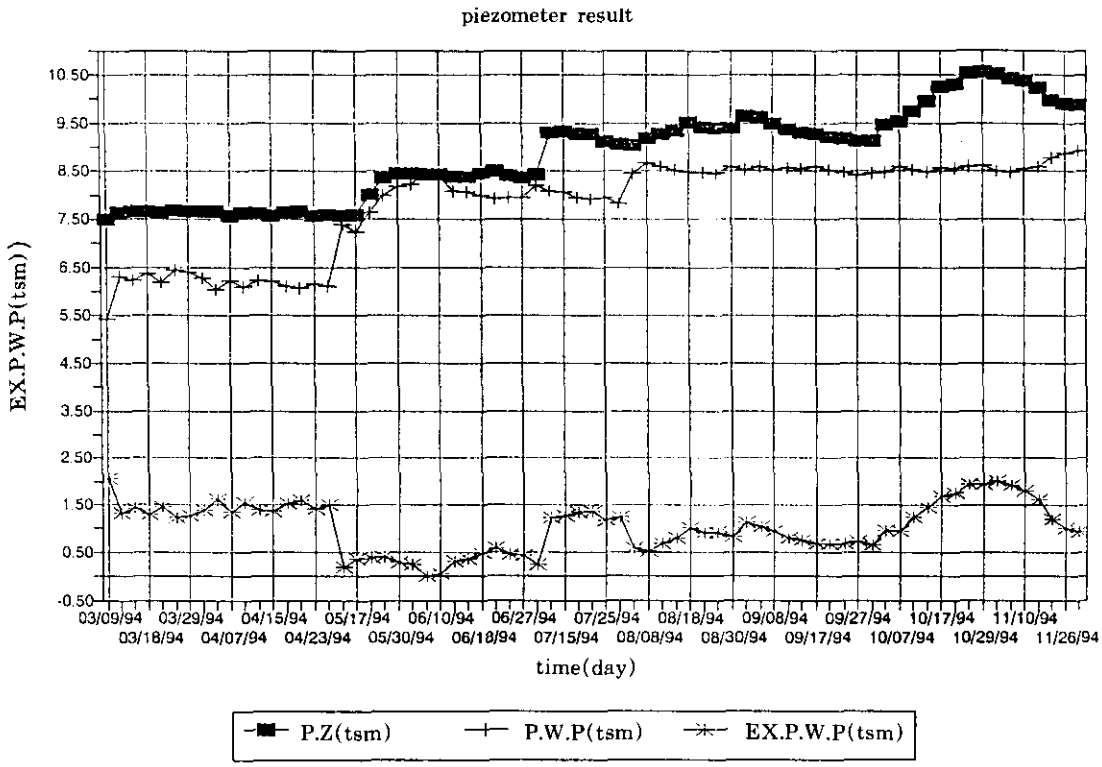


그림 7.32 간극수압의 측정결과 graph

계를 이용하여 측정치를 읽는다.

(나) strut에 설치시.

① load cell 설치 3~4 시간전에 현장 그늘에 놓아둔다.

② cable을 연결한 후 초기치를 읽고 sheet에 기록한다.

③ strut와 strut 사이에 bear plate를 용접하여 설치하고, 그 위에 upper and lower plate를 설치한다.

④ upper and lower plate 사이에 load cell를 설치하고, strut를 거치시킨다.

⑤ jack을 이용하여 strut를 압축시키고, 측정기를 이용하여 측정치를 읽는다.

(5) 측정방법

① load cell에서 연결되어진 케이블을 측정기와 연결한다.

② 측정기에 나타난 측정값을 초기값 및 계기상수를 환산공식에 적용하여 인장력 및 하중을 측정한다.

(6) 측정치 분석

① load cell 측정자료의 일자별 정리(하중계 data sheet)참조

② graph 출력

-일자별 load cell 하중변하

-굴착깊이별 load cell 하중변화

③ 설계하중과 실측하중의 비교·분석

하중계 Data Sheet

현 장 명 :

계 기 상 수(G) :

온도보정상수(K) :

설 치 위 치 :

$L=G(R_o-R_1)+K(T_o-T_1)$

초기치 ①

②

③

ⓣ

하 중 :

일 시	측 정 치				합 계	온 도	하 중		비 고
	1	2	3	R	(1+2+3)	(℃)	lb	ton	

확 인	감리 : 인
	감독 : 인

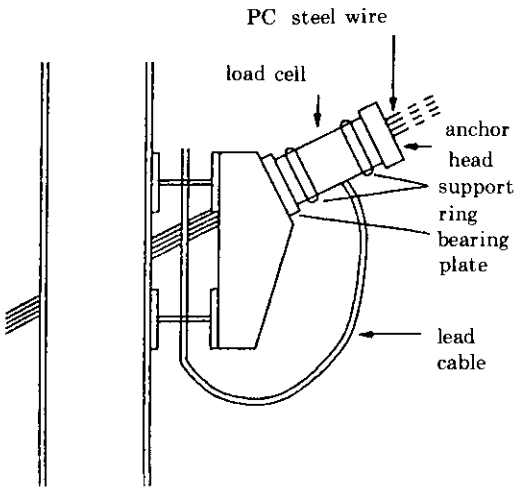


그림 7.33 earth anchor 하중측정용 load cell 설치상세도

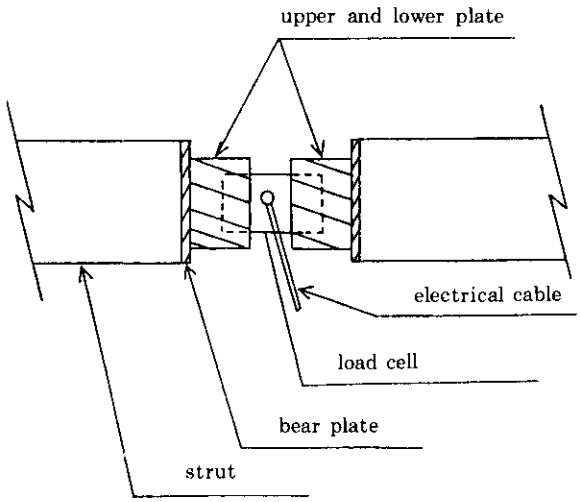


그림 7.34 strut축력측정용 load cell 설치상세도

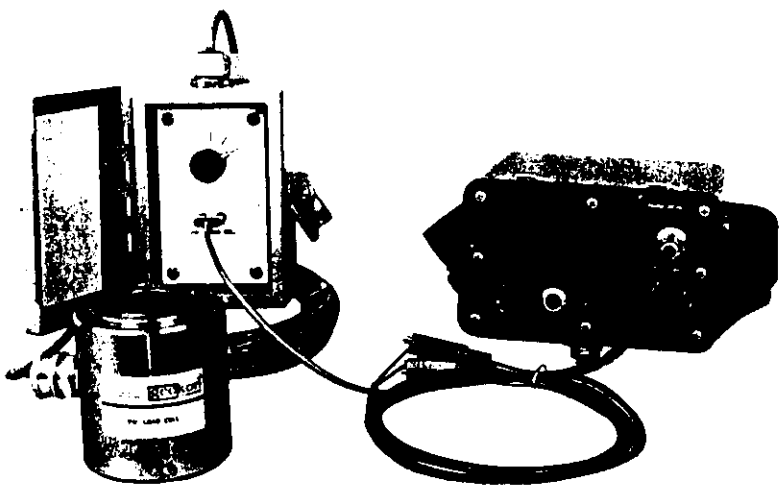


사진 5. earth anchor용 load cell과 indicator

7.5.5 변형률계

(1) 사용목적

① strut 등의 강재나 콘크리트에 가해지는 응력을 측정한다.

② 강재 구조물이나 철골 구조물등에 부착하여 구조물의 변형을 측정한다.

③ 콘크리트 속에 매립하여 콘크리트의 변형을 측정한다.

