

흙막이 구조물(ⅩⅦ-1)

고 용 일*1
남 순 성*2

7. 계 측

7.1 계측의 목적

흙막이 구조물의 설계는 제한된 지반조사 및 토질시험 결과로부터 결정된 지반특성에 근거하여 이루어진다. 그러므로 흙막이 구조물 및 보강 공법의 시공 시에는 시공 조건과 시공순서, 공정에 따라 지반의 실제거동은 설계시 사용된 값과 상당한 차이를 보일 수 있다.

따라서 흙막이 공사에 있어서의 계측은 터파기에 따른 주변지반의 실제거동과 지지구조의 효과를 파악하고 구조적·재료적 특성을 분명히 하여 공사의 안전성을 예측하고 적절한 대책을 강구할 수 있게 하며, 경제성 및 시공성을 감안하는 설계방법의 확인 및 개선을 추구할 수 있게하는 등 공학적 한계성을 극복할 수 있게 한다.

그 역할에 의해서 계측의 목적을 세분하면 다음과 같이 기술할 수 있다.

1) 안전관리 목적의 계측

흙막이 구조물의 시공 또는 시공후의 변형과 토압 및 수압의 변화추세나 Heaving, Boiling등의 가능여부를 감지하고 필요시 그 대응책 및 보강공사를 신속하게 마련하여, 효과적

인 공사관리 및 공사의 안전시공을 목적으로 계측을 시행한다.

2) 설계의 경제성 및 타당성 검토를 위한 계측

대부분의 흙막이 구조물은 가설 구조물이기 때문에 경제적인 설계 및 시공이 요구된다. 계측결과를 분석하고 경제성 및 타당성을 감안하는 설계방법의 확인과 개선을 시행하여 최적설계를 시공에 적용시키기 위하여 계측을 시행한다.

3) 주변 구조물 및 환경영향 평가를 위한 목적으로한 계측

시공에 따른 주변의 영향(지반침하, 인접 구조물의 기울기와 균열 발생, 소음과 진동, 수질오염 등)과 지하수위 변화로 인한 지반 및 구조물에의 영향을 파악하고 대책수립을 목적으로 계측을 시행한다.

7.2 계측 항목 및 계측방법

7.2.1 계측항목

흙막이 공사의 계측항목은 다음과 같으며, 현장요건에 따라 선정된다.

*1 정희원, 한양대학교 산업과학연구소 선임연구원, 토웅건설(주) 기술고문

*2 성희원, 은진건설 엔지니어링 대표이사.

- 1) 흙막이 구조물의 안정
 - ① 흙막이 벽체의 변형 측정(頭部변형 및 수평변위)
 - ② 벽체의 응력 측정
 - ③ struct 변형률 측정(strain gauge)
 - ④ struct 축력 측정(solid type load cell)
 - ⑤ earth anchor 인장력 측정(center hole type load cell)
 - ⑥ rock bolt 축력 측정

2) 굴착내부 및 주변지반의 거동

- ① 지표침하측정
- ② 지중수평면위측정
- ③ 지중침하 측정
- ④ 굴착저면의 변위 측정 및 내부지반의 응수, 분사현상 관찰
- ⑤ 토압 측정
- ⑥ 지하수위 측정
- ⑦ 간극수압 측정

3) 인접 구조물의 안정

- ① 인접 구조물의 기울기 및 연직변위 측정
- ② 인접 구조물의 균열 측정

4) 진동, 소음의 관리

계측업무에 있어서 필수적으로 계측과 병행

하여 점검 및 관찰할 사항을 열거하면 표 7.1과 같으며, 계측 기록양식에 상세히 기록 보존하여야 한다. 이 때에는 각종 계측기의 이상유무도 파악되어야 한다.

표 7.1 육안 점검 항목

점검대상	점 검 항 목
흙막이 벽체	· 벽체활동 · 누수 · 균열 및 맞물림 상태 · 굴곡 상태 · 벽체와 두부변형
strut earth anchor wale 지주	· 휨과 비틀림 상태 · 이음새, 집합부의 상태(Jack 부착상태) · 단부의 변형 · 띠장의 벽과 간격
기타 (주변지반, 구조물 매설관등)	· 용수의 상황과 양 · 배수 및 배수설비의 상태 · 굴착면의 상태 · 흙막이 배면 지반의 균열, 침하 및 이동 · 포장 및 지표면의 균열 · 연석의 상태 · 구조물의 상태(균열 위치 등) · 매설관의 상태(균열의 유무 등) · 현장주변의 외적 하중 변화상태 · 압반굴착시 압박의 상태

용도에 따른 계측기의 종류는 표 7.2와 같다.

표 7.2 용도에 따른 계측기의 종류

종 류	설 치 위 치	설 치 방 법	용 도	정 밀 도
경사계 (inclinometer)	토류벽 또는 배면지반	굴토심도보다 깊게 부동층까지 천공	굴토진행시 각 단계별 인접지반 수평변위량과 위치 및 방향 실측과 이를 이용하여 토류 구조물 각 지점의 응력 상태의 판단도 가능	±1mm
지하수위계	토류벽 배면지반	대수층까지 천공	지하수위변화를 실측하여 각종 계측자료에 이용하며, 지하수위의 변화원인 분석 및 관련된 대책수립	±1cm
간극수압계	배면 연약지반	연약층 깊이별로 설치	굴착에 따른 과잉간극수압의 변화를 측정 안정성 판단	±(0.05t/m ²)
토압계	토류벽 배면	토류벽의 종류에 따라 다름	주변지반의 하중으로 인한 토압의 변화를 측정하여 토류 구조체가 안정한지 여부판단	±(0.05t/m ²)
하중계 (load cell)	strut 또는 anchor 부위	각 단계별 굴토시 설치	strut, anchor 등의 축하중 변화상태를 측정하여 이들 부재의 안정상태 파악 및 불안정 원인규명에 이용	±0.5ton

응력계 (strain gauge)	토류벽심재, strut, 띠장, 각종 강재 또는 concrete	용접 또는 접착제에 의하여 설치	토류구조물의 각 부재와 인근 구조물의 각 지점 및 타설 콘크리트 등의 응력 변화를 측정하여 이상유무 파악 및 대책수립에 이용	±50 micro-strain
건물 경사계 (tiltmeter)	인접구조물의 굴조 또는 벽체	접착 또는 bolting	주변건물, 옹벽, 철탑 등 인근 주요 구조물에 설치하여 구조물의 경사 변형상태를 실측, 구조물 안전진단에 활용	±0.2%
지중침하계	토류벽 배면, 인접구조물 주변	부동층까지 천공	인접지층의 각 층별 침하량의 변동상태를 파악하여 보강대상과 범위의 결정 또는 최종침하량을 예측	±1mm
지표침하계	토류벽 배면, 인접구조물 주변	동결심도보다 깊게 설치	지표면 침하량의 절대치의 변화 및 침하량의 속도에 대한 허용치의 판단 및 안정상태를 예측	±1mm
균열측정기 (crack gauge)	균열부위	균열부 양단에 표식을 설치	주변구조물, 지반 등에 균열발생시 균열크기와 변화를 정밀 측정하여 균열발생속도 등을 파악하고 다른 계측 결과 분석에 자료 제공	±0.01mm
진동, 소음측정기	대상지역	필요시 측정	굴착, 발파 및 장비작업에 따른 진동과 소음을 측정하여 구조물 위험 예방과 민원예방에 활용	-

표 7.3 작동 원리에 따른 감지기의 분류

대분류명	중분류명	형식명	대표적인 응용계기			
			토압계	간극수압계	층별침하계	지중변위계(경사계)
기계계열	기계식	screw point 식 cross arm식			○ ○	
	유체식	manometer 식 액체평형변(glötzl)식 air balance 식	○ ○	○ ○	○	
전기계열	자기식	자기탐사식 磁極計			○	○
	전기저항식	strain gauge 반도체 gauge 식 carlson 식 potentiometer 식	○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○	○ ○	○
	차동(差動)트랜스식	交流零位式 交流直偏式 直流直偏式	○ ○ ○	○ ○ ○		○ ○ ○
	디지털식	Quartz 식 振動弦式	○ ○	○		
	servo	servo 식				○

7.2.2 계측기

계측기의 구성은 크게 감지기(sensor)와 측정기(readout) 그리고 설치자재로 구분되는데, 일반적으로 감지거나 설치자재는 소모품인 경우가 많으나 측정기는 반영구적으로 사용되므로 특히 수동계측의 경우 여러 기종의 감지기를 동시에 측정할 수 있는 범용형식이 계측인원 절감과 효율적인 관리, 구입가격 측면에서 유리하다.

