

지반 굴착공에서의 계속계획 수립 및 관리요령

오정환¹⁾, Jung-Hwan Oh, 남순성²⁾, Soon-Sung Nam

¹⁾(주)한국지오컨설턴트 대표이사, Principal, Korean Geo-Consultants Co., Ltd.

²⁾(주)은진건설엔지니어링 대표이사, Principal, Eun-Jin Construction Engineering Co., Ltd.

1. 지반 굴착공에서의 계속 목적

신설 구조물을 기존 주요구조물의 주위에 건설하기 위하여 인접부분을 굴착하거나 연약지반상에 시공할 경우 주위지반 및 기존구조물의 정확한 거동을 예측하기란 불가능하다. 왜냐하면 최초 설계시 가정한 지반조건과 토성치가 실제조건과 정확히 일치하지 않기 때문이다. 따라서 안전한 시공을 위해서는 설계 및 시공방법등의 수정과 보완이 필요하다. 이때 주요 근거자료로서 활용할 수 있는 것이 바로 계속에 의한 실측값이다.

굴착시 주위지반의 거동을 정확히 예측하고 안정성을 판단하는 것은 토목기술자로서 수행하여야 할 주요과업이지만, 현실적으로 그 문제를 만족스럽게 해결하기가 용이하지 않다. 이것은 계획, 설계 및 시공에 이르는 전과정에서 여러가지 불확실성요소(unknown factor)가 산재해 있기 때문이다.

토류구조물의 설계를 위해서는 우선 실제의 지반이나 시공과정을 기술자의 경험과 식견을 기초로 해서 이상적인 모델로 치환한 후, 이 모델을 대상으로 유한요소해석 등의 수치해석이나 경험식에 의하여 설계하게 된다. 이때 주위지반의 토질역학적 특성과 흙과 토류구조물의 상호작용등에서 많은 불확실성 요소가 포함되며 또 이 설계를 가지고 현장에서 시공에 임하는데, 설계에서는 통상 상세한 시공과정을 모두 고려할 수 없고, 시공 역시 설계와 완전하게 일치하지 못하므로 특히 도심 밀집지역에서의 굴착공사의 경우 문제 발생시 사회적인 비용이 막대하기때문에 큰 안전율을 적용하게 된다. 따라서 도심지 토류구조물은 매우 비경제적으로 설계, 시공되는 경우가 많다.

이러한 문제점을 합리적으로 해결하여 보다 안전하면서도 경제적인 설계, 시공을 위하여 지반조건, 시공과정, 상태등의 정확한 정보가 요구되는데, 그 정보의 제공수단이 바로 계속이다.

특히, 최근 국내에서는 Turn-key방식 발주공사가 대폭증가함에 따라 계속관리에 의한 정보화시공의 필요성은 더욱 증대되고 있다.

토류 구조물을 설계하는 경우에는 사전조사로서 토층의 두께, 깊이, 지하수위, 표준관입시험, 토성의 확인, 보링공내 수평재하시험, 채취된 시료의 일축, 삼축 압축 시험등을 실시한다. 를 결정하고 토류구조물에 작용하는 토압, 수압등의 외력이나 지반, 토류벽의 변형량, Boiling, Heaving 등 토류구조물의 안전성에 관한 검토가 실시된다. 그러나 이러한 검토 결과는 어디 까지나 이론식으로 추정하는 것이므로 시공시에는 조사, 설계상의 차이나 시공상의 오차에 의해 토류구조물에 과대한 외력이나 변형이 발생하는 경우가 흔히 나타나고 있다.

Terzaghi 박사는 조사, 설계, 시공시에 부득이하게 발생하는 오차나 설계, 시공상의 오류를 보완하는 것으로서 현장계측을 정의하며, 현장계측의 목적을 다음과 같이 설명하고 있다.

- ① 지반조건이 부족한 정보에 기초한 설계상의 결함을 시공기간중에 제거하기 위함.
- ② 구조물 축조 작업이 지반에 미치는 영향과 그에 따른 지반의 변화가 구조물에 미치는 영향에 대해서 시공중 및 시공후에 정보를 주기 위함.

현장계측은 상기 두가지 큰 목적을 위하여 행해지지만, 그 역할에 따라 7가지의 목적으로 분류된다고 서술하고 있다.

- ㉠ 임박한 위험의 징후를 발견하기 위한 계측
- ㉡ 시공중에 위험에 대한 정보를 주는 계측
- ㉢ 시공법을 개선하기 위한 계측
- ㉣ 소송시 증거를 위한 계측
- ㉤ 지역의 특이한 경향을 파악하기 위한 계측
- ㉥ 이론을 검증하기 위한 계측
- ㉦ Under pinning에 선행하는 계측

일반적으로 현장계측은 하나의 목적을 위해서가 아닌 복수의 목적을 가지고 행해지는 일이 많다. 따라서 계측계획은 「왜 계측을 하는가」라는 목적을 가지고 입안하여, 각각의 목적마다 충분한 검토를 행할 필요가 있다. 목적의식 없이 계획한 경우의 결과는 Data의 신뢰성이 낮아질 뿐 아니라, 공사의 진행에 방해가 되는 일이 많고, 부득이 계측을 중지하게 되는 일도 있다. 계측을 성공 시키기 위해서는 입안자 뿐만 아니라, 현장 관계자 전원에게 계측의 목적을 철저히 주지 시켜두는 것이 중요하다.

2. 계측계획 수립시 검토항목

지반굴착공사에 대한 합리적인 시공 및 안전관리용 정보를 정확하고 신속하게 수집하기 위해서는 체계적인 계측관리계획이 사전에 수립되어야 한다.

계측관리계획의 수립시에 염두에 두어야 할 3가지 기본조건은 다음과 같다.

- 1) 계측의 목적과 계측을 필요로 하는 토질역학의 문제를 정확히 파악하고 이해하여야 한다. 목적이 분명치 않은 계측계획은 시간과 인력의 낭비를 초래한다.
- 2) 공사중 발생될 수 있는 문제에 포함된 모든 값을 정확하게 관찰하고 측정할 수 있도록 이해하기 쉽고 신중하게 계획하여야 한다.
- 3) 수집된 자료의 정리는 편리하고 간편한 양식으로 정리하고 정확하게 분석된 결과는 긍정적이든 부정적이든 지체없이 담당자에게 전달될 수 있도록 “자료의 측정→수집→분석→보고”의 체제가 확립되어 있어야 한다.

이러한 조건을 염두에 두고 계획단계에서 검토할 사항은 다음과 같다.

- ① 공사의 개요 및 규모
- ② 지반여건 및 주위 환경
- ③ 계측의 목적
- ④ 계측범위와 계측위치
- ⑤ 계기의 종류와 수량
- ⑥ 계기의 설치 및 유지방법
- ⑦ 계측인원의 확보
- ⑧ 계측결과의 수집, 보관, 분류 양식
- ⑨ 계측결과의 해석 방법
- ⑩ 계측결과를 시공에 반영할 수 있는 체제

일반적으로 지반특성과 구조물의 규모, 위치에 따라 전 시공구간을 적당한 계측구간으로 나누고, 각 구간에서의 계측계획을 검토한다. 이러한 검토시에는 각 구간에서 예상되는 지반의 거동이나 안전성 등을 개략적으로 조사하여 그러한 사항을 파악할 수 있는 계측항목을 수립하여야 한다.

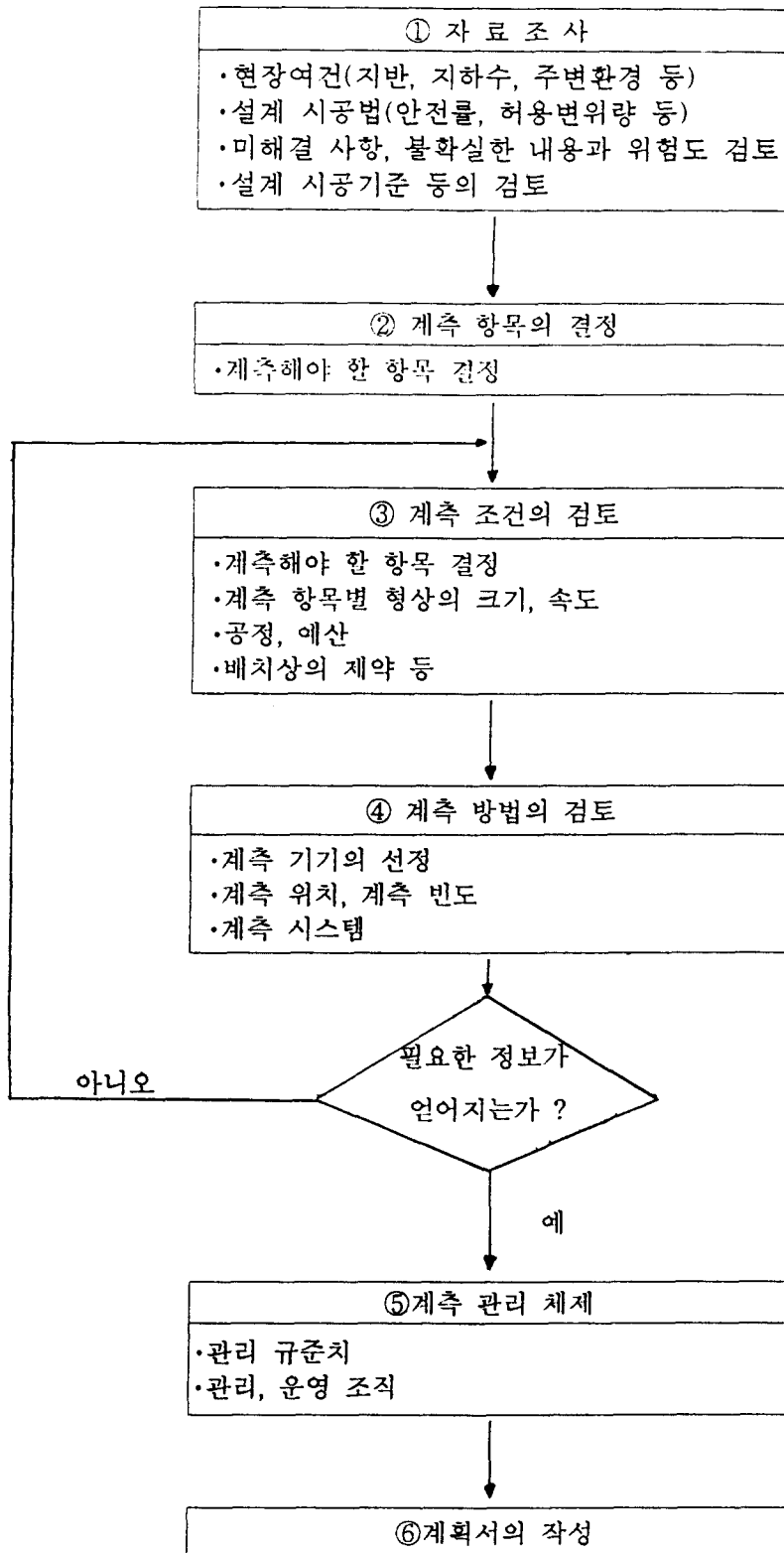


그림 2.1 계측 계획 수립의 흐름도

3. 계측관리계획

3.1 계측항목 및 선정요인

계측항목은 부지주변의 상황 및 설계시의 불확실성을 충분히 검토하여 정한다. 계측항목을 선정하는 주요요인으로서는 다음과 같은 것을 들 수 있다.