(2) 적용범위

① 터파기 공사중 strut나 띠장에 부착하여 응력, 변형 측정

② 터널 라이닝이나 steel rib에 부착하여 응력, 변형 측정

③ pipe line 내부의 응력 집중 현상을 측정

④ pretension 지지 구조물이나 벽면지지 앵커의 하중 변형 측정

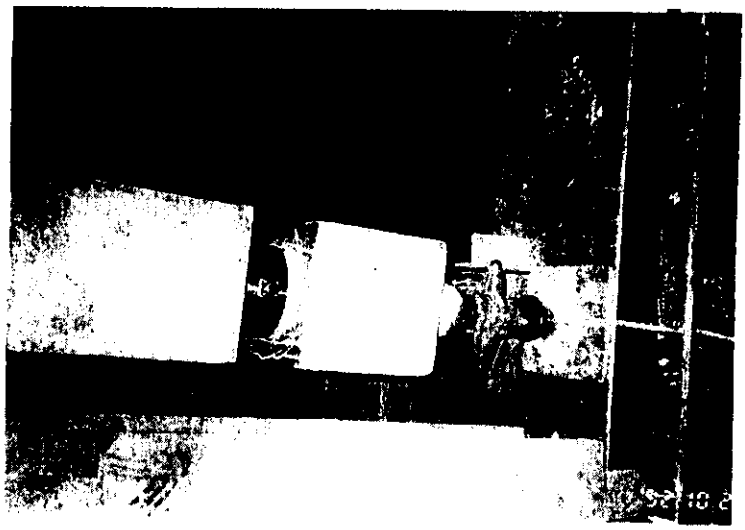


사진 6 strut용 load cell의 설치모습

⑤ 빌딩이나 교량등에 대하여 건설기간 또는 건설후의 지속적인 계측을 위하여 실시

(3) 구성

① 기자재 : 측정기

- 측정기
- strain gauge

② 소모자재

- protective cover.
- cable
- sealing kit

(4) 설치방법

(가) 표면부착형(surface type)

① 측정하고자 하는 위치에 전기 용접 또는 접착제를 이용하여 strain gauge 를 부착시킨다.

② 부착시킨 sensor에 cable을 연결시킨 후 보호덮개로 sensor를 보호한다.

③ 연결된 cable을 측정 위치까지 도달시킨 후 측정기의 리드 케이블에 연결한다.

(나) 매설형(embedment type)

① 측정하고자 하는 위치에 strain gauge를 설치하고 cable을 연결시킨다.

② 콘크리트를 타설한다.

③ 측정기를 이용하여 변형률을 측정한다.

(5) 측정방법

① strain gauge cable을 측정기와 연결시킨다.

② 온도측정 key를 이용하여 현재 온도를 측정한다.

③ 변환 key를 이용하여 변형률을 측정한다.

(6) 측정치 분석

① 응력의 계산

$\sigma = \varepsilon \times E$

σ : 응력

ε : 변형률

E : 부재의 탄성계수

② 하중의 계산

$P = \sigma \times A$

P : 축력 A : 부재의 단면적

③ graph의 출력

-시간 경과에 따른 축력

-굴착 깊이에 따른 축력

④ 부재의 허용축력과 실제 계측결과 축력 또는 예측치와 비교하여 안전여부 판단.

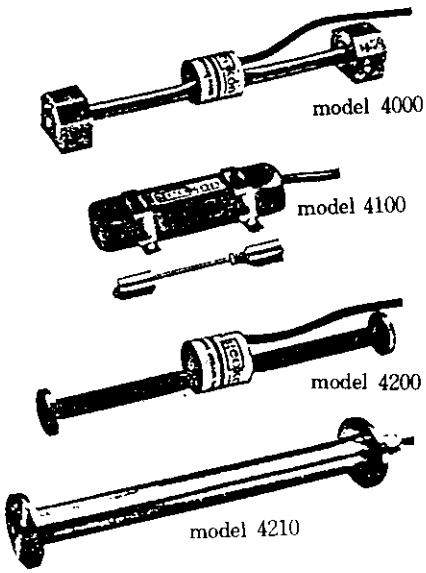


사진 7 진동현식 strain gauge종류

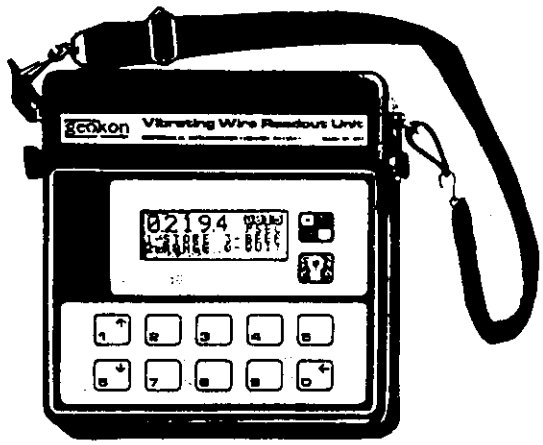
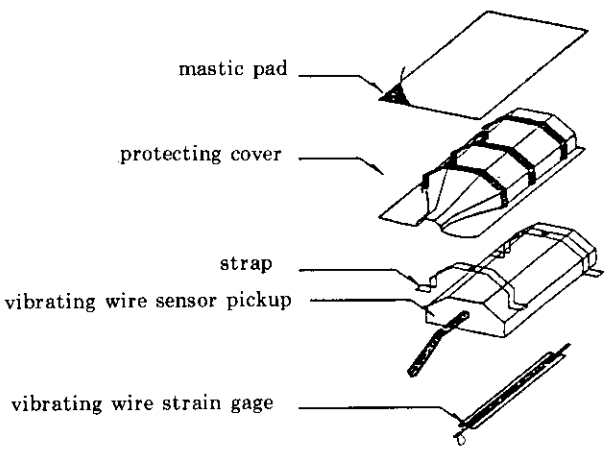


사진 8 진동현식 strain gauge용 측정기



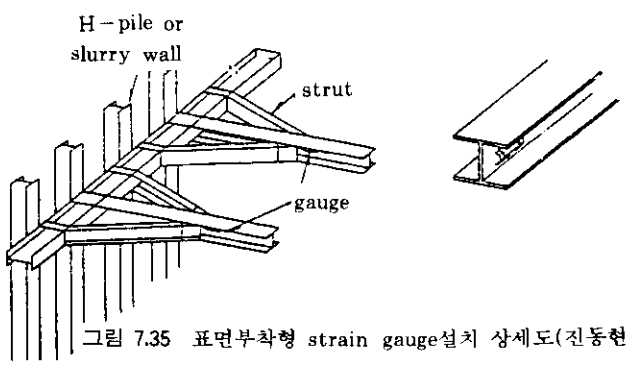


그림 7.35 표면부착형 strain gauge설치 상세도(진동현식)

변형률계 Data Sheet

현 장 명 :		위 치 명 :	
계 기 상 수(K) :		초 기 치 :	
설 치 일 자 :		탄성계수(E) :	

일 시	계 측 치		온 도	변형률	응 력	비 고
	period(T)	(resistance : kΩ)	(temperature : ℃)	(strain : ε)	(stress)	

확 인	감리 : 인
	감독 : 인

7.5.6 경사계(지중수평변위 측정기)

경사계는 portable borehole inclinometer와 자동계측이 가능한 fixed borehole inclinometer가 있으며, 여기서는 일반적으로 많이 사용하고 있는 portable borehole inclinometer에 대하여 중점 설명코자 한다.

(1) 사용목적

굴착 및 성토시 공동현상 및 지하수위의 변위량 등 기타 영향으로 인한 지반 수평변위량의 위치, 크기 및 속도를 계측하여 설계상의 예상변위량과 비교검토 하므로써 안전도 및 피해영향권을 추정하는데 그 목적이 있다.

(2) 적용 및 활용

① retaining wall이나 흙막이 벽, diaphragm wall, 교량의 교각이나 교대등의 변형을 측정
② 터널, shaft, 지중작업의 안정성 검토
③ 댐이나 성토지반에 대한 안정성 검토
④ 사면의 안정성 검토

(3) 구성

① 기자재

측정기 : probe, 리드 케이블, 케이블 드럼, logger tape 지시계, software package.

② 소모자재

경사계관(plastic, aluminium), coupling, end cap, 보호덮개, 설치도구

(4) 설치방법

(가) 지반에 설치시

현장의 특성과 주어진 상황에 따라서 보링, casing의 처리, grouting의 방법은 차이가 있을 수 있으나, 일반적인 경우 아래와 같은 방법으로 설치한다.

① 암반까지 보링을 한다.

hole의 지름은 100~200mm 정도이되 100mm 정도로 하는 것이 설치에 편리하다.

② 경사계관의 한쪽끝을 end cap으로 씌우고 rivet kit를 사용하여 riveting을 한다.
③ 미리 경사계관과 coupling을 rivet로 조합시켜 놓고 sealing 처리를 한다.
④ 측정방향을 설정하여 홀에 A와 B의 방향을 표시한다.
⑤ 조립된 경사계관을 차례로 hole내에 넣어 측정방향과 keyway의 방향을 맞추어 설치한다.
⑥ grouting을 완료 후 steel casing을 제거한다.
⑦ grout재로 완전히 채운 후 경사계관의 끝부분을 protective cover로 덮고 보호막을 만들어 잘 보호되도록 한다.
⑧ grout재가 양생된 후 침하된 부위에 다시 grout재를 채운다.

