

KCS 11 10 15 : 2025

시공 중 지반계측

2025년 12월 24일 개정

<http://www.kcsc.re.kr>

KC CODE



국토교통부



건설기준 제정 또는 개정에 따른 경과 조치

이 기준은 발간 시점부터 사용하며, 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설 공사는 발주기관의 장이 필요하다고 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 기준을 그대로 사용할 수 있습니다.

건설기준 연혁

- 건설기준은 건설기술진흥법 제44조 및 같은법 시행령 제65조에 따라 건설공사의 안전성, 경제성, 성능 및 품질 확보를 위하여 제정 및 개정하였다.
- 건설기준은 건설기준 코드체계 전환(2016)에 따라 단행본 체계의 건설기준(설계기준, 표준시방서)간 중복·상충을 비교 검토하여 건설기준 코드 전환 정비하였다(국토교통부 고시 제 2016-438호, 2016년 7월 6일).
- 건설기준의 연혁은 아래와 같다.

건설기준	주요내용	제정 또는 개정 (년.월)
KCS 11 10 15 : 2016	• 건설기준 코드체계 전환에 따라 시공 중 지반계측에 해당되는 부분을 정비함	제정 (2016.6)
KCS 11 10 15 : 2018	• 한국산업표준과 건설기준 부합화에 따라 수정함	수정 (2018.7)
KCS 11 10 15 : 2021	• 안정성 강화와 건설기준 코드작성 지침에 따른 수정	개정 (2021.12)
KCS 11 10 15 : 2025	• 민원사항 반영 및 건설기준 코드작성 지침에 따른 수정	개정 (2025.12)

제 정 : 2016년 7월 6일

심 의 : 중앙건설기술심의위원회

소관부서 : 국토교통부 기술혁신과

관련단체 : (사)한국지반공학회

개 정 : 2025년 12월 24일

자문검토 : 국가건설기준센터 건설기준위원회

작성기관 : (사)한국지반공학회

- 국토교통부장관은 「훈령·예규 등의 발령 및 관리에 관한 규정」에 따라 고시일을 기준으로 매 3년이 되는 시점마다 그 타당성을 검토하여 개선 등의 조치를 하여야 한다.

목 차

1. 일반사항	1
1.1 적용범위	1
1.2 참고기준	1
1.3 용어의 정의	1
1.4 제출물	1
2. 자재	3
3. 시공	3
3.1 연약지반공사	3
3.2 비탈면 깎기공사	13
3.3 기초공사	18
3.4 상하수도 공사	21
3.5 터널공사	27
3.6 댐공사	31
3.7 하천제방공사	37
3.8 항만공사	40
3.9 건축공사	45
3.10 지하굴착공사	50
3.11 발파진동유발공사	57
3.12 가물막이 및 동바리 공사	62

1. 일반사항

1.1 적용범위

- (1) 시공 중 지반계측은 연약지반공사, 비탈면 절취공사, 기초공사, 상하수도 공사, 터널공사, 댐공사, 하천제방공사, 항만공사, 건축공사, 지하굴착공사, 발파진동유발공사, 가물막이 및 동바리 공사의 시공 중 안전관리를 위한 계측기기의 설치, 측정, 자료관리를 포함한다.
- (2) 위 (1) 이외의 목적에 대한 계측은 별도로 계획한다.

1.2 참고기준

1.2.1 관련 법규

- 급경사지 계측기기 성능검사 기준에 관한 규정

1.2.2 관련 기준

- KDS 11 10 15 지반계측

1.3 용어의 정의

- 설계예상값 : 설계에 의해 예상되는 변위, 응력, 하중 등
- 설계예상변위 : 설계조건, 보강계획에 의해 검토되는 통상의 설계에서 예상되는 변위
- 설계최대허용값 : 설계에서 관리대상물의 안정이 확보되는 범위 내에서 허용될 수 있는 변위, 응력, 하중 등
- 최대허용변위 : 관리대상물의 안전성이 보장되는 범위 내에서 최대로 허용할 수 있다고 판단되는 설계예상변위
- 관리대상물 : 설계 및 시공에 의해 발생할 수 있는 피해로부터 관리하여야 할 모든 시설물로서 영향범위 내의 도로, 철도, 제방, 옹벽, 사면, 건물, 지하매설관과 박스, 지하차도 등의 모든 시설물
- 굴착심도 : 계측이 실시되는 일시에 굴착되어 있는 심도
- 최종굴착심도 : 계획한 최종단계의 굴착을 완료한 상태의 굴착심도

1.4 제출물

1.4.1 계약 전 제출서류

- (1) 시스템 종합 규격 및 설명서
 - ① 이 기준의 각 항목별로 기술 규격이 일치하도록 작성하여야 한다.
- (2) 공급 자재 명세 및 자재별 규격
 - ① 제조사 교정 장비 공인성적서

- ② 제품 검정 또는 교정 성적서
- ③ 카다로그
- ④ 품질보증서
- ⑤ 품질 공인 인증서
- ⑥ 제품 및 부속자재 구비유무
- (3) 설계·제작 및 시험 계획을 포함한 종합 공정 계획표
- (4) 기자재 공급 내역
- (5) 기술 자료 및 도면
- (6) 설치를 위한 상세한 방법, 지침 및 도면

1.4.2 계약 후 제출서류 포함내용

- (1) 제작공정표
 - ① 설계, 제작, 조립, 시험, 교육 등의 계약 내용 제반에 대한 상세한 단계별 공정표
- (2) 제작기기 규격
 - ① 종류 및 규격
 - ② 도면 및 구조
 - ③ 제작 특기사항 및 특성
 - ④ 표준 도면
 - ⑤ 기타 필요한 사항
- (3) 설치 공사용 자료
 - ① 기기간 연결도 및 공급 케이블 내역
 - ② 기기 설치 환경 조건
- (4) 발주자가 제공할 자료
 - ① 시스템 설계 제작에 필요한 자료

1.4.3 계측기 설치 후 제출서류

- (1) 계측책임자는 계측시스템을 설치한 후 취급설명서와 운전설명서를 제출해야 한다.
- (2) 각 측정계기에 대한 취급설명서에는 적어도 다음 사항이 포함되어야 한다.
 - ① 작동이론
 - 가. 계기의 사용 목적
 - 나. 계기의 기본측정 원리
 - 다. 전형적인 적용을 나타내는 스케치, 블록 다이어그램
 - 라. 시스템의 측정범위
 - 마. 설치요령
 - ② 작동 및 측정순서
 - 가. 장비 측정준비 및 측정개시를 위한 세부적인 순서
 - 나. 사용자 및 장비에 관련된 주의사항

- 다. 계기 설치 후 초기치를 얻는 방법
- 라. 초기치 이후의 계측치를 얻는 순서
- 마. 측정치에 의한 원인 및 영향분석에 사용될 수 있도록 매 측정 시 기록하여야 할 시공 및 환경적 사항
- 바. 측정 시 필요한 기구 및 준비물의 목록
- 사. 현장 자료 기록 야장
- 아. 완성된 현장 자료 기록 야장의 견본
- 자. 차후 측정자료 분석 시 필요한 설치기간 중 기록하여야 할 사항
- ③ 보수 및 유지관리
- 가. 현장상태로의 보관에 관한 사항
- 나. 장비 교체시기 및 방법에 관한 사항
- 다. 현장점검 사항
- 라. 소모품을 포함한 예비부품의 추천목록
- 마. 유지관리 중 필요한 기구, 예비품, 준비물의 총목록

2. 자재

내용 없음

3. 시공

3.1 연약지반공사

3.1.1 일반사항

3.1.1.1 적용범위

- (1) 연약지반공사의 시공 중 지반계측의 적용범위는 이 기준의 1. 일반사항 1.1을 따른다.
- (2) 위 (1) 이외의 목적에 대한 계측관리는 별도로 한다.