1) 설계시의 불확실성 해명

- ① 설계계산에 있어서 외력조건이 되는 측압 및 유수압등 그 추정치의 오차가 클 것으로 예상되는 경우
- ② 근접위치에서 공사실시 등 외력조건에 대폭적인 변동이 예상되는 경우
- ③ 설계계산치와 허용치를 비교하여 안전율이 작은 경우
- ④ 예측계산을 하는 경우에 필요한 항목

2) 굴착의 영향범위내에 구조물의 유무

- ① 중요구조물이나 문화재가 근접한 경우
- ② 노후된 구조물이 근접한 경우
- ③ 민원발생의 우려가 있는 경우

그러나, 선정요인은 하나만이 아니며 하나의 선정요인에 대해서도 몇개의 계측항목이 선정되는 경우가 많다. 표 3.1은 토류벽공사시 계측측정항목을 보여준다. 계측항목 선정시 표 3.2에 나타난 판단표를 이용하는 동시에 다음과 같은 가중치를 부여하는 것이 좋다.

- ① 계측의 중요도
- ② 안정성 확보에 관련된 비율
- ③ 계측의 필요성

표 3.1 토류벽공사시 계측측정항목

측정위치	측정항목		계측기기	육안관찰	측정목적
토류벽	측압	토압, 수압	토압계, 수압계	<ul style="list-style-type: none"> · 벽체의 휨 · 연속성 확인 · 누수 · 주위지반의 균열 	<ul style="list-style-type: none"> · 측압의 실측치와 설계치의 비교 · 주변수위, 간극수압, 벽면수압의 관련성 파악 · 변형의 허용정도 체크 · 측압과 벽체변형의 단계적 파악 · 설계치와 실측치의 벽체내 응력 분포 비교 · 벽체의 안정성 파악
	변형	두부변위, 수평변위	트랜시, 전자식변위계, 삼입식/고정식경사계		
	벽체내 응력		변형계, 철근계		
Strut, E/A	축력, 변위량, 온도		하중계, 압축계, 상대변위계, 스케일, 온도계	<ul style="list-style-type: none"> · strut연결의 평탄성 · 볼트가 죄어진 상태 	<ul style="list-style-type: none"> · 지보공의 토압분담율 파악 · 허용축력과 비교 및 안정성 체크
굴착지반	기저면과 깊이에 따른 변위, 간극수압, 지중수평변위		지중고정로드, 간극수압계, 삼입식경사계	<ul style="list-style-type: none"> · 용수 · 분사 	<ul style="list-style-type: none"> · 응력개방에 의한 굴착 및 주변지반 변형거동 파악 · 배면지반, 토류벽, 굴착 · 저면의 변위관계 파악
주변지반	지표 및 지중 연직 변위, 간극수압, 지중수평변위		지중고정로드, 간극수압계, 삼입식경사계	<ul style="list-style-type: none"> · 용수 · 도로연석의 벌어짐 	<ul style="list-style-type: none"> · 허용변위량과의 실측변위량의 비교에 의한 안정성 체크 · 굴착 및 배수에 의한 주변지반 침하 계산
인접구조물	연직변위, 경사량		연통관식경사계, 고정식경사계	<ul style="list-style-type: none"> · 구조물의 크랙 	<ul style="list-style-type: none"> · 굴착 및 배수에 의한 가설구조물의 변형 파악
유독가스, 수질오염	탄산가스, 메탄가스, 수질오염		가스감지기, 우물수질시험		<ul style="list-style-type: none"> · 유독가스발생 파악 · 지반개량에 의한 주변지반의 수질오염 체크

표 3.2 계측항목 선정 판단표

선정요인	판단재료			계측항목	
설계	설계(예측) <ul style="list-style-type: none"> 토류벽계산 <ul style="list-style-type: none"> 가상지점법 BEAMS ON ELASTIC FOUNDATION 연속보법, 탄소성법 등 지하수거동 <ul style="list-style-type: none"> 정호(井戶) 이론 침투류 FEM 등 주변지반거동 <ul style="list-style-type: none"> 경험적 방법 탄소성 FEM 등 				
	①외적요인	토류계산 → 축압 지하수거동 → 양수량 주변지반거동 → 토류벽변위		축압(수압) 양수량 토류벽변위	
의 불 화 실	②외적조건의 변동	제원 파악 1) 외력변화 a. 상재하중 b. 지하수위변동 2) 근접공사의 실시	요인 추정 토류벽으로의 하중증가 ~ (지하수위가 깊을때) 편하중·지반침하 수위변화 등	장애 추정 토류벽의 응력, 부분적인 변형 증가 ~ (지하수위가 깊을때) 토류벽 구조물의 응력증가 건물의 부동침하 증가	축압, 토류벽의 응력, 변형 ~ 지하수위, 수압 토류벽응력, 지보공응력 축압, 토류벽변형, 지반 및 구조물의 침하 수평변위, 경사
	③안전성 평가	각 계측항목별 비교 설계치 · 예측치 → 허용치 → 설계, 예측방법 및 조건을 신뢰성 평가 고려한 평가 → 해석위치와 실제의 차이			설계계산치와 허용치를 비교하여 안전성이 적은 항목을 계측항목으로 정한다.
	④예측계산의 기준 Paramater	해석방법의 차이 및 그 내용을 정확히 파악하여 기준 PARAMETER를 설정한다. 예) 탄소성 토류벽 계산 → 토류벽의 변형 또는 응력 탄소성 FEM에 의한 배면 지반침하 계산 → 토류벽의 변형 양수에 의한 지하수위 저하 → 지하수위			
	a. 중요 구조물 b. 노후화구조물 c. 민원발생가능주 택밀집지(소음, 진동, 먼지 등의 환경오염)	구조물의 현상 파악 기초도 건축년수 경사 등	영향을 주는 요인 추정 지반침하 → 압밀 지반수평 변위 토류벽변형	장애의 추정 (부동) 침하 수평변위 경사	(직접) (간접) 계 - 건물침하 지반침하 기 - 건물수평 - 지반수평 계 - 변위 변위 축 - 건물경사 시 - 건물균일폭 각 - 균열발생 관 - 이음부이탈 찰 - 외벽의 박리

3.2 계측빈도

굴착지반의 거동은 일일 굴토량과 작업기계, 기상(우천)등에 영향을 받으므로 데이터의 변화속도와 안정성 여부의 관련성을 충분히 고려하여 적절한 측정빈도를 설정해야 한다.

1) 데이터의 변화속도

데이터가 변화하는 속도가 빠른 계측항목은 빈도를 높여야 하며 반대로 장시간에 걸쳐 서서히 변화하는 항목은 낮은 빈도로 충분하다. 데이터의 변화속도는 계측시기, 계측항목, 측정위치 등에 따라 다르다.

2) 안전과의 관련도

안전과의 관련이 직접적인 계측항목과 간접적인 계측항목으로 분류되는데 (예를들면 전자는 응력, 후자는 하중) 직접적인 것일 수록 빈도를 높일 필요가 있다.

3) 계측빈도의 통일

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

표 3.3 계측기기별 측정빈도

계측항목	측정시기	측정빈도	비고
지하수위계	설치후 공사진행중 공사완료후	1회/일(1일간) 2회/주(*) 2회/주(*)	초기치 선정 우천 1일후 3일간 연속측정
하중계	설치후 공사진행중 공사완료후	3회/일(2일간) 2회/주(*) 2회/주(*)	초기치 선정 다음단 설치시 추가측정 다음단 해체시 추가측정
변위계	설치후 공사진행중 공사완료후	3회/일 3회/주(*) 2회/주(*)	초기치 선정 다음단 설치시 추가측정 다음단 해체시 추가측정
지중경사계	Grouting완료후 4일 공사진행중 공사완료후	1회/일(3일간) 2회/주(*) 2회/주(*)	초기치 선정
건물경사계	설치후 1일 경과 공사진행중 공사완료후	1회/일(3일간) 2회/주(*) 2회/주(*)	초기치 선정
지표침하계	설치후 1일 경과후 공사진행중 공사완료후	1회/일(3일간) 2회/주(*) 2회/주(*)	초기치 선정

3.3 계기선정

계측기를 작동원리에 따라 크게 분류하면 기계적인 방법과 전기적인 방법으로 나눌 수 있다. 기계적인 방법은 물리적 변화량을 직접 계측하거나 유압 혹은 공기압을 이용하여 계측하는 방법이며 비교적 장치가 간단하고 가격이 저렴하지만 수동계측을 해야하므로 계측빈도가 적고 측정수가 적으며 계측기간이 짧은 경우 유리하다. 전기적인 방법은 물리적 변화량을 전기적 변화량으로 변환하여 계측하는 방법

으로서 응용분야가 넓고 원격계측이 가능하며 자동화하기가 용이하므로 작업환경이 열악하거나 계측빈도가 높고 측정수가 많은 경우 유리하다. 계측기기 선정시 일반적으로 고려할 사항은 아래와 같으며, 표 3.4는 계측기의 측정원리별 대표적인 계기를 보여주고 계측기기의 선정시의 일반적인 순서도는 그림 3.1과 같다.

- (1) 계측조건 파악 : 지반·지하수·주변환경 등의 상황, 설계와 시공방법 등을 통해 예상되는 불확실성의 존재, 이를 위한 계측항목과 수량, 계측할 현상의 크기·속도·공정·예산·배치상의 제약 등이 고려할 사항이다. 기기선정시에 이러한 모든 조건들이 확정될 수는 없으므로 몇가지를 고려하여 상황에 따른 적용이 필요하다.
- (2) 계측방법 : 계측시스템의 형식에 따라 계기가 달라진다. 자동계측의 경우는 일반적으로 전기식계기가 사용되고, 센서에 기계식 계기를 부착한 경우에도 측정부에 전기계열의 회로를 결합시켜 최종적으로 전기식 신호로 변환한다. 또한 계측항목이 많은 경우에는 가능한 통일된 방식을 사용하는 것이 효율적이다.
- (3) 대상계기의 확인 : 계측조건과 계측방법에 적합한 계기를 열거하여 관련자료를 수집한다. 각 업체의 카다로그, 사용실적, 검정데이터, 실패 및 성공사례가 있는 것이 좋다. 공정평가나 규격에 적합한 것이라도 판단자료를 확보해 두는 것이 필요하다.
- (4) 기기선정 : 위의 (1)~(3)단계 작업을 통하여 경제적으로 사용가능한 계기를 선정한다. 판매를 않거나 구입할 수 없는 계기가 있을 경우에는 조건을 몇가지 빼고 선정하거나 계측항목을 추출하는 단계에서 재검토한다.
- (5) 기기선정후 검토사항 : 계기를 선정하고 나면 계측 및 설치방법 등을 확인하고 계측시스템과 경제성등을 검토하여 계기의 형식·치수·용량·정밀도를 최종적으로 결정한다. 아울러 계기의 신뢰성을 총괄적으로 검토하여 운용기간 동안 유효한 정보를 계속 제공할 수 있는지를 미리 파악해 두어야 한다.

