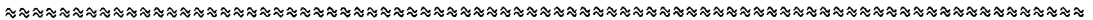




도심지 근접시공의 자동계측응용 Application of Automated Measuring System for the Underground Construction in Urban Area

남 순 성
정 상 용



Abstract

It is impossible to precat the behavior of ground soil and structure accurately during underground construction in urban area or excavation in soft ground area because of difference between the assumed design condition and the actual site condition. Therefore, it must be managed by measuring system and correct the difference by real data.

Large scale under ground construction in urban area like a seoul subway project has needed for Intelligent Construction technique, a field of the Engineering Contractor.

The automated measuring system is developed for the technique.

It is described that the procedure and the method of measuring work with application of the automated measuring system.

I. 머 리 말

대형빌딩, 지하철 등을 주요 구조물에 인접하여 시공하거나 연약지반에서 시공할 경우 지반의 거동을 정확하게 예측하기란 불가능하다. 따라서 최초 설계시 가정한 토성치 및 지반조건이 실제와 일치하지 않으므로 수정과 보완이 필요하다. 이때 근거자료로서 계측에 의한 실측값을 사요하여야 하는데, 각 구조물별 필수계측항목, 계측기자재의 종류 및 사용법, 계측관리 System의 구성을 아는 것이 중요하여 어떤 관리기준치에 따라 현재상태의 위험 정도를 판단할 것인가 하는 점과 얼마만큼의 보강을 해야

할 것인가를 정하는 것이 필요하다.

상기와 같이 계측관리를 하므로써 설계와 시공을 수정, 보완하는 방법을 「정보화 시공」이라 한다.

현재 각 건설회사에서 추진중인 EC화의 일환이기도 한 「정보화 시공」 기술은 당면한 서울시의 대규모 지하철 건설계획이 대부분 지하 깊은 심도의 Tunnel 공사이며, 게다가 각종 중요 대형구조물의 하부를 통과하거나 한강을 지하로 통과하는 등 기술적으로 대단히 복잡하고 어려운 시공여건이 예상되는 바 필수불가능한 시공법이라 할 수 있다.

이러한 「정보화 시공」의 일환으로 다점측정용

Switch Box 및 자동계측 System을 자체 개발 하였으며 한국은행 강남별관 현장에서 실제 운 용하여 성능을 확인하였고 개발품의 외주제작을 통해 자체공사의 계측관리와 타 시공회사에 대 한 계측관리 용역에 대비하였다.

본 고에서는 도심지 근접 시공에서 필요한 흙 막이공사의 계측관리에 자동계측을 응용하기 위 한 절차 및 방법을 기술한다.

II. 계측관리 계획

계측관리의 계획단계에서는 자료를 충분히 수 집, 조사하여 계측관리의 필요성을 파악하는 것 이 중요하다. 그림 1은 계측관리 Flow를 나타 낸 것이다.

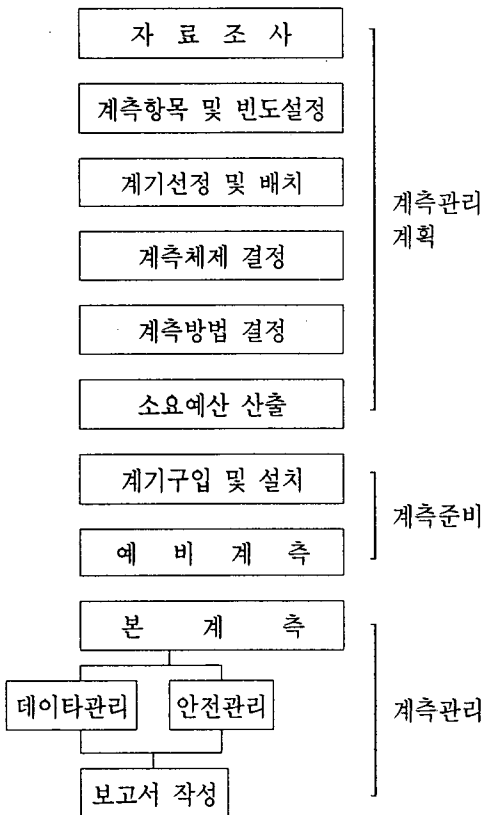


그림 1. 계측관리 Flow

1. 자료조사

가. 시설구조물의 조사

시설 구조물에 관한 조사는, 그 구조물의 관 리책임자 및 소유자 등으로부터 자료를 빌려 행 하는 것이 일반적이다. 이러한 자료중 건설당시 의 설계도서류로부터는 다음 사항을 주로 조사 한다.

- (1) 구조물의 설계도, 설계 계산서
- (2) 사용재료와 그의 재질, 설계지반조건
- (3) 사용된 기준류(설계조건, 허용지지력, 허 용응력도 등)

- (4) 기초공, 하부공, 상부공사의 시공 기록

구조물은 건설후 보저너의 다른 목적에서 손 대지는 경우가 많기 때문에 보전 사용상황 등에 관한 조사도 중요하다.

(가) 건설시기

- (나) 변형, 지진, 화재 등 피해기록
- (다) 수선, 보강한 강력
- (라) 관로등의 첨가물의 설치기록
- (마) 관리기준

이와같은 시설 구조물에 관한 정보가 입수되 면 현지에 출장하여 현지조사를 다음 항목에 따 라 수행한다.

- ① 이용상황(시공중에 그 이용을 일시 중지할 수 있는 가 등)
- ② 하중의 현황
- ③ 구조물의 치수
- ④ 변위, 변형 등
- ⑤ 신설 구조물과 시설 구조물의 상대위치(평 면, 고저)
- ⑥ 자료에 의해 얻어진 정보의 확인 앞에서 자료에 의한 조사와 현지 조사에 관하여 서술하 였지만, 그것들은 상호 연관되어 있다는 것에 유 의하여 유효한 조사를 해야 한다.

나. 지반의 조사

지반조사는 project를 계획할 때 행하는 예비 조사와 상세한 설계 및 시공계획을 실시하는 경 우의 본 조사로 나누어진다.

〈표1〉 조사항목별 조사

조 사 항 목	조사에서 얻을 수 있는 것	조 사 방 법
지형 지질에 관한 조사		
지 형	· 저지(低地)분포 상황 · 배후의 산지 상황	· 자료조사 · 현지답사
지 질	· 지질 구성 · 지질의 분포 상황	· 현지답사 · 보령조사, 사운딩, 탄성과 탐사
지반의 토질 특성에 관한 자료		
물 리 특 성	· Gs, 입도분포, ρ_t · Wh, W, Wp	· 토질시험의 물리시험
전 단 강 도 (현지반의 강도)	· qu · su · c	· 일축 압축시험, 콘 · 삼축압축, 베인 횡방향 재하시험 · 삼축압축, 표준관입시험
전 단 특 성	· 강도증가계수 · 흙수팽창에 의한 강도 저하도	· 삼축압축시험(CU) · 삼축압축시험(CRU)
압 밀 특 성	· e-logP, Cu · Pc · Cv	· 압밀시험 · 피조메타 압밀계수 측정
변 형 특 성	· 변형계수	· 일축, 삼축압축 시험 · 횡방향 재하시험 · 표준관입시험, 램사운딩, 콘
토 압	· 주동토압계수 · 정지토압계수 · 수동토압계수	(전단강도로부터 구한다). · KO 압밀시험 · Pressure meter법 · Total pressure cell hydrofracture (전단강도로부터 구한다)
간 극 수 압	· 간극수압	· 간극수압 측정
지하수에 관한 조사		
지하수 조사	· 지하수위 · 유향유속 · 수 질	· 지하수위 측정 · 주변의 기설우물 조사 · 다수공의 지하수 측정 · 단공식의 유향유속 측정 · 수질 분석
대수층의 조사	· 대수층두께, 분포상황 · 투수계수 · 저류계수	· 보령조사 · 사운딩 · 단공식현장 특수시험 · 다공식현장 시험 · 입도분석, 실내투수시험 · 다공식 양수시험

이 중에서 통상 예비조사에서는 기왕의 자료를 수집하여 필요한 정보를 얻고, 본 조사에서는 보링을 하고 각종 시험을 하는 것이 보통이다. 이 조사는 또 지형 지질에 관한 조사, 토질 특성에 관한 조사, 지하수에 관한 조사로 나눌 수 있다. 그래서 이것들을 세분화한 것이 표1이다.