표 7.3은 작동원리별로 감지기(sensor)를 분류한 것이다.

기계식 감지기는 기계적인 작동을 통해 물리적인 변화량을 계측하는 것으로 토압·수압·침하량을 계측한다. 전기식감지기는 물리량을 전기량(전류 및 전압 등)으로 변환시켜 계측하는 것으로 응용분야도 넓고 원격계측이 가능해 널리 이용된다.

응력과 변형률, 변위 등을 전기량으로 변환

하는 방식(전기식 감지기)도 다양하게 실용화되어 있다. 표 7.4는 전기식 감지기의 특성을 나타낸 것이다. 이 특성들은 기술 발전에 따라 바뀌고 있기 때문에 수시로 검토해야 한다. 특히 carlson형 계기는 모두 온도측정기를 보유하고 있다는 점에서 특징적이었으나, 현재는 strain guage형 계기에 온도 계측 센서를 끼워 넣은 제품이 개발됨으로써 기능의 차이가 사라지게 되었다.

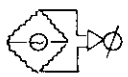


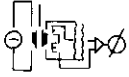
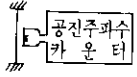
전기식 계기의 약점은 케이블도 포함하여 회로위에 여러 가지 전기적 소음이 가해져 계측치에 오차가 발생할 가능성이 높다는 점이다. 특히 절연저하가 측정치에 미치는 영향이 크다.

7.2.3 계측 System

(1) 계측 System의 종류(계측방법)

일반적으로 시스템은 단순 기능을 가진 구성

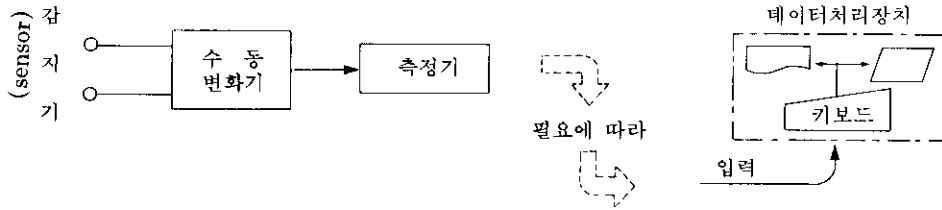
표 7.4 전기식 계측기의 특성 비교

형 식	스트레인게이지형	슬라이드저항형 포 텐 서 메 타 (습동저항형)	carlson 형	차동트랜스형	진 동 현 형 (Vibrationwire 형)
변 환 대 상	변위→전기저항	변위→전기저항	변위→전기저항	변위→유기전압	변위→공진주파
대 표 회 로					
최 소 측 정 치	약 5 μ m	약 0.3 μ m	약 5 μ m	약 0.001mm	약 5 μ m
최 대 측 정 치	약 10,000 μ m	약 200mm	약 10,000 μ m	약 50mm	약 1,000 μ m
기계적강도 (내진·내충격성)	가장 크다	작 다	작 다	보 통	작 다
경 년 변 화	큰 편 (접착제변질, 변형, 절연저하 때문)	큰 편 (접점의 마모, 부식 절연저하 때문)	큰 편 (절연저하 때문)	거의없다	거의없다
내 습 성	약	강	약	강	강
절연저하에 대한 영향도	100M Ω 이상이 필요하다	100k Ω 이상에서 필요하다	100M Ω 이상이 필요하다	50k Ω 이상에서 가능하다	50k Ω 이상(신호가 주파수이므로 전압·저항·전류 에 관계없다)
자동화시스템 구 성	용 이	용 이	용 이	용 이	용 이

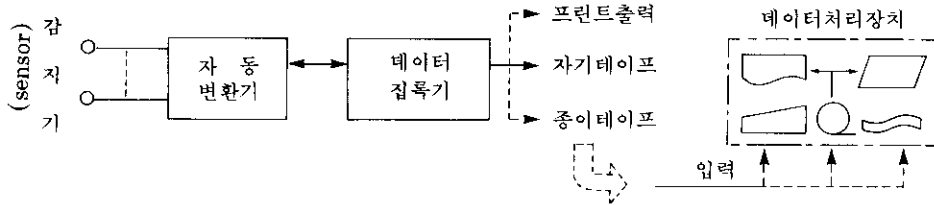
요소들을 결합하여 단일한 통합적 기능을 수행토록 한 체계를 의미한다. 현장 계측의 경우에는 센서 측정기, 컴퓨터, 프린터 등을 조합하여 일련의 계측 작업을 수행한다. 그림 7.1은 계측 system의 종류이다. 측정수와 빈도, 계기의 배치 상황 등을 검토하여 알맞는 방식을 선택해야 한다.

그림 7.2는 계측 system방식을 결정하는 작업의 순서도이다. 일반적으로 모든 계측 항목을 자동 측정방식으로 측정하는 것은 불합리하고, 육안관찰 및 수동측정, 반자동 측정을 조합하는 것이 좋다.

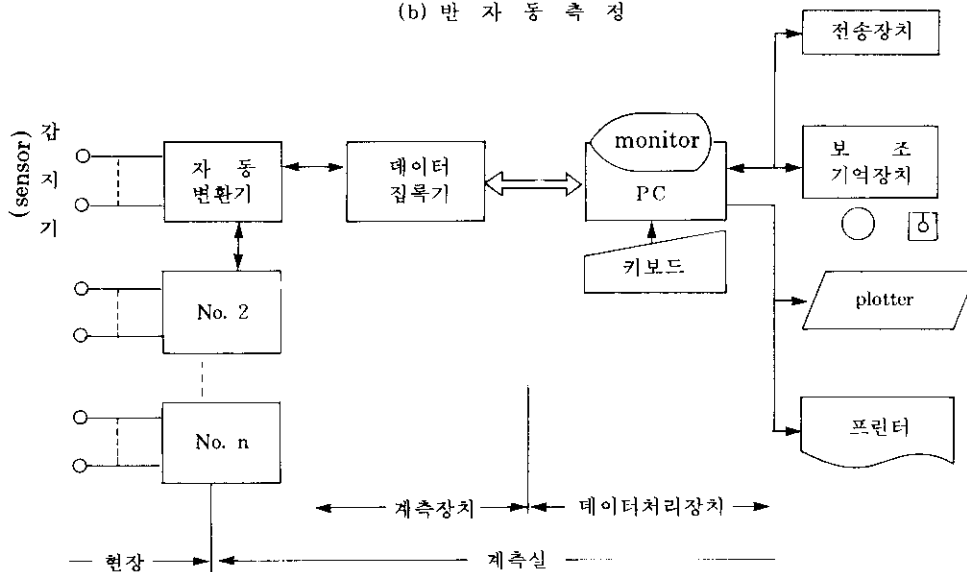
(a)는 수동 측정방식이다. 측정기를 사용하여 사람이 직접 전기량을 읽거나 필요에



(a) 수동 측정



(b) 반자동 측정



(c) 자동 측정

그림 7-1. 현장계측 system의 구성

따라 컴퓨터 등을 이용하여 처리하여 정보화한다. 계측 지점과 빈도가 적은 경우에 적당하다.

- (b) 는 반자동 측정방식이다. 계측지점이 많은 곳이나 넓은 매립 공사처럼 그 위치가 분산되어 있으면서 빈도가 그다지 많지 않는 경우에 적당하다. 이 방식에서는 계측결과를 일단의 데이터 기록기에 기록·입력시킨후, 컴퓨터를 이용하여 이를 정보화하는 방식이다. 수동측정에 비해 계측작업을 대폭 줄일 수 있다.
- (c) 는 자동 측정 방식으로서 계측에서 정보화에 이르는 일련의 과정에서 사용되는

모든 계기를 완전하게 연결하여 자동적으로 측정할 수 있다. 건물의 지하 굴착의 흙막이 공사처럼 계측 지점이 많고 비교적 집중되어 있는데다가 주야를 불문하고 감시해야 되는 경우에 적합하다.

