

# 도심지 지하골착을 위한 지반조사 및 계측

전 준 수

<(주) 대우엔지니어링 전무이사  
부설 기술연구소 소장>

1. 머 리 말
2. 지 반 조 사
3. 현장계측의 목적
4. 결 론



# 목 차

1. 머 리 말	-----	25
2. 지 반 조 사	-----	26
2-1. 조사및 시험		
2-1-1. 지 반 조 사		
2-1-2. 본 조 사		
3. 현장계측의 목적	-----	33
3-1. 토류공사시의 계측		
3-1-1. 계측항목 및 계측기의 선정		
3-1-2. 측정 Data의 분석 및 활용		
4. 결 론	-----	49



# 도심지 지하굴착을 위한 지반조사 및 계획

전 준 수\*

## 머 리 말

도심지에 있어서 굴착공사라고 하면 건축물의 지하실과 기초를 구축하기 위한 공사를 비롯해서, 토목관련 공사로는 지하철공사 등과 같은 대규모 굴착공사에서 전력구, 봉신구, 가스관, 상수도, 하수도 등의 소규모 지하매설공사에 이르기 까지 다양하다.

이와같은 도심지 굴착공사의 특징은 부지가 협소할 뿐만 아니라 기존의 인접구조물과 각종의 지하매설물들이 있는 등 매우 어려운 제약조건에서 행해진다는 점이다. 이외에 굴착공사는 대부분 가설공사로서 본공사와는 달리 공비의 저렴화, 공기의 단축등 경제성을 강조하는 경향이 있으며, 또한 굴착현장 주변의 구조물 및 공공시설의 위협방지를 위한 규정도 점차 엄격해 지고 있다. 이와같은 굴착공사를 안전하고 경제적으로 수행하기 위해서는 사전조사-설계-시공-시공관리라고 하는 일련의 과정에 있어서 사전에 다방면에 걸친 신중한 검토를 해야만 할 것이다.

도심지 굴착공사에서는 이외에도 주변공해(소음, 진동, 침하, 지하수위 저하 등)의 억제가 큰 문제가 되고 있으나 안전한 공사가 우선적으로 전제되어야 한다. 안전성이라는 것은 합리성에 기초를 둔 설계와 시공을 의미하며, 이를 위해서는 굴착공사 공법선정 및 계획단계에서 적절하고 정확한 조사자료와 데이터, 기왕에 축적된 경험이 필요하게 된다.

본 고에서는 도심지 굴착공사를 위해 실시되는 여러가지 조사중에서 가설구조물 설계 시 필요한 지질 및 토질에 관한 조사와 시공중 안전성 확보를 위한 계획에 대해 설명하고자 한다.

---

\* (주)대우엔지니어링 전무, 부설기술연구소장

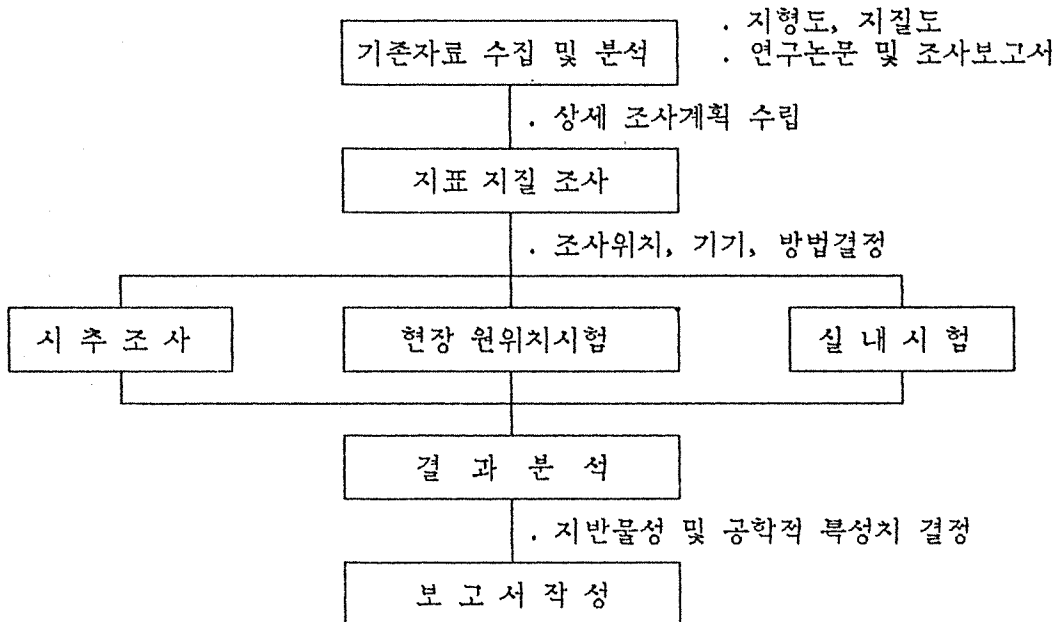
## 2. 지 반 조 사

가설구조물 설계시 필요한 지질 및 토질에 대한 조사는 일반적으로 본체 구조물과 함께 행하여지며, 이들의 자료를 참고로 계획, 설계되고 있다. 그러나 경우에 따라서는 본 구조물설계와 고려되어야 할 문제점이 다른 경우도 있기 때문에 다른 관점에서의 조사도 필요하게 되는 때도 있다. 지반조사는 다음과 같은 목적으로 실시한다.

- \* 예정부지의 지질상태를 파악하여 지질 및 토질조건에 적합한 공법선정 및 구조물 설계의 기초자료 제공
- \* 조사지역에 발달 분포하고 있는 지층들의 공학적 특징 조사
- \* 구조물 건설을 위한 굴착에 따른 수리 지질학적 자료 제공

따라서 지반조사자료는 가설 및 본구조물의 설계와 시공에 중요한 기초자료가 되므로 구조물의 특성 등을 다각적으로 검토하고 충분히 이해하여 아래의 지반조사 흐름도에 따라 조사계획을 수립하여 수행한다.

그림 1. 지반조사 흐름도



## 2.1 조사 및 시험

도심지 지하굴착시의 토류구조물은 시공된 후 일정기간 혹은 항구적으로 설계목적에 맞는 기능을 지속적으로 만족시키도록 설계되고 시공되어야 한다. 이를 위해서는 명확한 설계조건 및 정확한 시공조건을 설정할 필요가 있다. 또한 이와같이 가정된 조건이 실제와 일치되고 있는가의 여부가 항상 확인되어야만 한다. 이들 조건을 찾아내기 위해 행하는 것이 조사와 시험이다. 조사 및 시험의 대상으로서는 지반의 성질과 부지주변의 환경조건등이 있다. 지반의 성질에는 토층구성과 특성, 지하수의 상태등이 있고 환경조건에는 교통사정과 주변에 미치는 소음, 진동등의 공해문제등이 포함된다.

굴착공사를 계획하는 경우 제일 먼저 어떤 방법으로 굴착할 것이며 무슨 토류구조물을 시공할 것인가를 결정해야 한다. 그 후 점차 여러가지의 설계조건등에 맞추어서 본설계인 상세설계를 진행하게 된다. 이를 조사단계에서 보면 예비조사와 본조사의 두 단계로 나누어 볼 수 있다.

### 2.1.1 예비조사

예비조사란 토류구조물 형식을 선정하기 위한 자료를 수집하기 위한 단계이다. 예비조사의 항목과 세부조사내용을 표 2.1 에 기술하였다.