상세 조사에 있어서도 표1에 있는 전부를 조사할 필요는 없고 필요에 따라 선택한다. 즉 설계 및 검토방법을 미리 계획하여 그것에 이용될 변수를 얻기 위한 조사를 하는 것이 좋다.

다. 시공조건의 조사

근접시공으로 취급하는 공사는 중요한 기설 구조물에 접근하여 시공을 한다는 의미로서 보통 시공에 비하여 시공조건이 까다롭다. 여기서는 기설 중요 구조물이 존재하기 때문에 조사해 두어야 할 항목에 대하여 생각해 본다.

(1) 시공상 제약을 받는 공간의 조사

- (가) 기설구조물과의 시공여유 간격(수평, 연직)
- (나) 고압선 등으로부터의 최소거리
- (다) 매설 Cable 등의 위치와 최소거리
- (라) 통로의 확보)

(2) 시공상 제약을 받는 시간의 조사

- (가) 철도에 접하는 경우의 작업시간대
- (나) 통로를 설치하는 경우 설치 시간대
- (3) 그 외의 시공 환경조사
- (가) 진동에 제한(정밀기계를 취급하는 경우와 병원 등)
- (나) 굉음의 제한)

2. 계측항목

계측항목은 부지주변의 상황 및 설계시의 불확실성을 충분히 검토하여 정한다.

계측항목을 선정하는 요인으로서는 다음과 같은 것을 들 수 있다.

가. 설계시의 불확실성 해명

- (1) 설계계산에 있어서 외력조건이 되는 축압 및 유수압 등 그 추정치의 오차가 클 것으로 예방되는 경우

- (2) 근접위치에서 공사실시등 외력조건에 대폭적인 변동이 예상되는 경우
- (3) 설계계산치와 허용치를 비교하여 안전율이 작은 경우
- (4) 예측계산을 하는 경우에 필요한 항목,

나. 굴착의 영향범위내에 구조물의 유무

- (1) 중요구조물이나 문화재 근접한 경우
- (2) 노후된 구조물이 근접한 경우
- (3) 민원발생의 우려가 있는 경우

그러나 선정요인은 하나만이 아니며 하나의 선정요인에 대해서도 몇 개의 계측항목이 선정되는 경우가 많다.

표2는 계기에 의한 계측항목을 보여주며 표3은 육안에 의한 계측항목을 보여준다.

계측항목 선정시 표4에 나타난 판단표를 이용하는 동시에 다음과 같은 가중치를 부여하는 것이 좋다.

- ① 계측의 중요도
- ② 안전성 확보에 관련된 비율
- ③ 계측의 신뢰성

<표2> 계기계측항목 일람표

대항목	중항목	소항목	계 측 항 목	
토류벽 부 재	벽 체	축압	1. 배면축압	
			2. 굴착축압	
		수압	3. 배면측수압	
			4. 굴착측수압	
	변 위	응 력	5. 철근응력	
			6. 콘크리트 응력	
		7. 두부연직변위(천단침하)		
	온 도	8. 두부수평변위(천단변위)		
		9. 벽체수평변위 (심도방향 수평변위)		
	지 보 공	Strut	외 력 응 력	10. 철근온도
				11. 콘크리트 온도
변 위			12. 강재축력	
		13. 강재응력		
		14. 연직변위(처짐)		
온 도		15. 수평변위(축이동)		
	16. 강재온도			

대항목	중항목	소항목	계 측 항 목	
	Slab (보포 합)	응 력	17. 철근응력 18. 강제응력 19. 콘크리트 응력	
		변 위	20. 연직변위(처짐) 21. 수평변위(콘크리트처짐)	
			온 도	22. 철근·강재온도 23. 강제응력
	Wale	응 력	24. 철근응력 25. 강제응력 26. 콘크리트 응력	
		변 위	27. 수평변위(변형)	
			온 도	28. 철근·강재온도 29. 콘크리트 온도
	지 주	응 력	30. 강제응력	
		변 위	31. 연직변위(부상, 침하) 32. 수평변위(콘크리트처짐)	
			온 도	33. 강제온도
	어 스 앵커	응 력	34. 앵커력측정, Relaxating량	
		변 위	35. PC Wire인발량	
	인 접 건 물 및 매 설 물	벽 체	변 위	36. 기울기(경사측정)
			균 열	37. 기존균열의 변화
			온 도	38. 콘크리트 온도
		보 Slab	응 력	39. 보의 연직수평변위에 대한 콘 크리트와 철근의 응력
균 열			40. 기존균열의 변화	
온 도			41. 콘크리트 온도	
기 초		변 위	42. 수평·수직침하	
		응 력	43. 기초에 추가되는 하중	

〈표3〉 시각 계측항목 일람표

대항목	중항목	점 검 항 목	기 록 사 항		
토류벽 부 재	벽 체	이음부	결 합 틈 누 수	① 초기상태(사진·그림) ② 이상발견시 보고 ·일 시 ·장 소 ·상황(사진·그림) ③ 발견후의 보고 ·상황(사진·그림) ·대책 대책후의 상황변화 (사진·그림) ①②③을 Set로 하여 보관한 다.	
		벽 면	결 합 크 락 누 수 배부름		
	지 주	Strut	처 짐 힘		
		Wale	배부름		
		지 주	힘		
	보 공	접합부	등근정도 빠들어짐 힘 국부변상		
		어 스 앵 커	풀 림 뿔 힘 두부처짐		
	인 접 구조물	벽 체	기울어짐		균 열 변 형
			보		
		기 초	침 하		
매설물	상하수도관	균 열 누 수			
	전기, 통신 Cable	늘어남 피막바리			

〈표4〉 계측항목 선정 판단표

선 정 요 인	판 단 재 료			계 측 항 목	
	설계(예측)계산	<ul style="list-style-type: none"> 토류벽계산 <ul style="list-style-type: none"> 가상지점법 연속보법, 탄소성법등 지하수거동 <ul style="list-style-type: none"> 정호(井戶) 이론 침투류 FEM등 주변지반거동 <ul style="list-style-type: none"> 경험적 방법 일차원 암밀침하 탄소성 FEM등 			
①외적 조건	토류계산 ————— 측 압 지하수거동 ————— 양수량 주변지반거동 ————— 토류벽변위			측압(수압) 양수량 토류벽변위	
설 계 시 의 불 확 실 성	②외적조건외의 변동	제 원 파 악	요 인 추 정	장 해 추 정	측압, 토류벽의 응력, 변형, 지리공의 응력 " 지하수위, 수압 →토류벽응력, 지보공응력, 측압, 토류벽변형 →측압, 토류벽변형, 지반, 구조물의 침하 수평변위, 경사 Graph
	1) 외적조건 a. 상재하중 b. 지하수위 변동	하중의 크기, 위치, 시기, 공사와의 관계	토류벽으로의 하중 증가	토류벽의 응력 부분적인 변형증가	
	2) 근접공사의 실시	지하수 상승속도 광역조사자료 주변정호의 존재 제원	" (지하수위가 깊을 때)	" (지하수위가 깊을 때)	
		시공기간 기초도 등	편하중·지반침하 수위변화 등	토류벽 구조물의 응력증가 건물의 부등침하 등의 장해	
③ 안전성 평가	각 계측항목별 설계치·예측치 → 허용치 → 안전성의 평가 ↗ 설계, 예측방법 및 조건을 고려한 평가 신뢰성 평가 ↓ 해석위치와 실제의 차이			→설계 계산치와 허용치를 비교하여 안전성이 적은 항목을 계측항목으로 정한다.	
④예측계산의 기준 Parameter	해석방법의 차이 및 그 내용을 정확히 파악하여 기준 Parameter를 설정한다. 예) 탄소성 토류벽 계산 탄성 FEM에 의한 배면 지반침하 계산 양수에 의한 지하수위 저하			토류벽의 변형 또는 응력 토류벽의 변형 지하수위	
a. 중요구조물 b. 노후화 구조물 c. 민원발생 가능 주택 밀집지(소음, 진동, 먼지 등의 환경오염)	구조물의 현상파악 기초도 건축 연수 경사 등	영향을 주는 요인추정 지반침하→암밀지방수평 변위→토류벽 변형	장해의 추정 (부동)침하 수평변위 경사	기 계 측 시 각 관 찰 〈직접〉 건물침하 건물수평변위 건물경사 건물균열폭 〈간접〉 지반침하 지반수평변위 토류벽 변형 ↕ 균열발생 이음부이탈 외벽의 박리	