3.1.2 재료

3.1.2.1 계측기기의 종류

- (1) 지중경사계(inclinometer)는 지반이 연약하여 지반변위가 예상되거나, 공사로 인해 영향을 주는 범위 내에 중요한 구조물이 있는 경우에 적용한다. 계측기기의 측정오차 한계는 $\pm 1.0 \text{ mm}$ 이내이어야 한다.
- (2) 지하수위계(ground water level meter)는 지하수의 변화가 예상되어 계측결과분석에 지하수위를 반영하여야 하는 경우에 적용한다.
- (3) 지표침하관(surface settlement)는 계측기기의 측정오차 한계는 $\pm 1.0 \text{ mm}$ 이내이어야 한

다.

- (4) 층별침하계(extensometer)는 연약지반 굴착공사와 인접하여 중요한 구조물이 매설된 경우에 적용하고, 공학적 특성이 다른 다층지반의 침하량을 측정할 경우에 적용한다. 계측기기의 측정오차 한계는 $\pm 1.0 \text{ mm}$ 이내이어야 한다.
- (5) 간극수압의 측정범위는 설계상의 작용 간극수압을 고려하여 계획되어야 하며, 기본적으로 1 MPa 이상을 측정할 수 있어야 한다.

3.1.3 시공

3.1.3.1 계측기기의 설치

- (1) 계측기는 설계 시 정해진 위치에 설치하는 것을 원칙으로 하나, 선 시공되어 시공관리에 활용되어야 하므로 이를 충분히 고려하여 필요시 공사감독자와 협의하여 설치위치를 변경 또는 추가할 수 있다.
- (2) 계측기기 설치 기준 공통
 - ① 계측기 설치를 위한 시추 작업 시 케이싱을 전부 설치하여야 하며, 시추공 내경은 전부 86 mm 이상이어야 한다.
 - ② 시추장비는 지반에 평행하게 설치할 수 있도록 X, Y, Z축으로 1° 이내로 조정 가능하여야 하고 시추작업 동안 연직도를 1° 이내로 유지할 수 있는 성능을 가진 장비를 사용한다. 또한 장비의 성능에 대하여 공사감독자의 사전 승인을 받아야 한다.
 - ③ 계측기 매설위치는 천공 전에 측량을 실시하고 도면에 지반조사 위치, 계측기 설치 위치 등의 측량성과와 위치를 표시하여 공사감독자의 승인을 받아 결정하여야 하며, 이 도면과 측량 성과는 훼손되지 않도록 보관, 관리하여야 한다.
 - ④ 간극수압계와 지하수위계 설치공 내에 충전하는 모래는 No.200체(0.08 mm) 통과량이 5 % 이하인 모래를 사용하여야 한다.
 - ⑤ 간극수압계 팁을 싸는 필터의 간극크기 규격은 $80 \mu\text{m}$ 이하이어야 한다.
 - ⑥ 간극수압계 팁을 싸는 필터에 넣는 모래의 입경은 $80 \mu\text{m}$ 이상이어야 한다.
 - ⑦ 모래가 필터재로서 공 내에 투입되는 계측기기의 상단 1 m 는 그라우팅 시 벤토나이트 시멘트 믹스가 모래로 혼입되는 것을 방지하기 위해 벤토나이트 펠렛으로 충전하여야 하며, 벤토나이트-시멘트의 혼합비율은 주변지반의 강도와 변형계수가 일치되도록 공사감독자의 입회하에 시험배합하여 결정하고 시험배합 결과를 제출하여야 한다.
 - ⑧ 그라우팅 장비는 그라우팅 배출압력이 2.5 MPa 이상인 장비를 사용하여야 하며 장비의 성능에 대하여 공사감독자의 사전 확인을 받아야 한다.
 - ⑨ 조사 설계용역의 토질조사 지질주상도, 현장조사 및 사전조사 시추결과를 참조하여 계측기 설치심도 및 수량을 검토하여 공사감독자에게 보고하여야 하며, 공사감독자의 지시에 따라 계측기 반입과 설치를 하여야 한다. 또한 이에 따라 변경된 수량은 정산 처리한다.
 - ⑩ 각 계측기의 위치, 심도 및 종류별로 일련번호를 부여하고 명찰을 각 계측기에 부착하

여 관리하여야 한다.

- ⑪ 연약지반 공사에서 지반침하량이 당초 예상보다 과다하게 발생하는 경우가 많으므로, 현장여건에 부합하는 침하량을 예측하기 위해서는 적합한 형식의 계측기기를 선정하여야 한다.

(3) 지표침하판

- ① 현장에 반입된 지표침하판은 설치하기 전에 반드시 시방서 사양과 동일 여부를 공사 감독자의 검사를 받은 후 설치하여야 한다.
- ② 침하판은 반드시 흙쌓기 착수 전에 설치하여야 하며 원지반에 소량의 모래 또는 양질의 토사를 원지반에 부설하여 침하판이 수평으로 설치되도록 평평하게 골라주어야 한다.
- ③ 외부보호관과 내부 침하봉이 접촉될 시에는 파이프의 마찰로 인하여 측정오차가 발생할 수 있으므로 외부보호관 설치는 내부 침하봉에 간격유지를 위한 스페이서를 설치하여야 하며, 흙쌓기가 계획고까지 도달될 때까지 파이프를 동일한 방법으로 계속 연결하여 설치한다.
- ④ 침하봉과 외부보호관은 최종 흙쌓기 완료 시 흙쌓기 상부 표면 위로 적당히 노출시켜 측정에 지장이 없도록 하여야 한다.
- ⑤ 침하판이 설치되면 바로 수준측량에 의해 침하 전의 초기치를 측정한 후 반드시 공사 감독자의 확인을 받아 초기치로 사용하여야 한다.
- ⑥ 흙쌓기 시 침하판이 이동하거나 경사지는 것을 방지하기 위해 침하판 주위에 직경 2m, 높이 1m 정도로 조심스럽게 인력 흙쌓기를 먼저 하여 측정 시 오차가 발생하지 않도록 하여야 한다.
- ⑦ 침하판마다 일련번호를 표시한 명찰을 반드시 부착하여 침하판 일련번호 혼동으로 인한 측정오류를 방지하여야 한다.