표 2.1 부지주변의 사전조사 항목

입지조건과 주변의 상황	부지의 위치, 경계선의 확인, 부지형성, 부지내의 고저차 및 기준깊이, 인접구조물(도로도 포함), 소음, 진동, 인근주민등, 공작물 건설시의 상황.
지형	부지부근 전반적인 지형과 시공위치 및 그 변천, 매립지의 여부.
토질 및 지하수	토층 구성과 토질, 지하수위, 투수층, 水氈干滿  상황등.
매설물 및 장애물	舊기초, 우물, 제방, 기설구조물의 상태, 지상전선탑, 지하매설 전선구, 상하수도, 통신구, 지하철, 불발폭탄 등.
계절 및 기상	강우량, 집중호우 등.
도로 및 교통상황	도로의 종류, 구조, 차량통행상황, 교통제한 등.
기 타	관련법규

부지부근의 지반과 시공에 관한 기존자료의 수집이 상세하게 이루어지면 다음 단계의 조사가 비교적 정확하게 행해질 수 있다. 따라서 이 단계의 조사를 게을리 해서는 안된다.

부지의 특징을 알기 위해서는 현장부근을 답사하는 것이 좋다. 표토는 그 아래에 있는 암석 혹은 퇴적물이 풍화작용, 침식작용에 의해 형성된 것이 많으므로 암질 또는 퇴적물의 강도에 따라 그 두께가 달라진다. 노두를 잘 관찰하면 주변의 암석과 흙의 퇴적조건 및 제성질도 어느정도 추정할 수 있다. 암석은 화성암인가 퇴적암인가 또는 고생대에 퇴적한 것인가 신생대에 퇴적된 것인가에 의해 그 강도가 달라진다.

용수는 사질토와 같이 비교적 투수성이 좋은 장소라든가 단층에 의해 생긴 Crack이 있는 곳에서 솟아난다. 하천의 영향을 받았던 곳은 상류지역에서는 조립한 사력층을 형성하고 하류로 갈수록 점차 조밀하게 된다.

이와같은 여러가지의 기존자료를 입수할 수 있는 경우에는 지반조사를 예비조사의 일부로서 실시하는 것도 필요하다. 이 조사에 의해 부지내의 개략적 특성을 파악한 후 설계에 착수하는 것이 좋다..

### 2.1.2 본 조사

예비조사에 의해 얻은 개략적인 지반조건등으로 부터 토류구조물의 형식이 선택된다. 본조사는 이에 따른 설계, 시공 및 그 후의 관리에 필요하다고 생각되는 자료를 얻기 위해 행하는 조사이다. 본고에서는 지반조사에 한해서 기술하겠다.

#### 1) 조사의 범위 및 시험

지반조사를 계획할 때는 그 대상으로 하는 지반의 복잡성, 구조물의 형식등을 충분히 고려해야 한다. 조사의 기본목적은 전에 언급한 바와 같이 지반의 구성을 분명하게 알고 각 토층의 역학적, 물리적 특성을 알기 위한 것이다. 이 양자를 적절히 조합하여 조사의 범주 및 시험이 결정된다.

각 경우에서 목적으로 하는 조사범위 및 기본 조사방침을 표 2.2 - 2.4 에 나타냈다.



표 2.2 튼튼구조물의 조사범위와 깊이

항목	범위	간격	깊이	비고
응력	표	80 m ~ 100 m	기초의 층상부의 3배길이	말뚝상 표으로 받드는 지지층까지
자립소	표	100 m	설계단입장 길이 + $\alpha$	
타이로드	표	50 m ~ 100 m	"	얕은 보크랄목의 경우에는 타이로드 정착점에서 $\ell_{m_1}$ / 3 이상 ( $\ell_{m_1}$ : 아래식참조)
Turner	가	50 m ~ 100 m	말뚝의 지지층까지	
2층 She	표	50 m ~ 100 m	설계단입장 + $\alpha$	
Shell	가	30 m ~ 50 m	"	
경사보	표	50 m ~ 100 m	경사말뚝의 지지층까지	
지중	표	50 m	설계 단입장 길이	
Anchor	표	30 m ~ 50 m	설계 정착장길이 + $\alpha$	

$$\ell_{m_1} = 3.5 \times \sqrt{\frac{T \cdot I}{(\Delta N)}} \times 10^{-1} \quad (S \text{형 지반의 경우})$$

여기에서  $\ell_{m_1}$  : 못랄목의 제 1 moment 0점 (m)

T : 타이로드 張力 (t / m)

I : 보크랄목의 단면 2차 모멘트 (cm<sup>4</sup> / m)

$\Delta N$  : 지반의 표준관입시험치의 1 m구간의 증가분

표 2.3 항만공사 조사지침에 의한 조사방법

조사단계	성형상태	조사범위	보오링간격	조사깊이	샘플링 간격	주요 시험항목
개략조사	비교적균일	광 범 위 소 범 위	300 ~ 500 m 50 ~ 100 m	충분히 견 고한 지층 을 확인 가능하기 까지	점성토지반에 서는 깊이 1 ~ 1.5 m 마다 1개소 씩 교란된 시 료의 Sam - pling을 행 한다.	점성토지반에서 는 $q_u, \omega, \tau,$ 사질토지반에서 는 깊이 1 ~ 2 m마다 표준 관입시험을 행 한다.
	비교적복잡		50 m 이하	설계상 필 요한 깊이 까지		
정밀조사	비교적균일		50 ~ 100 m 10 ~ 30 m	설계상 필 요한 깊이 까지		
	비교적복잡					

표 2.4 건축구조설계요령, 조사보오링수

단계	종목		보 오 링		싸 운 덩		
	등급						
예비조사	1	부지내에	3	본	適	宜	
	2	"	2	본	適	宜	
	3	"	1	본	-	-	
	4	-	-	-	-	-	
조사	5	10,000 m <sup>2</sup> 당	1	본	보오링의 일부를 싸운덩으로 한다.		
	6	30,000 m <sup>2</sup> 당	1	본	상	동	
	7	60,000 m <sup>2</sup> 당	1	본	상	동	
본조사	1		3	본	-	-	
	2		2	본	-	-	
	3		1	본	부지내에	4	본
	4		1	본	"	2	본
	5	2,500 m <sup>2</sup> 당	1	본	600 m <sup>2</sup> 당	1	본
	6	6,000 m <sup>2</sup> 당	1	본	1,600 m <sup>2</sup> 당	1	본
	7	16,000 m <sup>2</sup> 당	1	본	4,000 m <sup>2</sup> 당	1	본

조 사 등 급

지반	대상		
	1	2	3
A	1	2	5
B	2	3	6
C	3	4	7

- 고층 혹은 대규모의 시가지, 주택 또는 분양주택의 부지
- 중층 혹은 소규모의 시가지, 주택 또는 분양주택의 부지
- 低층을 주로한 공동주택지의 부지

- A : 지극히 복잡한 또는 전혀 예상할 수 없는 지반  
 B : 다소 복잡한 또는 어느정도 예상할 수 있는 지반  
 C : 지극히 단순한 또는 명확하게 예상되는 지반

2) 각 토류구조물과 필요한 지반특성

각 토류구조물마다 그 종류 및 목적에 따라 조사내용이 다르나 일반적으로 이를 분류하면 표 2.5 와 같다. 조사심도는 말뚝지지일때는 그 지지층까지, 압밀침하 현상에 관해서는 연약층의 두께를 확인하여야 하는등 그 목적에 따라 다르다.

표 2.5 토류벽 구조물의 종류와 지반조사항목

종 류		물리특성	역학특성	압축특성	지 하 수	기 타
옹	벽	△	○	○	○	근입토의 특성  범례 { ○ 반드시 조사한다. △ 가능하면 조사한다
강	시 판 벽	△	○	○	○	
토류벽	Sheet Pile 지 중 벽	△	○	○	○	
		△	○	○	○	
Earth Anchor		○	○	△	○	
기	타	-	○	-	○	

자립식 토류판은 근입된 지반의 횡지지력과 강시판의 휨강성만에 의해 토압 및 수압의 횡하중을 받는 것이다. 따라서 지반의 횡방향 지반반력계수와 근입장이 다른 형식의 토류벽보다 상당히 깊어지기 때문에 시공을 위해 깊은 곳까지의 조사도 필요하다. 근입장은  $\pi/\beta$  이상이면 충분하리라 생각되나 항만구조 설계기준에 의하면 강널말뚝강도에 따라 다음과 같이 필요근입장을 규정하고 있으며 이들을 참고하여 조사깊이를 정해야 한다.

$$L = 3/\beta, \quad EI \leq 10 \text{ kg}\cdot\text{cm}^2$$

$$L = 2.5/\beta, \quad EI > 10 \text{ kg}\cdot\text{cm}^2$$

여기서, L : 근입장

$\beta$  : 특성계수

근입장이 충분한지의 여부를 검토하기 위해 중간에 타입이 불가능한 단단한 층이나 사력층이 있는지의 여부를 확인해주는 배려가 필요하다.