3. 계측빈도

계측의 빈도는 데이터의 변화속도 및 안전과의 관련도를 충분히 고려하여 정한다.

가. 데이터의 변화속도

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

안전과의 관련이 직접적인 계측항목과 간접적인 계측항목으로 분류되는데(예를 들면 전자는 응력 후자는 하중) 직접적인 것일수록 빈도를

높일 필요가 있다.

다. 계측빈도의 통일

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

표 5는 계측빈도의 예를 보여준다.

4. 계기선정

계측에 이용하는 계기는 측정범위, 정밀도, 계측기간, 설치조건, 재사용 가능성, 가격 등을 고려하여 선정하여야 한다. 또한 계측체계에 따라 수동계측과 자동계측이 정해지므로 이점도

〈표 5〉 계측빈도의 예

항 목		설치시 *3	굴착개시전	초기치 설정전	굴 착 중	지하구체 완료후*2
벽	외력 (매설계기) 토 압 수 압	콘크리트 타설 전 : 수회 타설중~후 5h : 1회/0.5h	타설후 10일간 : 1일/일 이후 : 1회/주 *1 1회/h의 일 변화를 본다.	굴삭개시직전 수일간은 : 1회~2회/일	1회~2회/일	1회/주
	응력 콘크리트 응력	타설후 5h~24h : 1회/2h				
체	변 위		설치후 10일간 : 2회/주 이후 : 1회/주 *1 4회/일의 일 변화를 본다.	굴삭개시직전 수일간은 : 2회/주	1~회/주	1회/주
지 보	응력	매설계기	벽체매설계기에 준하여 실시한다.		1회~2회/일	
		취부계기	설치시 수회(초기치)		1회~2회/일	
인 접 구 조 물	균 열	토류벽 설치를 위한 터파기전	작업개시전 수일간 1회~2회/일			
	변위 침하	"	설치시 1회 균열에 이상이 있을 경우 1회~2회/일		1~2회/주	1회/주

- * 1. 일변화를 보기위해 기간중 1회 실시
- * 2. 지하구체완료후 계측치의 변화속도가 늦어지며, 변화에 따른 빈도를 감하여진다.
- * 3. 설치시와 계측시에는 온도를 파악한다.

중요한 계기선정 요인이 된다.

계기선정 Flow를 그림 2에 나타내었다.

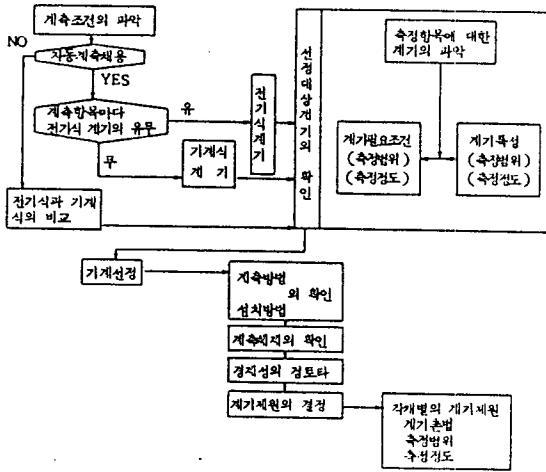


그림2. 계기선정 Flow

5. 계기배치

계기배치는 주변지만, 구조물 등의 상황을 고려하여야 하며 굴착시에 예측되는 토류벽 부재의 거동을 충분히 파악할 수 있도록 하여야 한다. 즉, 계측항목 선정시에 검토된 각 요인의 발생위치를 파악하여 그 위치의 요인에 대응한 계기를 배치하여야 한다. 또한 배치를 결정할 때는 다음과 같은 사항에 유의하여야 한다.

가. 주변구조물의 존재에 따라 선정된 계측항목에 대해서는 그구조물의 위치를 중심으로 계기를 배치한다.

나. 설계의 불확실성에 따라 선정된 계측항목에 대해서는 그 요인의 내용에 따라 배치한다.

다. 공사가 선행하는 위치에 배치한다.

라. 예측계산을 하는 경우, 필요한 항목의 계측치가 연속해서 얻어지도록 한다.

마. 연관된 계측항목에 따른 계기는 집중 배치한다.

바. 계기에 고장이 일어날 가능성을 고려하여, 적절한 배치를 한다.

사. 계기의 설치 및 배선을 확실히 할 수 있는 위치로 한다.

그림 3은 배치결정 Flow에 나타내며 그림 4는 계기의 평면배치 예를 보여준다.

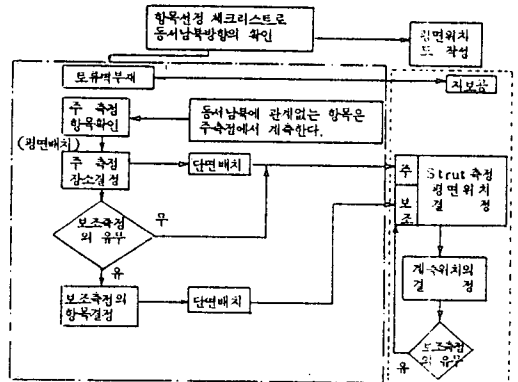


그림3. 계기배치 결정 Flow

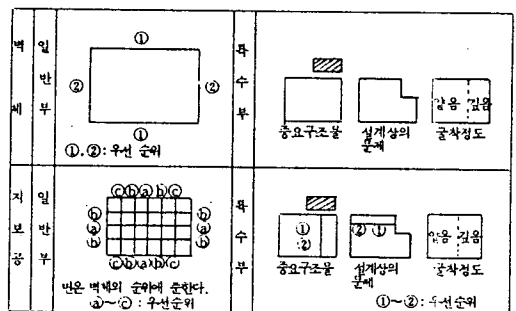


그림4. 평면배치 예

6. 계측체제

계측방법, 계측규모 및 경제성을 충분히 고려하여 데이터수집에서부터 관리에 필요한 데이터의 처리까지 일련의 작업이 중단없이 이루어질 수 있도록 계측체제를 확립해야 한다.

가. 계측방법

계측항목별로 계측방법(자동, 반자동 또는 수동)의 가능성, 준비기간, 가격 등을 파악하는 것이 계측체제 결정의 기본이다.

나. 계측규모

계측규모는(계측데이터 수)×(계측빈도)×(계측기간)으로 나타낼 수 있으며 자동계측의 채택을 결정하는 중요한 지표가 된다.

다. 안전성 검토

계측위치, 기후조건, 환경조건 등이 계측자에게 위험하거나 해로운 경우 자동계측을 채택하는 것이 바람직하다. 또한 수동계측의 경우 계측과 데이터처리에 시간이 많이 걸리므로 안전조치를 취할 시기를 놓칠 위험이 있으므로 계속 데이터 수가 많은 경우는 자동계측이 안전성이 높다.