계측 시스템은 일반적으로 일련의 set로 고정화되어 있지 않고 이용자가 자유로이 조합하여 구성할 수 있게 되어 있다. 기존의 컴퓨터나 측정기를 조합할 수도 있다. 그러나 시스템을 구성하는 기기를 선정할 때는 감지기(sensor)의 특징이나 측정기의 특성이 일치하는지 여부와 측정기와 컴퓨터의 결합방식에 대해, 충분히 검토해야 한다.

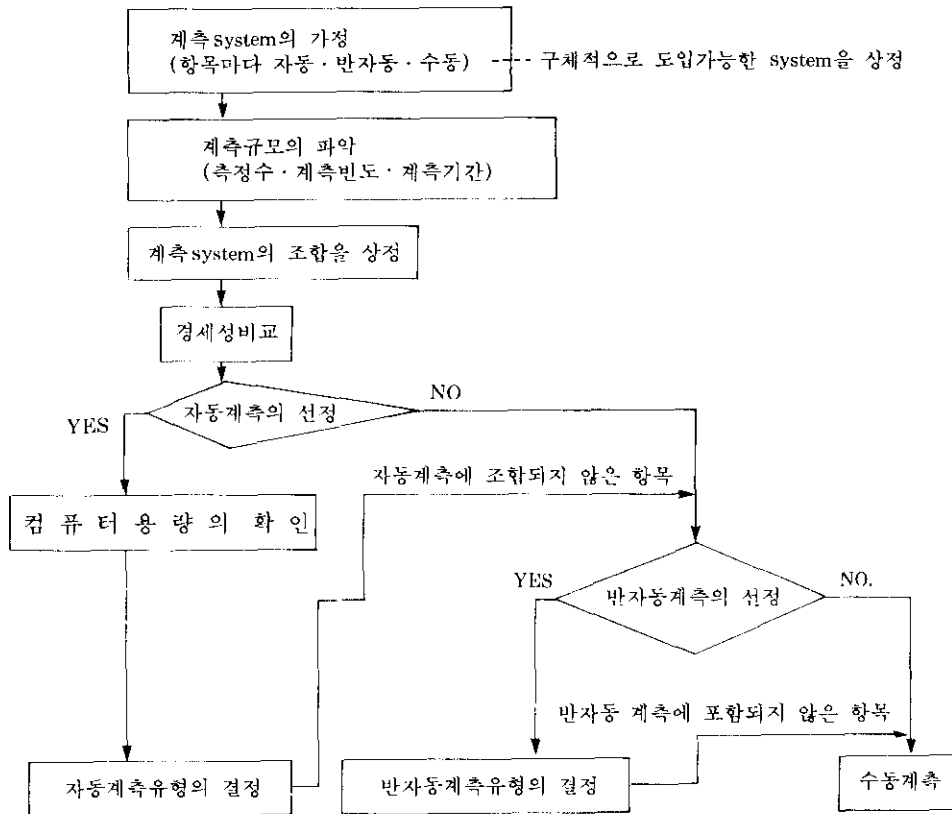


그림 7-2. 계측 system 방식의 결정

(2) 자동 계측 System

건설현장에서 필요로 하는 계측업무를 인력으로 수행하려면 인력의 소모가 많고 정확도가 떨어지며 계측된 data를 분석하는 데 많은 시간이 걸리므로 계측에 따른 대응조치를 취하는데 어려움이 따른다. 또한 측정자가 접근하기 어려운 현장조건에서는 사람에 의한 측정이 불가능한 경우도 있다. 이러한 수동측정의 문제점을 해결하기 위해서는 자동화 계측 system이 필요하다.

계측작업을 자동화하기 위해서는 계측장비 메이커에서 개발하여 시판하고 있는 시스템을 도입하는 방법이 있으나 시스템의 가격이 고가이고 특수분야에만 적용이 가능하므로 여러분야의 응용이 곤란하여 자동계측 system의 운용효율이 낮은 것이 현실이다.

(가) 하드웨어 구성

일반적인 단위 현장 자동 계측 system의 구성도는 그림 7.3과 같다.

단위 현장의 자동계측 system의 주요 제원은 다음과 같다.

계측규모가 비교적 작은 현장의 경우는 manual station과 switch box만을 이용하여 반자동 계측 system을 구성할 수도 있다. 그림 7.4는 이러한 경우의 하드웨어 구성을 보여준다.

단위 현장의 계측 데이터 처리 계통도는 그림 7.5와 같이 자동 계측 항목은 자동계측 system에 의하여 일정 주기(예를 들면 1시간 간격마다)로 컴퓨터에 자동으로 계측 data가 입력되며, 수동 계측 항목은 현장의 계측 담당자에 의해 수동으로 입력된다. 모아진 계측 data는 monitor나 printer로 1차 처리된 결과가 출력될 수 있으며 FDD(floppy disk drive)나 HDD(hard disk drive)에 저장되고 계측관리를 위한 data를 modem과 전용 전화선을 이용하여 계측본부로 보낼 수 있도록 구성한다.

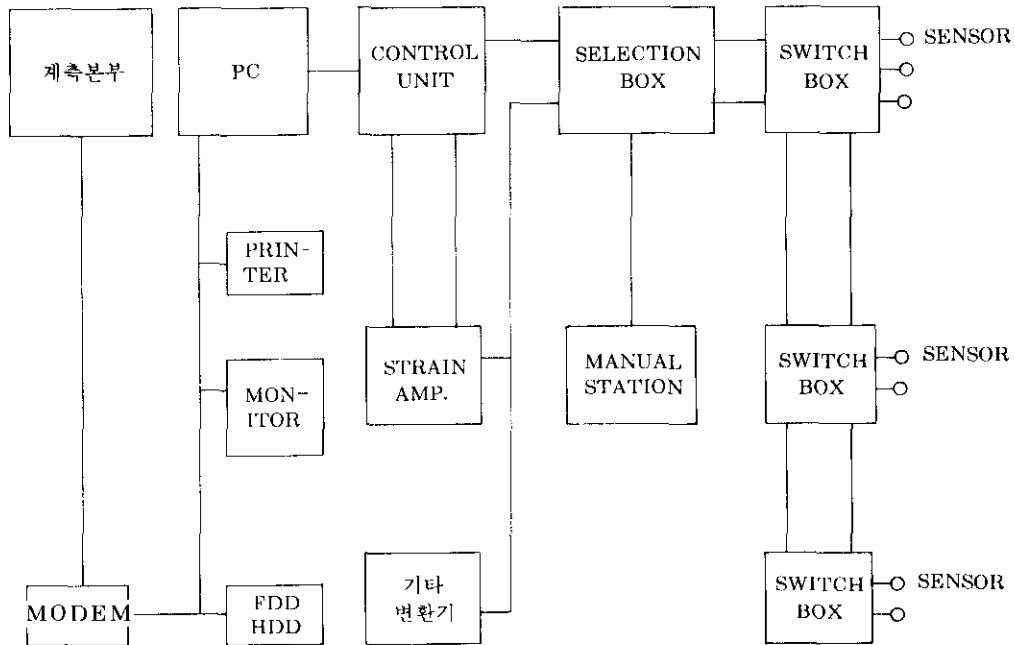


그림 7-3. 단위 현장 자동 계측 system 구성도

표 7.5 자동 계측 system 구성기기의 주요제원

구 성 기 기	주 요 제 원
1. PC	40M bytes HDD 이상 2400 BPS A/D converter를 포함한 DATA 입출력 장치. SWITCH BOX의 채널선택신호를 주고 SELECTION BOX의 제어를 하며 변환기 출력을 A/D converter에 PC로 전달한다.
2. PRINTER	
3. FDD, HDD	
4. MODEM	
5. CONTROL UNIT	
6. STRAIN AMP	스트레인 변환기
7. SELECTION BOX	자동/반자동 전환기, 반자동시 컴퓨터 신호에 의해 자동적으로 전환 가능하며 다른 종류의 변환기를 사용할 수 있도록 한다.(최대 10종류)
8. MANUAL STAT	반자동 조작기, 계측실에서 현장의 SWITCH BOX 및 채널선택을 수동으로 선택할 수 있도록 한다.
9. SWITCH BOX	SWITCH BOX 1대당 32개 SENSOR 부착가능, 최대 16대의 SWITCH BOX 설치 가능. 따라서 최대 SENSOR 수는 512(32×16)일.