표 3.4 계측기의 측정원리별 대표적인 기기

분 류	대 표 계 기
기 계 식	균열계, 경사계, 침하계, 스트레인메타, 하중계 크로스압식 침하계
유 압 식	간극수압계, 하중계, 응력계, 침하계, 수위차식 상대 침하계, 기포관식 침하계
전 기 저 항 식	스트레인메타, 하중계, 장력계, 수압계, 토압계, 경사계, 변위계, 토오크계, 가속도계, 균열계, 온도계
자 기 식	층별침하계, 수위계
칼 손 메 타 식	스트레인메타, 응력계, 철근응력계, 간극수압계, Joint메타, 균열계, 온도계
접 동 저 항 식	변위계, 침하계
반 도 체 계 이 지	하중계
차 동 트 랜 스 식	토압계, 간극수압계, 변위계, 경사계
진 동 현 식	스트레인메타, 응력계, 간극수압계, 하중계
서 보 식	경사계
기 타	전자유도식침하계, 전기레벨, 광학식계기, 초음파식계기

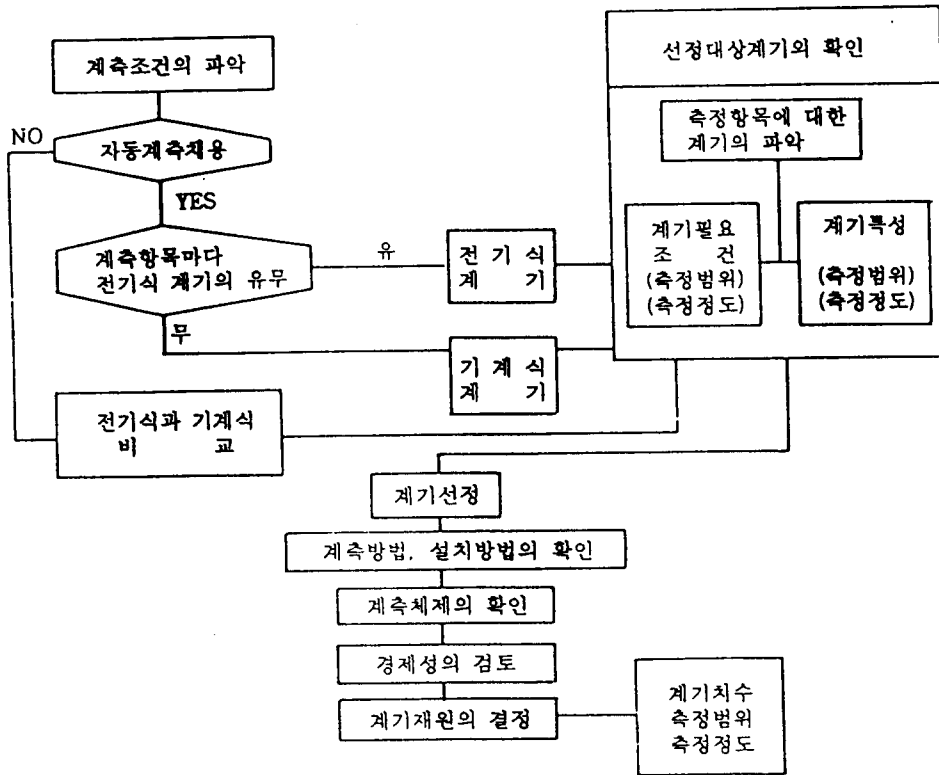


그림 3.1 계기선정의 순서도

특별히 도심지 굴착현장에서 도입되고 있는 공법별 계측기기의 선정을 열거하면 표 3.5와 같다.

표 3.5 굴착공법별 계측기기의 선정

공 법	계 측 항 목	계 측 기 기
업지말뚝과 토류판 + 앵커 또는 버팀대 구 조	배면지반의 거동 및 지중수평변위 업지말뚝 및 띠장의 응력 벽체에 작용하는 토압 지하수위 및 간극수압 버팀대 또는 앵커의 거동 인접구조물의 피해상황 진동 및 소음	내부경사계 변형율계 토압계 지하수위계, 간극수압계 하중계, 변형율계 벽면경사계, 균열측정기 진동 및 소음측정기
연속벽체 + 어스앵커 또는 버팀 대 구조 및 역타구조	배면지반의 거동 및 수평변위 벽체의 응력 벽체에 작용하는 토압 지하수위 및 간극수압 버팀대 또는 앵커의 거동 인접구조물의 피해상황 진동 및 소음 지반내의 수직변위	내부경사계 변형율계 토압계 지하수위계, 간극수압계 하중계, 변형율계 벽면경사계, 균열측정기 진동 및 소음측정기 Rod/MCS 침하계

3.4 계측기기의 유지관리

계측기기의 경우 그 형태에 따라 유지관리 방법에 차이가 있으나, 일반적인 유지관리 사항으로는 다음과 같은 것들을 들 수 있으며, 계측수행자는 이를 숙지·시행하여야 한다.

- ① 제조업자측에서 제공하는 메뉴얼로 부터 일상유지절차를 수립함.
- ② Terminal은 오염과 습기로 부터 보호되게 조치를 취함.
- ③ 현장여건에 따라 보호캡과 방책을 설치함.
- ④ 설치된기기와 측정장치의 보정상태를 조사함.
- ⑤ 배터리의 규칙적인 조사를 통해 충전 및 교체를 적기에 실시함.
- ⑥ 기기의 일상점검을 통해 기기오염 및 고장시 즉각적인 보수, 교체를 실시함.
- ⑦ 제조업자측에서 제공하는 고장수리지침에는 파괴형상, 조짐, 수리 등에 대한 내용이 포함되어 있어야 함.
- ⑧ 심세한 기기의 경우, 운반 및 관리시 충격과 손상방지를 위해 패드와 같은 충격완화제를 설치함.
- ⑨ 계측장비 운반시는 무거운 시공장비와의 구별을 위하여 눈에 띄는 색깔로 칠을 한 후 시행하는 것이 바람직함.
- ⑩ 전기플러그에는 먼지방지용 캡을 원칙적으로 설치해야 함.
- ⑪ 기계식등의 특정한 장비에 대해서는 주기적인 기름칠 작업이 필요함.
- ⑫ 전자식 측정장치의 경우, 청결하고 건조한 상태를 유지해야 하며 주기적으로 측정장치상자 내부를 건조시켜야 함.
- ⑬ 전기역류시험이 가능한 기기의 경우, signal cable의 연결성과 leakage 여부를 주기적으로 시험·조사하여야 함.
- ⑭ 공압식 간극수압계 라인의 경우는 주기적인 건조작업이 필요하며, 밀폐된 수압식 간극수압계 라인의 경우는 주기적인 공기제거(deairing)이 필요하다.
- ⑮ 웰포인트와 경사계 케이싱은 시공상황에 따라 지하수의 분출구가 될 수 있기 때문에 이에 대비해야 함.

3.5 계기배치

현장계측은 가능하면 다양한 거동을 밝힐 수 있도록 많은 위치를 선정하는 것이 바람직하지만, 합리적이고 경제적인 측면에서 흠막이구조물 및 배면지반의 거동을 대표할 수 있는 최소한의 측정점을 선정하는 것이 더 효과적이다.

다음에 열거한 것은 계측지점을 선택할 때 일반적으로 고려해야 할 사항이다.

- ① 주변구조물의 존재에 따라 선정된 계측항목에 대해서는 그 구조물의 위치를 중심으로 계기를 배치한다.
- ② 설계의 불확실성에 따라 선정된 계측항목에 대해서는 그 요인의 내용에 따라 배치한다.
- ③ 공사가 선행하는 위치에 배치한다.
- ④ 예측계산을 하는 경우, 필요한 항목의 계측치가 연속해서 얻어지도록 한다.
- ⑤ 연관된 계측항목에 따른 계기는 집중 배치한다.
- ⑥ 계기에 고장이 일어날 가능성을 고려하여 적절한 배치를 한다.
- ⑦ 계기의 설치 및 배선을 확실히 할 수 있는 위치로 한다.

위와 같은 관점에서 계측지점을 선정 후 가능한한 계측기기가 동일단면에 설치되게끔 배치하는 것이 중요하다. 이는 수평변위, 주변지반의 침하 및 지하수위의 변화 등이 서로 연관성을 유지하면서 나타나므로 이를 종합적으로 분석함으로써 계측의 신뢰성을 분석할 수 있기 때문이다. 그림 3.2는 배치결정 Flow를 나타내며 그림 3.3은 계기의 평면배치 예를 보여준다. 또한 그림 3.4는 굴착공에서의 계측기기 설치 배치도(예)를 나타낸다.