그림 5는 계측체제 결정의 Flow를 나타낸다.

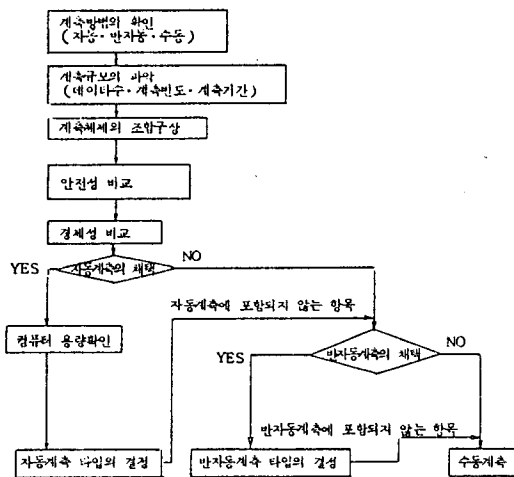


그림5. 계측체제 결정 Flow

II. 계측방법

1. 지중수평변위 계측

가. 목적

토류벽 및 배면지반의 굴착에 따른 수평변위량과 변화속도를 측정하여 현재의 안전 및 향후 영향을 사전에 예측하는 데 있다.

나. 측정방법

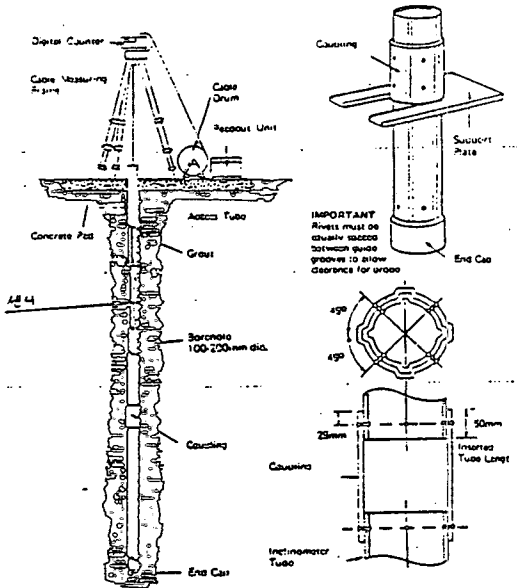
측정하고자 하는 위치에 Boring machine으로 예상 굴착면보다 3~5m 아래까지 굴착한 뒤에 Access Tube(알루미늄관)를 매설한다. 지하수위가 굴착면보다 높으면 부력이 있기 때문에 이 부력을 상쇄하기 위해서 깨끗한 물을 Access Tube에 넣으면서 Tube를 설치하고 굴착구멍과 Access Tube간의 공간은 Cement mortar로 채워서 주위 지반과 같이 거동토록 조치한다.

이때 주의할 것은 Access Tube의 Unit(2m)간의 연결부위에 완전한 방수를 하여 이물질의 침입을 막아야 한다.

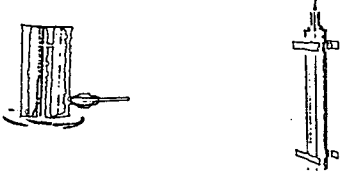
Cement Mortar이 완전히 굳은 다음에 경사계의 감지기(Sensor)를 Access Tube에 넣어서 수직방향으로 0.5m씩 올리면서 지중 수평변위의 초기치를 읽는다. 그 이후의 측정은 굴착과정을 고려하면서 보통 1~5일/회 시행하고 정밀도는 0.01mm이다. 측정이 없을 때는 Access Tube 상단부에 덮개를 씌우고 공사중에 작업자의 부주의로 인한 피해를 막기 위하여 주의표지를 설치한다.

실제 측정시에는 Earth Anchor작업과 건설장비의 이동에 의해 Tube가 파손되어 측정이 불가능하게 되는 경우가 있으므로 주의하여야 한다.

그림 6은 경사계의 설치방법과 Tube의 접속방법을 보여준다. 기타, 기존건물의 상태를 파악하기 위하여 설치되는 부착식 경사계도 종종 사용한다.



(a) 삽입식 경사계의 설치 및 계측방법



(b) 바닥 부착형 (c) 벽면 부착형

그림6. 경 사 계

2. 지하수의 측정

가. 목 적

차수벽의 효과와 굴착상태에 따른 지하수위의 변화를 살펴보기 위하여 차수벽 근처의 수위를 측정한다. 특히 지중연속벽의 경우 수압이 구조물 안정에 최대의 변수이므로 정확한 지하수위 측정이 무엇보다 중요하다.

나. 측정방법

차수벽 뒷부분에 Boring Machine으로 구멍을 낸 뒤에 지하수의 용입이 가능하도록 만든 플라스틱 파이프를 매설하고 수위계의 Sensor를 파이프에 넣어서 1-5일/회씩 측정한다.

수위계의 원리는 그림 7과 같이 자석이 부력에 의하여 상승되면 1단 Relief Switch가 자석의 자기력에 의해 작용 수위계 수위를 알게 되

고, 2단 Relief Switch가 작동되면 과투입을 알려주게 되어 있다.

정밀도는 1cm이며 Strain Gauge Type, Piezometer 등도 있으나 고가이다.

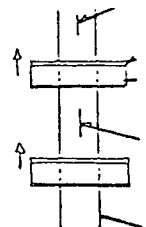


그림7. 수의계의 원리

3. 균열측정

가. 목 적

굴착지역에 인접한 구조물의 균열진행 여부를 확인하기 위해 Crack Gauge로 측정한다.

나. 측정방법

그림 B와 같이 균열주위에 접착제로 Crack Gauge를 단단히 부착한 뒤에 1-3일/회씩 측정한다.

측정원리는, 균열폭의 변화가 있으면 Strain Gauge System이 있는 부위에 굽힘 응력이 발생되고 이 응력은 Strain Indicator로 알 수 있으므로 균열폭 변화치를 역으로 알 수 있게 된다. 정밀도는 0.01mm이다.

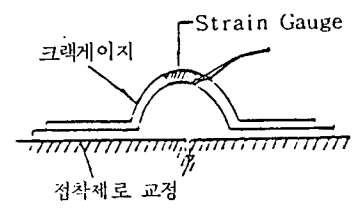


그림8. Crack Gauge

4. H-pile, 토류벽, 띠장의 응력측정

가. 목 적

토압에 의하여 H-Pile과 Wale에 가해지는 응력을 계측하여 설계토압에 의한 Moment와 비교하여 보강여부를 결정한다.

나. 측정방법

그림9와 같이 H-pile이나 Wale의 Flange부 위에 응력계를 설치한다. 응력계 내부에는 Full-Bridge 회로의 Strain Gauge가 들어있기 때문에 H-pile이나 Wale이 굽힘하중을 받아 변형하면 응력계와 연결된 Strain Indicator에 병형울이 지시되어 응력을 알 수 있게 된다.

Earth Anchor를 당긴 전후에 측정하여 Earth Anchor에 걸린 축하중을 개략적으로 확인하고 그 이후로도 1~2회/일씩 측정하여 H-pile, 토류벽 및 Wale의 상태를 확인한다. 측정 정밀도는 2.0kg/cm²이다.