- grout를 하는 과정에서 측정방향에 대한 위치가 변경되지 않도록 유의해야 한다.
- 만약 설치도중에 공내의 물에 의한 부력에 영향을 받는다면 경사계관내에 맑은 물을 부어 넣어 부력을 제거하도록 해야 한다.

(나) 지중 연속벽에 설치시

① 지중연속벽 철조망 설치시 설치위치에 지름 100~200mm 정도의 케이싱을 설치한다.
② 경사계관의 한쪽끝을 end cap으로 씌우고 rivet kit를 사용하여 riveting을 한다.
③ 미리 경사계관과 coupling을 rivet로 조합시켜 놓고 sealing 처리를 한다.
④ 조립된 경사계관을 차례로 casing내에 넣어 측정방향과 keyway의 방향을 맞추어 설치한다.
⑤ 지중연속 콘크리트 타설후 grout pump를 사용하여 연속벽 casing 내부를 grouting한다.
⑥ grout재로 완전히 채운 후 경사계관의 끝

부분을 protective cover로 덮고 보호막을 만들어 잘 보호되도록 한다.

⑦ grout재가 양생된 후 침하된 부위에 다시 grout재를 채운다.

(5) 측정방법

① 경사계관의 protective cover를 열고 probe 및 측정기를 연결한다.

② probe position을 측정방향 A,B에 맞추어 경사계관 내부의 keyway를 따라 밀어 넣는다.

③ 계획심도까지 probe를 내린후 지시계의 스위치를 켠다.

④ 50cm씩 표시된 케이블을 올리며 계측을 하고 계측된 값은 자동적으로 수록되며 필요한 자료를 원하는 때에 즉시 뽑아내어 사용한다.

(6) 측정치 기록 및 분석

① 측정기의 측정 data를 분석 컴퓨터로 전송

② 전산처리에 의한 분석 및 검토

- 심도별 수평변위 data 출력
- 심도별 기간별 변위 graph 출력
- 최대변위치의 경시변화 검토

(7) 고정식 경사계 소개

연속적 또는 빈번한 횡방향 변위 측정의 필요성이 있는 곳에서 근래에는 자동 계측이 자주 이용되고 있는데 이에 적합한 경사계로 고정식 경사계를 사용한다.

고정식 경사계는 수동 및 자동측정이 가능하며 전체 변위량은 시추공을 따라 설치된 센서간의 상대변위를 합하여 얻는다.

정확도는 1m당 0.01mm 정도이다.

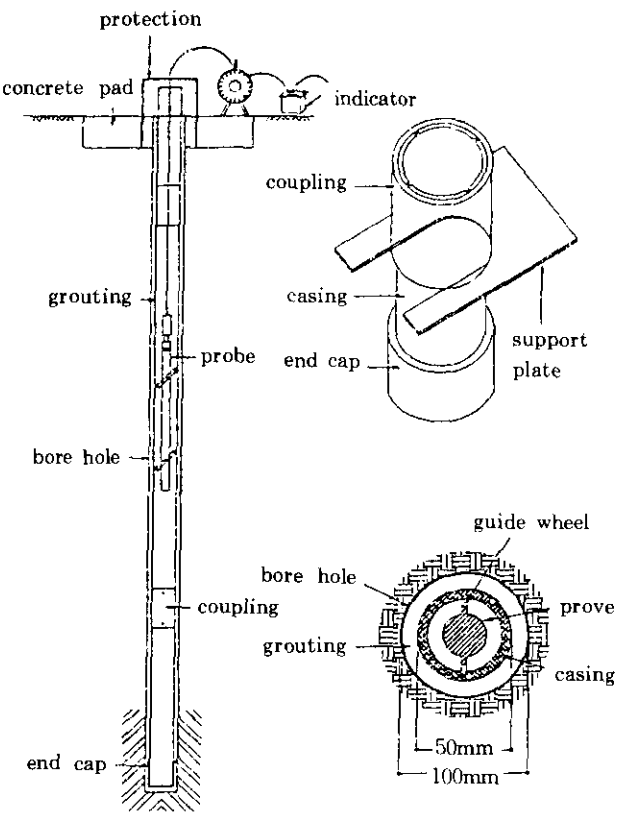


그림 7.36 portable borehole inclinometer

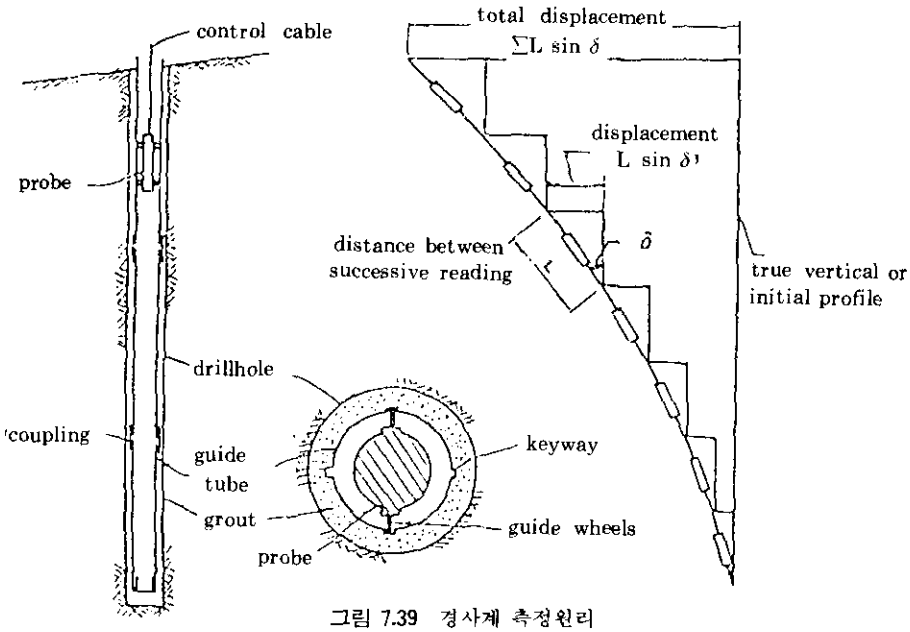


그림 7.39 경사계 측정원리

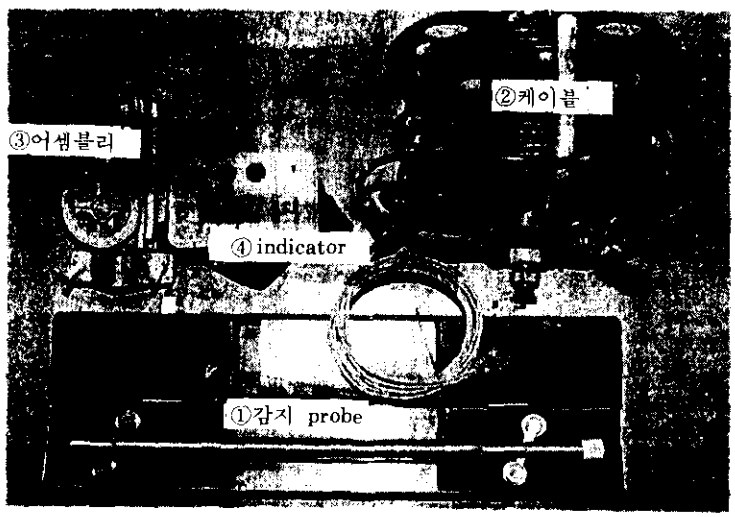


사진 9 protable borehole inclinometer

7.5.7 구조물 기울기 측정기

(1) 사용목적

굴착으로 인한 영향으로 주변 건물이나 구조물, 옹벽등의 부등침하, 기울기를 측정하여 안정성 여부 분석 및 판단에 이용된다.