(4) 지하수위계

- ① 샌드매트 포설 후 지표침하판 보호관에 붙여서 철사 또는 천테이프 등으로 고정시켜 설치하며, 샌드매트층에 설치한다.
- ② 피에조미터 팁에 모래주머니를 고정시키고 케이싱을 커플링으로 연결한다.
- ③ 팁이 PET(poly ethylene terephthalate) mat에 닿도록 삼입시키고 팁 상단에 두께 50 cm 이상의 모래를 부설하고, 설치가 완료되면 케이싱 상부에 보호마개를 설치한다.
- ④ 설치되는 케이싱의 상단에 케이싱의 총 연결 길이를 기입하여 설치하고 관리하여야 한다.
- ⑤ 지구 외에 설치되는 지하수위계는 부지 내 흙쌓기에 따른 지중응력의 영향이 없는 지역으로 통행에 지장이 없는 지역에 지하수위의 변화를 확인 할 수 있는 깊이로 시추하여 설치하며 모래로 그라우팅 한다.

(5) 지중경사계

- ① 안정관리 목적에 부합되는 측정방향을 설정하여 공사감독자의 승인을 받아야 한다.
- ② 회전 수세식으로 시추공 내경 86 mm ~ 116 mm 이상의 설치 공을 움직이지 않는 지층까지 천공한다. 움직이지 않는 지층은 설계서를 참고하여 정할 수 있다.

- ③ 줄자에 원형추를 연결하여 천공심도를 확인한다.
- ④ 천공 후 맑은 물로 깨끗하게 세척하여 슬라임을 제거하여야 한다.
- ⑤ 최초에 삽입되는 케이싱 단부는 엔드캡(end cap)을 써서 이물질이 케이싱 내부에 들어가지 않도록 한다.
- ⑥ 최초에 사무실에서 미리 수평변형량과 수직변형량을 고려하여 케이싱과 커플링을 조합하여 천공심도에 맞게 배열한다. 또한 몇 개의 케이싱과 커플링을 리벳이음(riveting)하고 고무테이프로 감아 봉인(sealing)처리한 후 각각에 대하여 번호를 연결된 케이싱에 기입하고 공사감독자의 검측을 받은 후, 현장에 반입하여 연결된 케이싱을 번호별로 설치 공 내에 케이싱의 홈의 방향을 맞추어 삽입하여야 하며 연결부에 리벳이음(riveting)과 봉인처리를 하면서 지지층(기반암)까지 케이싱을 설치한다.
- ⑦ 되메움 재료는 측정관 주위의 토질에 따라 채택한다.

가. 점토층: 시멘트 벤토나이트용액

나. 자갈층: 모래

다. 풍화암층: 시멘트 그라우팅

- ⑧ 상단부에 마개를 씌우고 계측기 보호 펜스를 설치하여 파손을 방지하여야 한다.
- ⑨ 그라우팅재가 양생된 후 침하된 부위에 다시 그라우팅재를 채운다.
- ⑩ 되메움 양생이 완료되면 측정공 주위에 상단면 $0.4\text{ m} \times 0.4\text{ m}$, 하단면 $1.0\text{ m} \times 1.0\text{ m}$, 깊이 0.3 m 로 터파기하고 보호용 콘크리트 타설 후에 보호 박스를 깊이 20 cm 를 콘크리트 속에 삽입시킨 후 양생시켜 계측용 패드(pad) 및 보호 박스를 설치한다.
- ⑪ 초기치를 측정한다.

(6) 간극수압계

- ① 회전 수세식으로 시추공 내경 $86\text{ mm} \sim 116\text{ mm}$ 이상의 설치 공을 계획심도까지 케이싱을 설치하면서 천공하며, 크롤러 드릴을 사용하여서는 안 된다.
- ② 피에조미터 팁을 설치할 부근의 공벽 케이싱을 제거한 후 슬라임이 없도록 맑은 물로 깨끗이 세척하여야 하며, 이때 공기를 이용하여 청소하여서는 안 된다.
- ③ 모래를 피에조미터 팁 아래에 20 cm 이상 채운다.
- ④ 줄자에 원형추를 연결하여 천공심도를 확인한다.
- ⑤ 간극수압계 팁을 24시간동안 물로 포화시켜 팁에 있는 기포를 제거하고 계측기 카탈로그에서 제시하는 방법으로 초기 값을 읽어 기록한다.
- ⑥ 포화된 간극수압계를 시험공에 투입하여 계측기기의 이상 유무 및 소정의 정밀도를 확인하여 공사감독자의 승인을 받은 후, 물속에 잠겨있는 간극수압계 팁을 물에 잠겨있는 채로 현장에 운반하여 포화된 패키지(package)나 필터백(filter bag)에 넣어 소정의 심도에 간극수압계를 설치한다.
- ⑦ 간극수압계 상부 20 cm 이상 모래를 채우고 다져 투수층을 형성한다.
- ⑧ 케이싱을 1 m 정도 제거한 후 모래층으로 벤토나이트 그라우팅액의 침투를 방지하기 위하여 모래층 상부에 두께 100 cm 의 벤토나이트 펠렛을 투입하고 다져서 벤토나이트 플러그(plug)를 만든다.