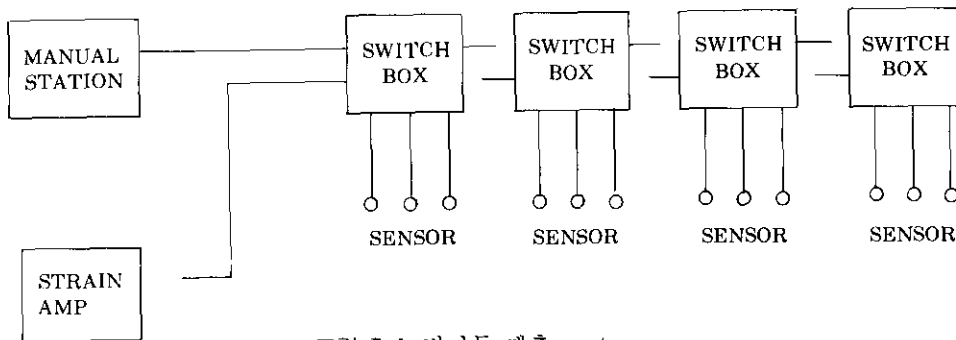


그림 7-4. 반자동 계측 system

또한 selection box와 manual station을 이용하여 수동으로 임의의 센서의 값을 읽을 수 있도록 하고, 수동으로 수행하는 도중에 자동 주기 계측에 의해 PC가 센서 선택명령을 내리면 자동적으로 선택이 가능하도록 한다.

(3) network system

지하철이나 고속전철 등과 같은 대규모 건설 project를 위한 계측은 많은 수의 단위공구나 건설현장에서 동시에 계측이 수행되어야 하므로, 계측치 해석의 일관성 유지와 해석에 필요한 고급기술자와 장비를 효율적으로 운용하여

계측 업무 수행 체계를 통합하고 일원화 효과를 높이기 위하여 계측 data를 중앙의 계측본부에서 해석할 수 있는 network system을 구성해야 할 필요성이 있다. network system에 의한 계측을 수행하면 감독처(발주처)입장에서는 각 단위공구(또는 더 넓은 범위로는 각 시공사)의 계측 상태를 통괄하여 감독할 수 있는 장점이 있다.

여러개의 단위현장(또는 단위공구)을 중앙에서 관리하기 위한 데이터 전송 및 처리용 network system의 구성예를 표 7.6에 나타냈

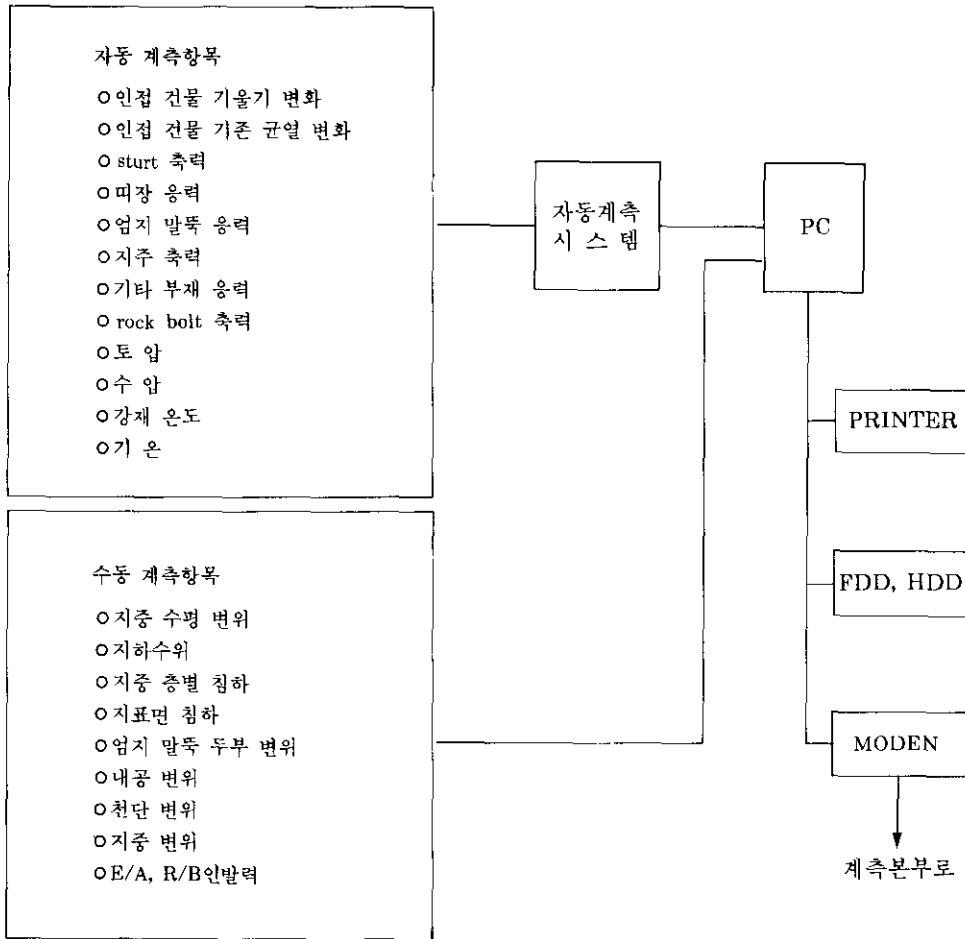


그림 7-5. 단위 현장 계측 데이터 계통도

다. 시스템 구성도에서 알 수 있는 바와 같이 단위현장(또는 단위공구)의 자동 계측용 PC로부터 Modem과 전용 전화선을 이용하여 계측 본부로 전송된 계측 data는 계측본부내의 network에 연결된 PC나 work station에서 분석되어, 보고서 작성 및 data보관 등의 작업에 이용된다.

7.3 계측계획

계측계획은 분명한 목적의식을 가지고 있어야 하며 계측분석자에 의해 반드시 시공전에

수립되어야 한다. 만일 현장계측이 분명한 목적의식 없이 시행되면 자연히 불확실한 계측수행이 되기 쉬우며 결과적으로 계측치의 신뢰성과 그 효용성까지 떨어질 수 있다. 또, 계측목적의 불확실성과 수행계획의 미비로 인하여 비경제적인 시공(공사비 상승요인)으로 판단되어 계측자체의 불필요성까지 대두되기도 한다.

따라서 계측을 성공적으로 수행하기 위해서는 계측분석자는 물론 설계자, 시공관계자 및 감독자까지도 계측목적을 충분히 주지하여 계측계획을 수립하여야 하는 바, 여기에는 계측치를 도표화하여 추이변화를 공정순서, 시공성, 시공속도, 일기변화 등의 변수들과 연계 분

표 7.6 계측 network system 의 구성 예

구분	NETWORK SYSTEM	소요시설기자재	비고
발 또는 주 감 독 처		PC ————— 2 SET MODEM ————— 2 SET 전화 ————— 2 회선	
계 측 분 부		WORK STATION — 1 SET 현장검색용 PC ————— 보통(1/3×현장수) SET 보고서 작성용 PC — 3 SET 결과분석용 PC — 3 SET TERMINAL SERVER(32 CHANNEL) MODEM ————— 현장수 + 2 PRINTER, XY PLOTTER NETWORK CABLE — 1 LOT 전화 ————— 현장수	Network System 운영을 위한 Soft ware 필요.
계 측 현 장		PC ————— 현장수 MODEM ————— 현장수 AMS(자동 계측 System) ————— 현장수	

석할 수 있도록 분석처리되는 과정도 포함되어야 한다.

계측계획은 일반적으로 다음 항목들이 검토되어 수립된다.

- ① 현장공사 개요 및 규모
- ② 현장 지반 및 인접 건물
- ③ 계측목적에 따른 계측항목과 수량
- ④ 계측기 설치, 유지관리 방안
- ⑤ 계측유도에 맞는 인원 확보
- ⑥ 계측결과와의 출력, 분석 및 시공반영 체계 수립

특히 계측수행에 필요한 3요소는 다음과 같다.

1) 신뢰성 있는 계측기기

굴착공사 계측계기는 일반적으로 지반 및 가시설의 변형이 정확히 반영되어질 뿐만 아니라

용력 값으로의 환산이 신뢰성을 가져 허용치에 대한 안정성 또는 보강에 반영을 검토할 수 있어야 한다.