(2) 적용범위

i) 굴토공사시 주위구조물 및 건물의 기울기 측정

ii) 성토층내의 구조물 및 건물의 기울기 측정

iii) 제방 및 댐의 변위 측정

(3) 구성

-tilt plate type

· tilt plate

Inclinometer Displacement Profiles

stie	name:subway	sta. 15k580
borehole	no.:IN-2	
initial	date:93/11/15	time : 14 : 06 hrs
inspection	date:94/10/28	time : 10 : 11 hrs

A=site B=apt. C=space D=building

depth	instrument reading		face offset	displace-ments	sum of dis-placements	initial dis-placements	displacements change
(m)	C	D	(C+D)/2	(C−D)/2	(mm)	(mm)	(mm)
0.00	16.16	−16.63	−0.24	16.39	858.94	854.10	4.84
0.50	16.16	−16.63	−0.24	16.39	842.55	837.35	5.20
1.00	17.56	−18.31	−0.38	17.93	826.15	820.60	5.55
1.50	15.68	−16.47	−0.40	16.07	808.22	802.69	5.53
2.00	14.72	−15.03	−0.15	14.87	792.14	786.71	5.44
2.50	7.74	− 8.77	−0.51	8.25	777.27	774.09	3.18
3.00	10.95	−11.54	−0.42	11.37	769.01	765.66	3.36
3.50	14.90	−15.54	−0.32	15.22	757.64	755.79	1.86
4.00	13.04	−13.79	−0.38	13.41	742.42	743.53	−1.11
4.50	10.49	−11.07	−0.29	10.78	729.01	730.00	−0.99
5.00	10.83	−11.75	−0.46	11.29	718.23	715.08	3.15
5.50	21.78	−22.69	−0.46	22.23	706.94	698.41	8.53
6.00	24.45	−25.15	−0.35	24.80	684.70	678.24	6.47
6.50	24.16	−24.82	−0.33	24.49	659.90	655.97	3.94
7.00	23.39	−24.16	−0.38	23.77	635.41	632.16	3.25
7.50	21.84	−22.45	−0.31	22.14	611.64	608.32	3.32
8.00	20.73	−21.28	−0.27	21.00	589.49	586.27	3.23
8.50	19.46	−20.00	−0.38	19.84	568.49	565.46	3.03
9.00	49.98	−20.73	−0.38	20.35	548.65	545.60	3.05
9.50	19.77	−20.40	−0.32	20.08	528.30	525.48	2.81
10.00	19.36	−20.09	−0.36	19.72	508.21	505.39	2.82
10.50	18.54	−19.26	−0.36	18.90	488.49	485.72	2.77
11.00	17.81	−18.66	−0.43	18.23	469.59	466.82	2.76
11.50	17.33	−17.92	−0.30	17.62	451.35	448.66	2.69
12.00	19.47	−20.36	−0.45	19.91	433.73	431.11	2.61
12.50	21.47	−22.26	−0.40	21.86	413.81	411.36	2.45
13.00	22.85	−23.62	−0.39	23.23	391.95	389.70	2.25
13.50	24.52	−25.15	−0.32	24.83	368.71	366.58	2.14
14.00	25.08	−25.71	−0.32	25.39	343.88	341.95	1.93
14.50	25.27	−26.40	−0.57	25.83	318.48	316.51	1.98
15.00	26.43	−26.93	−0.25	26.68	292.65	290.78	1.87
15.50	26.50	−27.10	−0.30	26.80	265.97	264.37	1.60
16.00	25.53	−26.20	−0.34	25.86	239.17	238.14	1.03
16.50	25.85	−26.71	−0.43	26.28	213.30	212.37	0.94
17.00	27.64	−28.54	−0.45	29.09	187.02	186.39	0.64
17.50	27.17	−27.71	−0.27	27.44	158.93	158.59	0.34
18.00	27.22	−27.87	−0.32	27.54	131.49	131.26	0.24
18.50	26.59	−27.22	−0.32	26.90	103.95	103.90	0.05
19.00	25.69	−26.34	−0.32	26.01	77.04	77.01	0.04
19.50	25.34	−25.77	−0.21	25.55	51.03	51.03	0.00
20.00	25.35	−25.59	−0.12	25.47	25.47	25.57	−0.10

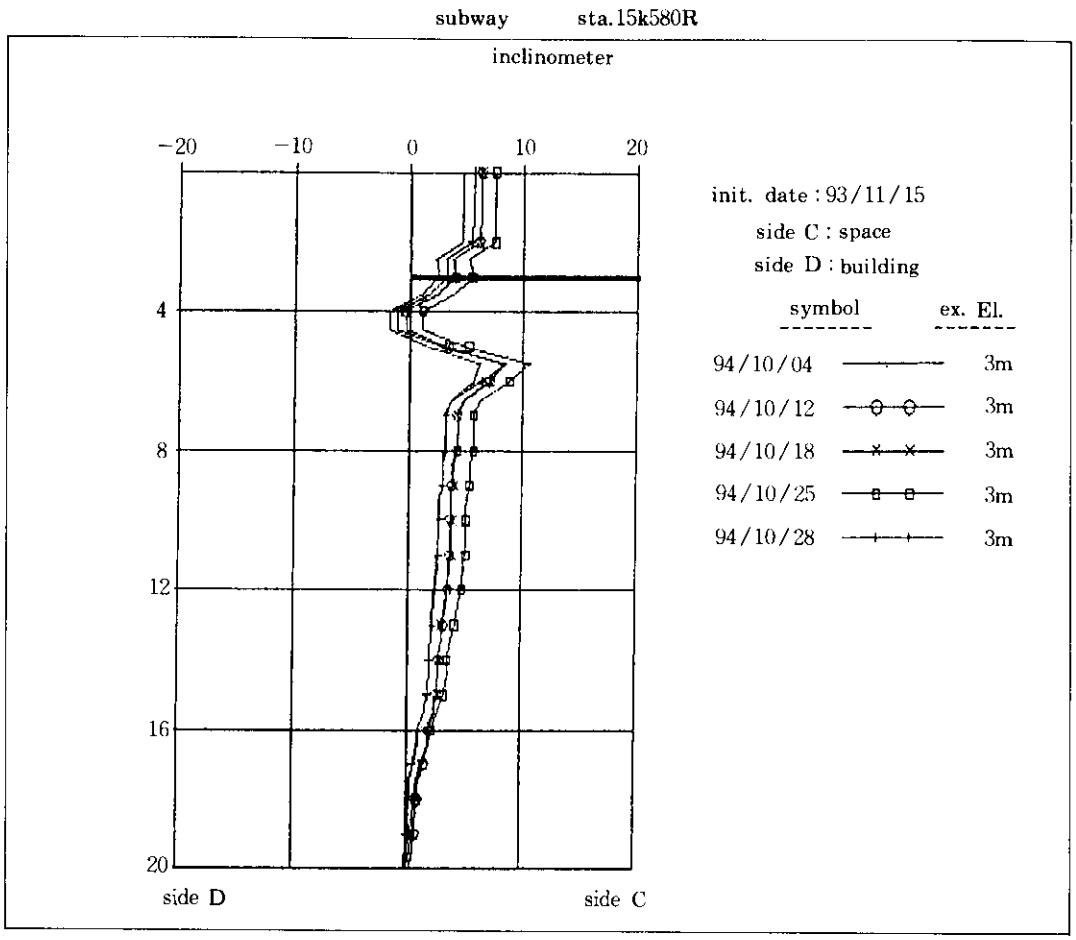


그림 7.38 경사계의 측정결과 Graph

· tiltmeter sensor
· cable 및 indicator

-tilt tube type
· tilt tube
· tiltmeter probe
· cable 및 readout unit

(4) 설치

(가) tilt plate type

① 측정위치에 tilt plate를 bond를 이용 고착시킨다.

② tiltmeter sensor를 tilt plate에 고정시킨다.

③ sensor에 cable을 연결 지시계(indicator)로 기울기를 측정한다.

(나) tilt tube type

① 구조물의 측정하고자 하는 위치에 anchor bolt와 frame을 사용 tube를 고정시킨다.

② 완전히 고착된 후 초기치를 설정한다.

③ probe에 의하여 기울기를 측정한다.

(5) 측정

굴착전 부터 측정하여 굴착이 완료 및 복구시까지 지속적으로 측정한다.

(6) 측정치 분석

① 경시변위량
② 굴착심도별 변위량을 graph로 정리
③ 측정치와 관리기준치를 비교 검토하며, 침하계 및 수위계 등의 계측결과와 종합 검토한다.