버팀대 토류벽의 경우에는 토류벽을 설치가능한지의 여부의 판정, 굴착에 수반해 충분히 안정을 유지할 수 있는지의 여부 Boiling 이나 Heaving이 발생하지 않는가 등의 요소를 확인해 둘 필요가 있다. 피압지하수의 유무등과 함께 양수시험을 행할 필요도 생긴다.

토류 Anchor를 채용할 경우는 일반적으로 30m - 50m 간격으로 조사보오링이 필요하다. 지형의 변화가 심하고 대상지반의 지층의 변화가 심하다고 생각되는 경우에는 조사간격을 촘촘하게 해서 조사해야 한다.

보오링에 의한 조사항목으로는 토층의 상태를 비롯하여, 모래지반의 경우에는 N 치만으로 좋으나 점성토의 경우에는 불교란시료를 채취하여 토질시험을 행해 각종 토질특성을 구할 필요가 있다. 사력층의 경우에는 주체가 되고 있는 것이 자갈인가 모래인가 또는 점토에 자갈이 혼입되어 있는 것인가 그 조성상태를 특히 주의해서 파악할 필요가 있다.

특히 시공상 문제가 되는 것은 자갈의 최대직경이다.

지하수의 유무는 Anchor의 설계에 특히 문제는 없지만 지하수의 유동과 피압의 유무에 관해서 조사할 필요가 있다.

그림 2.1 은 토류구조물의 설계수순과 조사항목이 어떻게 이용되고 있는지를 보여주고 있는 한 예이다.



### 3. 현장계측의 목적

토질공학에서의 현장계측은 지층이나 암층의 거동을 관리하는 하나의 수단이라 말할 수 있다. 토질공학적 시공이라는 말은 지층이나 암층의 공학적 특성을 고려해야 하는 시공을 의미하는 것이다. 성토구조물과 같은 지상구조물이나, 터널과 같은 지하구조물에서 반드시 고려되어야 할 사항은 그 구조물의 시공중 및 시공후 안정성이 확보될 수 있는가 하는 것이다. 안정성의 확보여부는 지층이나 암층의 공학적 특성치 즉, 강도, 압축성, 투수성등과 아직 정확히 규명되지 않은 여러인자들에 의해 결정된다. 따라서 설계자는 이들 인자중에서 몇개의 자료에 기초해서 차후 구조물의 거동예측 및 안정성을 평가하지만, 예측치와 실제값은 큰 차이를 보이는 것이 보통이다.

그 예로 연약지반에서 굴착공사시 토류벽에 미치는 토압에 대해서, 미국의 유명한 토질 Consultant인 Golder, Gould, Tschebotarioff 및 Wilson이 동일현장에서 토압을 예측한 것을 실측한 결과와 비교해서 나타낸 것이 그림 3.1 이다. 이것을 보면, 만족할만한 결과를 얻은 사람은 한사람도 없다고 해도 과언이 아니다. 이처럼 토질공학분야의 예측이 오차를 나타내는 이유는 지반의 불균질성 때문으로, 강재나 콘크리트를 재료로 하는 구조공학분야에서는 생각할 수 없는 일이다.

이러한 설계, 시공상의 어려움을 Terzaghi 는 다음과 같이 토론했다. "Unfortunately, soils are made by nature and not by man, and the products of nature are always complex". 이것에서 알 수 있듯이 토질공학에서 다루는 대상은 자연물이기 때문에 설계에 필요한 공학적 특성치를 정확한 수치로 정하는 것이 곤란하다. 따라서 설계시에 실내시험이나 현장시험에 의해 얻어진 제한된 자료를 이용한 추정치에는 많은 불확실성이 포함된다. 만약 시공과정 및 지반거동을 계측관리한다면, 설계에서 추정된 특성치의 정도를 평가할 수 있으며, 필요시에는 추정값을 변경하고 재설계를 할 수도 있다. 바로 이 점이 토공작업에서 현장계측을 새로운 하나의 설계방법이라고 하는 이유이다. 즉, 종래의 설계개념과 현장계측에 의한 방법의 개념차이를 다음과 같이 설명할 수 있다.

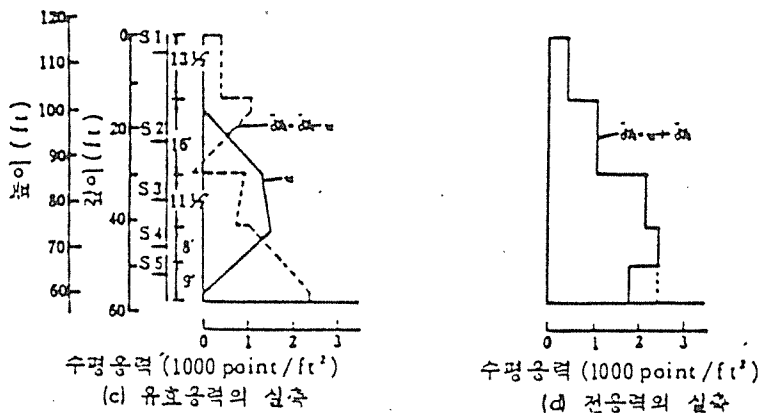
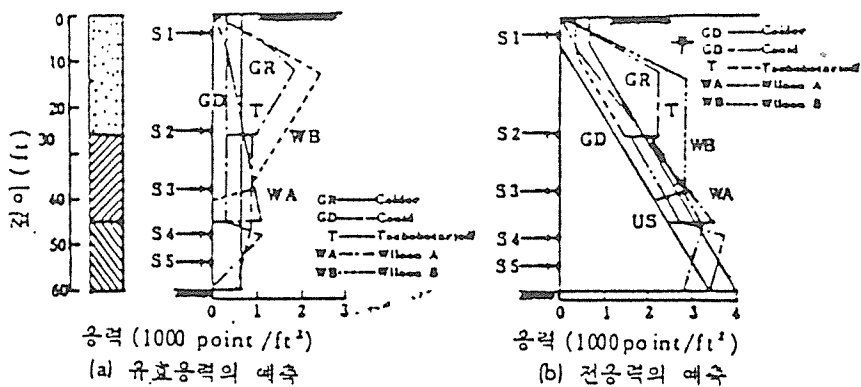


그림 3.1 토류벽에 작용하는 토압의 예측과 실측

"최악의 상태를 가정한 설계가 비경제적이긴 하지만, 흩으로 지지된 구조물에 예기치 못한 결함이 생기지 않을 것이라는 확신을 설계자가 시공전에 갖기 위해서는 최악의 상태를 가정해서 설계하는 방법밖에 없다. 그러나, 일의 성격이 시공중 설계변경이 가능하다면, 최악의 상태를 가정하기 보다는 가장 발생하기 쉬운 상태의 가능성에 기초해 설계하는 것이 경제적으로 큰 이익이다. 이용할 수 있는 정보의 부족은 시공중의 관측에 의해 보충되고, 설계는 그 새로운 정보에 의해 수정된다."

이상에서 기술한 바와 같이 토공작업에서 현장계측의 목적은 경제적이고 안전한 시공을 하기 위해서 정확한 토질정수, 토압, 수압등에 관한 정보를 얻는데 있으며, 더 나아가서는 새로 얻어진 정보를 Feed Back 시켜 다음 단계에서 발생할 수 있는 지반거동을 사전에 파악해 이를 토대로 당초설계의 타당성 판단과 대책을 강구하는 데 있다.