2) 자질을 갖춘 계측 수행자

최근들어 계측기자재의 팔목할 만한 성장에도 불구하고 계측기 사용자의 자질은 이를 따르지 못한 경우가 있어 계측의 실패가 종종 발생하였다.

계측 수행자는 최소한 계측기의 원리를 이해하여야 하며 계측을 통하여 자기가 수행하는 작업의 성공적인 완결을 위해서 계측을 최대한 활용할 수 있는 자질을 구비해야 한다.

3) 현장과의 상호보조

계측 작업은 시공과 병행하여 이루어지므로 가능한 시공공정에 지장을 주지 않아야 하며 시

공자가 계측에 대한 개요를 인식하여 설치 및 설치후의 관리에 문제가 발생치 않도록 한다.

(1) 계측 조직 구성

계측 조직 구성은 현장 여건, 계측방식, 계측 관리 방법등을 고려해서 각기 달리 구성하되, 계측을 직접 담당하는 사람은 계측에 열의와 흥미를 가지고 있고 지식이 풍부한 사람으로 정해야 하는 것이 원칙이지만 계측 현장 특성상 현장의 한시성과 조직의 변화가 항시 존재한다는 점을 감안하여 계측수행과 발전을 지향하는 장기적인 체제를 구성하는 것이 요망된다.

표 7.7 계측의 기본항목

예상되는 현상	기본항목
· 배면지반의 거동 및 수평변위 발생이 클 것으로 예상되는 경우	경사계, 지표침하계
· 엄지말뚝 및 띠장, 버팀보에 변형이 예상되는 경우	응력계, 하중계
· 버팀보 또는 earth anchor의 거동이 클 것으로 예상되는 경우	하중계, 응력계
· 인접구조물에 피해가 예상되는 경우	건물경사계, 지표침하계
· 지반조건상 굴토에 의한 지하수위 감소효과를 검토하는 경우	지하수위계, 지표침하계
· 지중매설물의 침하가 예상되는 경우	지표침하계, 경사계 지중침하계

(3) 계측계기의 선정

(가) 계측계기의 선정시 고려사항

계측계기의 선정시 고려사항은 크게 정확성, 이용성, 경제성이다.

- ① 계측계기의 정확도, 반복정밀도, 계측범위 및 신뢰도가 계측목적에 적합할 것
- ② 구조가 간단하고 설치가 용이할 것
- ③ 온도, 습도에 대한 영향을 적게 받고 보정이 간단할 것
- ④ 계측계기로 인해 공사에 지장을 초래하지 않을 것
- ⑤ 예상변위나 응력보다 계측계기의 측정범위가 클 것
- ⑥ 충격 또는 갑작스런 하중증가로 인한 계측계기의 손상시 고장발견과 대책이 용이할 것
- ⑦ 매설후 검정이 가능할 것
- ⑧ 가격이 경제적인 것

다.

(2) 계측 항목의 선정

흙막이 공사에서 야기될 수 있는 현상에 대하여 우선적으로 선정되어야 할 계측의 기본항목을 요약·정리하면 표 7.7과 같다. 계측항목의 선정에 있어서는 터파기의 규모, 지반조건 및 주변환경 등에 따라서 달라지고 때문에 구체적인 계측목적, 계측수행방안 등을 명확히 한 후 위의 기본항목에 몇가지 항목이 추가되어 최종적으로 계측 항목이 결정된다.

(나) 계측계기의 선정 순서

1) 계측조건외 파악

지반·지하수·주변 환경 등의 상황, 설계와 시공 방법 등을 통해 예상되는 불확실성의 존재, 이를 해소하기 위한 계측항목과 수량, 계측해야 할 현상의 크기·속도·공정·예산·배치상의 제약과 같은 것들이 이에 해당된다. 계기를 선정하는 단계에서 이러한 조건들이 모두 확정되어 있는 것은 아니기 때문에 몇가지 경우를 고려하여 복수안을 검토한 후 상황에 따라 적용할 필요가 있다.

2) 계측방법의 선택

계측 시스템의 형식(수동 혹은 자동)에 따라 계기가 달라진다. 자동 계측의 경우에는 일반적으로 전기식 계기가 사용된다. 센서에 기계식 계기를 부착한 경우에도 측정부에 전기 계열의 회로를 결합시켜 최종적으로는 전기적 신

호로 변환한다. 또한 범위·토압·간극수압·철근응력 등 계측 항목이 많은 경우에, 각각 다른 방식의 계기를 사용하면 관리효율상 또는 구입가격 측면에서 좋지 않기 때문에 가능한 한 통일된 방식을 사용하는 것이 좋다.

3) 대상계기의 확인

계측 조건, 계측 방법과 맞을만한 방식의 계기를 열거하고 관련 자료를 수집한다. 공인된 평가를 받았거나 규격에 적합한 것이 대부분이겠지만 이 경우라도 관련자료를 확보해 둘 필

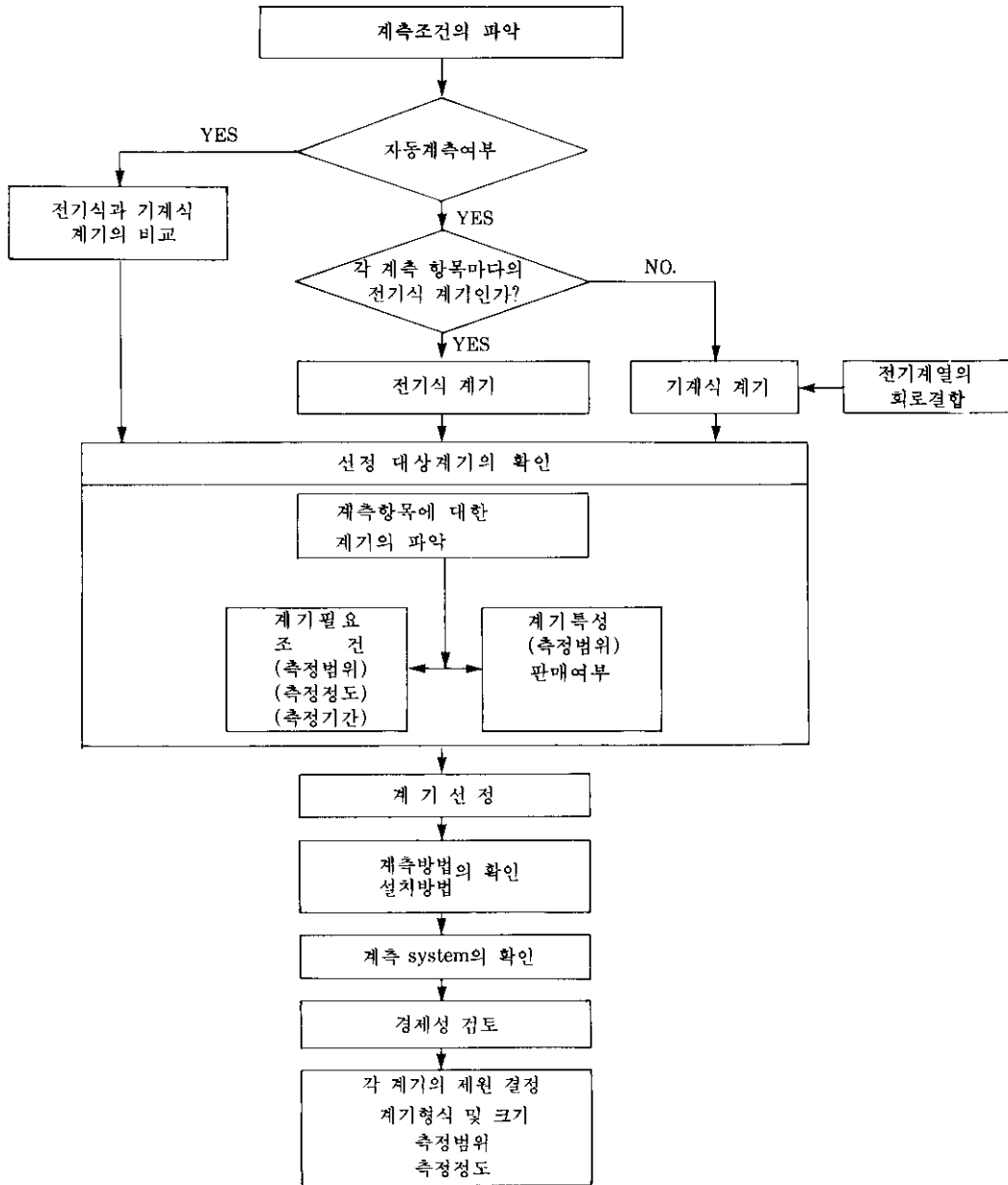


그림 7-6. 계측계기 선정의 순서도

요가 있다. 같은 방식의 계기라도 여러 업체가 있을 수 있는데, 이 때는 카다로그, 사용실적, 성적표(검정데이터), 실패·성공 사례를 보유하고 있고 단순히 계측기 납품에만 그칠 것이 아니라 계측관리의 전반적인 수행에 초점을 맞추어 계측 수행의 업무내역과 그 범위가 사전 협의 가능한 업체를 대상으로 한다.