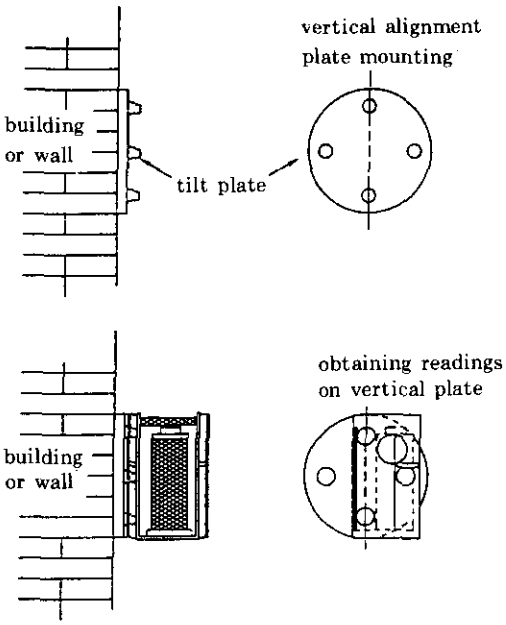


그림 7.39 tilt plate type 계측기 설치 상세도

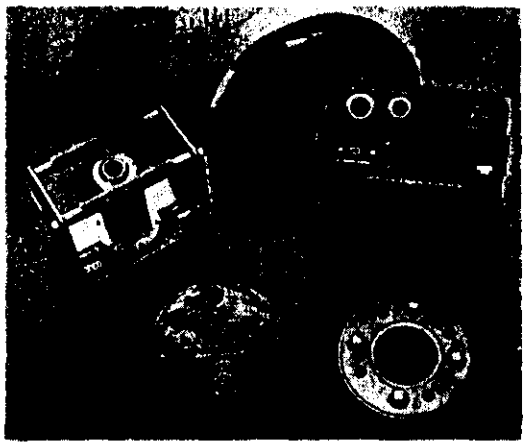
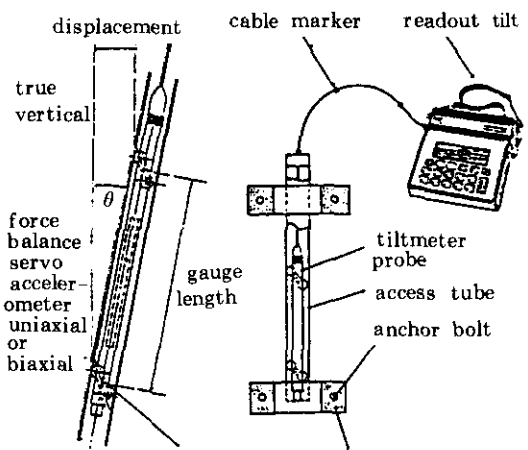


사진 10 portable tiltmeter sensor. tiltplate. indicator



displacement = gauge length × sin θ

그림 7.40 tilt tube type 계측기 설치 상세도

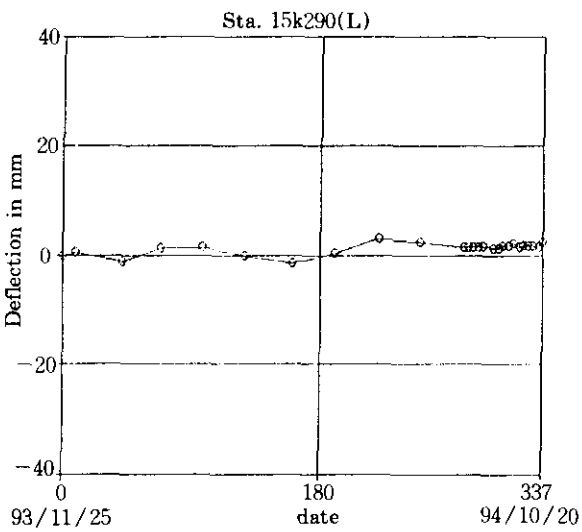


그림 7.41 tiltmeter의 측정결과 graph

Tiltmeter Data Sheet

project name : subway
description : STA. 15K290(L)
sensor type : tilt frame
init. value : −2.28
building height : 7.000m

date	value(A)	value(B)	displacement mm	degree	deflection mm
93/11/25	−3.05	2.59	0.00	0.0000	0.000
93/12/04	−2.98	2.56	0.05	0.0001	0.700
94/01/06	−2.94	2.85	−0.07	−0.0001	−1.050
94/02/02	−2.82	2.64	0.09	0.0002	1.260
94/03/03	−2.73	2.69	0.11	0.0002	1.540
94/04/01	−3.07	2.59	−0.01	−0.0000	−0.140
94/05/04	−3.10	2.72	−0.09	−0.0002	−1.260
94/06/03	−3.12	2.48	0.02	0.0000	0.280
94/07/05	−2.84	2.36	0.22	0.0004	3.080
94/08/03	−2.96	2.36	0.16	0.0003	2.240
94/09/02	−3.11	2.30	0.12	0.0002	1.610
94/09/06	−3.13	2.28	0.12	0.0002	1.610
94/09/09	−3.22	2.18	0.12	0.0002	1.680
94/09/13	−3.22	2.20	0.11	0.0002	1.540
94/09/16	−3.19	2.18	0.14	0.0003	1.890
94/09/23	−3.23	2.21	0.10	0.0002	1.400
94/09/27	−3.24	2.20	0.10	0.0002	1.400
94/09/30	−3.35	2.02	0.14	0.0003	1.890
94/10/04	−3.34	2.03	0.14	0.0003	1.890
94/10/07	−3.35	2.01	0.14	0.0003	1.960
94/10/12	−3.36	2.04	0.12	0.0002	1.680
94/10/14	−3.34	2.03	0.14	0.0003	1.890
94/10/18	−3.34	2.03	0.14	0.0003	1.890
94/10/21	−3.34	2.04	0.13	0.0003	1.820
94/10/25	−3.31	2.09	0.12	0.0002	1.680
94/10/28	−3.14	2.18	0.16	0.0003	2.240

7.5.8 지중침하계

(1) 사용목적

성토 혹은 굴착 중 지층의 각 층에서 일어나는 침하량을 측정하여 시공중 안전성 검토 및 시공 후 장기적인 압밀측정을 위해 이용된다.

(2) 적용 및 활용

① 지하터파기시 주변지반의 수직변위 측정
② 옹벽, 교각 및 교량의 안정성 측정
③ 제방 및 사력댐의 변위측정
④ 연약지반의 압밀침하 측정

(3) magnetic probe extensometer

(가) 구성

· 기자재 : 측정기, Probe, 눈금이 표시된 cable, cable이 감겨 있는 릴
· 소모자재 : spider magnet, datum

magnet, coupling이 있는 PVC pipe, end, cap, 보호덮개, 설치도구

(나) 설치방법

① 굴착공을 천공한다. 이 때 천공깊이는 주요구조물의 매설 지정에 따라 결정한다.

② 굴착공을 surging 후 PVC pipe를 coupling으로 연결하여 관입시킨다.

③ PVC pipe를 부동층에 고정시키고, 원하는 측점에 spider magnet을 설치한다.

④ 연약층의 침하로 인한 spider magnet의 침하량을 측정한다.

(다) 측정방법

① probe를 공내에 설치된 PVC Pipe 공내로 내린다.

② probe가 spider magnet와 교차될 때 그 때의 심도를 측정한다.

③ 초기치와 계측치와의 상대침하량을 계산한다.

(4) rod extensometer

(가) 구성

① indicator 또는 dial gauge

② reference head

③ anchor unit, rod

④ 보호덮개

⑤ 설치도구

(나) 구분

① 측점수에 따라

㉠ single point

㉡ multi point

② 측정방법에 따라

㉠ mechanical type(dial gauge)

㉡ electircal type(indicator)

(다) 설치방법

① 천공 후 침하계(anchor, rod, protective sleeve)를 조립하여 설치한다.

② single point : anchor에서 지반까지 cement로 grouting한다.

(라) 측정방법

dial gauge 또는 indicator로 reference head 에서 주기적으로 측정하여 변위량을 산정한다.

(5) 측정치 분석

① 굴착심도에 따른 층별지중침하 결과 정리

② 초기치와 계측치와의 상대침하량 계산

③ 보강대상 범위의 결정 및 최종침하량 예측

(6) 기타종류

(가) 전단면 침하계

(full profile settlement gauge)