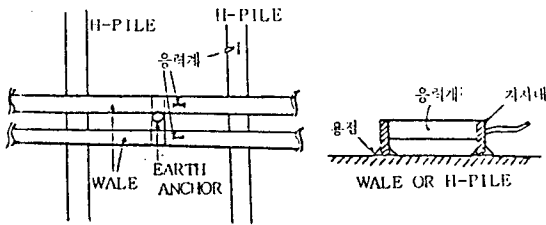


그림9. 응력계 설치

5. EARTH ANCHOR 응력측정

가. 목 적

설계 앵커력이 실제 현상이 적용되었는지 확

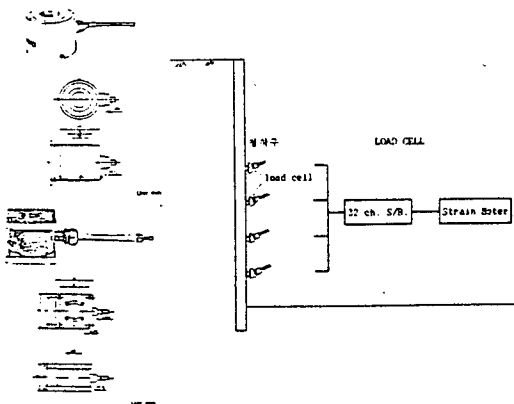


그림10. Load Cell

인한다. 앵커력의 이완, 풀림 등을 직접 측정할 수 있다.

나. 측정방법

대표단면이나 위험단면의 각단 Anchor에 1개소씩 설치하여 Earth Anchor 정착부에 Load Cell을 부착후 Earth Anchor를 긴장시킨다. Load Cell에 의해 긴장전후 및 굴착진행 상황에 따른 앵커력의 변화를 측정한다.

긴장전후와 굴착심도 증가시 1~2회/일로 응력을 측정한다.

6. 토압측정

가. 목 적

설계시 가정한 토압과 실제 현장에서 발생한 토압을 측정에 의해 비교하므로써 토류 지지구조 전체의 안전성을 확인하거나 보강하는 자료로 사용한다.

나. 측정방법

직접 토압계를 사용하여 Flexible한 벽면에 미치는 통합을 측정하기가 대단히 어렵다. 간접적인 방법으로 Strut 지지방식의 토류벽에서는 Strut 축력을 측정하여 토압을 추정하는 것이 보통이다.

토압계의 발달과 함께 최근에는 직접 토압을 측정하는 경우가 많다. 그러나 토압계를 사용할 경우 고가의 토압계를 1회용 소모품으로 사용해야 되므로 국내에서는 주로 댐등에서 사용되고 있다. 본 고에서는 지중연속벽에서 사용되는 방

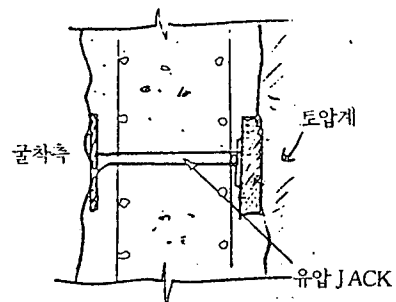


그림11. 토압계의 설치방법

식을 그림11에 나타내었다.

트렌치굴착후 철근망에 토압계를 설치하여 근입 후 유압적으로 토압계를 벽에 밀착시킨다. 그후 콘크리트를 타설하여 양생후 초기치를 정한다. 굴착중에서 1~2회/일 계측하여 설계치와 비교하고 그 변화를 계측한다.



그림12. 토압계의 종류

7. 지표면 침하측정

가. 목적

시공중에 발생될 수 있는 현장주의지반과 구조물의 침하정도 및 속도를 신속히 파악하여 그 보강대책을 수립하거나 안정을 확인 자료로 사용한다.

나. 측정방법

그림 13과 같이 측정점을 각 굴착면 주위에 1~2개소, 필요에 따라 1개소당 배면 측으로 약 5~10m 간격으로 2~3개소 설치한 후 Level 측량한다.

통상 1~2회/주, 변화가 발생시 1~2회/일 측정한다.

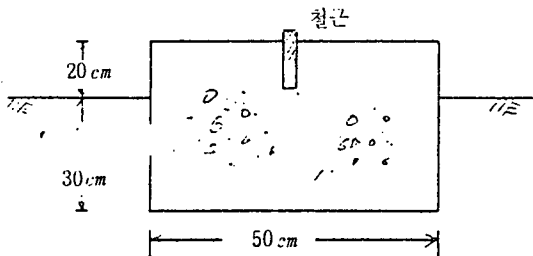


그림13. 지표 침하판

8. 지중 침하 측정

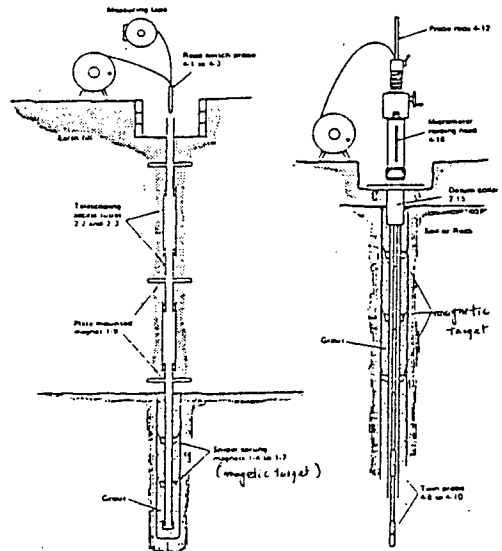
가. 목적

다양한 지층의 부지에서 굴착을 실시하는 경우 굴착에 따른 각 층별 침하량을 파악하여 설계에 반영하거나 정확한 대책수립의 자료로 사용한다.

나. 측정방법

층별 침하측정 대상위치에 직경 약 6"로 천공한 후 1" 지중침하 측정용 pipe와 magnetic target를 설치한다.

이때 Magnetic target은 층이 바뀌는 지점에 설치해야 한다.



(a) 성토층 설치용

(b) 원지반 설치용

그림14. Magnetic Probe Extensometer

IV. 자동응력계측 시스템

건설현장에서 필요로 하는 계측업무를 인력으로 수행하려면 인력의 소모가 많고 정확도가 떨어지며 계측된 DATA를 분석하는 데 많은 시간이 걸리므로 계측에 따른 대응조치를 취하는데 어려움이 따를 수 있다. 또한 측정자가 접근하기 어려운 현장여건에서는 사람에 의한 측정이 불

가능한 경우도 있다. 이러한 수동 측정의 문제점을 해결하기 위해서는 계측작업을 자동화하는 것이 필수적이다.

계측작업을 자동화하기 위해서는 계측장비 메이커에서 개발하여 시판하고 있는 시스템을 도입하는 방법이 있으나 시스템의 가격이 고가이고 특수분야에만 적용이 가능하므로 여러분야의 응용이 곤란하여 시스템 운용효율이 낮다.

따라서 현재 사무자동화용 퍼스컴으로 널리 사용되는 IBM-PC 호환기종을 계측시스템에 응용하여 계측작업을 자동화함으로써 경제적인 계측수단을 확보하고 측정자에 의한 계략오차를 줄이며 계측을 수행하지 않는 기간에는 퍼스컴을 일반업무에 사용할 수 있으므로 시스템 운용효율을 높인다. 또한 계측결과에 의한 출력을 제어에 응용하여 건설기술의 발전에 따라 필수적으로 요구되는 건설자동화 기초기술을 확보하도록 하였다.

1. 하드웨어 구성

가. 시스템 개요

계측을 자동화하기 위해서는 여러곳의 계측장소에서 계측하고자 하는 물리량을 전기량으로 변환시키기 위한 감지기(Sensor)와 컴퓨터의 명령에 따라 특정감지기를 선택하는 스위치박스(Switch Box)가 필요하고 선택된 감지기의 전기량을 변환시켜 측정하기 쉬운 전기량으로 바꾸는 변환기 및 변환된 측정신호를 컴퓨터와 연결시키기 위한 Analog to Digital Converter가 입력장치로 필요하다.

한편 콘트롤박스(Control Box)는 스위치 박스에서 채널선택명령을 주고 필요시 점점에 의한 입출력을 한다.