- ⑨ 케이싱을 제거하면서 그라우팅 호스를 이용, 시멘트 벤토나이트 그라우팅을 하여 지표면(sand mat층)까지 불투수층을 형성한다. 이때 벤토나이트와 시멘트의 혼합비율은 주변지반의 강도와 변형계수가 일치되도록 시험배합을 하여 결정한다. 그라우팅이 양생된 후 침하된 부위에 다시 그라우팅재를 채운다.
 - ⑩ 그라우팅을 실시하면서 과도한 수평변위를 대비하여 지중과 지표면의 케이블에 스네킹(snaking)을 주어 지반변형에 따른 케이블 단선을 방지하고, 또한 보호관을 공 내에 1m 이상 삽입하여 케이블 단선을 방지하여야 한다.
 - ⑪ 그라우팅액의 양생이 완료되고 벤토나이트 펠렛을 투입한지 최소 72시간 이상 경과한 후 초기치를 측정한다.
 - ⑫ 흙쌓기에 따른 케이블 보호를 위하여 지표면에서 케이블 스네킹(snaking)을 한 후 보호관에 넣어 흙쌓기 작업에 따른 케이블의 손상을 방지하여야 한다.
- (7) 층별 침하계
- ① 시추공 내경 86 mm ~ 116 mm 이상의 설치공 케이싱을 설치하면서 지지층까지 굴진한다.
 - ② 천공 후 맑은 물로 깨끗하게 세척하여 슬라임을 완전하게 제거하여야 한다.
 - ③ 줄자에 원형추를 연결하여 천공심도를 확인한다.
 - ④ 최초에 삽입되는 케이싱 단부는 선단 캡을 써서 이물질이 케이싱내부에 들어가지 않도록 한다.
 - ⑤ 현장 사무실에서 미리 수평변형량과 수직변형량을 고려하여 케이싱과 커플링을 조합하여 천공심도에 맞게 배열한다. 또한 몇 개의 케이싱과 커플링을 리벳이음(riveting)하고 고무테이프를 감아 봉인 처리한 후 각각에 대한 번호를 연결된 케이싱에 기입하고 마그네틱 감지소자를 설치계획심도에 부착하여 공사감독자의 검측을 받은 후, 현장에 반입하여 연결된 케이싱을 번호별로 설치공 내에 조립된 케이싱을 그라우팅 호스와 함께 천공 홀 안에 삽입하여야 하며, 연결부에 리벳이음(riveting)과 봉인 처리를 하면서 지지층까지 케이싱을 설치를 한다.
 - ⑥ datum magnet는 하단에, spider magnet는 계측지점마다 부착시켜 신축성 있는 줄을 이용하여 상부까지 연결하고 지표면에는 plate magnet를 부착한다. 단, spider magnet은 그 지층에서 발생할 수 있는 침하량을 감안하여 telescopic 커플링 바로 하부에 spider magnet이 설치될 수 있도록 하여야 한다.
 - ⑦ 텔레스코픽(telescopic) 커플링의 신축량은 설계 지층별 침하량의 1.5 배 ~ 2배 이상이어야 하며 층간 압축 특성을 고려하여 배치하여야 한다.
 - ⑧ 층별 침하계 계측기기 설치 지점까지 케이싱을 제거하고 spider magnet에 연결된 줄을 제거시켜 천공홀에 정착되도록 한다.
 - ⑨ 시멘트 벤토나이트 그라우팅에 관련한 사항은 이 기준의 3.1.3.1(6)⑨를 따른다.
 - ⑩ 위의 ⑧, ⑨의 작업을 반복하여 각 지점에 magnetic 설치 및 그라우팅을 완료한 후 호스를 제거한다.
 - ⑪ 초기치를 측정한다.

3.1.3.2 계측기기의 보정

- (1) 계측기기는 설치 전과 설치 직후에 작동성능을 검사하고 필요시 보정하여야 한다.
- (2) 계측수행 중 계측값이 특이하게 변화되는 경우 계측기기, 측정장비 및 계측시스템의 이상 유무를 확인하고 필요한 조치를 강구하여야 한다.

3.1.3.3 계측기기의 보호

- (1) 계측기 설치 후 침하 또는 흩쌓기 작업 등으로 인한 기기의 파손 및 작동 불량 등의 계측 불량을 방지하기 위하여 보호 펜스를 설치하고, 잘 보이는 곳에 표지판을 설치하여야 한다.
- (2) 보호 펜스 설치는 계측기를 중심으로 사각형으로 배치하고 각각의 보호 펜스는 굵은 철사 등을 이용하여 이동이 되지 않도록 고정하여야 한다.
- (3) 계측기 및 보호 펜스의 유지관리책임자는 과업책임기술자로 하고, 유지관리책임자의 소속, 성명, 연락처 등을 명기하여 펜스에 부착 관리한다.
- (4) 외부적인 요인에 의하여 계측기 파손 발생 시 즉시 공사감독자에게 보고한 후 재설치하여야 한다.
- (5) 시공 및 관리부주의로 인한 모든 계측기의 망실은 수급인의 부담으로 재설치하여야 한다.

3.1.3.4 자료 전송 케이블 설치

- (1) 계측자료의 전송을 위한 케이블은 상시계측용으로 적합한 형식을 선정하고 케이블 포설 계획, 통신규격과 케이블 연결 및 접속에 대한 설치계획을 수립하여야 한다.
- (2) 계측기기 케이블은 계측기기 전용 케이블을 사용하여야 하며, 설치 시 매설지점에서 측정실까지 접속점이 없이 단일선으로 구성하여야 한다.
- (3) 계측기기의 침하발생으로 인하여 케이블에 인장력이 발생하지 않도록 여유 있게 배선하여야 한다.
- (4) 모든 계측기기의 배선은 계측용 배관을 설치하여 보호하여야 한다.
- (5) 계측용 배관은 케이블의 단면적이 **32 %**를 초과하지 않도록 한다.
- (6) 계측용 배관은 계측용 케이블을 단독으로 사용하여야 한다. 단, 계측용 케이블에 통신 장애를 일으키지 않는 타 케이블은 공사감독자가 확인하여 공동으로 사용할 수 있다.
- (7) 케이블 끝단은 방수처리를 하여 측정 시부터 유지관리 시까지 물이 침투하지 못하도록 하여야 한다.
- (8) 케이블의 끝부분에는 계측기기의 종류, 번호, 선 종류 등을 표시하여 서로 바뀌지 않도록 하여야 한다.
- (9) 모든 자료 전송장비는 향후 확장성 및 확대를 고려하여 계측시스템이 운영될 경우를 대비하여 전송장비 선정 시 호환성을 고려하여야 한다.

3.1.3.5 계측시스템 설치에 따른 검사 및 시험

- (1) 현장에 설치되는 계측기는 공인기관의 성적서 등을 첨부하며, 단, 발주처에서 인정하는 경우에는 제작업체 자체의 시험성적서로 대체할 수 있다.
- (2) 계측기는 반입 시 계측기기 점검 및 초기치 측정 등 장비실험을 실시한 후 사용하여야 한다.

3.1.3.6 계측기기의 관리

- (1) 현장에서 계측결과의 분석이 이루어지도록 관련 장비와 시스템을 현장 사무실 내에 설치하여야 한다.
- (2) 계측기기는 성능보존 및 계측결과의 신뢰성 확보를 위하여 제작사가 제시한 방법과 절차에 따라 관리하여야 한다.
- (3) 시방서에 규정된 대로 계측기를 설치하여 계측기의 고장, 오동작 등이 없도록 하여야 하며, 불량 계측기기 발생 시는 수급인의 부담으로 지체 없이 교체하여야 한다.
- (4) 계측기기가 차량 및 장비로부터 보호되도록 계측기 주변에 계측기 보호 펜스를 설치 유지관리하고 현장작업자들에게 주지시켜야 하며 계측기 주변 흙쌓기 시는 담당기술자가 현장에 위치하여 인력 부설하도록 감독하여야 한다. 만약, 부주의로 인한 계측기 손상이 발생할 경우 수급인 부담으로 지체 없이 복구하여야 한다.