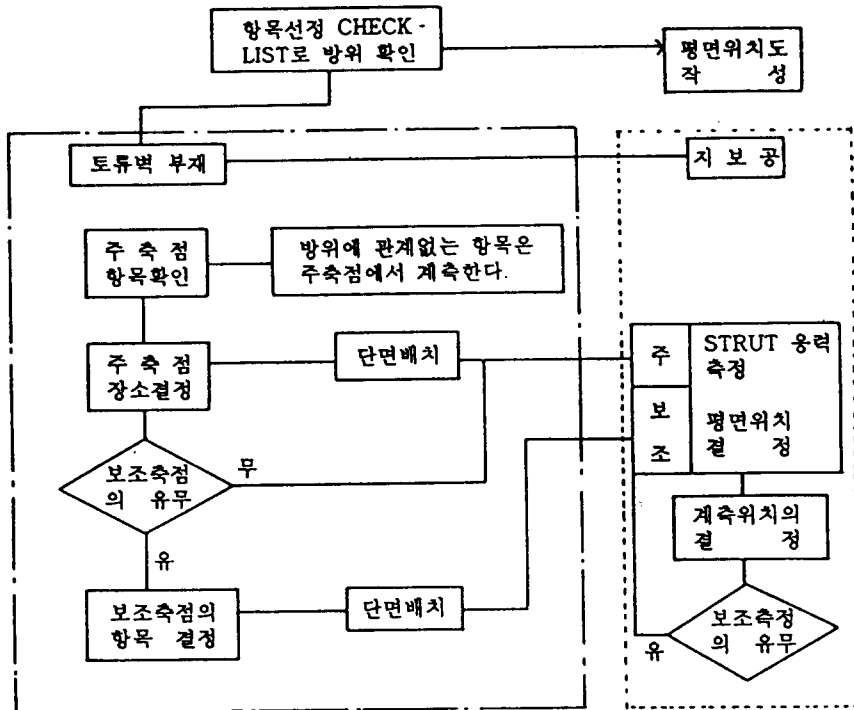


그림 3.2 계기배치 결정 FLOW CHART

	일 반 부	특 수 부
벽 체	<p>(1)</p> <p>(1), (2) 우선순위</p>	<p>중요구조물</p> <p>설계상문제</p> <p>굴착심도</p>
지 보 공	<p>a - c 우선순위</p>	<p>중요구조물</p> <p>설계상문제</p> <p>굴착심도</p> <p>a, b 우선순위</p>

그림 3.3 평면 배치 예

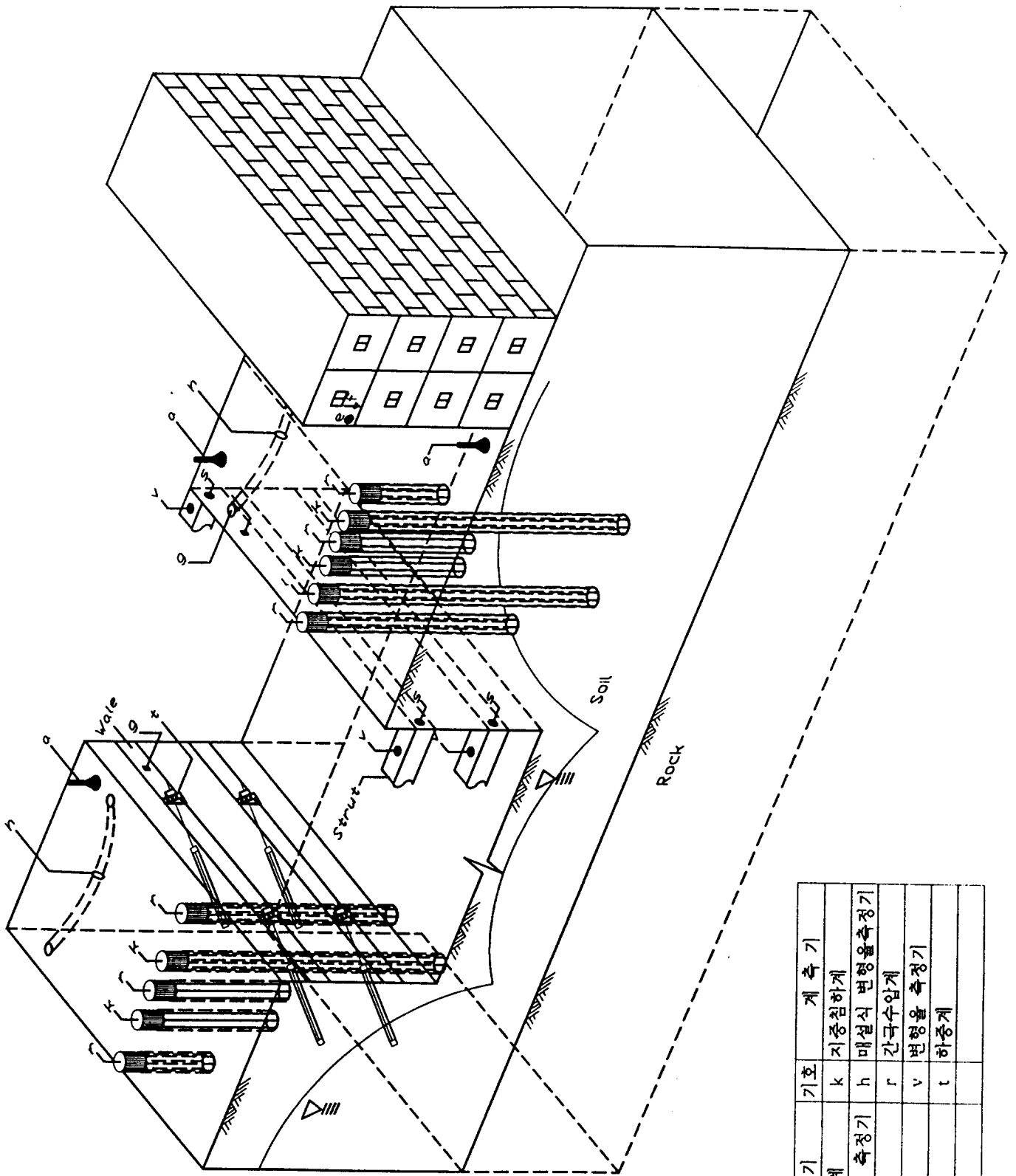


그림 3.4 굴착현장에서의 계측기기 설치 배치도

범례표

기호	계측기	기호	계측기
a	지표면 침하계	k	지중침하계
e	구조물기울기 측정기	h	매설식 변형률측정기
f	연직추	r	간극수압계
L	지중경사계	v	변형률 측정기
g	측방변위계	t	하중계
s	토압계		

3.6 계측시스템

계측시스템에 있어서는 계측기로부터 컴퓨터를 이용한 데이터 처리로 정보를 얻기까지의 일련의 하드웨어와 이로부터 얻어진 정보를 운용하는 인적조직으로 나누어 생각할 수 있다.

계측시스템은 계측방법, 계측규모 및 경제성을 충분히 고려하여 Data 수집에서 부터 해석에 필요한 Data 처리까지 일련의 작업이 중단없이 이루어질 수 있도록 확립되어야 한다. 특히 계측규모가 큰 경우는 일련의 작업이 전산처리될 수 있도록 하지 않으면 계측데이터 처리에 걸리는 시간이 길어져 적시에 조치를 취할 수 없게 되므로 계측 Data 처리를 위한 전산화는 필수적이다. 또한 지하철이나 고속 전철 등과 같은 대규모 건설을 위한 계측은 많은 수의 단위 공구에서 동시에 계측이 수행되어야 하므로 계측값 해석의 일관성 유지와 해석에 필요한 고급 기술자의 효율적 활용을 위해 계측 Data를 중앙의 계측 본부에서 해석할 수 있는 Network 시스템을 구성해야 할 필요성이 있다.

1) 현장 계측시스템 구성

현장계측시스템의 구성은 센서, 질환기, 측정기, 콤퓨터, 프린터 등이 조합되어 일련의 계측작업이 가능하도록 하며 그 구성도는 그림 3.5와 같다.

(a)는 수동측정 방식으로서 지시계를 이용하여 사람이 직접 전기량을 읽어서 필요에 의해 컴퓨터에 의한 처리를 하여 정보화 한다. 계측점수와 계측빈도가 적은 경우에는 수동계측이 유리하다.

측정점수가 많지는 않지만 광역매립공사와 같이 측정위치가 분산되어 있거나 계측 빈도가 그다지 많지 않은 경우는 (b)의 반자동 방식이 편리하다. 이 방식은 데이터 수집기(Logger)에 계측값을 수집기역시켜 놓았다가 컴퓨터에 입력시켜 처리하여 정보화 시킨다. 수동계측에 비하여 계측작업에 드는 인력을 대폭 줄일 수 있다.

(c)는 센서에서 처리 및 정보화까지의 기기를 완전히 연결하여 자동측정을 가능하게 한 방식이다. 토류벽 굴착 공사 등과 같이 계측점수가 많고 위치적으로 비교적 집중되거나 야간에도 감시가 필요한 경우는 이 방식이 채용 된다.

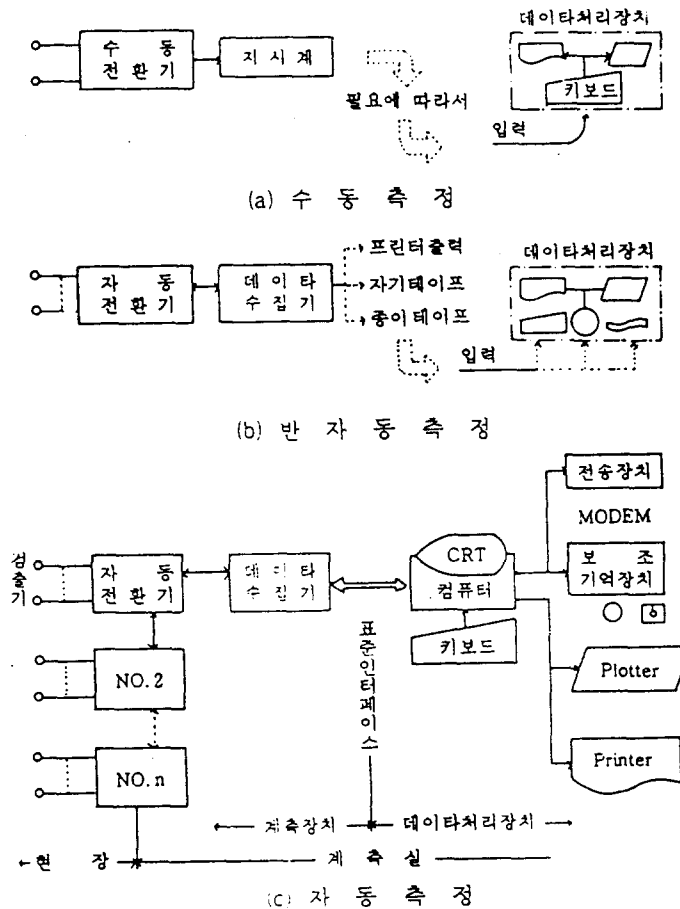


그림 3.5 현장 계측 시스템의 구성도

그림 3.6은 단위현장의 계측데이터 처리 계통도의 예로서 자동계측항목은 자동계측 시스템에 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 Color Monitor나 Printer로 1차 처리된 결과가 출력될 수 있으며 FDD (Floppy Disk Drive)나 HDD(Hard Disk Drive)에 저장되고 계측 관리를 위한 Data Modem과 전용 전화선을 이용하여 계측 본부로 보낼 수 있도록 구성한다.