건설현장의 계측센서는 스트레인게이지형이 주류를 이루고 있으므로 본 시스템의 센서로는 스트레인게이지를 택하였고 변환기로는 Strain Amplifier를 사용하였으며 스위치박스는 스트레인게이지에 적합하도록 채널당 4wire로 하였다.

Strain Amplifier는 조정의 용이성과 계측의 선형성을 고려하여 시판되는 Measurements Group Inc.의 모델 P-3500을 사용하였고 컴퓨터와 센서를 제외한 다른 기기들은 제작하여 사용하였다.

그림 15는 IBM-PC를 사용한 자동계측시스템의 블록다이어그램이다.

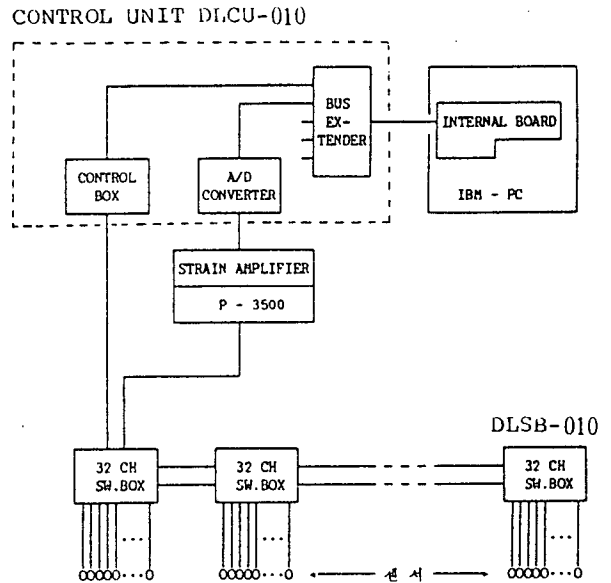


그림 15. IBM-PC를 이용한 자동응력계측시스템의 블록다이어그램

본 시스템의 주요제원은 다음과 같다.

- 1) 스위치 박스 1대당 32개의 센서를 부착할 수 있다.
- 2) 최대 16대의 스위치박스를 연결할 수 있으므로 최대 512(16×32)개의 센서를 부착할 수 있다.
- 3) 센서는 스트레인게이지형을 사용하도록 구성하였다.
- 4) 1게이지 2선 및 3선방식, 2게이지(half bridge), 4게이지(full bridge)방식등 모든 스트레인게이지에 적용할 수 있다.

나. IBM-PC INTERNAL BOARD 및 버스확장용 소켓

IBM-PC내에는 외부기기를 연결할 수 있는 확장용 슬롯(slot)이 마련되어 있다. 이슬롯에 외부와 신호를 주고 받기 위해 board를 삽입하고 interfacing에 필요한 신호를 취하여 신호들의 출력용량을 높이고 외부고장이 내부에 직접 가해지지 않도록 한다. 이때 필요한 전원은 IBM-PC내부의 전원을 사용한다.

버스확장용 소켓은 Internal Board로부터 나온 소켓에 다른 주변기기(Interfacing unit)를 접속하기 위한 것이다.

다. 콘트롤 박스

콘트롤박스는 Digital input/out-put unit로서 24점의 접점입력 혹은 TTL level의 입력을 받아 IBM-PC로 중계하고, IBM-PC로부터 24점의 접점출력을 외부에 출력시키기 위한 것이다. IBM-PC측에는 신호증폭을 위한 버퍼(buffer)가 설치되어 있으며 번지지정을 스위치 조작에 의해 바꿀 수 있도록 하였다. 또한 입력신호로 접점을 사용할 경우 접점의 채터링(Chattering)을 방지할 수 있도록 하였다.

본 시스템에서는 콘트롤박스의 출력접점 9개만을 사용하여 그중 4개는 16개의 스위치박스내의 채널선택에 사용하고 나머지 5개는 스위치박스내의 채널선택에 사용한다. 따라서 여분의 입력점 24개와 출력점 15개는 다른 용도로 활용될 수 있다.

라. ANALOG TO DIGITAL CONVERTER

Analog to Digital Converter는 아나로그 16채널의 입력을 받아 IBM-PC가 읽을 수 있도록 중계역할을 한다. 컴퓨터측에는 신호증폭을 위한 버퍼가 마련되어 있으며 번지지정을 스위치 조작에 의해 바꿀 수 있도록 하여 증설에 대비하였다. 또한 아나로그 신호에 노이즈(noise)가 섞이지 않도록 하기 위해 아나로그 부분을 1칩(chip)으로 하였다.

본 시스템에서는 Strain Amplifier의 출력신호 1채널만을 사용하므로 나머지 15채널은 다른 용도에 사용할 수 있다.

마. 스위치 박스

스위치박스는 컴퓨터의 명령에 따라 열러개의 센서중에서 특정한 것을 선택하기 위한 기기로서 질환스위치에 의하여 외부선택 및 자체선택이 가능하다. 1개의 박스에 32채널이 있으며 각 채널은 4개의 릴레이 접점으로 이루어져 있다. 선택된 채널번호는 박스표면의 7 Segment LED 표시 장치에 의해 표시되며 박스내에 선택된 채널이 있는지 없는지가 구분되어 표시된다.

스트레인게이지형 센서에서는 기계적인 변형을 전기적인 저항값의 변화로 바꾸며 휘스톤브리지회로를 구성하여 Strain Amplifier로 입력된다. 이때 연결도선의 저항과 스위치박스내의 릴레이 접점저항이 브리지회로내에 포함되어 있으면 계측오차의 원인이 된다. 이와같은 오차를 방지하기 위해 본 시스템에서는 브리지 헤드를 스위치 박스의 각 채널단자에 설치하므로써 스위치 박스와 Strain Amplifier간의 전선저항과 박스내의 릴레이 접점저항이 브리지회로 외부에 존재하도록 하였다.

그림 16은 스트레인게이지 종류별 연결방법이다.

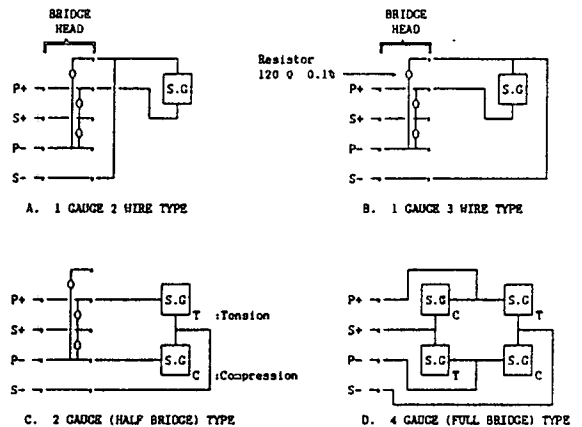


그림 16. 스테레인게이지 종류별 연결방법

바. STRAIN AMPLIFIER

Strain Amplifier는 스트레인게이지의 저항변화를 스테레인값에 해당하는 아나로그 신호로

변환하기 위한 기기로서 이득조정 기능 및 발란스 조정기능을 갖추어야 한다. 본 시스템에서는 Measurements Group Inc.(USA)의 모델 P-3500을 사용하였다. P-3500은 자체에 디지털 표시장치가 있으므로 자체의 표시값과 아날로그 출력을 A/D Converter를 통해 IBM-PC로 읽어들이 값이 일치되도록 이들을 조정하였다.

3. 운용방법

가. 소프트웨어 개요

본 시스템을 운용하기 위한 소프트웨어는 운영체제(operating system)로 IBM-PC 상에서 MS-DOS를 사용하였고 사용언어는 BASIC을 주로 사용하였으며 필요한 곳에 어셈블리루틴(Assembly routine)을 삽입하였다.

사용의 편리성을 도모하기 위해 전체 프로그램을 메뉴방식을 구성하고 각종 데이터입력은 대화형으로 할 수 있도록 하였다.