3.1.3.7 계측의 수행

- (1) 계측수행 일반
 - ① 현장에 사용될 계측 장비는 현장실정 및 사용 목적에 적합한 장비를 선정, 구매하여야 하며, 계측기의 구입 및 설치 전에 각종 장비의 시방서를 공사감독자에게 제출하고 승인을 얻어야 한다.
 - ② 계측 관리와 관련된 계측기기 선정, 구입, 설치, 측정은 계측관리 전문업체 또는 이와 동등 이상의 능력을 가진 계측관리 전문가가 수행하여야 한다.
 - ③ 모든 계측기의 초기치는 공사감독자의 입회하에 계측을 실시한 후 즉시 정리하여 공사감독자에게 제출하여야 하며 공사감독자는 이를 반드시 확인하여야 한다.
 - ④ 수준측량은 원칙적으로 수준측량기로 수행하여야 하며 현장 여건상 부득이한 경우 광과기를 이용한 간접측량에 의한 수준측량을 실시할 수 있다. 또한 과업수행에 사용할 측량기는 성능 이상의 측량기를 사용하여야 하며 기계의 성능에 대하여 공사감독자의 사전 승인을 받아야 한다.
 - ⑤ 설치되는 모든 계측기기(침하판, 층별침하계 소자 설치심도 등)의 초기치를 측정할 때마다 수준측량을 실시하여야 하며, 모든 계측값은 EL(elevation)으로 표기하여 관리하여야 한다.
 - ⑥ 수급인은 모든 계측데이터를 기록으로 유지 관리하여야 하며, 계측값은 공사감독자에게 제출하여 그 성과를 인정받은 계측값에 대해서만 계측 결과로 인정한다.
- (2) 지표침하판

- ① 과업착수 즉시 계측기 배치도면을 참고하여 본 사업지구 외곽의 고정지반에 최대 500 m 이내의 간격으로 견고하게 부동의 임시 도근점(Temporary Bench Mark, 이하 T.B.M)을 설치하고, 과업부지 내에 소재한 1등 수준점으로부터 1등 수준측량 기준에 맞도록 왕복 수준측량을 실시하여 T.B.M의 표고를 계산하여 본과업의 수준측량 기준점으로 사용하여야 한다.
- ② 설치된 T.B.M을 기준으로 해당 T.B.M을 이용할 침하판 관리구역을 설정한다.
- ③ 측정은 T.B.M과 침하판에 연결된 로드 상단 사이의 고저차를 수준 측량한다.
- ④ 침하량은 초기 표고(Elevation, 이하 E.L)과 측정 E.L의 차이를 침하량으로 한다.
- ⑤ 침하판에 대한 매회의 수준측량은 관리구역 단위로 실시하고 해당 T.B.M에 폐합시켜 측량의 정밀도를 검정한 후 오차를 보정하여야 하며, 계측성과는 측량야장과 침하판관리대장을 정리하여 확인을 받아야 한다.
- ⑥ 매회의 측정완료 후 시간-침하량관계 그래프에 측정된 침하량을 기입하여 측정 이상 유무를 확인하여야 하며, 이상이 발견된 경우에는 즉시 재측정하여 부실측정이 되지 않도록 하여야 한다.
- ⑦ 침하판에 대한 매회 수준측량 시 흙쌓기 상부 표면도 동시에 측량하여야 하며, 인접 흙쌓기 현황도 확인하여 계측 데이터의 분석 및 역해석 시 활용되도록 하여야 한다.

(3) 지하수위계

- ① 재하 흙쌓기 전 원지반의 초기 지하수위는 확인시추조사 또는 매설단계 시추조사 공에서 측정한 지하수위를 사용한다.
- ② 초기치 및 계측값을 측정하여 공사감독자에게 제출하여 확인을 받아야 한다.
- ③ 지표침하판의 침하봉의 수준과 지하수위계의 케이싱 길이를 이용하여 측정치를 EL로 계산하여야 한다.
- ④ 과업 지구 외에 설치된 지하수위계는 케이싱 상단에 대한 수준측량을 일정기간마다 실시하여 케이싱의 침하 여부를 확인하여야 한다.

(4) 지중경사계

- ① 측정방향을 명찰에 표기하여 일정하게 유지하여야 하며 케이싱 하부에서 상부방향으로 0.5 m마다 측정하고 A방향(굴착방향), B방향(굴착진행방향)을 동시에 측정한다.
- ② 측정기기는 0도와 180도로 각각 회전하여 측정하여야 하며, A방향과 B방향에 대한 합성벡터도 표기하여야 한다.
- ③ 원시데이터(raw data) 및 계측값을 측정하여 공사감독자에게 제출하여 확인을 받아야 한다.

(5) 간극수압계

- ① 측정 시 간극수압계 설치지역의 연약층 심도의 2배 반경 이내에서 흙쌓기 중이거나 중장비가 있는 경우에는 측정을 실시하여서는 안 된다.
- ② 초기치 및 계측값을 측정하여 공사감독자에게 제출하여 확인을 받아야 한다.
- ③ 계측값은 지하수위 변동에 따른 지하수위 보정을 하여야 한다.

- ④ 온도는 각 계측기기의 계측값을 이용한다.
 - ⑤ 보정은 분석 S/W에서 자동적으로 이루어져야 한다.
 - ⑥ 침하에 따른 간극수압계 계측기기의 매설심도 변경을 층별 침하계 소자의 계측결과를 토대로 계산하여 계측값을 보정하여야 한다.
- (6) 층별 침하계
- ① 측정방법은 datum magnetic으로부터 spider magnetic, plate magnetic 순서로 상대적인 변위를 측정한다.
 - ② 측정단위는 mm 단위로 하여야 한다.
 - ③ 초기치 및 계측값을 측정하여 공사감독자에게 제출하여 확인을 받아야 한다.

3.1.3.8 계측빈도

- (1) 계측은 표 3.1-1을 참조하여 계측빈도와 기간에 의거하여 정해진 계측빈도로 계측을 수행한 후 계획된 일정에 따라서 계측 결과를 지체 없이 보고하여야 한다.
- (2) 계측의 빈도는 설계도면 및 시방서를 표준으로 하되 현장여건과 상황에 따라 가감할 수 있다.

표 3.1-1 연약지반 계측빈도

계측기	흙쌓기 완료 후 1개월까지	1 ~ 3개월	3개월 이후	비고
지중경사계	1일 1회	1주 1회	2주 1회	수동 계측
지하수위계	1일 1회	1주 1회	2주 1회	수동 계측
지표침하관	1일 1회	1주 1회	2주 1회	수동 계측
층별침하계	1일 1회	1주 1회	2주 1회	수동 계측
간극수압계	1일 1회	1주 1회	2주 1회	수동 계측

주 1) 상기 측정 빈도는 수동계측을 기준으로 제시되었으며, 측정빈도는 위험발생시 - 변형수렴 시 등 변형의 증감정도 및 변형량 기타 현장상황에 따라 조정, 수행할 수 있으며, 구간 특성에 따라 자동계측으로 변환할 수 있다.

- (3) 계측항목과 빈도는 현장 여건 및 지반조건을 감안하여 공사감독자의 확인을 받은 후에 조정할 수 있다.