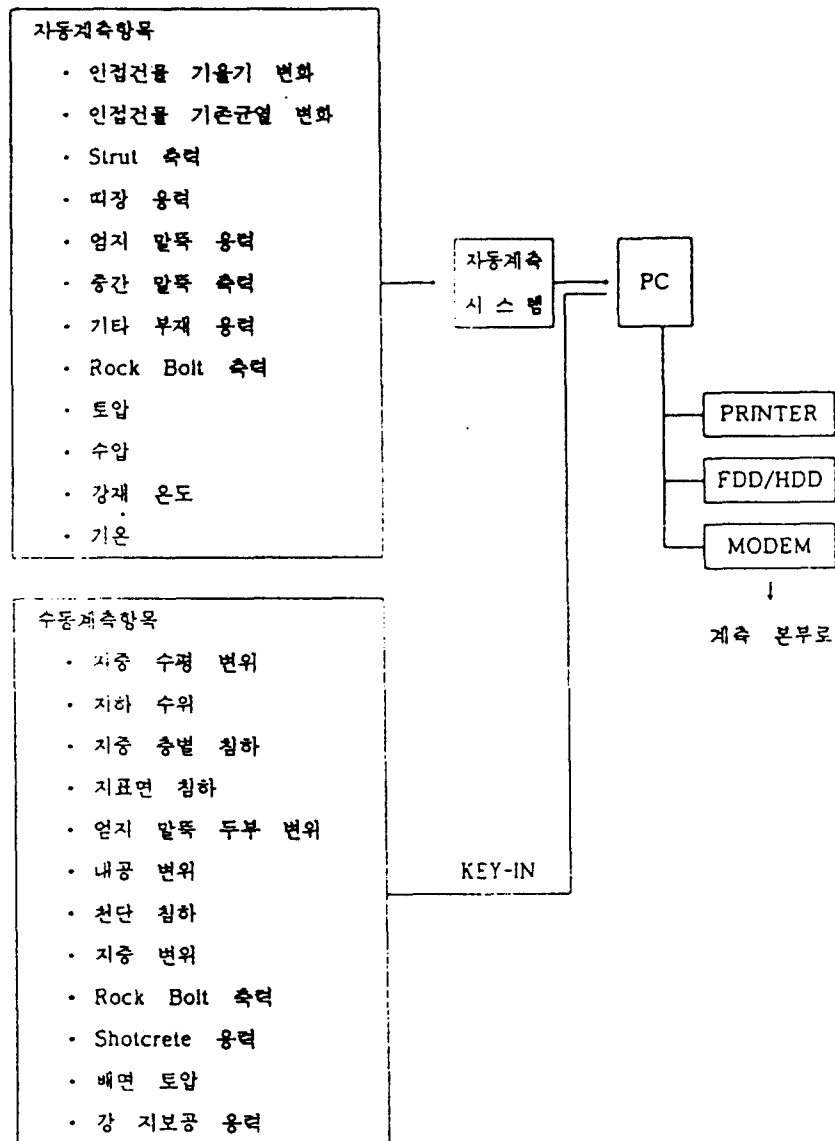


그림 3.6 단위 현장 계측 데이터 처리 계통도의 예

2) Network 시스템 구성

다수의 건설 현장을 관리하여야 하는 대규모 건설프로젝트의 경우는 계측 Network 을 이용하여 계측업무 시행 체계의 통합, 일원화의 효과를 높일 필요가 있다. 계측 Network을 활용하면 계측데이터 해석을 위한 고급 기술자와 장비를 효율적으로 운영할 수 있고 감독처의 입장에서는 각 시공사의 계측 상태를 통괄 감독할 수 있는 장점이 있다.

여기에서 특히 주의할 점은 각 시공사로부터 제출된 방대한 량의 계측 Data를 처리하기 위해 전산

처리가 불가피 하므로 각종 계측 Data의 표준화 계획이 초기 단계에서 수립 되어야 한다는 점이다. 계측 Data를 표준화하여 관리하는 예는 일본 도로공단 등을 들 수 있다.

여러개의 단위 현장을 중앙에서 관리하기 위한 데이터 전송 및 처리용 Network 시스템의 구성예를 그림 3.7에 나타냈다.

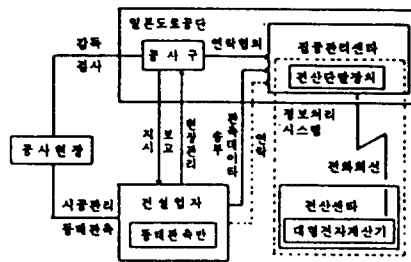
시스템 구성도에서 알 수 있는 바와같이 단위 현장의 자동 계측용 Data Logger나 PC로부터 Modem과 전화선을 이용해 계측본부로 전송된 계측Data는 계측본부 내의 Network에 연결된 PC와 Work-Station에 의해 분석되어 보고서 작성 및 Data 보관 등의 작업에 이용된다.

구분	NETWORK SYSTEM	소요시설기자재	비고
발 또는 주 감독 처		PC ————— 2 SET MODEM ————— 2 SET 전화 ————— 2 회선	
계 측 본 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	

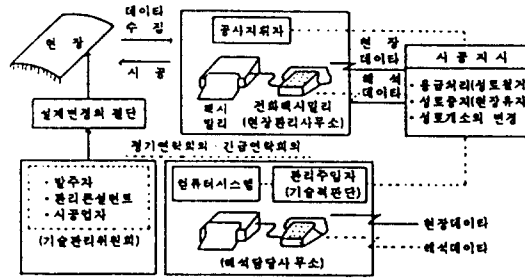
그림 3.7 계측 Network 구성 예

3) 의사결정 시스템

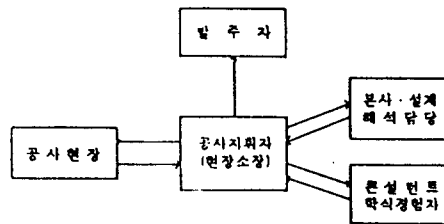
기기의 구성에 비교하여 정보운용에 참여하는 인적인 시스템의 구성은 보다 사회적이다. 얻어지는 정보를 어떻게 운용하여 누가 최종적인 의사결정에 사용하는가 하는 의사결정 시스템의 구성을 명확히 하여야 할 필요가 있다. 그림 3.8에 의사결정 시스템의 예를 몇가지 들었다.



(a) 일본 도로공단에서 실시하는 예



(b) 합 의 형



(c) 책임 시 공 형

그림 3.8 의사결정 시스템의 형태

(a)는 일본 도로공단에서 실시되는 예로서 정보는 일본 도로공단의 집중 관리센터에 수집, 정보화 되며 공단의 방침 결정에 이용되어 시공업자에게 시공방침에 대한 지시가 내려진다. 이 방식에서는 의사결정이 발주자인 공단측에 있다.

(b)는 발주자, 시공업자 및 관리 콘설턴트가 참여하는 기술관리위원회를 구성하여 의사결정을 하는 예이다.

(c)는 시공업자측에 일괄책임을 주어 의사결정을 하고 발주자에 대해서는 요구되는 품질과 공기내에 완성품을 제공하는 방식이다.

위와같이 공사에 관여하는 각각의 입장 (발주자, 시공업자, 콘설턴트)의 사람들이 어떠한 형태로 의사결정에 관여하는가에 따라 취하는 태도가 달라질 수 있다. 그것은 입장에 따라서 각각 무엇이 가장 바람직한가의 가치기준이 달라지기 때문이다. 발주자의 입장에서는 토탈코스트가 가장 적고 안전하게 시공하는 것이 목표인데 비해 시공업자로서는 자사의 이익이 최대가 되는 것이 제일 목표가 된다. 예를 들어 토류벽 굴착공사에서 상황이 상당히 안전측으로 나타나서 가설재를 감소해도 좋을 것 같은 계측결과가 얻어졌다고 하자. 이때 발주자로서는 설계변경에 의해 공사비의 삭감이 가능하지만 시공업자측에서는 자재의 발주 변경이나 공사준비 상황의 변화와 함께 공사금액이 감소하여 이익이 손상될 뿐이라는 좋지 않은 결과로 된다.

이러한 경우에 의사결정 시스템의 형태가 애매하게 되어 있으면 애써 얻은 계측 결과도 유효하게 이용되기 어렵게 될 것이다.

의사결정의 형태는 이러한 이해관계를 포함하여 발주의 방식이나 법적, 사회적 규제, 예상되는 사태에 대한 적응성의 검토를 충분히 하여 계획해야 한다.

4. 계측자료 관리 및 관리기준

계측결과를 토류벽공사의 안전확인 및 예측에 유효하게 이용하기 위해서는 다음과 같은 관리를 할 필요가 있다.

4.1 자료의 수집

계측기의 측정은 앞에서 이미 언급한 바와 같이 계측의 원리와 목적을 이해하고 있는 경험있는 기술자에 의해서 수행되어야 한다. 계측시에는 일상오차(부주의, 오독, 계산실수), 계기오차(편차 미조정, 영점 미조정 등), 환경오차(기후, 습도, 먼지, 침식 등), 관측오차(시차, 개인오차), 특수오차(계측기내 소음, 지정 및 고정밀도)등이 발생되므로, 이같은 오차를 극소화할 수 있도록 계획단계에서 분석단계까지 담당 기술자의 체계적인 훈련이 필요하다.

계측결과에 대하여 기록하여야 할 항목으로는 계측번호, 년.월.일, 시간, 계측 대상물, 측정자, 기후, 기온, 현장상황, 이상치의 원인등을 기록해야 하며 자동기록인 경우는 기록지를 절취한 즉시에 상기항목을 기록하지 않으면 추후 판별이 어려우므로 주의하여야 한다. 또한 결과의 정리방법을 연구목적, 설계목적, 시공관리의 목적 등 각각의 경우에 따라 정리하면 편리하다. 그리고, 예상치 못한 급격한 과대변화가 발생한 경우에는 즉시 계측전문기술자에게 보고하여 정확한 원인을 분석하여 신속한 조치가 이루어질 수 있도록 하여야 한다.

계측기기의 초기측정은 신뢰성있는 기초자료로 활용할 수 있도록 시공전에 얻어져야 한다. 자료의 수집빈도는 공사정도에 따라 적절하게 결정되어야 하며 급격한 구조물의 응력변화나 주변구조물에 문제가 발견되면 그 빈도를 증가시켜야 할 것이다.

측정일시 사이의 공백기간중의 변화도 주의 깊게 관찰하여야 하며, 자료수집시 공사내용 및 주변상황, 기상조건 등도 면밀히 기록하여 분석시 유효 적절히 이용 가능하도록 조치하는 것이 바람직하다.

현장에서 얻어진 자료는 즉시 공사현황 및 기상상태 등을 고려하여 분석하고 도표등으로 가시화 함으로써 흠막이구조물 및 주변건물등의 현재상황을 판단하고 이를 예측치와 비교하여 그 차이에 대한 연구를 통해 제원인을 규명하여 공사의 안정성을 판단할 수 있도록 한다.