① 성토층 내부나 하부의 침하를 측정하기 위해 사용

② 트랜치를 따라 매설된 연성파이프 속으로

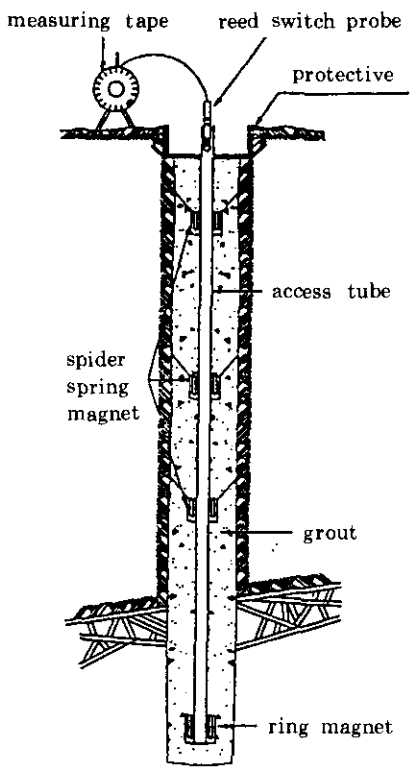


그림 7.42 magnetic type 지중침하계 상세도

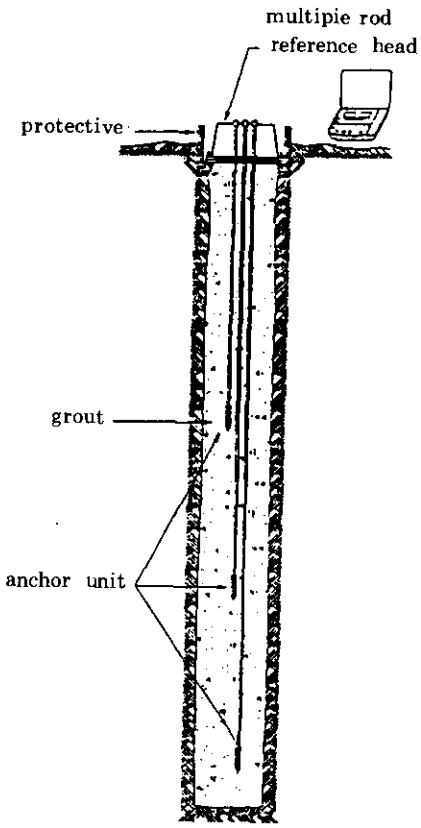


그림 7.43 rod type 지중침하계 상세도

측정소자를 끌면서 수직 및 수평위치를 측정

③ 정확도 : ±10mm

(나) 경사계를 이용한 침하측정

① 경사계 casing을 수평으로 설치

② 댐, 성토층, 기초지반에 설치

③ 성토층이나 댐에서는 침하판이나 링을 튜브에 끼워 설치하면 유도코일 게이지로 횡방향 변위 측정

④ 정확도 : 케이싱 30m당 ±2.5mm 정도이다.

사진 12 magnetic type 지중침하 측정기

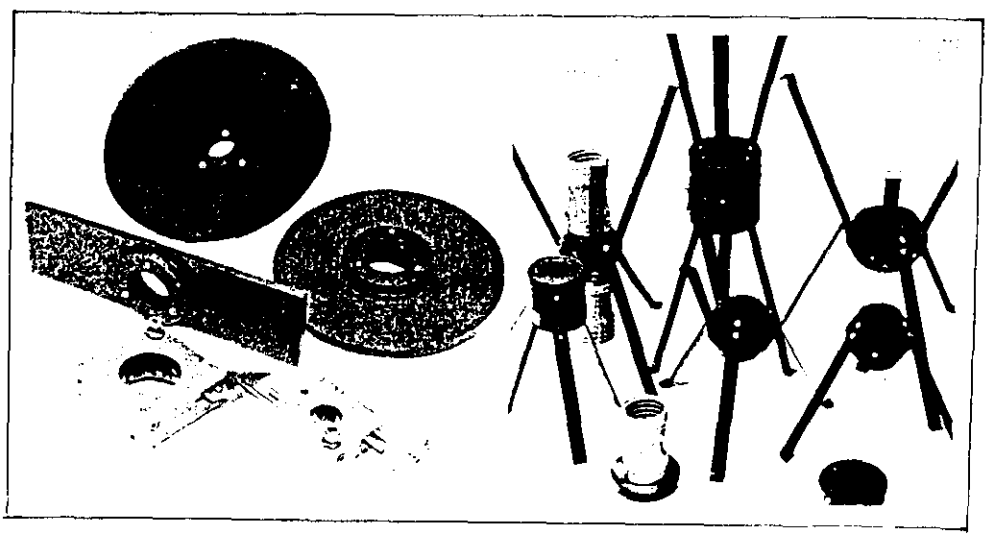


사진 11 magnetic type 지중침하계

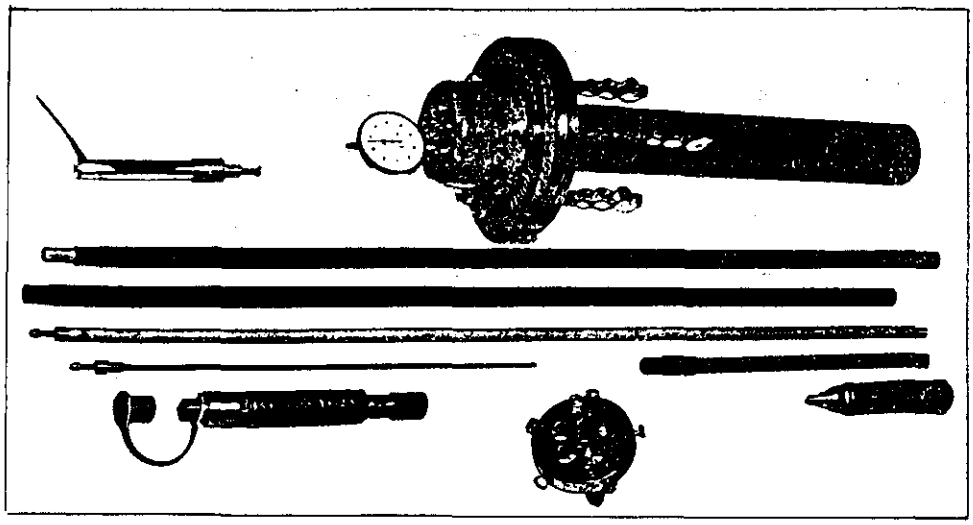


사진 13 rod type 지중침하계

지중침하계 Data Sheet

project name : subway
description : 15k 580(R)
sensor type : MC type

		point 1		point 2		point 3	
date	datum	data	displ.	data	displ.	data	displ.
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
93/11/15	13895.0	11895.0	0.0	5874.0	0.0	2933.0	0.0
93/12/04	13896.0	11895.0	1.0	5874.0	1.0	2933.0	1.0
94/01/06	13896.0	11894.0	2.0	5874.0	1.0	2933.0	1.0
94/02/02	13896.0	11893.0	3.0	5873.0	2.0	2935.0	− 1.0
94/03/03	13894.0	11892.0	2.0	5874.0	− 1.0	2934.0	− 2.0
94/04/01	13894.0	11891.0	3.0	5871.0	2.0	2933.0	− 1.0
94/05/04	13889.0	11887.0	2.0	5871.0	− 3.0	2934.0	− 7.0
94/06/03	13891.0	11888.0	3.0	5871.0	− 1.0	2934.0	− 5.0
94/07/05	13876.0	11875.0	1.0	5871.0	−16.0	2914.0	0.0
94/08/03	13887.0	11883.0	4.0	5882.0	−16.0	2928.0	− 3.0
94/09/02	13883.0	11881.0	2.0	5881.0	−19.0	2827.0	− 6.0
94/09/06	13883.0	11881.0	2.0	5882.0	−20.0	2928.0	− 7.0
94/09/09	13883.0	11881.0	2.0	5882.0	−20.0	2927.0	− 6.0
94/09/13	13883.0	11881.0	2.0	5882.0	−20.0	2927.0	− 6.0
94/09/16	13882.0	11881.0	1.0	5881.0	−20.0	2928.0	− 8.0
94/09/23	13882.0	11880.0	2.0	5881.0	−20.0	2929.0	− 9.0
94/09/27	13880.0	11877.0	3.0	5880.0	−21.0	2827.0	− 9.0
94/09/30	13879.0	11876.0	3.0	5882.0	−24.0	2928.0	−11.0
94/10/04	13879.0	11874.0	5.0	5881.0	−23.0	2927.0	−10.0
94/10/07	13879.0	11873.0	6.0	5882.0	−24.0	2927.0	−10.0
94/10/12	13877.0	11872.0	5.0	5880.0	−24.0	2928.0	−13.0

94/10/14	13873.0	11872.0	1.0	5880.0	−28.0	2929.0	−18.0
94/10/18	13874.0	11872.0	2.0	5881.0	−28.0	2929.0	−17.0
94/10/21	13873.0	11872.0	1.0	5880.0	−28.0	2928.0	−17.0
94/10/25	13874.0	11872.0	2.0	5880.0	−27.0	2927.0	−15.0
94/10/28	13873.0	11875.0	−2.0	5879.0	−27.0	2926.0	−15.0

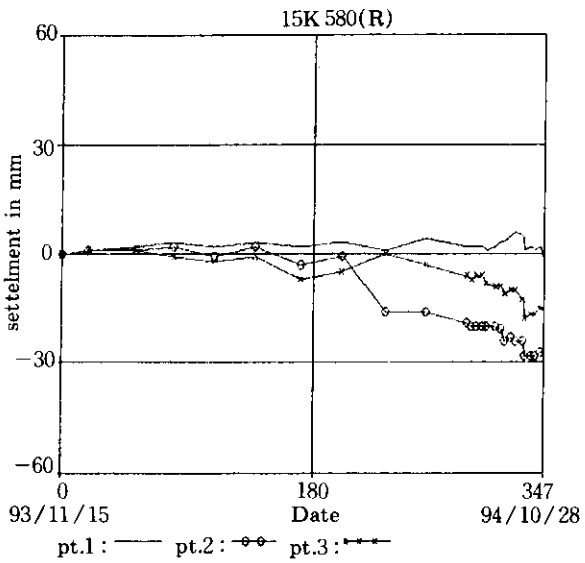


사진 7.41 지중침하계의 측정결과 graph

7.5.9 지표침하계

(1) 사용목적

토류벽 배면, 굴착현장과 인접한 구조물 주변의 수직침하량과 수평 이동량 측정한다.