3.1.3.9 계측 기간

- (1) 계측관리 종료 시기는 토질분야 특급기술자가 계측결과를 분석한 자료를 바탕으로 현장 상황에 따라 공사감독자와 사전 협의하여 결정하여야 한다.

3.1.3.10 계측결과의 정리 및 분석

- (1) 계측에 대한 기록결과의 성과분석 등은 토질 분야 특급기술자 이상의 전문기술자에

의해 실시하여야 한다.

- (2) 계측결과는 토질 분야 특급기술자가 분석하고 분석한 자료를 공사감독자에게 제출하여 시공성의 효과 및 시공수량 검증 등에 문제가 발생하지 않도록 최대한의 노력을 기울여야 한다.
- (3) 시공에 있어서는 각종 계측을 체계적으로 행하면서 계측결과를 직접설계 및 시공에 반영하여야 하며 계획 시의 설계 내용을 보다 현장에 적절한 것으로 변경시키면서 공사의 안전, 경제성은 물론 시공성을 향상하도록 관리하여야 한다.
- (4) 계측결과는 일상의 시공관리의 이용 및 장래 계획에 반영할 수 있도록 고려하여 정리하고 그 기록을 보존하여야 한다.
- (5) 지반조사 결과와 실측 데이터를 기초로 하여 각 단위관리지역별 확인 및 완료단계별로 시간계수, 압밀계수, 압축지수, 지반강도 변화 등을 산출하여 흠쌓기 단계별 흠쌓기시기, 흠쌓기량, 흠쌓기속도 및 침하기간 등을 조성공사 설계상 계획과 비교, 역해석을 실시하여 재하 흠쌓기 계획의 변경, 방치기간의 변경 등 대책을 수립하여 시공에 피드백하여야 한다. 이 때, 역해석은 현장의 여건을 고려하고 현장기술자와 공사감독자가 협의하여 수행여부를 결정하도록 한다.
- (6) 지중경사계의 계측결과는 계측시점의 흠쌓기 높이에 따른 관리기준치와 함께 측정심도별 시간경과에 따른 계측값의 변화를 그래프로 나타내어 분석하여야 한다.
- (7) 지반처리 및 흠쌓기 재하 후 예상한 압밀 촉진 효과가 얻어지는지 여부를 검토하고 실측결과가 그에 반하는 경우에는 그 원인을 조사 분석하고 대책을 수립하여야 한다.
- (8) 연약지반의 심도가 급변하는 구역은 잔류침하량의 차이로 인한 부등침하량을 산출하고 시설물과 지하매설물에 미치는 영향을 분석하여 관리한다.

3.1.3.11 계측 관리기준

- (1) 안정관리 지점은 흠쌓기 중 및 흠쌓기 완료 후 7일까지 기초지반의 변형량과 변형속도, 침하량과 침하속도를 상세하게 매일 계측 분석하여 안정된 상태에서 시공되도록 관리하여야 한다.
- (2) 연약지반 설계 시에는 복잡한 지층 구성상태를 대표화하고 대표적인 지반정수들을 적용하기 때문에 설계침하량과 실측침하량이 일치하지 않는 경우가 많다. 따라서 압밀이론에 관계없이 실측침하곡선에 적합한 곡선식을 도출하여 앞으로의 침하를 추정된 후 당초설계를 검토하여 실측침하와 불일치할 경우 이를 시공 및 설계에 다시 반영한다.

3.1.3.12 계측결과 보고

- (1) 계측담당자는 계측수행 후 계측결과를 지체 없이 매일 보고하여야 한다.
- (2) 측정한 자료의 변형량, 증감정도, 증감속도, 위치를 그래프 및 요약 정리하여 주간보고를 하여야 한다.
- (3) 측정한 자료의 변형량, 증감정도, 증감속도, 위치를 그래프 및 요약 정리하여 관리기준과 비교분석하여 월간보고를 하여야 한다.

- (4) 현저히 큰 변위가 발생하는 경우 또는 현장 여건상 긴급한 조치가 필요한 경우에는 수시 보고하여 대응할 수 있도록 하여야 한다.
- (5) 대상시설물의 계측이 종료되면 공사기간 중 모든 계측기록결과와 성과분석자료 등을 종합 정리하여 공사감독자에게 제출하여야 한다.

3.1.3.13 제출물

- (1) 제출물은 이 기준의 1.4를 참고하여 공사감독자와 협의를 통해 필요한 자료를 제출하여야 한다.

3.2 비탈면 깎기공사

3.2.1 일반사항

3.2.1.1 적용범위

- (1) 이 기준은 비탈면 깎기공사의 시공 중 지반계측에 적용한다
- (2) 깎기 비탈면의 시공 중 배면 구조물 보호를 위한 계측은 굴착공사 중 계측시방에 따른다.
- (3) 위 (1), (2) 이외의 목적에 대한 계측관리는 별도로 계획한다.

3.2.2 재료

3.2.2.1 계측기기

- (1) 지표 변위, 기울기, 균열(신축계, GPS)의 측정 계측기는 비탈면의 지표 변위를 확인하기 위하여 설치한다.
 - ① 지표변위계, 신축계, 지표균열 측정기, 지중경사계, 구조물·지반경사계는 급경사지 계측기기 성능검사 기준에 관한 규정에 적합한 것을 사용한다.
 - ② GNSS 수신기는 측량기기 성능검사 규정에 적합한 것을 사용한다.
- (2) 지중경사계는 비탈면의 활동으로 인한 지중 변위를 확인하기 위하여 설치한다. 천공할 때 지반의 물성 자료를 확보할 수 있도록 시추 조사 작업이 선행되어야 하며, 그 시추공에 계측기를 설치하는 것을 원칙으로 한다. 성능은 급경사지 계측기기 성능검사 기준에 관한 규정에 적합한 것을 사용한다.
- (3) 지하수위계는 비탈면의 자연수위 변위를 확인하기 위하여 설치한다. 성능은 급경사지 계측기기 성능검사 기준에 관한 규정에 적합한 것을 사용한다.
- (4) 간극수압계는 비탈면의 강우와 지하수위 변동에 따른 지반 내 간극수압 변위를 확인하기 위하여 설치한다. 성능은 급경사지 계측기기 성능검사 기준에 관한 규정에 적합한 것을 사용한다.
- (5) 강우량계는 비탈면의 지표에 설치하며, 기상측기의 검정기준에 대한 검사방법 및 공차의

기준에 적합한 것을 사용한다.

3.2.2.2 계측자료 획득 시스템

- (1) 붕괴 및 활동의 진행 특성, 비탈면 및 비탈면 시설의 중요도, 피해 발생 시 영향, 경제성, 계측빈도 등을 고려하여 계측자료 획득 시스템을 선택하여야 한다.
- (2) 비탈면 붕괴 및 활동 등에 의한 피해를 미연에 방지하거나 최소화하기 위해서는 조기에 징후를 감지하는 것이 중요하고, 모니터링과 동시에 신속하게 그 정보를 전달, 처리하는 것이 필요하며 계측자료의 수집, 처리, 해석까지를 일관하여 처리하는 자동화 기술을 사용하는 것이 바람직하다.