계측작업은 수시계측과 자동주기계측의 두가지 방법에 의해 수행될 수 있다. 이중 수시계측은 계측을 수행하여 얻어진 데이터를 점검하여 이상이 없는 경우에만 각 계측센서별 데이터화일을 갱신하는 방법으로서 대화식 프로그램에 의해 사용자가 갱신여부를 선택할 수 있으며 계측을 하지 않는 동안은 컴퓨터를 다른 용도에 사용할 수 있다.

자동주기계측은 임의 개수의 센서를 사용자가 원하는 주기 및 횟수만큼 계측하여 출력화일을 생성하는 것으로서 계측도중에는 컴퓨터를 다른 용도에 사용할 수 없으나 정해진 횟수의 계측이 자동으로 수행되므로 사용자가 다른 일을 할 수 있다.

계측데이터는 컴퓨터의 내장 타이머에 의해 계측일자 및 계측시간이 동시에 보관되면 그래픽처리에 의해 꺾은선그래프로 표시될 수 있다.

그림 17은 본 시스템의 메인메뉴의 화면이며 그림 18은 소프트웨어 메뉴체계도이다.

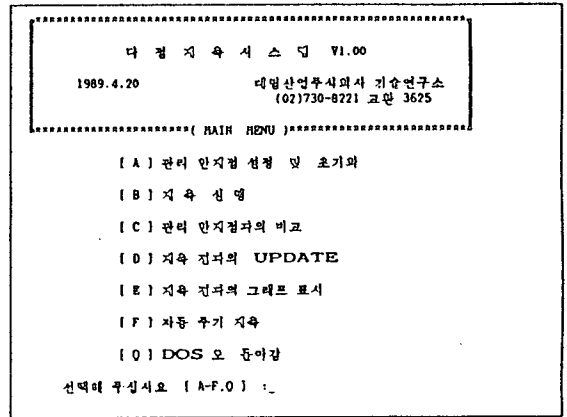


그림 17. 다점계측시스템의 메인메뉴

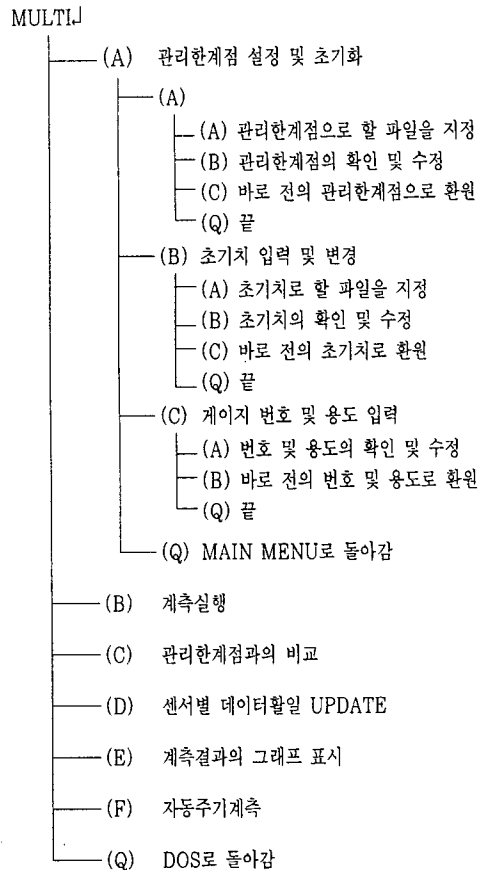


그림 18. 다점계측시스템의 소프트웨어 메뉴 체계

나. 관리한계점 설정 및 초기화

스트레인게이지로부터 읽은 값은 최초의 값과 비교하여 변화한 값을 이용하므로 초기치를 입력하고 수정하는 프로그램이 필요하다. 또한 계측값이 안전한 범위내에 있는지를 판단하기 위해 관리한계점도 입력 및 수정이 가능해야 한다.

본 시스템에서는 초기치와 관리한계점을 각각 별도의 파일로 처리하여 입력 및 수정이 가능하도록 하였으며 백업(back-up)화일에 의해 수정되기 전의 내용으로 환원시킬 수도 있게 하였다. 또한 각 센서의 고유번호와 사용용도를 입력 및 수정 가능하도록 하여 그래프 처리시에 사용하고 있다.

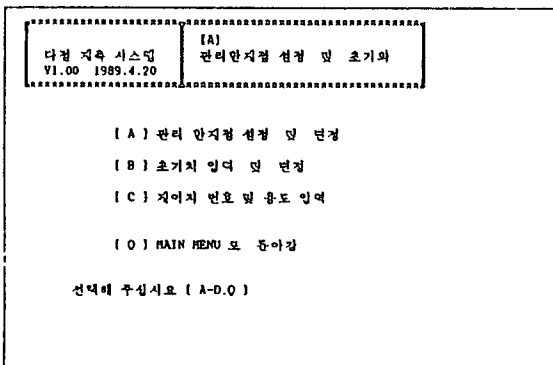


그림19. 관리한계점 설정 및 초기화 메뉴화면

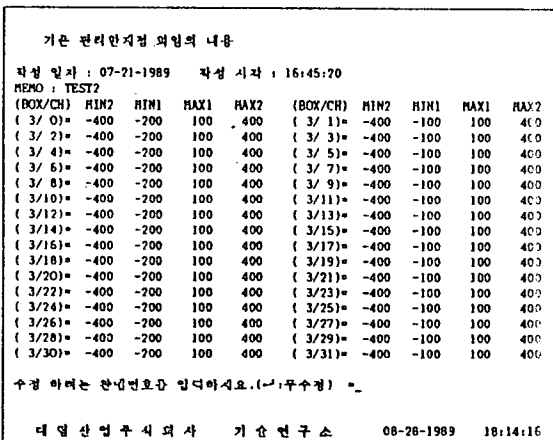


그림20. 관리한계점의 확인 및 수정

그림 19는 메뉴화면을 보여주고, 그림 20은 관리 한계점의 확인 및 수정화면이다.

다. 계측실행

계측은 초기치 파일에서 정해진 센서들에 대해서 계측하거나 임의의 개수의 센서에 대해 계측하여 얻어진 결과를 파일로 출력한다. 출력화일에는 간단한 메모를 입력시킬 수 있도록 하여 파일관리에 도움이 되도록 하였다.

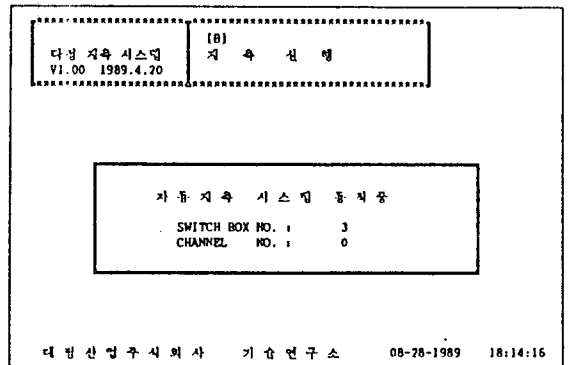


그림21. 계측실행시의 화면

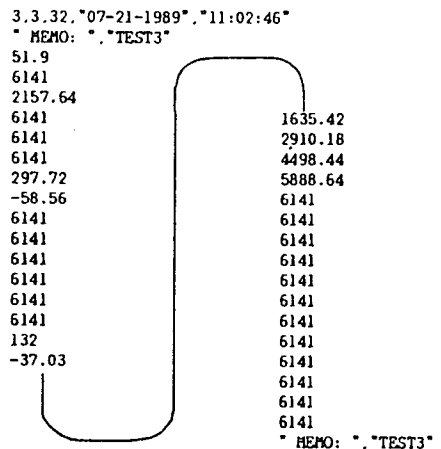


그림22. 계측데이터 출력화일의 내용

각 센서에 대한 계측은 스위칭 동작후 안정시간을 두었고 계측의 정확도를 높이기 위해 50회

2. 안전관리

안전관리는 데이터관리에 따라서 체크된 계측 데이터와 미리 정해진 관리기준치를 이용하여 안전확인 및 예측을 하므로써 공사에 반영시키는 것이다. 이것은 공사의 계속, 중단 등 중요 안전관리의 필요성을 판단하는 '일상안전관리'와 시공계획의 계속, 수정을 판단하는 '중점안전관리'가 있다.