4) 계기의 선정

1), 2)에서 결정되는 계기의 구비 조건과 3)에서 구해지는 계기의 특성을 비교·검토하여 사용할 계기를 선정한다. 적합한 계기가 여러 개이면 경제성 등을 고려하여 가장 알맞는 것을 채택한다. 그러나 계기 중에는 판매되지 않거나 입수할 수 없는 것도 있으니, 이에 대한 확인이 필요하다.

5) 계기 선정후의 검토

계기를 선정하고나면 계측 및 설치방법 등을 확인하고 계측 시스템과 경제성 등을 검토하여 계기의 형식·치수·용량·정밀도를 최종적으로 결정한다. 아울러 선정된 계기의 신뢰성을 총괄적으로 검토하여 사용기간 동안 유효한 정보를 계속 제공해 줄 수 있는지 그 확률을 미리 파악해 둘 필요도 있다.

(4) 계측 빈도

흙막이 공사시 지반의 거동은 일일 터파기 양과 작업기계, 기상(특히 우천)등에 영향을 받으므로 공사의 진척에 따른 계측치의 변화속도와 안정성 여부의 관련성 등을 충분히 고려하여 현장상황에 지체없이 대응할 수 있도록 적절한 계측 빈도를 설정하여야 한다. 계측빈도는 측정 data의 양과 타이밍과 직접적인 관계가 있어, 계측빈도가 불필요하게 많으면 비용이 증가하고 data 처리가 여의치 않아 의사 결정을 지연시키기까지 하고, 너무 적으면 중요한 변화양상을 감지할 수 있는 타이밍을 놓치게 되는 경우가 발생하여 계측에 실패할 수도 있다.

① data의 변화속도

data의 변화속도가 빠른 계측항목은 빈도를 높여야 하며 반대로 장시간에 걸쳐 서서히 변화하는 항목은 낮은 빈도로 충분하다. 그러나 data의 변화속도는 계측시기, 계측항목, 측정위치 등에 따라서도 달라지기 때문에 이를 감안한다.

② 안전과의 관련도

안전과의 관련이 직접적인 계측항목과 간접적인 계측항목으로 분류되는데(예를 들면 전자는 응력, 후자는 하중) 직접적인 것일 수록 빈도를 높일 필요가 있다. 그리고 공사를 완료한 후에도 안정을 확인할 때까지 계측을 계속하는 것이 요구된다.

③ 계측빈도의 동일

각 계측항목은 상호관련의 비교검토가 필요하므로 관련항목은 동일시기에 계측을 실시하도록 하고 그 중 빈도가 높은 것은 별도로 계측한다.

수동 및 반자동 측정방식에서의 계측빈도에 대한 기본 방향을 요약, 정리하면 표 7.8과 같다. 여기서 표시된 빈도는 현장 상황에 따라 계측 책임자의 승인하에 조정될 수 있다. 또, 외부하중 및 지반거동 변화시 추가 측정을 실시하며, 터파기 공사 완료시 측정빈도(약 1/2)는 재조정할 수 있다.

자동측정방식에서의 계측빈도는 이 보다 훨씬 많아, 보통 6시간~12시간 간격으로 1회씩 계측한다.

(5) 계측위치의 선정(계측기의 배치)

계측은 안전성, 현장관리 또는 연구목적상 모든 거동을 놓치지 않고 측정하기 위하여 되도록 많은 위치에서 실시하는 것이 좋겠지만, 흙막이 구조물 공사가 본체 구조물을 축조하기 위한 가설 구조물이므로 경제성, 시공성 측면에서 계측위치는 설계 및 시공조건을 고려하여 흙막이 구조물 및 배면지반의 거동을 대표할 수 있는 최소한의 수로 정하는 것이 좋다.

표 7.8 흙막이 구조물의 계측빈도에 대한 기본방향

항 목		측 정 빈 도			계측계기	
		설치후 초기치 설정시	터파기 진행 중	지하분체 완료후		
벽	외 력	토압 수압 철근응력 콘크리트응력	2일간 3회/일	3회/주	1회/주	토압계 수압계 strain gauge
	응 력					
체	변 형	※표식 및 고정점 설치후 초기치 측정	2회/주	1회/주	transit level	
지 보	응 력	매설형	2일간 3회/일	3회/주	-	하중계 strain gauge
		부착형				
지 반	변형	D≤H (D: 벽체로부터의 거리, H: 굴착 깊이)	3일간 1회/일	2회/주	1회/월	경사계 지표침하계 지중침하계
				1회/월		
지 하 수	수위, 수압	1일간 1회/일	양수중	양수중이 이년경우	양수량의 계측을 포함하여	지하수위계 간극수압계
			양수량의 계측을 포함 1회/일			
인 접 구 조 물	변 형	D≤H	3일간 1회/일	2회/주	1회/월	건물경사계
		D≤2H	※균열측정의 경우는 균열부 양단에 표식을 설치하고 초기치를 측정	1회/월	1회/월	균열측정기
진동·소음		필요시 측정			진동·소음 측정기	

계측 위치를 선정함에 있어서 기본적인 기준은 다음과 같다.

- ① 시추 조사 및 원위치 시험 등에 의해서
지반조건이 충분히 파악되고 있는 곳(또
는 대표적인 지반상태를 갖는 지점)
- ② 설계와 시공면에서 흙막이 구조물을 대표
할 수 있는 곳(표준 단면으로 설정한 곳)
- ③ 중요 구조물이 인접하여 있는 곳이나 구
조적·재료적으로 취약한 곳(가장 위험
하다고 생각되는 곳)
- ④ 우선적으로 터파기 공사가 진행될 곳
- ⑤ 흙막이 구조물이나 지반에 특수한 조건이
있어 공사에 영향을 미칠 것으로 예상되

는 곳(재료나 단면이 변경되는 곳)

- ⑥ 교통량이 많은 곳
- ⑦ 하천 주위 등 지하수위가 높고 수위의 상
승, 하강이 빈번한 곳
- ⑧ 계기 설치와 측정이 용이하면서, 가능한
한 공사에 의해 계기의 훼손이 적은 곳,
즉 계기의 설치 및 배선을 확실히 할 수
있는 곳

이와 같이 계측위치를 선정하여 실제 계측기
를 배치함에 있어 고려할 점 몇가지를 추가하면
다음과 같다.

- ① 중요구조물의 인접한 곳에 설치되는 계측

기에 대해서는 그 구조물의 위치를 중심으로 계기를 배치한다.

- ② 계측 결과의 상호적인 보완이나 계기의 고장 가능성을 고려하여 연관된 계측기를 동일 단면에 집중 배치한다.
- ③ 지하철의 개착구간과 같이 긴 노선을 따라 흠막이 공사를 수행하는 곳에서의 계측위치의 선정은 100m 정도의 간격으로 하고 이외에 단면이 바뀌는 곳, 상가 및 건물 밀집구역등에서는 계측위치를 추가한다.

7.4 계측 관리 기준치

계측관리 방법에는 절대치 관리방법과 예측 관리방법으로 구분할 수 있으며, 절대치 관리 방법이란 시공 전에 설정된 관리 기준치와 실측치를 비교 검토하여 그 시점에서 공사의 안정성을 확인하는 방법이며, 예측 관리방법은 예측치와 관리 관리치를 비교 검토하여 사전에 공사의 안정성을 확인하거나 현재 시공되고 있는 시공법의 검토를 행하는 방법이다.