현장계측은 그 자체가 목적은 아니고 목적을 달성하기 위한 수단으로 토목의 전분야에 이용되는데, 토목이라는 말은 매우 광범위하고 각종의 것에 관련되어 있다.

일반적으로 토목시설이라 불리는 것에는 도로, 철도, 하천, 댐, 항만, 하수도 등이 있고, 이들에 관계된 토목구조물에도 교량, 터널, 제방, 호안, Culvert, 옹벽 등이 있으며, 그 재료도 강재, 콘크리트, 암석, 토사등 여러가지가 사용되고 있다. 따라서, 토목이라는 이름하에 계측을 생각할때는 보통 우리들이 알고 있는 계측이라는 것의 거의 전부가 포함 된다고 할 수 있다.

### 3.1 토류공사시의 계측

최근에는 대규모의 기초공사나 도심지에서 기시설물과 인접해서 시공해야 하는 등 극히 어려운 시공조건하에 굴착공사가 시행되는 일이 많다. 지반을 대상으로 하는 토류공사에서는 계획 및 설계단계에서 상세한 검토를 충분히 했다고 해도 시공중에 발생하는 벽체의 응력, 변형 및 주변지반의 거동을 정확히 예측하는 것은 어려운 일이다. 일반적으로 설계나 이론에는 여러가지 가정과 토질정수의 추정이 포함되며, 따라서 그 결과는 실제현상을 정확히 표현한다고는 말할 수 없다. 이와 같은 불완전한 요소들을 보완하는 수단이 현장계측이며, 선진각국에서는 현장계측에 의한 시공관리가 실용화되어 이미 많은 성과를 거두고 있다.

표 3.1 은 굴착공사에 이용되는 계측에 있어서 측정대상과 방법을 나타낸 것이다.

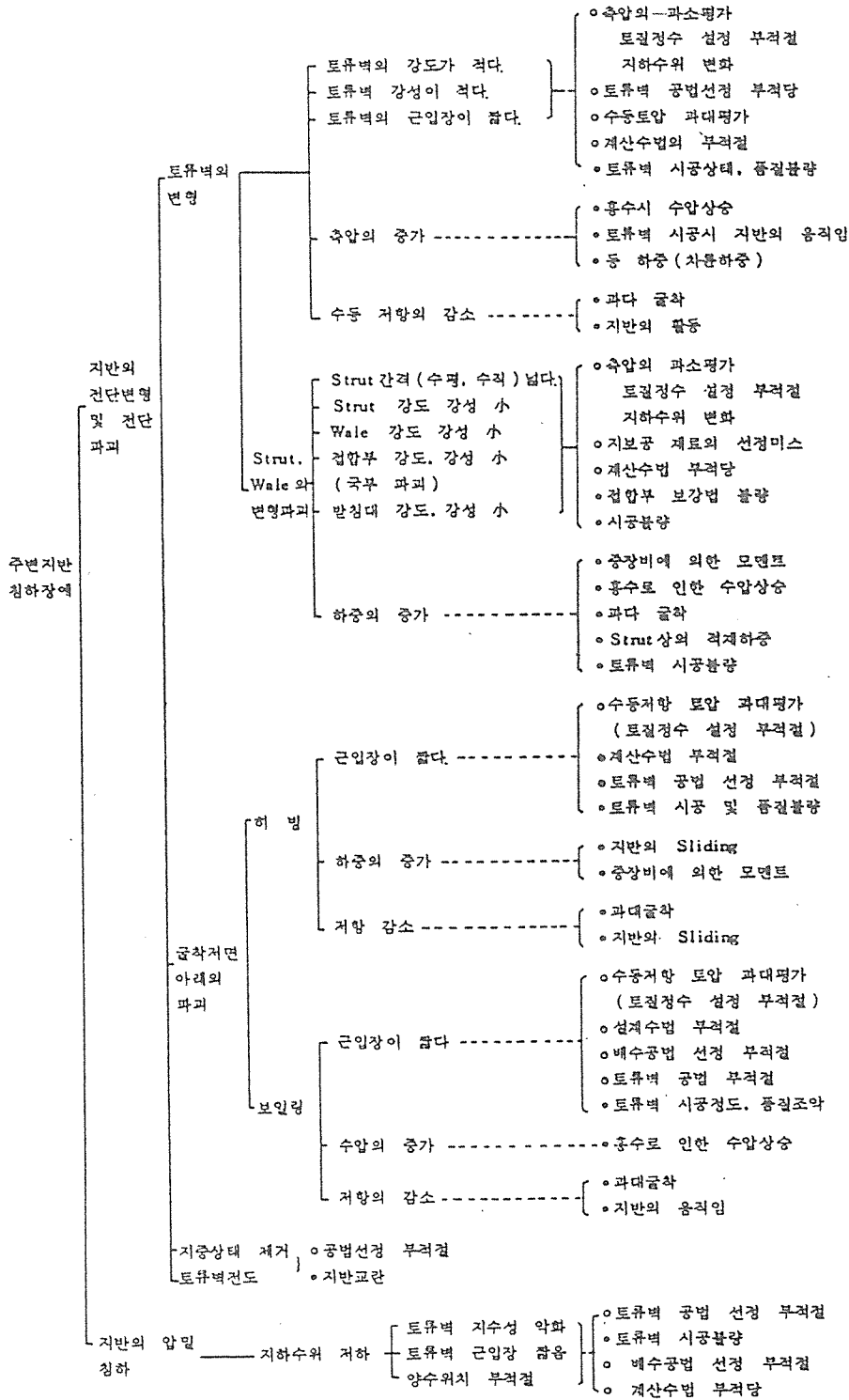
표 3.1 측정대상과 방법

측정대상		측정항목	측정방법
부 지 내	토류벽	측압 및 수압	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 벽면 토압계</li> <li>• 벽면 수압계</li> </ul>
		응 력	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 힘 계</li> <li>• 철근계</li> </ul>
		변 형	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 경사계</li> <li>• 변위계</li> <li>• 트랜시트</li> </ul>
	Strut, Wale 엄지말뚝	Strut 축력	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 힘 계</li> <li>• 철근계</li> <li>• 유압계</li> <li>• 로드셀</li> </ul>
		Wale의 응력	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 힘 계</li> <li>• 철근계</li> </ul>
		Wale의 휨	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 변위계</li> <li>• 트랜시트</li> </ul>
		엄지말뚝 침하 및 융기	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 레 벨</li> </ul>
	굴착저면	흙 의 융 기	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 레 벨</li> <li>• 2중관식 침하계</li> </ul>
		지 하 수 위	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 관측우물</li> <li>• 간극수압계</li> </ul>
	기 타	배 수 량	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 노치탱크</li> </ul>
부 지 외	주변지반	침하 및 융기	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 레 벨</li> <li>• 이중관식 침하계</li> </ul>
		수 평 이 동	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 삼입식 경사계</li> </ul>
	주 변 구 조 물	침하 및 융기	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 레 벨</li> <li>• 2중관식 침하계</li> </ul>
		경 사	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 경사계</li> <li>• 수준기</li> </ul>
		균 열	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crack 게이지</li> </ul>
	매 설 관	침하 및 융기	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 레 벨</li> </ul>
	지 하 수	수 위 (수압)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 관측우물</li> <li>• 간극수압계</li> </ul>
	기 타	소 음	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 소음계</li> </ul>
		진 동	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 진동레벨계</li> </ul>
		수 질 오염	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수질시험</li> </ul>



그림 3.2 는 토류구조물시공후 주변침하를 일으키는 요인을 대략적으로 도시한 것이며

!저한 사전조사와 시공관리의 필요성을 잘 나타내 주고 있다.