표6은 관리항목을 나타낸다. 표6의 관리항목을 적절히 결합시켜 관리체제를 확립할 필요가 있는데 그림 29는 관리의 흐름을 나타낸다.

〈표6〉 관 리 항 목

대항목	중항목	소항목	관 리 사 항
관리계측 데이터에 기초한 안전관리	데 이 터 관 리	유지관리	계측체제의 확보
		신뢰성 관 리	계측치의 정도·신뢰성의 파악
	안전관리	일상안전 관 리	안전성의 판단 굴착의 계속·정지 중점안전관리의 필요성
		중점안전 관 리	안전성·적정의 판단 시공계획의 계속·수정

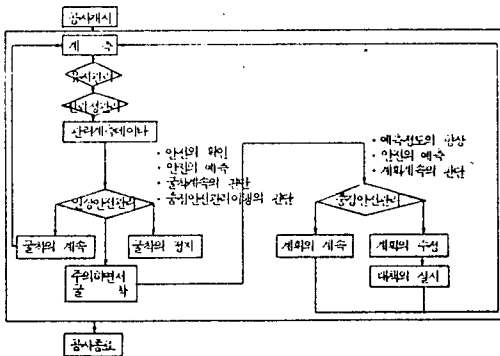


그림29. 관리의 흐름도

안전관리에 있어서는 현상을 파악하여 예측을 가능한 정확하게 하므로써 공사진척에 따른 적

절한 판단을 내릴 수 있게 된다. 이때 판단의 기준이 되는 것이 계측데이터와 관리 기준치이다.

계측데이터는 그 값의 크기와 변화에 의해 평가되므로 관리기준치는 하기의 2값을 설정할 필요가 있다.

가. 관리치 I (허용치에서 설정한 것)

이 값은 발생하고 있는 계측치의 안전율을 파악하는 기준이 된다. 토류부재의 계측 항목별 허용치와 그 신뢰성을 표7에 나타내었다.

〈표7〉 허용치 일람표

A, B, C는 신뢰성의 정도를 나타냄(A는 신뢰성이 높다)

계측항목	허용치의 구분		허용치			비 고
	계측의 파기능, 미관 등에 대한 안전성 등에 대한 허용치		합격차수별			
	허용치	허용치	A	B	C	
토류부재	축압	○			○	벽체·지보공 파쇄시의 요양(실제용도양)
	수압	○			○	벽체·지보공 파쇄시의 수압(실제용수압) 주변구조물에 영향을 주지 않는 지반수압 (압밀계산수위)
	사출력	○			○	중기비용 용역도
	안정	○			○	본상구조물에 대한 크리언 주변구조물에 영향을 주지 않는 변위량 (기동해상발계치)
주보공 용력	○			○	중기비용용역도	

○ : 주변구조물의 소유자로부터 규정이 있는 장소

나. 관리치 II (예측계산에 의해 계산된 것)

이 값은 발생될 계측치의 최대치크기, 발생위치, 및 변화방향을 나타내는 것이며 예측정도를 파악하는 기준이 된다.

그러나, 관리치 I, II는 모든 항목에 대해 설정할 수 있는 것은 아니다. 관리치 I, II가 설정될 수 있는 항목(예를 들면, 토류벽의 휨모멘트)에 대한 일상관리를 안전율과 예측정도를 판단의 기준으로 한다.

안전율(관리치 I/계측치)이란 관리치 I 과 계측치를 비교한 값으로, 발생하고 있는 계측치의 안전성을 파악하는 것이다.

또한 예측도(관리치 II/계측치)는 관리치 II와 계측치를 비교한 값으로 계측치가 예측치에 따라서 거동하고 있는가를 파악하는 것이다.

안전율이 충분히 확보되는 경우에는 예측정도가 다소 나빠져도 문제는 안되지만, 안전율이 적은 경우는 예측정도가 높아야 적절한 판단을 할 수 있다.

이 외에도 계측치에 관한 정상적인 거동을 사전에 충분히 파악하여 이상한 데이터의 식별이 가능하도록 하여야 한다.

표 8은 토류벽의 휨모멘트에 관한 판단기준을 보여준다.

〈표 8〉 토류벽의 휨모멘트 안전판단 기준

판 단 지 표			대 처	
a. 안전율 관리치 I 계측치(안전확인)	b. 예측정도 관리치 II 계측치(안전예측)	c. 정상적 지표 일반 적인 계측치의 격동과 비교	굴착의 계속 또는 정지	중점안전관리의 필요성
2.0이상	0.5이상 0.5이하		계 속	중점안전관리
2.0~1.2	0.65이상	안 정 불안정변화	계 속	중점안전관리
	0.65이하	안 정 불안정변화		
1.2~1.0	0.8이상	안 정 불안정변화	계 속	중점안전관리
	0.8이하			
1.0이하			중 단	중점안전관리

VI. 맺 음 말

이상, 도심지 근접시공의 합리적인 계측관리를 실시하기 위해서 실시해야 할 사항을 개략적으로 시술했었다. 이와같은 계측관리를 실시함으로써 다음과 같은 효과가 기대될 수 있다.

(1) 안전의 확인, 예측에 의해 보다 안전한 시공을 할 수 있다.

(2) 예측정도의 향상은 과설계된 부분의 설계 삭감에 의해 보다 경제적인 시공을 할 수 있도록 한다.

(3) 계측관리데이터는 차후 토류벽공사의 귀중한 자료가 되어 보다 안전하고 경제적인 설치 및 시공으로 연결된다.

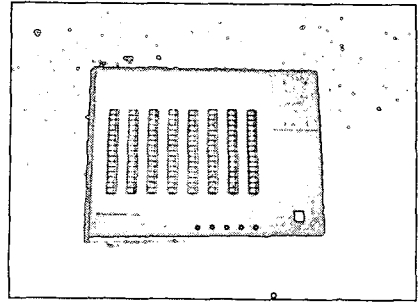


사진1. CONTROL UNIT DLCU-010

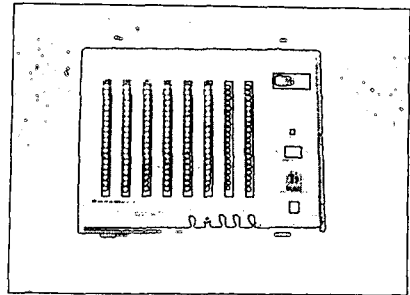


사진2. SWITCH BOX DLSB-010

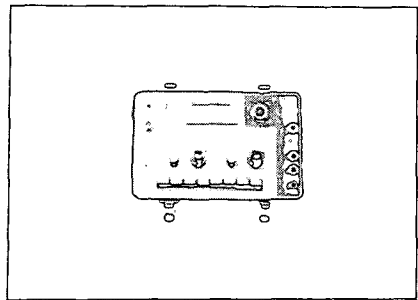


사진3. STRAIN AMPLIFIER P-3500

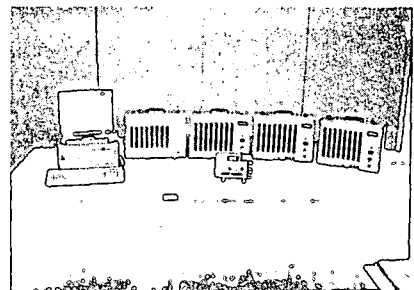


사진4. 자동다정계측 시스템