계측관리 기준치 설정에 있어서 가장 기본이 되는 변위 및 응력의 관리 기준은 지질 조건 및 단면의 크기 및 형상, 굴착 공법, 주변 구조물 및 환경조건 등에 따라 각각 달라 지므로 일정한 기준을 적용하는 것은 곤란한 일이지만, 각종 이론식에 의한 기준치 그리고 F.E.M. 해석 결과에 의한 기준치, 유사지질 및 단면에서의 계측결과를 토대로 한 경험적 기준치에 의하여 정하게 된다.

7.4.1 토압계

설계시에 사용한 토압분포에는 토압, 수압, 상재하중 및 기타 외력이 포함된다. 이 때의 토압분포는 최대값을 기준으로 하여 흠막이 벽체의 단면을 결정하게 된다.

따라서 설계시 사용한 토압분포의 최대값 p_{max} 가 기준이 되어 실측에 의한 토압이 한계치를 어느정도 넘어서면 흠막이 벽체가 위험하게 된

다. 흠막이 벽체의 파괴에 대한 장기적인 안정성의 확보는 $\left(\frac{P_{max}}{1.2}\right)$ 값이 실측에 의한 토압보다 클 때 이루어 진다.

표 7.9 계측토압의 관리 기준치

안정	실측치 < $\frac{P_{max}}{1.2}$
주의	$\frac{P_{max}}{1.2} \leq$ 실측치 < $\frac{P_{max}}{0.8}$
위험	$\frac{P_{max}}{0.8} \leq$ 실측치

7.4.2 지하수위계 및 간극 수압계

지하수위에 대해서는 설계시에 고려된 지하수위를 기준으로 하여 실측된 지하수위가 설계수위보다 높을 경우가 안전에 대한 주의대상이 되어, 실측토압과의 관계로부터 위험여부를 판정하게 된다.

투수성지반에서 지하수위보다 깊게 터파기할 경우 흠막이 벽체의 앞 뒤면의 수위차로 인한 침투수압에 의해 boiling 현상이 발생하기 때문에 지반의 유효응력이 감소되어 지지력 감소·소멸이나 토립자의 이동으로 인한 흠막이 벽체 및 주변지반이 파괴될 수 있다. 이와 같은 boiling에 대한 흠막이 구조물의 안정은 간극수압을 측정하여 침투에 의한 유출부의 최대 동수경사 i_{exit} 를 구함으로서 검토될 수 있다.

표 7.10 boiling에 대한 관리 기준치

안정	$i_{exit} < 0.25$
주의	$0.25 \leq i_{exit} < 0.57$
위험	$0.57 \leq i_{exit}$

7.4.3 하중계

지보재의 하중은 하중계에 의해 측정이 된다. 또 설계시에 사용하는 토압분포에 의해 각 지보재 마다의 지보하중이 산정되고, 지보종류에 따라 지보단면이 결정된다.

따라서 사용되는 지보재의 종류에 따른 허용 축력이나 허용인장력과 실측된 지보하중을 비

교하여 다음과 같이 흙막이 구조물의 안정 여부가 검토될 수 있다.

표 7.11 strut의 관리 기준치

안정	실측치 < $\frac{\text{부재의 허용축력}}{1.2}$
주의	$\frac{\text{부재의 허용축력}}{1.2} \leq \text{실측치} < \frac{\text{부재의 허용축력}}{0.7}$
위험	$\frac{\text{부재의 허용축력}}{0.7} \leq \text{실측치}$

그러나 E/A의 경우 실측된 하중이 감소하는 경우와 증가하는 경우가 있다. 만일 실측된 값이 안정되지 않고 계속해서 감소하는 경우와 증가하는 경우는 흙막이 벽의 안전에 문제가 있으므로 주위의 다른 계측 항목과 함께 고려하며, 정착구, 자유장, 정착장의 이상유무를 검토하여야 한다.

7.4.4 응력계

흙막이벽체나 엄지말뚝 그리고 띠장에 발생하는 응력을 측정하기 위해서 strain gauge를 사용한다.

흙막이 벽체의 안정이 strain gauge에 의해 측정된 응력에 의해 검토될 때에는 흙막이 벽체나 엄지말뚝 그리고 띠장의 종류에 따른 허용휨응력을 기준으로 하여 평가될 수 있다.

표 7.12 흙막이 벽체, 엄지말뚝 및 띠장응력 관리 기준치

안정	실측응력 < 허용휨 응력
주의	$\frac{\text{허용휨응력}}{0.8} \leq \text{실측응력} < \frac{\text{허용휨응력}}{0.8}$
위험	$\frac{\text{허용휨 응력}}{0.8} \leq \text{실측응력}$

7.4.5 경사계

흙막이 벽체 인접지반의 수평변위량과 위치 및 방향을 측정하기 위하여 경사계를 사용한 다.

경사계의 계측관리기준은 수직거리에 대한 수평변위인 경사도가 $\frac{1}{200}$ 로 하는 경우가 일반적이지만, 이 값외에 상호 연관이 되는 흙막이 벽체 변위, 주변지반 침하량 및 인접구조물의 경사도에 대한 계측치를 상호비교하여 검토하고 주변도로, 지하철 또는 주변구조물 등의 관리자와 협의하여 최종 결정한다.

7.4.6 건물 경사계

인접 주요 구조물에 설치하여 구조물의 경사 변형상태를 측정하기 위하여 건물 경사계를 사용한다.

건물 경사계의 계측관리는 그림 7.7과 같은

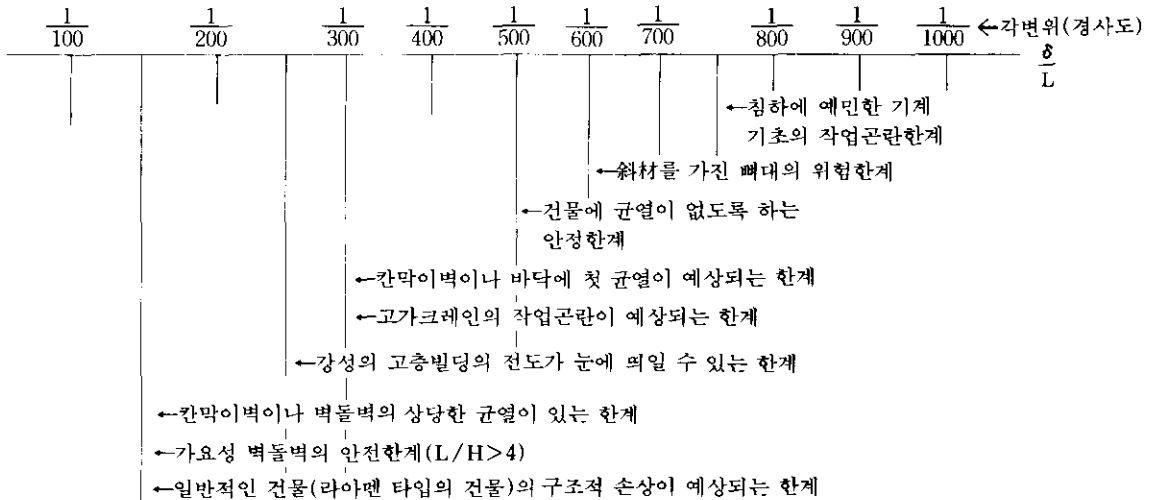


그림 7.7 Bjerrum(1981)이 제안한 각 변위 한계 (L : span, δ : 부등침하량)

구조물에 미치는 영향에 대한 각변위(경사도)의 한계를 기준으로 하여 실시한다.

기초의 종류에 따른 구조물의 손상한계는 표

7.13과 같고 구조물의 종류에 따른 허용침하량은 표 7.14와 같다.

표 7.13 구조물의 손상한계 (Skepmton, 1965)

기 준		독립기초	확대기초
각 변 위 (δ/L)		1/300 (L : Span δ : 부등침하량)	
최 대 부 등 침 하 량	접 토	44mm(38mm)	
	사 질 토	32mm(25mm)	
최 대 침 하 량	접 토	76mm(64mm)	76~127mm(64mm)
	사 질 토	51mm	51~76mm(38~64mm)

주) ()내의 값은 추천되는 최대값임

표 7.14 구조물의 허용침하량(Sowers, 1962)

침하형태	구조물의 종류	최대 침하량
전 체 침 하	배수시설	15.0~30.0cm
	출입구	30.0~60.2cm
	부등침하의 가능성	
	석적 및 조적구조	2.5~5.0cm
부 등 침 하	뺨대구조	5.0~10.0cm
	굴뚝, 사이로, 매트	7.5~30.0cm
	철근콘크리트 뺨대구조	0.003S
부 등 침 하	강 뺨대구조(연속)	0.002S
	강 뺨대구조(단순)	0.005S

주) S:기둥사이의 간격 또는 임의 두점 사이의 거리

토류벽체 변위에 따른 배면 지반 침하"를 참고 바람.