3.2.3 시공

3.2.3.1 계측기기의 설치

- (1) 지중에 매설되는 계측기기는 지반의 교란을 최소화할 수 있는 천공장비를 사용하여 설치하여야 한다.
- (2) 천공을 하여 설치하는 계측기기의 기준점은 예상되는 활동면 아래의 지반에 변위가 없다고 판단되는 견고한 지층까지 천공하여 설치하여야 한다. 비탈면의 변위를 계측하는 경우 기준점은 비탈면에 변형 발생 시 영향을 받지 않는 곳에 설치하여야 한다.
- (3) 사전 조사 결과 공사 중 변위가 발생할 것으로 예상되는 곳은 공사에 선행하여 설치하여야 하며, 계측기 특성상 비탈면 시공이 완료되지 않은 상태에서 설치가 어려운 것은 해당 비탈면의 시공이 완료된 직후 48시간 ~ 72시간 이내에 설치한다.

3.2.3.2 계측기기의 보정

- (1) 계측기기는 설치 전 및 설치 직후에 작동성을 검사하고 필요시 보정하여야 한다.
- (2) 계측수행 중 계측치가 특이하게 변화되는 경우 계측기의 이상 유무를 확인하고 필요시 보정하여야 한다.

3.2.3.3 계측기기의 보호

- (1) 설치된 계측기기 주변은 계측기기 관리 및 계측수행을 위하여 날씨 및 동식물의 생육으로 인한 악영향을 받지 않도록 충분한 보호조치를 취하여야 한다.
- (2) 강우량계는 설치되는 지점의 강우를 정확하게 측정하여야 하므로 낙엽 등의 영향을 받지 않는 곳을 선정하여 설치한다.

3.2.3.4 자료 전송 케이블 설치

- (1) 비탈면의 붕괴 특성상 비탈면의 계측은 실시간 계측이 필요하므로 계측자료의 전송을 위한 케이블은 상시계측용으로 적합한 형식을 선정하여야 한다.
- (2) 계측기기 케이블은 계측기기 제조사의 전용 케이블을 사용하여야 하며, 설치 시 매설

지점에서 측정실까지 접속점이 없이 단일선으로 구성하여야 한다.

- (3) 모든 계측기기의 배선은 계측용 배관을 설치하여 보호하여야 한다.
- (4) 케이블 끝단은 방수처리를 하여 측정 시부터 유지 관리 시까지 물이 침투하지 못하도록 하여야 한다.

3.2.3.5 계측시스템 설치에 따른 검사 및 시험

- (1) 계측시스템 설치에 따른 검사 및 시험은 이 기준의 3.1.3.5를 따른다.

3.2.3.6 계측기기의 관리

- (1) 설치된 계측기 주변은 계측기기 관리 및 계측수행을 위하여 날씨 및 동식물의 생육으로 인한 악영향을 받지 않도록 충분한 보호조치를 취하여야 하며 계측명, 위치, 초기 측정일자와 초기측정값이 기록된 표시판을 설치하여 관리하여야 한다.
- (2) 날씨 및 동식물의 생육, 밭과 또는 기타의 이유로 계측기가 손상되었을 경우에는 손상 계측기 인접부에 계측기를 재설치한 후 계측을 계속 수행하여야 한다.

3.2.3.7 계측의 수행

- (1) 계측수행과 관리는 계측전담반에 의하여 수행되어야 한다.
- (2) 계측책임자는 계측기기의 특성과 비탈면 거동을 이해할 수 있는 토목(토질 및 기초) 분야의 기술자이어야 한다.

3.2.3.8 계측빈도

- (1) 계측빈도를 일률적으로 하는 것은 부적절하며, 각각의 비탈면 상황, 현장 특성 및 전문가의 검토로 결정하여야 한다.
- (2) 계측빈도를 결정하는 방법은 일반적으로 비탈면 상태에 변동현상이 발생하여 시공 중 작업원의 안전 확보가 우선되는 경우 계측빈도를 늘리도록 한다.
- (3) 공사 완료 후 또는 대책공법 시공 후와 같은 경우에는 보통의 빈도로 하는 것을 기본으로 한다.
- (4) 비탈면 붕괴나 활동 등은 호우, 융설, 지진 등의 외적 요인으로 인해 발생하는 경우가 많으므로 이와 같은 요인이 발생된 경우에는 당초의 계측계획으로 설정된 계측빈도에 구애되지 않고, 호우, 지진후의 순회, 점검을 실시하는 동시에 계측빈도를 늘려서 비탈면 거동을 감시하여야 한다.
- (5) 수동계측을 하는 경우 비탈면 계측빈도는 표 3.2-1을 참조할 수 있다.

표 3.2-1 비탈면 수동계측 시 계측빈도의 목표

계측 대상	계측기	계측빈도의 목표(수동계측대상)				
		조사계획 단계	시공단계	유지관리 단계	효과판정	긴급 시
지표면 변동 (변형, 변위)	지표면 신축계	3 ~ 4회/년	1회/일 또는 1 ~ 2회/주	4 ~ 6회/년	1 ~ 2회/주 또는 1회/월	1 ~ 2회/일
	지반 경사계					
	전도 스위치	상시감시	상시감시	상시감시	상시감시	
	검지선식 낙석검지기					
	이동말뚝 측량	1회/일 또는 1 ~ 2회/주	4 ~ 6회/년	1 ~ 2회/주 또는 1회/월	1 ~ 2회/일	
	지표침하판 측량					
	GPS 측량	수신기를 설치하면 1 ~ 2회/일의 측정은 가능하다. 측정 빈도의 기준은 현재 없으나, 지표면의 수평방향 이동량 측정이 주가 되며, 이동말뚝 측량의 빈도와 같은 정도가 목표이다.				
지중 변동 (변형, 변위)	지중경사계	3 ~ 4회/년	1회/일 또는 1 ~ 2회/주	4 ~ 6회/년	1 ~ 2회/주 또는 1회/월	1 ~ 2회/일
	고정식 지중경사계					
	지중변위계					
작용외력	토압계		1회/일 또는 1 ~ 2회/주	4 ~ 6회/년	1 ~ 2회/주 또는 1회/월	1 ~ 2회/일
	하중계					
내부응력	변형게이지					
	록볼트, 네일링 축력계					
구조물의 변형, 변위	구조물 표면경사계		1회/일 또는 1 ~ 2회/주	6 ~ 12회/년	1 ~ 2회/주 또는 1회/월	1 ~ 2회/일
	광파측량법					
	지중경사계					
	크랙 게이지					
변형 (열화도)	열적외선 영상법 (리모트센싱 수법)		필요시	필요시	필요시	필요시