법례 : ○ 설계상의 오차  
○ 시공상의 오차

그림 3.2 주변지반 침하와 그 요인

굴착공사에서는 본체구조물의 종류, 공정, 규모를 불문하고 거의 필수적으로 토류공사가 행해지는데, 그 종류는 표 3.2 및 그림 3.3에 나타난 바와 같으며 이들 토류공에서 현장계측을 통해서 시공관리를 하는 경우 일반적인 계측관리의 흐름도를 나타낸 것이 그림 3.4 이다.

한편, 토류공사에 있어서 계측관리는, 각 단계에서의 현상 밖에 파악할 수 없기 때문에, 해석을 수반하는 Feed Back 제어적 관리이다. 그러나 실제에서는 계측관리뿐만 아니라 토층의 변화나 벽체의 품질등에 대한 일상점검이 중요하고 이것에 의한 판단이 요구된다. 이것은 담당기술자의 감각제어적 관리이다. 공사는 이들 양자에 의해서 관리되고 어느것도 빼놓을 수 없는 것이다.

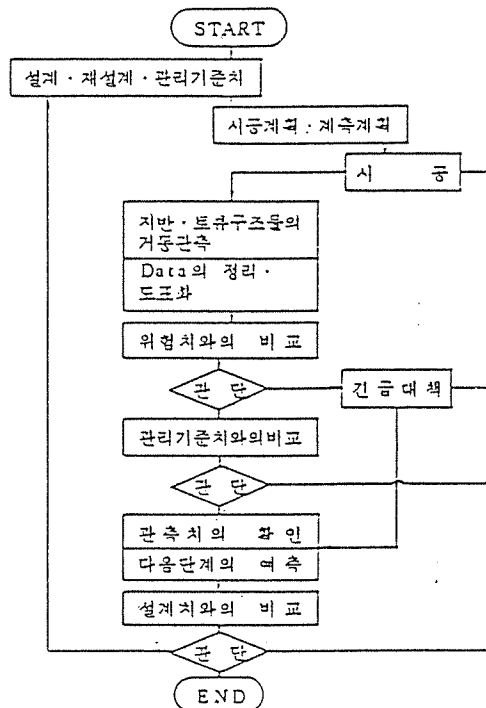
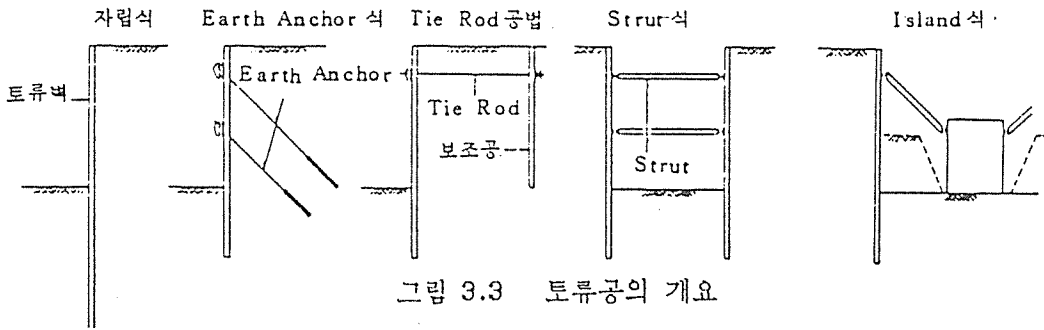
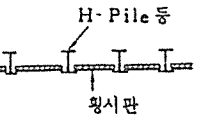
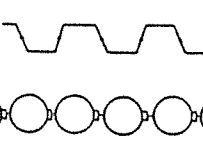
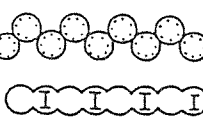
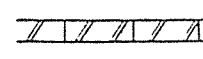
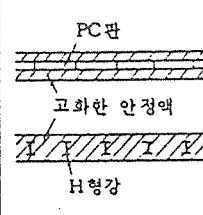
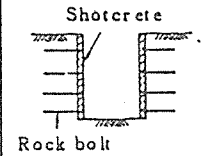


그림 3.4 토류공에서 계측관리의 흐름도  
-38-

표 3.2 토류벽의 종류

	개요	개요	특징
<p>엄지말뚝</p>		<p>H형강등의 엄지말뚝을 1~2 m 정도의 간격으로 타설하고 굴착과 함께 송판등을 끼워넣어 토류벽으로 하는 것이다.</p>	<p>연약지반이나 지하수가 많은 지반에는 부적당하지만 비교적 경질지반에는 적용할 수 있고 일반적으로 경제적인 공법이다.</p>
<p>강관시판판</p>		<p>강시판이나 강관시판을 연속타설해 토류벽으로 하는 것으로 주로 지수성의 토류공에 쓰인다. 강시판은 굴착심도가 비교적 얇은 경우, 강관시판은 깊은 경우에 적합하다.</p>	<p>지수성이 높고, 연약지반에도 적용할 수 있다. 종류가 많고 현장의 조건에 적합한 것을 선정할 수 있다. 강시판은 재사용이 가능하고 비교적 경제성이 좋은 공법이다.</p>
<p>주철식연속벽</p>		<p>현장타설 콘크리트 말뚝을 연속시공해 토류벽을 형성하는 공법이다. 1개씩 시공하는 방법과 3~5 개를 동시에 시공하는 방법이 있다. 말뚝중에는 H형강, 강시판, 철근등을 삽입해 보강한다.</p>	<p>비교적 강성이 높고, 힘이 적다. 다축(Auger)식의 굴착기로 시공하는 경우에는 여러 가지 지반에 적용할 수 있고 지수성도 비교적 좋은 토류벽을 구축할 수 있다. 소음, 진동이 적은 공법이다.</p>
<p>지중연속벽</p>		<p>안정액을 사용해 굴착하고, 굴착공내에 현장타설 철근콘크리트벽을 구축해 토류벽으로 하는 것이다. 벽두께 50 cm~100 cm의 것이 많다.</p>	<p>지수성, 강성이 모두 높고, 대규모 굴착에 적합하다. 다양한 지반에 적용할 수 있고 소음, 진동이 적은 공법이지만 경제성에 문제가 있고 공기도 길다. 본체구조물로서 이용할 수 있다.</p>
<p>안정액고화방법</p>		<p>연속지중벽과 마찬가지로 안정액을 사용해 굴착하고 굴착공내에 PC판이나 강시판, H형강등을 삽입해서 토류벽으로 하는 것이다. 안정액은 공내에서 고화시키지만 ① 自硬性 ② 굴착후 고화제를 혼합하는것 ③ 굴착후 自硬性인 것으로 치환하는 경우가 있다.</p>	<p>지수성이 높고, 소음, 진동이 적은 공법이다. 안정액고화방법이 ①, ②인 경우에는, 안정액의 처리가 필요없다. 지중연속벽보다 경제적이고 공기도 짧다.</p>
<p>NATM</p>		<p>굴착에 수반해 록볼트의 타설, Shotcrete 시공을 해 굴착면의 붕괴를 방지하는 공법이다. 토사에서 암반까지 적용가능하다.</p>	<p>토류벽의 구축이나, Strut, Wale의 조립과 해체를 Shotcrete와 록볼트로 대신하기 때문에 공기를 단축할 수 있고 작업성도 좋다.</p>

### 3.1.1 계측항목 및 계측기의 선정

현장에서 계측관리의 계획을 세우기 전에 먼저 1차적인 해답, 즉 예측에 의해 어떠한 항목이 문제시 될 것인가를 파악하고 그 해결방안은 무엇인가를 검토해 두어야 한다. 일반적으로 깊은 굴착을 담당하는 기술자에게 토류벽의 설계 및 시공상 관심의 대상이 되는 것은 그림 3.5에 나타낸 항목이다.