(2) 설치방법

① 소요크기의 철판에 steel rod를 수직으로 용접한다.

② 제작이 완료된 침하판을 지표면에 rod가 연직이 되도록 설치한다.

(3) 측정방법

① 현장부근체 굴착의 영향이 미치지 않을 부동점을 설치하고 그 점을 기준으로 측정하고자 하는 위치의 침하판 위의 rod를 수준측량하여 침하량 및 수평이동량을 측정한다.

② 각 침하판에 발생하는 현재의 전침하량을 알 수 있도록 누적된 침하량을 기록한다.

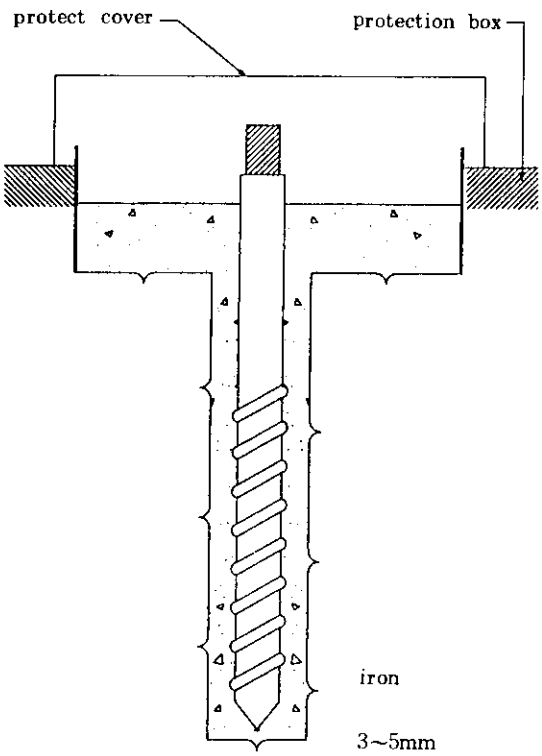


그림 7.45 지표침하측정

(4) 측정치분석

전 침하량 및 침하속도등으로 허용치와 비교된 안정상태를 검토

7.5.10 균열측정기

(1) 사용목적

터파기, 터널굴착 등으로 인하여 야기될 수

있는 인접구조물의 crack변위량을 측정한다.

(2) 적용범위

① 흙막이 및 터널 등 기타공사로 인한 인접 구조물의 균열측정

② 도로등의 표면균열이나 팽창지점 측정

③ 옹벽이나 기타 구조물의 균열독 측정

(3) 종류

(가) 3차원 균열측정기

① 사용목적

표면균열이나 팽창지점에서 세개의 직각 방향에 대한 특수한 이동변위를 측정키 위해 사용된다.

② 적용범위

건물이나 구조물, 도로 등의 표면균열이나 팽창지점

③ 구성

㉠ 균열의 한쪽면에 한점씩 설치되는 2개의 접착물

㉡ 상부에 고정되는 게이지

㉢ 휴대용 dial gauge

④ 특징

감도 : 0.01mm

(나) 균열측정기(crack monitor)

구조물의 벽이나 구석, 또는 바닥과 벽 사이의 균열을 감지하기 위해 설치한 간단한 장치로 서로 반대편에 고정시킨 투명한 2개의 판으로 균열폭을 측정한다. 한쪽판에는 1mm단위로 눈금이 새겨져 있고 또다른 판에는 가는 선으로 된 cusor가 있으나 정확도는 상당히 떨어진다.