4.2 자료의 정리

수집된 데이터는 다음과 같은 두가지 항목에 대해 정리되어야 한다. 첫째, 즉각적인 조치를 필요로 하는 갑작스런 변화가 발생했는지 판단하기 위해 데이터에 대한 신속한 평가가 이루어져야 한다. 둘째, 관찰된 거동과 예측된 거동 사이에 발생하는 경향을 파악하기 위해 데이터처리에 의한 결과의 도시와 요약이 필요하다.

1) 계산쉬트(calculation sheet)

환산전 데이터(raw data)는 측정치를 변위, 압력, 변형율, 하중 등의 공학적인 의미를 갖는 값으로 변환시키기 위해 계산쉬트에 옮겨진다. 이 작업은 일반적으로 측정후 24시간 이내에 수행하는 것이 바람직하다. 계산쉬트에는 방정식, 보정계수, 영점, 수정계수등 계산에 필요한 항목이 포함된다.

2) 요약쉬트(summary sheet)

계산쉬트에는 일반적으로 계측기술자, 시공자, 설계자, 발주자 등이 검토하기에는 너무 많고 상세한 내용이 포함되므로 이를 측정날짜, 시간, 측정치비교 등을 포함하는 요약쉬트에 옮겨 기록한다. 이 기록에 따라 데이터의 플로팅이 이루어지게 된다.

3) 데이터플롯(data plots)

데이터는 그래프 형태로 요약되는 것이 바람직하며 이는 계측치의 정확도가 부족하여 큰 오차를 포함하는 데이터 읽음이나 오산, 잡음 등에 의한 계측의 경향이나 실제 변화형태를 구분, 판단하기 위해 필요하다.

그래프를 그리는 목적은 첫째, 변화하는 데이터플로팅을 포함한 계측프로그램의 감시를 철저히 수행하도록 하여 중요한 데이터의 감시,조사에서 일반적인 경향을 추적할 수 있게 하기 위함이며 둘째,

처음 작성된 그래프의 내용이 기술적인 지식이나 그에 대한 이해를 위해 충분한 시간을 갖지 못한 계측기술자에 의해 사용되어도 전체적인 계측의 내용을 충분히 이해할 수 있도록 하기 위함이다.

대개는 요약쉬트로 부터 데이터를 플로팅하는 것이 좋으나, 환산전데이터로 플로팅하는 것도 큰 의미를 갖는다. 또한 플로팅에 오류가 포함되면 중요한 추세나 경향을 찾는 데 모호해지는 경우도 있고 전체적인 방향을 오도하는 경우도 있으므로 가능한 한 정확하고 적절하게 데이터를 플로팅하는 것이 중요하다. 양호한 플로팅을 위해서는 상상력과 연구력, 시행착오 등이 조화를 이룬 계측프로그램에 의해 완전한 지식과 이해를 필요로 한다. 또한 표준스케일을 사용하여 플로팅을 함으로써 다양한 위치에서의 다양한 계측데이터의 상호비교를 손쉽게 할 수 있도록 함이 중요하다.

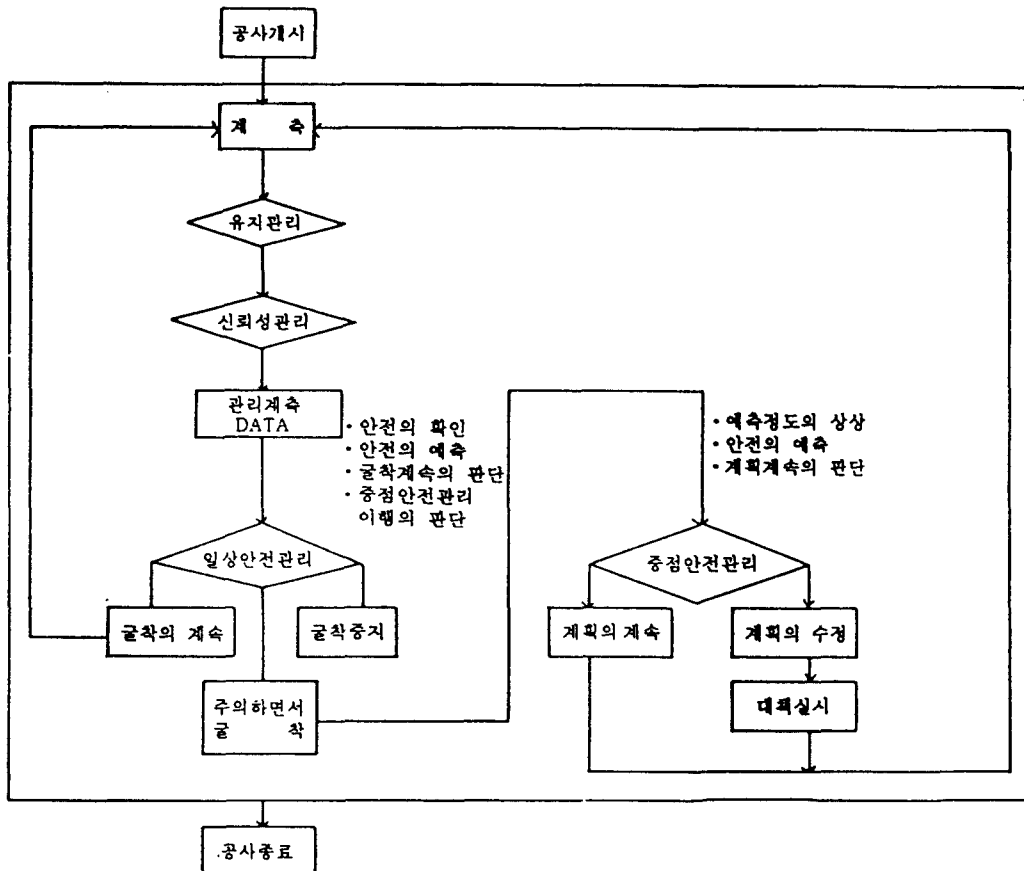


그림 4.1 계측치에 의한 공사관리의 흐름도

4.3 관리 기법

현장관리와 안전관리를 위한 계측관리 기법으로는 절대치관리와 예측관리로 나눌 수 있다. 절대치관리란 시공전에 미리 설정한 관리기준치와 실측치를 비교, 검토하여 그 시점에서 공사의 안전성을 평가하는 방법이며, 예측관리는 이전 단계의 실측치에 의하여 예측된 다음 단계의 예측치와 관리기준치를 대비하여 안전성 여부를 판정하는 기법이다.

절대치관리 기법은 계측결과에 대해서 신속하게 대처할 수 있어서 현장에서의 단순관리에 많이 이용하고 있다. 이에 반하여 예측관리는 조기에 토류구조물의 거동을 Computer를 통하여 Simulation하여 추정하므로 보다 합리적인 관리를 할 수 있으나 계측 System이 대규모가 되어 경제적인 면에서 부담이 크므로 이방법은 대규모 토류공이나 중요한 계측에 이용된다.

실무에 있어서 시공관리나 안전관리를 목적으로 예측관리기법이 채택된 경우에는 위의 2가지 관리기법을 병용하게 되는 것이 일반적이다.

1) 절대치관리기법

현장에서의 관리기법으로 효과적인 이 기법에서 가장 어려운 것은 관리 기준치를 어떻게 정할 것인가이다. 이에 대하여 일본에서 정하여 사용한 관리기준치 결정기준은 표 4.1 과 같다.

표 4.1 절대관리기준치를 결정하는 기준

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

주) 장 : 장기허용응력도

단 : 단기허용응력도

설정된 절대기준치에 대하여 1차 관리기준치를 부재의 허용응력일 경우와 벽체의 변형및 배면 토압등에 대하여 80-100%로 정하여 관리를 행하도록 하였으며 2차 관리 기준치는 허용응력과 설계시의 변위량으로 규정지어 그 이상일 경우는 공사를 중지하고 토류벽체의 전반적인 검토가 이루어져야 된다.

이에 대한 개략적인 1, 2차 관리기준치의 일례는 표4.2와 같다

표 4.2 1, 2차 관리기준치의 일례

계 측 항 목	비 교 의 대 상	관 리 기 준 치	
		제 1 차 값	제 2 차 값
① 측압, 수압	설계 측압 분포 (지표면~각단계, 굴착깊이)	100 %	-
② 벽체 응력	i) 철근의 허용인장응력도	80 %	100 %
	ii) 허용 휨모멘트	80 %	
	iii) 콘크리트의 허용압축응력도	80 %	
③ 벽체 변형	계획시의 계산치	100 %	-

또 하나의 절대치관리 방법은 안전율의 개념을 도입한 것으로, 사전에 각항목별로 안전율을 설정하고 설계시에 사용한 추정치 및 계측결과치의 비와 안전율을 비교하여 공사의 안전성을 예측하는 방법이다.

표 4.3은 안전율을 이용한 절대치관리방법의 일례를 나타낸 것이다.

표 4.3 토류공사의 안전시공관리를 행한 기준의 일례

측정항목	안전·위험의 판정기준치	판정표			
		지표(관리기준)	위험	주의	안전
측압 (토압,수압)	설계시에 이용한 토압분포(지표면에서 각 단계근입깊이)	$F_1 = \frac{\text{설계시에 이용한 토압}}{\text{실측에 의한 측압(예측)}}$	$F_1 < 0.8$	$0.8 \leq F_1 \leq 1.2$	$F_1 > 1.2$
벽체변형	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 용력	철근의 허용인장 응력	$F_3 = \frac{\text{철근의 허용인장응력}}{\text{실측의 인장응력(예측)}}$	$F_3 < 0.8$	$0.8 \leq F_3 \leq 1.0$	$F_3 > 1.2$
	토류벽의 허용 휨모멘트	$F_4 = \frac{\text{허용 휨모멘트}}{\text{실측에 의한 휨모멘트(예측)}}$	$F_4 < 0.8$	$0.8 \leq F_4 \leq 1.0$	$F_4 > 1.2$
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 Heaving량	T.W. Lambe에 의한 허용 Heaving량	실측 결과 가 위험영 역에 Plot 되는 경우	실측결과가 주위 영역에 Plot되는 경우	실측 결과 가 안전영 역에 Plot 되는 경우	
침하량	각현장마다 허용 치를 결정	각 현장상황에 맞는 허용침하량을 지정하고, 그 허용침하량을 넘으면, 위험 또는 주의신호로 판단한다.			
부등침하량	건물의 허용부등 침하량	기둥간격에 대한 부등 침하량의 비	1/300이상	1/300~1/500	1/500이하

이상에서 설명한 것과 같이 절대관리치를 설정한 후 측정을 계속하여 측정 결과치가 관리치에 접근하면 계측빈도를 높이는 등의 감시체제를 강화하고, 측정치가 더욱 증가하는 영향을 나타내면 시공을 중단해서라도 그 발생 원인을 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) 예측관리기법

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

본 기법은 계측의 자동화와 Computer 의 보급이 선행 되어져야 적용이 가능한 것이지만, 점차 현장에 Computer 보급이 일반화되어 가고 있으며 시공 관리 및 안전관리에 현장계측이 요구되는 추세로 보아 예측관리기법을 적용하는 사례가 증가되고 있다.