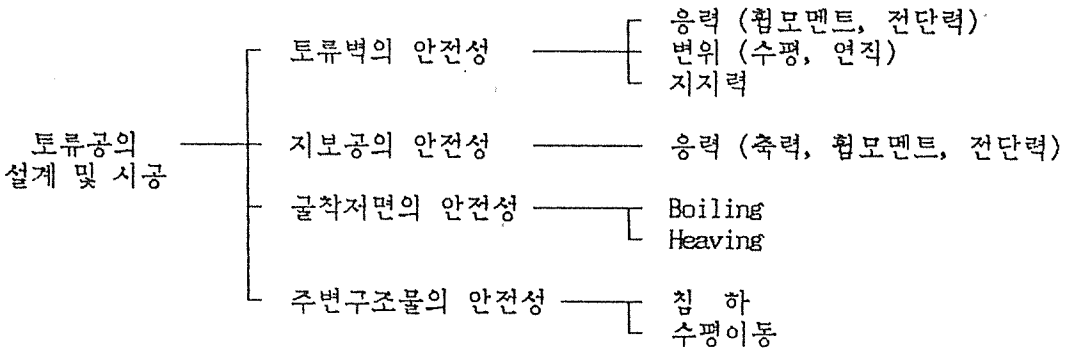


그림 3.5 토류공의 설계 및 시공시 검토항목

한편 그림 3.5의 항목들을 계측과 관련하여 세분화하고, 그 항목에 따른 사용계기를 나타낸 것이 표 3.3이다. 그러나 이들 항목을 전부 계측하는 경우는 드물고 일반적으로 계측목적에 따라 항목이 선정되는데, 계측목적에 따른 항목선정은 표 3.4를 참조할 수 있다. 또한 다음과 같은 구조역학공식을 이용하여 계측하지 않은 항목을 계산하는 것이 일반적이다.

벽체의 휨변형	$y = \theta dx$	} ..... (3.1)
벽체의 휨각	$\theta$	
벽체에 발생하는 휨모멘트	$M = -EI \frac{d\theta}{dx}$	
벽체에 발생하는 전단력	$S = \frac{dM}{dx}$	
벽체에 가해지는 하중	$D = -\frac{dS}{dx}$	

여기서, E : 벽체의 탄성계수

I : 벽체의 단면 2차 모멘트

계측기의 선정시에는 표 3.3 과 표 3.4 를 참고로 하여 그림 3.6의 흐름도를 따라 시행한다.

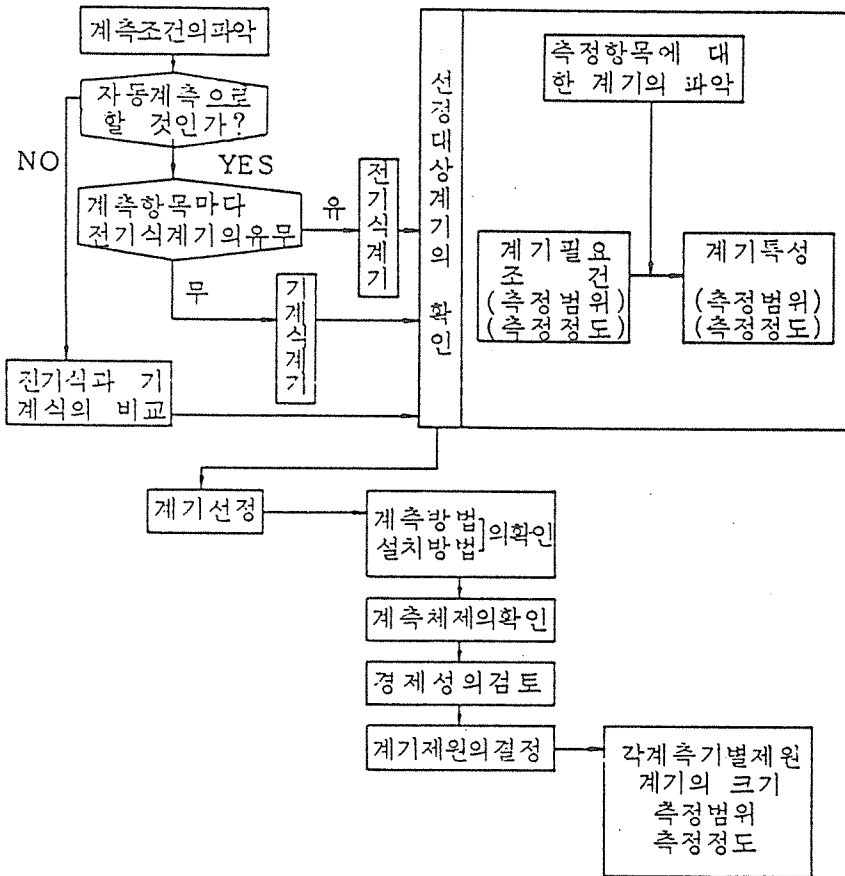


그림 3.6 계기선정 순서의 흐름도

측정위치	측정항목		사용계기	육안관찰	측정목적
	측압	토압, 수압			
토류벽	변형	두부변위, 수평변위	Transit, Inverted Pendulum, Inclino meter	연속성 확인 누수 주변지반의 Crack	① 변형이 허용치이내에 있는가의 여부 확인 ② 토압, 수압과 벽체변형과의 관계 파악
	벽체내의 응력		변형계, 철근계		① 벽내응력분포를 구해 설계측압에서 계산된 벽내응력과의 비교 ② 실측된 응력과 허용응력과의 비교에 의한 벽의 안전성 확인
Strut 또는 Earth Anchor	축력, 신축량, 온도		하중계, 신축계, 상대변위계, 온도계	Strut의 평탄성 볼트의 휨상태	① Strut 또는 Earth Anchor의 토압분담 역할을 분명히 한다. ② 허용축력과의 비교에 의한 안전성 확인
굴착지반	굴착저면의 변위 및 이면깊이의 변위, 간극수압, 지중수평변위		지중고정 Rod, 간극수압계, Inclino meter	내부기반의 응수 Boiling	① 응력계방에 의한 굴착측지반의 변형이나 주변지반의 거동을 안다. ② 배면지반의 변위, 토류벽의 변위, 굴착지반의 변위의 관계파악
	지표연직변위, 지중연직변위, 간극수압, 지중수평변위		변위말뚝, 지중고정 Rod 간극수압계, Inclino meter	배면지반의 Crack 도로의 연석, block 등의 벌어짐 확인	③ 허용변위량과 실측변위량과의 비교에 의한 안전성의 확인 ④ 굴착 및 배수에 따른 주변지반의 침하량 및 침하범위의 파악
인입구조물	연직변위, 경사량		연통관식침하계, 고정식경사계	구조물의 Crack	굴착 및 배수에 수반하는 시설구조물의 변위변형 파악
유독 gas, 수질오염	탄산 gas, 배탄 gas, 수질오염		gas 검지기 우물의 수질시험		① 굴착내 유독 gas 발생의 확인 ② 지반계량등에 의한 주변지역의 수질오염 확인