(다) Demec Gauge

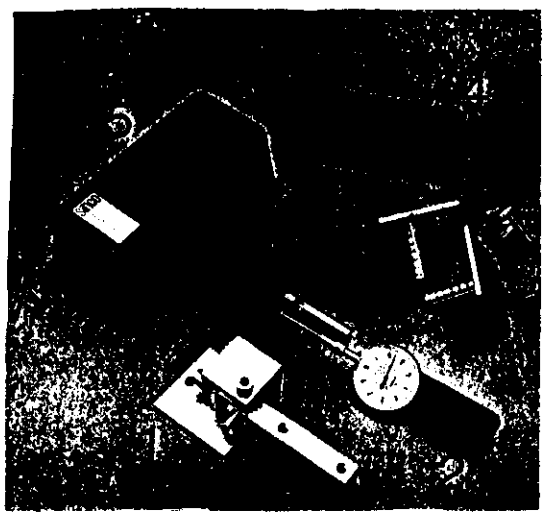
① 측정형식 : 정밀 dial gauge 측정방식

② 측정범위

compression – 최대 1.6mm

tension – 최대 3.4mm

변위가 측정범위 이상 발생시는 stainless steel disc를 추가 접합하여 계속 계측 가능



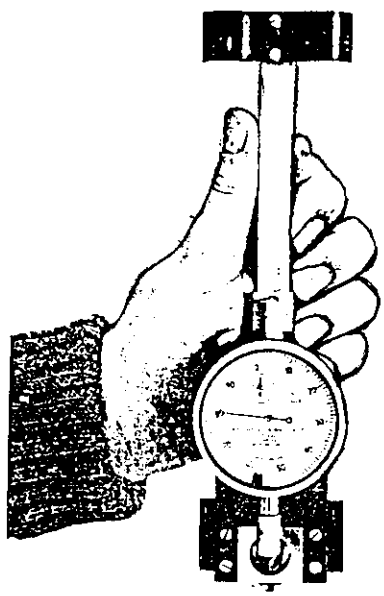


사진 14. 3-dimensional crackmeter

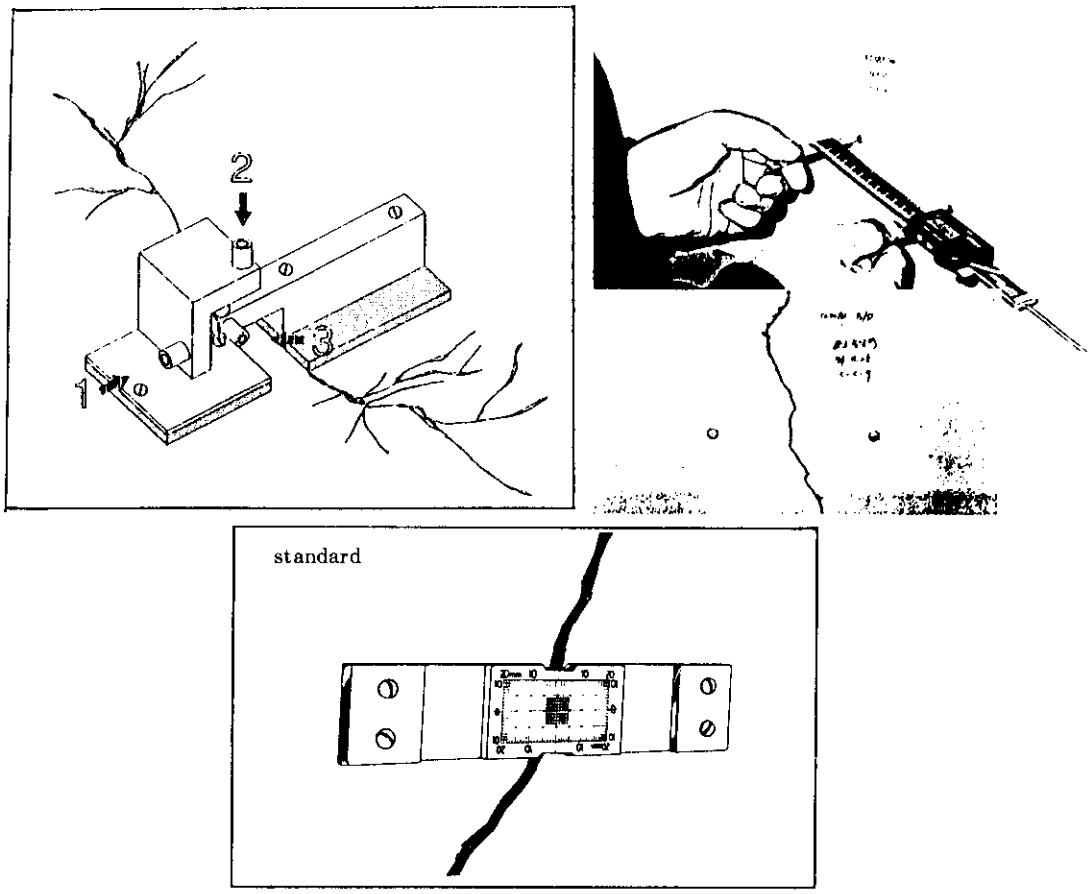


그림 7.46 각종 crackmeter의 설치도

③ 정밀도 : $\pm 3\times10^{-6}$mm
④ 최소측정단위 : 2×10^{-3}mm(0.002mm)
⑤ 구성품 : 균열측정기(demec gauge), 정밀도 확인용 calibration bar와 설치용 beam
⑥ 균열측정용 stainless steel disc : bemec gauge를 거치하여 균열측정을 하며 중심에 원주형으로 각인이 되어야 한다.
⑦ 외경 : 6.3mm
⑧ 설치부품 : 시공체 자체수분 제거를 위한 gas burner－1 set
epoxy 접착제 50g (50Discs 설치분)
⑨ 면정리용 사포 또는 hand held grain-ding machine－1 set

(4) 설치방법
① 설치하고자 하는 crack 주위면의 요철을 없애고 습기가 없도록 준비한다.
② reference point를 crack의 양단면에 seting bar와 bond를 이용하여 설치한다.
③ 초기치를 계측하고 필요시 계속적인 계측을 실시한다.

(5) 측정
dial gauge를 사용 x, y, z 3방향의 변위를 측정 data sheet에 정리

(6) 측정치 분석
① 누계 변형량의 관리 기준치와 비교검토
② 일정방향의 변위증가에 유의검토
③ 시간에 따른 변위속도 검토

Crack 측정 Data Sheet

현 장 명 : _____ 위 치 명 : _____

설 치 위 치 : _____ 조 기 치 : _____

일 시	측 정 치	변형량(mm)	변형누계(mm)	비 고

확	감리 :	인
인	감독 :	인

7.5.11 진동소음측정

(1) 사용목적

도시내에서 실시되는 지하굴착 작업시 말뚝의 항타나 인발, 중장비의 주행, 발파등으로 진동소음이 발생하여 물적, 인적 피해를 유발시킬 수 있으므로 진동과 소음을 측정하여 발생원인을 적절히 조치하여 안정되고 경제적인 시공을 하는데 그 목적이 있다.

(2) 적용범위

① 풍화암 및 연암, 경암, 굴착시의 진동 및 소음측정
② 터널 굴착시 발파에 대한 진동 및 소음측정
③ 시가지 공사시 발파로 인한 진동 및 소음측정

(3) 구성

기기 종류에 따라 약간의 차이는 있으나 전반적으로 다음과 같이 구성되어 있다.

① 진동측정기(triaxial transducer)
② 소음측정기(sound level meter)
③ analysis software

(4) 설치

① 진동측정기는 발파작업장의 인접건물의 바닥이나 벽면에 sensor를 위치시켜 측정한다.
② 소음측정기는 측정코자 하는 인접위치에 설치하여 측정한다.

(5) 측정결과 정리

진동 및 소음측정기에서 측정된 값을 일자, 시간별로 진동·소음원사용 화약량 등을 정리 data sheet에 기록한다.

(6) 측정치 분석

설계치 또는 규제치와 실제 계측치를 비교하여 규제치 이하여 될때까지 진동·소음권, 발파 Pattern 및 화약량 등을 조정하여야 한다.

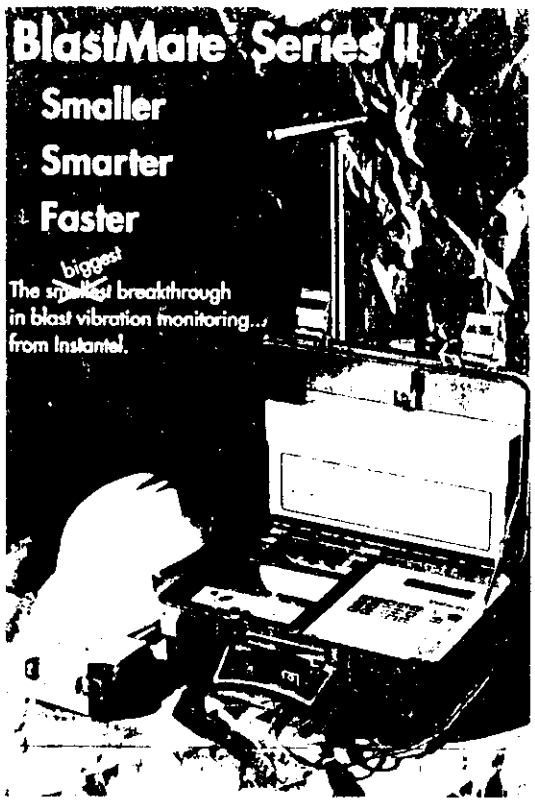


그림 7.47 발파진동 측정기

참 고 문 헌

1. 土質工學會,(1990) "現場計測計画の立方" 現場技術者のための土と基礎シリーズ", No.17., pp49~78, pp125~181, pp293~345.
2. 한양대학교 산업과학 연구소,(1988) "서울지하철 6호선, 6-7공구 진동, 소음 영향 예측 및 대책"
3. 한국지반공학회,(1993. 6) "지반굴착", 한국지반공학회 지반굴착 위원회 학술발표집 제2집.
4. 서울특별시 지하철건설본부, "계측관리요령" 1992. 10.
5. Thomas H. Hanna,(1995) "Field Instrumentation in Geotechnical Engineering", Trans Tech Publications, Germany.

6. Alam Singh,(1981) "Soil Engineering in Theory and Practice－Geotechnical Testing and Instrumentation", APT Books Inc., New York.
7. Joseph E. Bowles,(1988) "Foundation Analysis and Design", 4th Edition, McGraw－Hill Book Co., Singapore.
8. Lambe Whitman,(1979) "Soil Mechanics" SI Version, John Wiley & Sons, U.S.A.
9. 한국지반공학회,(1986) "구조물 기초설계 기준," 건설부.
10. 한국전력공사 토목구조물의 현장계측에 관한 연구, 기술연구원, 1989
11. 한국지반공학회, 굴착 및 흙막이 공법, 지반공학 시리즈 3, 1992. 2
12. 福岡正己編著, 基礎設計施工 핸드북, 任泰準譯編, 建設文化社, 1981. 9.
13. 中根博司, 土木計測ハンドブック, 日刊工業新聞社, 昭和 44年 1月
14. 日本土質工學會, 近接施工, 土質基礎工學ライブラリ－34, 平成元年 8月
15. 한응교, 스트레인 게이지(이론과 응용), 보성문화사
16. 남순성, Earth Anchor 방식 H－Pile 토류벽 계측관리에 관한 연구, 한양대학교 대학원 석사학위 논문, 1988. 6
17. 남순성, 정상용, 도심지, 근접시공의 자동계측 응용, 건설기술연구 보고집, 대림산업(주), 1990. 2
18. 천병식, 남순성, 기붕괴 토류벽의 재굴착시 계측관리 적용에 관한연구, 추계학술발표회, 토목학회, 1990. 10
19. 천병식, 남순성, 토류벽 현장계측관리의 실패사례연구, 1993년도 학술발표회 개요집(II), 대한토목학회, 1993. 10
20. RST Instuments Catalogue, Carlson/Rst Instuments Inc.
21. P－3500 Digital Strain Indicator Instuction Manual, Instruments Division, Measurements Group, Inc.
22. Stain Gage Catalogue(Strain Gege Instrumentation, Micro－Measurements, Getting Started with Strain Gages), Measurements Group, Inc.
23. TML 電子計測器總合力タログ, 東京測器研究所
24. Glozl Baumebtchnik Catalogue, Glotzl
25. Instument Application Guide, Slop Indicator Co.
26. General Catalogue, Interfels, 1994
27. General Catalogue, Kyowa
28. General Catalogue, Geokon
29. Roctest, 바이텍코리아