전술한 바와같이 이 기법은 조기에 발견할 수 있다는 장점이 있으나, 비교적 숙련된 기술자가 필요하며 비용도 절대치 관리 기법보다 많이 드는 단점이 있다.

그림 4.2에 나타난 바와같이 통상의 해석이 하중이나 토질정수를 Input Data로 하여 경계조건하에서 응력, 변형, 변위를 Output 으로 얻게 되는 반면, 본 기법에서는 역으로 실측변위를 Input Data 로해서 토질정수를 Output으로 얻게되는 역해석(Back-Analysis) 수법이 이용된다.

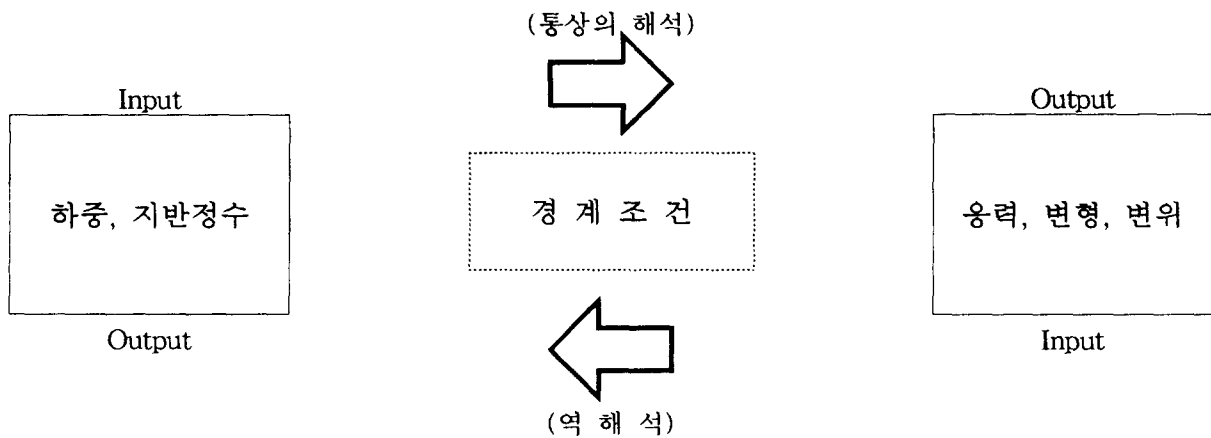


그림 4.2 역해석의 개념도

역해석의 기본개념은 “토질정수를 포함하는 구성식에 의한 예측변형과 실측변형과의 차이가 최소로 되도록 최적의 토질정수를 결정한다.” 라고 하는 것으로 이것은 자동제어의 분야에서 사용되는 최적화 수법에 지나지 않는다

역해석이나 차후 토류구조물의 변형을 예측하기 위해 가장 중요하고 또한 연구가 활발히 진행되고 있는 것은 흙의 구성식에 관한 것이다.

현재 사용 되고 있거나 제안된 Model은 30여종에 달하고, 가장 간단한 탄성체 Model은 탄성계수와 포아슨비가 토질정수로 되지만 이것은 실제의 현상을 충실히 반영 할 수 없다. 그래서 일반적으로 계측에 활용되는 해석방법은 비교적 실제의 현상을 충실히 반영할 수 있는 탄소성법이나 유한요소법이다.

4.4 각종 구조물의 관리기준

1) 피해정도 분류 및 정량화 기법

(1) 건물의 영향판단

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

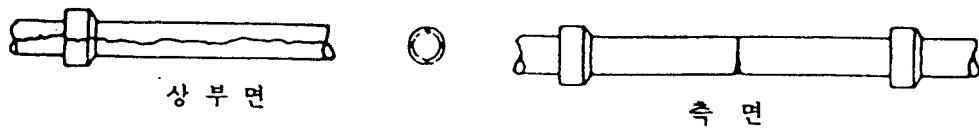
- ① 외관상 피해(Architectural Damage) : 마감벽에 발생하는 균열 폭이 0.5 mm 이하, 콘크리트나 석조벽체에는 1 mm 이하로 발생하여 외관적으로만 피해가 발생하는 경우
- ② 기능상 피해(Functional Damage) : 문, 창문등의 개폐가 다소 어렵고 마감체가 본벽에서 이탈하나 구조체에는 피해가 발생하지 않아 보수(repair)로서 기능을 회복할 수 있는 피해
- ③ 구조상 피해(Structural Damage) : 보, 기둥, 전단벽체 등에 균열, 뒤틀림 현상이 발생하여 보강(reinforcement)이 필요한 경우

그런데 피해정도는 구조물의 노후정도, 지반강성 및 지하수위 조건 등에 의해 변화하므로 어느 한계를 두어 명확히 구분하기는 어렵고 단지 육안에 의한 일차적인 분류방법으로 이해하는 것이 바람

직하다. 보다 엄밀하게 판단하려면 균열 및 침하정도를 정확하게 정량화할 필요가 있다. 이에 대해서는 뒤에서 다시 설명하기로 한다.

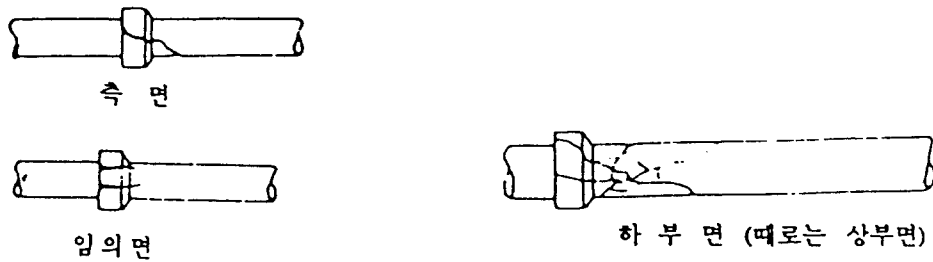
(2) 매설관(pipeline)의 영향판단

침하가 발생하면 주변에 매설된 관은 파손되거나 경사도가 변화하여 암거의 기능이 상실될 수 있다. 피해형태는 다양하나 주로 그림 4.3과 같이 상재하중에 의한 축방향 파괴, 관거 축 직각방향의 보(beam)파괴, 연결부의 전단파괴 및 파열, 관거의 지내력 파괴 등으로 구분할 수 있다. 이외에도 침하영향과는 관련성이 적지만 부식에 의한 암거벽 손상, 관 연결부에서의 틈 발생, 암거 유통물질의 퇴적에 의한 관 기능상실 등도 발생할 수 있다. 그런데 피해가 어느 한 형태로 발생하는 것이 아니라 복합적으로 관찰될 수 있으므로 유발요인을 분석할 때 주원인을 규명하기 어려운 경우가 있다.



(a) 상재하중에 의한 축방향 파괴

(b) 축 직각방향 보파괴



(c) 연결부 파괴

(d) 지내력 파괴

그림 4.3 매설관의 파괴 형태

2) 구조물별 허용기준

인접건물에 피해를 유발할 수 있는 거동형태에 대해서는 Boscardin(1989)은 침하, 상대변형(Relative deflection), 각변위(Angular distortion), 수평변형율(Horizontal strain)로 구분하였는데 이를 종합적으로 다음 표 4.4와 그림 4.4와 같은 허용 기준치를 적용하여 관리하게 된다. 그런데 상수관, 공동구, 송유관 등 연속관로는 비교적 자체 강도가 충분하여 침하등의 지반거동에 저항할 수 있지만 하수관 등 이음부가 있는 관로의 경우 피해가 쉽게 발생할 수 있어 중점관리할 필요가 있다.

표 4.4과 그림 4.4는 여러가지 구조물에 대해 허용할 수 있는 침하량과 각변위에 대한 일반적인 기준을 나타낸 것이다. 여기에서 기초지반에 대해서는 특별한 언급이 없는 데 사질토의 경우 즉시침하(Immediate settlement)형태로 일시에 발생하므로 아래의 기준을 적용하는데 어려움이 없을 것으로 판단된다. 그러나 점성토 지반의 경우 굴착영향이 침하형태로 즉시 나타나는 것이 아니라 일정기간이

경과한 후에 작용하므로 단순히 침하량만을 기준으로 하는 것 보다는 압밀 등의 추가적인 영향을 함께 검토할 필요가 있다. 아울러 대상 구조물의 원래상태를 기준으로 침하량을 검토하게 되므로 굴착공사에 앞서 영향범위에 있는 구조물에 대하여 미리 기준점을 설정하고 현상태를 관찰한 후 굴착에 따른 영향 정도를 정량화하는 것이 중요하다. 이러한 관점에서 계측관리에 있어서 초기치 관리가 매우 중요한 요소라고 할 수 있다.

표4.4 여러 가지 구조물의 최대허용 침하량 (Sowers, 1962)

침하형태	구조물의 종류	최대침하량
전체침하	배수시설	15.0 ~ 30.0 cm
	출입구	30.0 ~ 60.0 cm
	부등침하의 가능성	
	석적 및 벽돌구조	2.5 ~ 5.0 cm
	빠대구조	5.0 ~ 10.0 cm
	굴뚝, 사이로, 매트	7.5 ~ 30.0 cm
전도	탐, 굴뚝	0.004 S
	물품적재	0.01 S
	크레인 레일	0.003 S
부등침하	빌딩의 벽돌 벽체	0.0005 ~ 0.002 S
	철근콘크리트 빠대구조	0.003 S
	강 빠대구조 (연속)	0.002 S
	강 빠대구조 (단순)	0.005 S

S : 기둥 사이의 간격 또는 임의의 두 점 사이의 거리

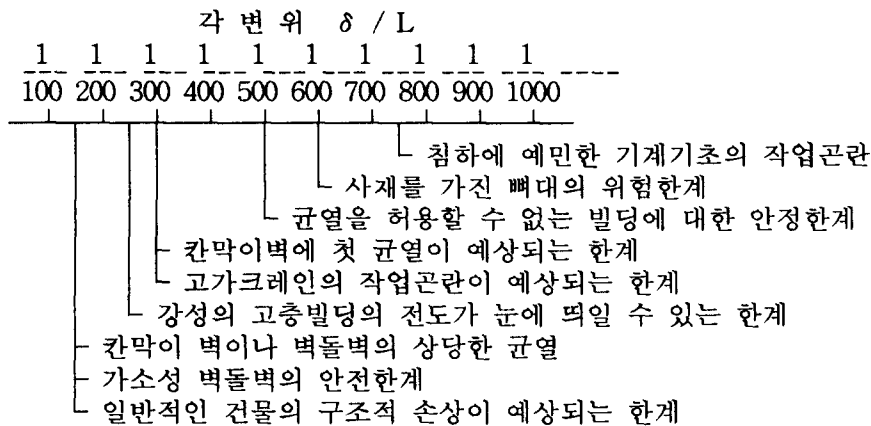


그림 4.4 여러 가지 구조물에 대한 각변위 한계 (Bjerrum, 1963)

4.5 인접 구조물의 안전관리

1) 구조물의 사전 안정성 파악

(1) 기본적인 고려요소

Lambe(1973)는 지반공학적인 문제에 있어 예측(Prediction)기법은 가용한 자료를 사용하여 거동을 파악하는 중요작업이라고 정의하고 다음과 같이 예측과정을 설명하였다.