표 3.3 토류공사에 따른 현장계측항목, 사용계기 및 측정목적

선정요인	판단	자료	계측항목
내에 있는 구조물 위치의 영향 범위	구조물의 현상파의 영향 → 영항을 주는 요인 추정 → 장애의 추경	잔여 수평 변위 부동침하 수평 변위 경사	(리직) (간접) 지반침하 수평 변위 → 토류벽의 변형 계측 (간접) 수평 변위 → 토류벽의 변형 계측 (간접) 수평 변위 → 토류벽의 변형 계측 (간접) 수평 변위 → 토류벽의 변형 계측 (간접) 수평 변위 → 토류벽의 변형
	a. 중요 구조물 b. 노후 구조물	잔여 수평 변위 토류벽의 변형 경사	토류벽의 변형 토류벽의 변형 토류벽의 변형 토류벽의 변형
외적 조건	실제 (예측) 계산 (내재) 계산 (가상) 지진법 연속보법, 탄소심법 등 지하수의 기동 (침투) 유류법 주변지반의 기동 (인접) 인입 침하, 탄소성 FEM 등		
	내재의 계산 (예측) → 토압 지하수의 기동 → 토류벽의 변위 주변지반의 기동 → 토류벽의 변위		토압 (수압) → 토류벽의 변위
의직 조건	하중의 크기, 위치 시기, 공사와의 관계 상중의 조사 자료 평면 우물의 존재	요인의 추정 토류벽의 하중 증가	토압, 토류벽의 용력, 변형 지하수의 용력
	시공 기간	상 (지하수위보다 깊은 경우) 면하중 지반침하, 수위 변화 등	상 및 지하수위 수압 → 토류벽 용력, 지반 침하 → 토압, 토류벽 변형 → 토압, 토류벽 변형 → 수평 변위, 경사, Crack
안전성 평가	계측 항목마다 [실제치 (예측치)] 비교 → 허용치 → 신뢰성의 평가	안전성의 평가 실제 예측 수법 및 조건을 가미한 평가 해석 위치와 실제 위치	→ 실제 계산치와 허용치란 비교한 안전성이 낮은 항목을 계속한다.
예측 계산의 기준 Parameter	해석 방법에 따라 다르기 때문에 해석 방법을 충분히 이해하고, 기준 Parameter (예) • 탄소성 토류벽 계산 • 탄소성 FEM에 의한 매면지반침하 계산 • 양수에 의한 지하수위 지하		→ 토류벽의 변형 또는 용력 → 지하수위

표 3.4 계측항목 선정의 판단표

### 3.1.2 측정 Data 의 분석 및 활용

계측의 목적은 계측을 통하여 시공관리나 안전관리등에 유용한 Data를 얻어 그것을 이용하는데 있는 만큼, 계측관리에서 얻어진 Data를 어떻게 효과적으로 이용하는가의 여부로 계측의 효과가 평가된다.

측정치는 설계시의 계산치와 주민과의 결정치를 비교해서, 그 이하인 것을 확인함과 함께 다음과 같은 경향이 있는 경우는 육안에 의한 검토와 함께 이상유무를 확인하여야 한다.

- \* 급격한 증대와 급격한 감소가 있는 경우
- \* 불규칙한 변화와 변동폭이 큰 경우
- \* 안정화할 경향이 없이 점증하는 경우
- \* 지금까지의 경향과 예측이 다른 경우

측정결과치가 설계치에 대해 다소 작은 값을 나타낸면 문제는 없지만, 설계치에 대해 과대한 경우나 과소한 경우는 재고가 필요하다. 즉, 과대한 경우(위험측)는 우선 긴급대책을 강구하고 그 이후의 공사를 어떻게 진행할 것인가의 재설계가 요구되며, 과소한 경우(과안전측)는 긴급한 대책은 요구되지 않지만 공사를 합리적으로 진행하기 위한 재설계를 고려할 필요가 있다. 재설계가 이루어진 다음에는 그것에 기초하여 공사를 진행하고 관리 기준치도 수정한다. 이것을 개략적으로 나타낸 것이 그림 3.7 이다.

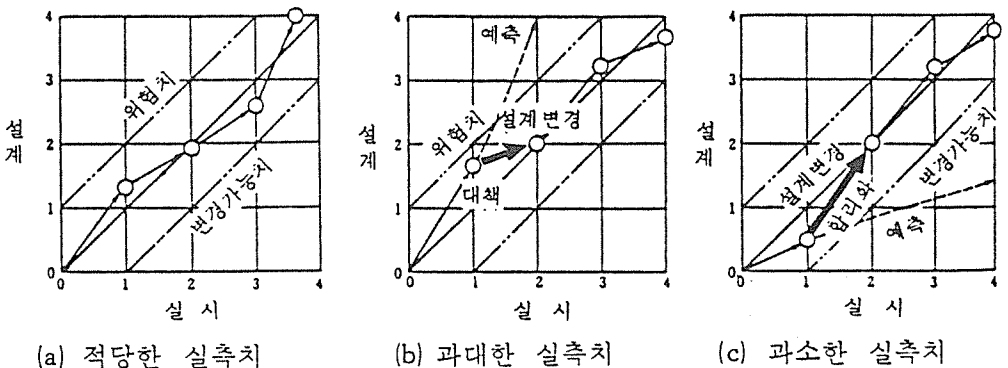


그림 3.7 계측결과치의 활용



현장관리나 안전관리를 위한 계측관리방법으로는 절대치관리와 예측관리로 대별할 수 있다. 절대치관리란 시공전에 설정한 관리기준치와 실측치를 비교.검토하여 그 시점에서 사의 안전성을 확인하는 방법이다. 또 예측관리는 다음단계 이후의 예측치와 관리기준치를 비교.검토하고 사전에 공사의 안전성을 확인하거나 시공방법을 검토하는 것으로 여기서 예측치란 현단계까지의 굴착상태를 실측치에 기초해서 Simulation한 결과 얻어진 토질정수에 의해서 다음 단계 굴착 이후 토류구조물의 거동을 추정한 값을 말한다.

절대치관리는 계측결과에 대해서 즉각적으로 대처할 수 있다는 점에서 통상의 안전관리에 이용되고 있다. 또 예측관리는 조기에 토류구조물의 거동을 추정할 수 있고, 이에 따라 대응책을 검토할 시간적 여유도 충분한 장점이 있지만, 계측 System이 대규모가 되어 경제적인 면에서 부담이 크므로, 이 방법은 대규모 토류공이나 중요한 계측에 이용된다.

시공관리나 안전관리를 목적으로 예측관리기법이 채택된 경우에는 절대치 관리를 병용하게 되는 것이 일반적이며, 그림 3.8 은 각 작업단계가 종료한 시점에서 확인과 예측관리 Flow Chart를 나타낸 것이다.

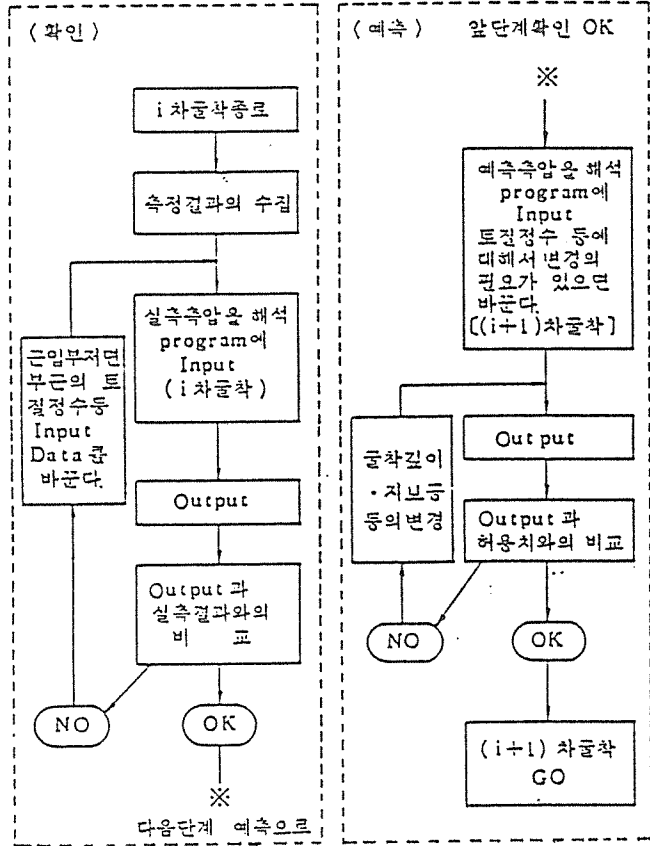


그림 3.8 계측관리방법의 흐름도

1) 절대지관리

절대지관리기법을 채택한 경우 가장 문제가 되는 것은 설계치에 대한 관리기준치의 결정방법과 계측결과치가 관리기준치를 초과했을 때의 대처방안이다. 그러나 굴착공사에서 관리기준치를 결정하는 것은 매우 어려운 사항이다. 표 3.5 는 일본의 기전이 제안한 관리기준치를 결정하는 기준능력, 이 표에 기초한 관리기준치와 계측결과치를 비교하여 시공관리와 안전관리를 할 수 있다.