(2) 침하량에 대한 계측관리 기준

예측한 침하량이 인접도로, 지하철, 매설물 등의 각종 구조물과 인접건물의 손상한계 및 허용침하량을 넘지 않도록 하여, 이 예측 침하량을 계측 기준치의 설정에 이용한다.

표 7.15 인접지반 침하량에 대한 관리 기준치

안 정	실측침하량 < 예측침하량
주 의	예측 침하량 ≤ 실측침하량 < 허용침하량
위 험	허용침하량 ≤ 실측침하량

7.4.7 침하계

흙막이 벽체 배면의 지반 침하는 여러가지 요인에 의해 발생할 수 있고, 이론 해석에 의한 정확성도 아직 결여 되어 있지만 가장 중요한 원인중의 하나라고 생각되고 있는 것은 굴착 중 누적되는 벽체의 수평변위일 것이므로 이를 최소화하기 위해서는 벽체와 지반의 강성을 높이고 벽체의 근입깊이를 늘리는 방법이 있다.

(1) 침하 예측 방법

침하예측방법은 본 학회지 Vol.10, No.1 (1994. 3.)의 흙막이 구조물(XI), §11.6의 (2)

7.4.8 균열측정기

콘크리트의 허용 균열폭은 기능상과 미관상으로 구분되어 결정하는 것이 일반적이지만, 국내에는 허용균열폭에 대한 규정이 없는 관계로 외국의 관련규정들을 알아보면 표 7.16, 표 7.17과 같다.

표 7.16 ACI-Committee 224의 허용균열폭

노 출 조 건	최대 허용균열폭(mm)
건조공기 또는 보호층	0.40
습기 및 토양	0.30
동결 방지제	0.18
해수, 해수살포	0.15
저수 구조	0.10

표 7.17 보수여부에 관계되는 균열폭의 기준

구분	환경(2) 기타요인(1)	내구성으로 본 경우			방수성으로 본 경우
		극심함	중 간	완만함	-
(1) 보수를 필요로 하는 균열폭(mm)	대	0.4 이상	0.4 이상	0.6 이상	0.2 이상
	중	0.4 이상	0.6 이상	0.8 이상	0.2 이상
	소	0.6 이하	0.8 이상	1.0 이상	0.2 이상
(2) 보수를 필요로 하지 않는 균열폭(mm)	대	0.1 이하	0.2 이하	0.2 이하	0.05 이하
	중	0.1 이하	0.2 이하	0.3 이하	0.05 이하
	소	0.2 이하	0.3 이하	0.3 이하	0.05 이하

* 콘크리트 균열조사 보수지침, 일본 콘크리트협회지 참고
 주: (1) 기타요인(대, 중, 소)이란 콘크리트 구조물의 내구성 및 방수성에 미치는 유해성 정도를 표시하고 아래 요인의 영향을 종합 판단하여 결정한다.(균열의 깊이, 형태, 피복두께, 콘크리트의 표면 피복의 유무, 재료배합, 연속치기 등)
 (2) 주로 철근의 부식발생 조건의 관점으로 본 환경조건임

표 7.18 진동에 대한 관리기준(독일기준, 서울, 부산 지하철 공사에서의 기준)

(단위 : cm/sec)

등 급	I	II	III	IV	V
건 물 형 태	문화재	주택, 아파트, 상가(작은 균열이 있는 건물)	주택, 아파트, 상가(균열이 없는 양호한 건물)	빌딩 및 공장 철근 콘크리트	시설물주변 computer
건물기초에서의 허용치	0.2	0.5	1.0	1.0~4.0	0.2

균열에 대한 관리는 방수를 요하는 구조물인 경우 0.2mm, 그 외의 경우는 0.4mm를 기준으로 검토될 수 있겠다.

7.4.9 진동, 소음, 측정기

(1) 진동기준

일반적으로 진동에 대한 관리 기준에는 구조물의 사용성과 안정성의 견지에서 설정되는 건물의 피해 기준과 인체에 미치는 영향의 견지에서 설정되는 인체의 반응기준이 있다.

위의 기준은 충격진동에 관한 규정이며 연속진동인 경우는 허용치를 약 1/3으로 줄여 적용하는 것이 바람직하다.

표 7.19 II등급 건물의 최대속도 허용치(Banik)

피해정도	최대속도 허용치(cm/sec)
전혀 손상없음	0.4
경미한 손상	0.8
상당한 손상	5.0
배우 큰 손상	10.0

그림 7.20 III등급 건물의 최대속도 허용치

(단위 : cm/sec)

최대속도 허용치	피 해 정 도	피해한계
0.0~0.4	가벼운 손상도 없음(진동은 감지됨)	있음
0.4~0.8	가벼운 손상도 없음(창유리가 덜컹거림)	
1.0~2.0	도료 벗겨짐, 벽칠의 작은 균열발생	
2.0~3.0	벽칠 벗겨짐, 격벽의 작은 균열발생	
3.0~4.0	격벽의 균열	
5.0~10	버팀벽의 균열	
10~	벽 붕괴	

표 7-21. 진동의 환경적 기준(아래에 의하여 보정한 평가진동레벨이 60dB(V) 이하일 것)

보 정 표		
항 목	내 용	보 정 치
관련시간대에 대한 측정진동 발생시간 백분율	50% 이상	0
	25% 이상 50% 미만	-5
	25% 미만	-10
시 간 별	(낮) 06 : 00 ~ 22 : 00 (밤) 22 : 00 ~ 06 : 00	0 +5
지 역 별	가. 도시지역	
	(1) 전용주거지역, 녹지지역	0
	(2) 일반주거지역, 준주거지역	+ 5
	(3) 상업지역, 준공업지역	
	(4) 일반공업지역, 전용공업지역	-10
	나. 산림보전지역, 자연환경보전지역, 관광휴양지역, 취락지역 중 주거지구	-15 0
	다. 취락지역중 주거지구외의 지구, 수자원 보전지역, 경지지역, 개발촉진 지역, 유보지역, 미고시 지역	- 5
라. 공업지역	-15	
마. 의료법에 의한 종합병원 및 교육법에 의한 학교의 부지경계선에서 50m 이내의 지역	0	
비고 : 1. 관련시간대는 낮은 8시간, 밤은 3시간으로 한다. 2. 지역별 구분은 국토이용관리법에 의하며, 도시지역은 도시계획법에 의한다.		

(2) 소음 기준

표 7-22. 소음의 환경적 기준

단위 : dB(A)

대 상 지 역	시 간 별 대상소음		조 석	주 간	심 야
			(05:00~08:00) (18:00~22:00)	(08:00~18:00)	(22:00~05:00)
주거지역, 녹지지역, 취락지역 중 주거지구, 관광휴양지역, 자연환경보전지역, 학교, 병원의 부지경계선으로부터 50m 이내 지역	확성기에 의한 소음	옥 외 설 치	70 이하	80 이하	60 이하
		옥내에서 옥외로 방사되는 경우	50 이하	55 이하	45 이하
	공장 및 사업장의 소음		50 이하	55 이하	45 이하
	공사장의 소음		65 이하	70 이하	55 이하
상업지역, 준공업지역, 일반공업지역, 취락지역 중 주거지구외의 지구	확성기에 의한 소음	옥 외 설 치	70 이하	80 이하	60 이하
		옥내에서 옥외로 방사되는 경우	60 이하	65 이하	55 이하
	공장 및 사업장의 소음		60 이하	65 이하	55 이하
	공사장의 소음		70 이하	75 이하	55 이하
비고 : 1. 대상지역의 구분은 국토이용관리법에 의하며, 도시지역은 도시계획법에 의한다. 2. 공사장 소음의 규제기준은 주간의 경우 소음발생시간이 1일 2시간 미만일 때에는 +10dB, 2시간이상 4시간이하일 때에는 +5dB를 보정한 값으로 한다.					