현장 상황 정의→단순화→구조체계 정의→해석기법 및 토질정수 선정→기법 적용 및 예측→예측자료 판단
 Determine field Simplify Determin Select method Manipulate method portray
 situation mechanism and parameters and parameters to prediction
 obtain prediction

굴착공사에 따른 영향을 검토하기 위해서는 다음과 같이 영향범위, 현황조사, 해석기법 및 대책안 수립 등에 대하여 광범위하게 다루어 져야 한다.

① 굴착영향 범위

지반조건에 따라 다르지만 일반적으로 사질토층에서는 굴착깊이의 1~2 배, 점성토지반에서는 1~4 배, 암반지역에서는 1 배 정도가 영향범위로 설정할 수 있으나 암반층이라 하더라도 굴착공사에 불리하게 불연속면이 형성된 경우에는 2 배 이상까지도 영향범위가 증가할 수 있다.(성남 분당, 1992) 특히 국내의 대표적인 지반조건은 거동형태가 상이한 토사층과 암반층이 함께 분포하는 것으로서 이에 대한 거동연구가 필요한 실정이며 암반층의 거동을 지배하는 불연속면을 사전에 명확히 파악할 수 있도록 정도 높은 조사가 필수적이다.

② 현황조사

인접한 구조물의 규모나 기초종류 등은 탐문에 의해 파악될 수 있는 사항이나 기초지반에 대해서는 시추조사가 불가능한 경우가 대부분이므로 조사된 자료를 근거로 추정할 수 밖에 없어 불확실한 요인이 내포된다. 또한 건물의 노후정도는 외관상으로 파악이 가능하나 지하수 상태, 누수에 따른 포화도 등 지반 강성에 직접 영향을 미칠 수 있는 요소에 대해서는 파악하기가 매우 어려운 상태이다. 따라서 영향 검토를 위한 해석시 지반조건에 대해서는 가급적 불리한 조건으로 설정하는 것이 안전할 것으로 판단된다.

③ 해석기법

앞서 설명한 바와 같이 구조물의 거동을 해석하는 방법에는 여러가지 종류가 있으나 유사한 조건에서 신뢰도가 확인된 방법을 사용하여야 한다. 특히 수치해석 기법에서는 지반정수 뿐만 아니라 해석 모델을 선정하는 것이 중요하므로 해석 프로그램을 적용할 때 이를 고려하고 굴착 단계별로 측정치와 비교하므로써 입력치의 정당성을 확인하여야 한다.

④ 대책안 수립

공사관리는 결국 문제점이 발생하였을 때 효과적으로 대처하여 공사 본연의 목적을 이루려는 데에 있다. 설계나 해석시 문제점이 발생하지 않도록 공법을 선정하는 것도 중요하지만 만약 이상거동이 발생하였을 때 조치방법을 미리 강구하여 두는 것도 필수적이다.

(2) 점검대상 지역선정 및 점검항목

외국의 경우 공사자료를 정리하여 영향거리를 다음과 같이 규정하였다. 그런데 국내의 경우 명확한 기준은 없으나 대체로 굴착깊이의 1.0~1.5배 정도로 설정하는 것이 일반적이다. 여기서 L은 굴착 영향 거리이고 H는 굴착깊이이다.

$$\text{Oslo 지하철} : L = (2.5 \sim 3.5)H, \quad \text{東京 지하철} : L = (2.0)H$$

그런데 위 자료는 대부분 퇴적 토사층으로 구성된 지반의 자료로서 국내에서는 일부현장에만 적용할 수 있을 것이다. 보통 토사층과 암반층이 함께 분포하는 서울 지층조건에서는 H 를 지표면에서 암반층 상부까지의 거리로 간주하는 것이 합리적일 것으로 판단된다.

앞서 설명한 바와 같이 지반조건과 적용공법에 따라 굴착 영향거리가 달라지게 된다. 점검대상 지역은 굴착 영향범위에 있는 구조물을 대상으로 하고 공사전에 구조물의 노후정도, 기초상태, 구조물 이력(history), 하자발생 부위 등에 대하여 면밀히 조사하고 사진 등으로 기록을 보존하여야 한다.

공사도중 굴착에 따른 주변 구조물의 영향을 검토하기 위해서는 구조물의 외관, 기능 및 구조적인 관점에서 점검항목을 설정하여야 한다. 이와 같이 구분한 영향정도를 항목별로 다음 표 4.5와 같이 제시할 수 있다.

표 4.5 구조물의 검토

	검 점 항 목	비 고
외관 (Architectural)	육안 관찰에 의해 벽체 마감, 바닥면 균열, 균열부 충전물질, 균열폭 및 깊이 등을 파악. 구조체와 비구조체 연결부 및 조적상태 파악. 매설관의 이음부 상태, 관로의 결합부, 보도의 요철정도	균열폭 0.5~1.0 mm*
기능 (Functional)	문, 창문의 개폐 난이도, 마감면의 불량상태, 벽지, 장판지 등의 이탈상태, 계단부의 침하. 매설관로의 누수정도, 배출 지하수 성분, 포장체 침하 및 보도블럭의 배열상태	균열폭 1.0~15 mm
구조 (Structural)	보, 기둥, 전단벽체 및 기초의 결합여부, 구조체의 균열 정도 및 진행상태, 문 및 창문유리 파손정도, 비파괴검사에 의한 건전도 파악, 상수도 공급 상태, 하수관로 누수 및 배수 상태, 도로 포장체의 균열 및 침하정도.	균열폭 15 mm 이상

註) 일반적으로 균열상태를 관찰하여 영향정도를 파악할 수 있으나 균열폭은 발생위치 및 재료에 따라 다를 수 있으므로 개략적인 판단자료임.

2) 근접시공에 대한 대책

근접시공이란 건설과정에서 지반 거동을 야기하고 인접 구조물에 피해를 유발할 수 있는 건설공사로서 공사의 안정성은 물론 피해를 적극 방지할 수 있는 기술이 요구된다. 특히 도심지에는 보호하여야 할 구조물이 밀집된 상태이므로 이에 대한 대책이 미비할 경우 대규모 재해가 발생할 수 있다. 따라서 다음과 같은 항목에 대하여 심도깊은 이해와 관리대책이 필수적이다.

① 지반특성

앞서 거듭 설명한 것처럼 지반상태는 지역적으로 상당한 차이를 보이므로 반드시 조사에 의해 확인 되어야 한다. 아울러 지반 구성상태 뿐만 아니라 공학적 성질이 명확히 규명되어 있어야 하는데 현재의 국내 조사 현실로는 이에 대한 의문점이 제기된다.

② 인접 구조물의 상황

지반특성이 충분히 파악되어 있다 하더라도 보호 대상 구조물의 강성, 국부적 혹은 전반적인 노후 정도 등을 파악하기가 어렵다. 더욱이 적극적으로 조사계획을 수립하여 추진할 때에도 건물주나 관리 당국자의 협조를 구하기가 용이하지 않다.

③ 가설 구조물의 중요성

부실시공이 사회문제로까지 비화된 현 시점에서 본 구조물을 축조하기 위한 가시설 흙막이 구조물에 대한 인식이 새로와 지고 있으나 여전히 경제성이 안전성을 우선하고 있지 않다고 판단된다.

물론 지나치게 안정성을 추구할 필요는 없겠지만 굴착공사는 다른 공사와 달리 전 공정을 지배할 수 있는 대규모 사고가 발생할 수 있으므로 이에 대한 투자문제에 비중이 더해져야 할 것으로 사료된다.

④ 계측관리

굴착공사에 계측이 도입된 것은 최근 10년 정도로서 안전시공을 위한 법적 요구조건으로 설정되어 있으나 계측 자체가 안정성을 제고하는 것이 아니라 단지 기술자의 판단수단이고 무엇보다도 어떻게 운용느냐하는 것이 중요하다. 위와 같이 굴착공사에는 불확실한 요소가 다분히 내포된 상태에서 공사가 진행되는 데 모든 변수를 통합한 거동을 분석하여 불확실한 요인을 파악하고 보다 합리적인 공사를 유도할 수 있다는 측면에서 계측관리를 이해하여야 한다. 참고적으로 도심지 근접 굴착공사에 투자되는 계측관리비는 토목공사비의 5 % 미만이고 이를 전 공사비에 대비하면 1%이하인 실정이다.

5. 결론 및 향후 연구방향

지하굴착 흙막이공에서 과학적인 시공관리를 위하여 계측의 목적과 계측계획 수립시 검토하여야 할 검토항목 및 각 계측기기에 따른 관리계획등을 정리하였으며, 또한 현장에서 측정된 자료의 관리 및 이 용시 관리기준등을 제시하였다. 이 연구결과와 향후 연구방향을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 굴착공사시에 흙막이 구조물과 인접구조물에서 발생할 수 있는 변형거동을 사전에 예측하기 위하여 굴착공법에 따른 계측기기 항목 및 계측위치의 선정, 계측빈도, 계측기기의 유지관리 방안 등을 세부적으로 검토하여 합리적인 계측수행기법을 제안하였으므로 현장여건에 따라 실무자가 실용적으로 이용할 수 있을 것이다.
- (2) 지하굴착시 측정된 계측 Data등의 자료수집과 정리하는 방법 및 거동 안정성을 분석할 수 있는 기법을 제시하였다. 또한 흙막이 구조물의 안정성 및 인접 구조물에 대한 영향을 정량화할 수 있는 방안을 제시하여 실제 공사시 효과적으로 적용할 수 있도록 하였다.
- (3) 지하굴착 흙막이 구조물의 실제거동을 알아내기 위해 설치하는 계측기기를 우리나라 지형, 지질 및 토질특성에 적합하도록 국산화하여 경제성 제고를 이루어야 하며 이에 대한 지속적인 연구 및 개발이 필요하다. 아울러 기존에 제시된 관리기준은 외국의 사례를 분석한 것이 대부분이므로 국내 현실에 맞게 수정되거나 새로운 분석기법 또는 계측 Data를 이용한 역해석등이 연구될 필요가 있다.