표 3.5 관리기준치를 결정하는 기준

	대 상 물	기 준 의 범 위
토 류 구 조 물	트류벽의 응력	$\frac{\text{장+단}}{2} \sim \text{단}$
	트류벽의 변형	$\frac{1}{200}$ 또한 설계여유 이하
	Strut 축력	$\frac{\text{장+단}}{2} \sim \text{단}$
	Strut 의 평면도	$\frac{1}{100}$
	Wale	$\frac{\text{장+단}}{2} \sim \text{단}$
주 변	주변지반의 침하	경사 : $\frac{1}{500} \sim \frac{1}{200}$
	주변매설물	} 관리담당자와 협의
	Gas	
	상수	
	하수	
	지하철	경사 : $\frac{1}{1000} \sim \frac{1}{300}$
주변건물		

장 : 장기허용응력도

단 : 단기허용응력도

토류공사에서 이 기법을 이용하여 계측항목별 구체적 관리기준치를 설정한 예를 표 3.6에 나타낸다. 관리기준치는 1차와 2차로 나누어 생각하고, 1차 관리기준치는 부재의 허용응력의 80%, 2차 관리기준치는 100%로 했다. 또, 설계자의 판단에 의한 사항이나 변형에 관한 것에 대해서는 100%를 1차 관리기준치로 했다. 측정치와 관리기준치의 비교결과, 각 상황에 따른 대응방법의 기본적 개념은 다음과 같다.

\* 측정치  $\leq$  1차 관리기준치

이 경우 토류구조물에 대해서는 문제가 없다.

\* 1차 관리기준치 < 측정치  $\leq$  2차 관리기준치

허용응력을 2차 관리기준치로 정하고 있으므로 측정치가 이 범위에 있을 때는 특별한 문제는 없지만 다음 굴착단계에서 2차 관리기준치를 초과하지 않는가의 여부를 검토할 필요가 있다.

\* 2차 관리기준치 < 측정치

이러한 결과가 나타나면 공사를 일시 중단하고, 토류구조물 전체에 대해서 재검토하고 굴착깊이의 변경이나 새로운 지보공의 검토등 적절한 대책을 강구한다.

표 3.6 관리기준치의 일례

계측항목	비교의 대상	관리기준치	
		제 1차값	제 2차값
측 압. 수 압	설계측압분포 (지표면 - 각단계 굴착깊이)	100%	-
벽 계 응 력	i) 철근의 허용인장응력도	80%	100%
	ii) 허용 휨모멘트	80%	
	iii) 콘크리트의 허용압축응력도	80%	
벽 계 변 형	계획시의 계산치	100%	-

또 하나의 절대치관리방법은 안전율의 개념을 도입한 것으로, 사전에 각 항목별로 안전율을 설정하고 설계시에 사용한 추정치 및 계측결과치의 비와 안전율을 비교하여 공사의 안전성을 예측하는 방법이다. 표 3.7 은 안전율을 이용한 절대치 관리방법의 일례를 나타낸 것이다.

표 3.7 토류공사의 안전시공관리를 행한 기준의 일례

측정 항목	안전·위험의 판정기준치	판정법			
		지표(관리기준)	위험	주의	안전
측압 (토압, 수압)	설계시에 이용한 토압분포(지표면에서 각 단계 근입깊이)	$F_1 = \frac{\text{설계시에 이용한 토압}}{\text{실측에 의한 측압 (예측)}}$	$F_1 < 0.8$	$0.8 \leq F_1 \leq 1.2$	$F_1 > 1.2$
벽체 변형	설계시의 추정치	$F_2 = \frac{\text{설계시의 추정치}}{\text{실측의 변형량 (예측)}}$	$F_2 < 0.8$	$0.8 \leq F_2 \leq 1.2$	$F_2 > 1.2$
토류벽내 응력	철근의 허용인장응력	$F_3 = \frac{\text{철근의 허용인장응력}}{\text{실측의 인장응력 (예측)}}$	$F_3 < 0.8$	$0.8 \leq F_3 \leq 1.0$	$F_3 > 1.0$
	토류벽의 허용 휨모멘트	$F_4 = \frac{\text{허용 휨 모멘트}}{\text{실측에 의한 휨 모멘트 (예측)}}$	$F_4 < 0.8$	$0.8 \leq F_4 \leq 1.0$	$F_4 > 1.0$
Strut 축력	부재의 허용축력	$F_5 = \frac{\text{부재의 허용축력}}{\text{실측의 축력 (예측)}}$	$F_5 < 0.7$	$0.7 \leq F_5 \leq 1.2$	$F_5 > 1.2$
굴착저면의 Heaving 량	T.V. Lambe 에 의한 허용 Heaving 량		실측결과가 위험영역에 Plot 되는 경우	실측결과가 주의영역에 Plot 되는 경우	실측결과가 안전영역에 Plot 되는 경우
침하량	각현장마다 허용치를 결정	각현장상황에 맞는 허용침하량을 지정하고, 그 허용침하량을 넘으면, 위험 또는 주의신호로 판단한다.			
부동침하량	건물의 허용부동침하량	기둥간격에 대한 부동침하량의 비	1/300 이상	1/300 ~ 1/500	1/500 이하

이상에서 설명한 것과 같이 절대관리치를 설정한 후 측정을 계속하여 측정결과치가 관리치에 접근하면 계측빈도를 높이는 등의 감시체제를 강화하고, 측정치가 더욱 증가하는 경향을 나타내면 시공을 중단해서라도 그 발생원인을 찾아내 그 대책을 강구해야 한다.

이 기법은 경험이 적은 기술자라도 안전성의 판단이 어느 정도 가능하다는 장점은 있으나, 이상의 발견시 대응이 늦어질 우려가 있다. 따라서 굴착심도가 얇은 토류공에 적합한 기법이다.

## 2) 예측관리

예측관리기법이라는 것은 선행굴착에 대한 측정결과에서 토질정수, 벽체 및 지보공의 특성치를 구해 그 값을 이용하여 다음단계굴착 이후의 벽체와 지보공의 거동을 Simulation 하고, 안전하다고 판단되면 굴착공사를 진행하고 문제가 있으면 대책을 강구하며 그 대책에 대해서 다시 Simulation 을 행해 안전을 확인해서 공사를 진행하는 방법이다.

본 기법은 계측의 자동화와 Computer의 보급이 선행되어야 적용이 가능한 것이지만, 점차 현장에 Computer 보급이 일반화되어 가고 있으며, 시공관리 및 안전관리에 현장계측이 요구되는 추세로 보아 예측관리기법을 적용하는 사례가 증가될 전망이다.

전술한 바와 같이 이 기법은 이상을 조기에 발견할 수 있다는 장점이 있으나, 비교적 숙련된 기술자가 필요하며 비용도 절대치관리기법보다 많이 드는 단점이 있다.

## 결 론

기존시설물이 많은 도심지에서의 굴착공사시에는 지반의 변형과 지하수위의 강하등으로 인해 그 공사자체의 안전은 물론 인접구조물에 큰 피해를 줄 우려가 많다. 이를 예방하기 위해 합리적인 설계와 시공을 하여야 하며 철저한 사전조사와 현장계측을 실시하여 시공중 계측되는 지반거동 및 압력등을 기초로 시공조건 변화에 적절히 대처함으로써 시공시 구조물의 안정성 확보와 공사의 안전을 기하고 공비절감 효과를 동시에 얻을도록 하여야 할 것이다. 끝으로 본고는 (주)대우엔지니어링 기술연구소에서 발간한 "도심지 굴착공사를 위한 지하가설 구조물의 설계 및 시공연구" 와 "토공작업시 안정성 확보를 위한 현장계측의 활용에 관한 연구" 보고서중 관련된 부분을 발췌한 것임을 밝히는 바이다.