계측 대상	계측기	계측빈도의 목표(수동계측대상)				
		조사계획 단계	시공단계	유지관리 단계	효과판정	긴급 시
지하수변동 수압 변동	지하수위계	자기기록 매일 관측	자기기록 매일 관측	자기기록 매일 관측	자기기록 매일 관측	자기기록 매일 관측
	간극수압계					
기상자료	우량계	자기기록 매일 관측	필요시 관측	필요시 관측	필요시 관측	필요시 관측
	적설량계	필요시 관측				
지하수 배수효과	유량계	자기기록 매일 관측	자기기록 매일 관측	자기기록 매일 관측	자기기록 매일 관측	자기기록 매일 관측
※ 해빙기·우기·태풍 등의 이상 기상 시나 지진 시 에는 계측빈도를 늘려야 한다.		사 전 조 사 의 결과에서 특 히 관측이 필요한 장소 의 위험도 판정을 목적	공사에 선행 하여 현장계 측을 하며, 대책공 시공 이나 공사의 안전을 확보	보 전 대 상 물 이나 인명의 안전 확보를 위해 긴급대 피 등의 조 치를 목적	비 탈 면 붕 괴 대책공 시공 후의 대책 효과 확인을 목적	시공 도중이 나 유지관리 단계에 있어 서 붕괴나 비탈면의 변 동이 진행되 는 경우

3.2.3.9 계측기간

- (1) 계측기간은 계측의 목적, 비탈면 붕괴나 산사태 등의 위험상황, 붕괴형태, 계측기기의 특성, 계측기의 배치, 현장조건(특히 보전대상 구조물) 등을 고려하여 과부족이 없도록 설정하여야 한다.
- (2) 계측기간은 비탈면의 변상규모와 그 영향도, 보전대상 구조물의 중요도, 대책공의 유무, 비탈면 시설 등에 따라 결정하여야 한다. 비탈면의 변동 상황은 강우나 융설 등의 기상 요인의 영향을 크게 받으므로 그 동태를 정확히 파악하기 위해서는 필요 최적기간으로서 1년 정도 계측을 지속할 필요가 있다.
- (3) 사전 현장답사 및 암반 조사에서 불안정 또는 위험 비탈면으로 판단된 경우에는 공사 시공 전부터 개시한다(변형기구의 조사 및 해명, 비탈면 안정성 평가, 해석 결과와의 대비, 정보화 시공 등의 목적).
- (4) 대책공법 시공 후부터 개시한다(대책공법의 효과확인, 보조대책공법의 수립, 역해석 등의 목적).
- (5) 비탈면에 육안으로 확인되는 변형이 발생된 시기부터 개시한다(변형기구의 조사 및 해명, 비탈면 안정성 평가, 시공관리, 대책공법의 수립, 역해석, 붕괴예지 등의 목적).
- (6) 계측완료시기는 기본적으로 비탈면의 변동이 계측되지 않는 시점을 기준으로 하며, 그 후 비탈면에 융설, 우기, 태풍, 가을비 등이 미치는 영향을 판단하기 위해서 1년간 계측을 계속하고, 그 중간에 있어서도 변동이 보이지 않게 된 것을 확인하여 완료하여야 한다.

3.2.3.10 계측결과의 정리 및 분석

- (1) 모든 계측결과 기록지에는 사업명, 위치, 비탈면명, 측점, 계측항목, 계측위치, 측정일

시, 측정자 등을 기재하여야 한다.

- (2) 계측결과는 지반거동을 이해하고 비탈면 깎기공사 설계·시공·계측 경험이 풍부한 건설관련분야의 기술자에 의하여 분석되어야 한다.
- (3) 계측 분석결과 비탈면의 안전성에 문제가 있다고 판단되는 경우에는 이에 대한 적절한 응급조치를 취하고, 그 원인을 규명하여 보강 대책을 강구하여야 한다.

3.2.3.11 계측 관리기준

- (1) 계측 관리기준은 지반의 거동상태, 인접구조물의 안전한계와 암반 역학적인 조건에 의하여 결정되므로 기준적인 수치를 정확히 제시하기가 어렵기 때문에 이론해석 및 수치해석, 또는 유사조건 하의 시공실적을 참고하여 초기 시공실적을 토대로 관리기준을 수시로 수정해 가는 방법이 가장 합리적이고 실질적이다.
- (2) 계측 관리기준은 계측결과에 대해 안전한 수준을 의미하는 **것으로서** 설계예상치, 비탈면 특성, 현장상황, 피해발생 시 규모 등을 고려하여 계측 관리기준치를 설정하여야 한다.

3.2.3.12 계측결과 보고

- (1) 계측결과 보고는 이 기준의 3.1.3.12를 따른다.

3.2.3.13 제출물

- (1) 제출물은 이 기준의 1.4를 참고하여 공사감독자와 협의를 통해 필요한 자료를 제출하여야 한다.

3.3 기초공사

3.3.1 일반사항

3.3.1.1 적용범위

- (1) 기초공사의 시공 중 지반계측의 적용범위는 이 기준의 1.1을 따르며, 말뚝기초 및 케이슨 기초의 품질관리와 수직도를 관리하기 위한 계측에 적용한다.
- (2) 위 (1) 이외의 목적에 대한 계측관리는 별도로 한다.

3.3.2 재료

3.3.2.1 계측기기의 종류

- (1) 건전도 시험의 검측용 튜브의 직경은 30 mm ~ 50 mm로 하며, 재질은 강관 또는 이와 동등한 강도를 갖는 재질을 사용하여야 한다.
- (2) 변위계는 1/100 mm이하의 정밀도를 가져야 한다.

3.3.2.2 기타

- (1) 계측기는 설치되는 조건에 적합한 제품이어야 한다.

3.3.3 시공

3.3.3.1 계측기기의 설치

- (1) 변위계는 말뚝의 침하 및 진동에 의한 영향을 받지 않은 장소에 고정대를 설치하여야 한다.
- (2) 검측용 튜브의 내부는 녹 발생, 막힘 등의 손상이 없어야 하며, 연결 부위는 완전히 방수하여야 한다.
- (3) 검측용 튜브는 철근망 내에 필요한 수량을 결속하며, 전체 말뚝에 대하여 매설하여야 한다.

3.3.3.2 계측기기의 보정

- (1) 계측기기는 설치 전 및 설치 직후에 작동성을 검사하고 필요시 보정하여야 한다.
- (2) 계측수행 중 계측치가 특이하게 변화되는 경우 계측기의 이상 유무를 확인하고 필요시 보정하여야 한다.

3.3.3.3 계측기기의 보호

- (1) 계측기기는 계측하는 시간동안 각종 건설장비 및 작업자에 의해 영향을 받지 않도록 보호하여야 한다.

3.3.3.4 자료 전송 케이블 설치

- (1) 계측기기 케이블은 계측기기 전용 케이블을 사용하여야 하며, 설치 시 매설지점에서 측정실까지 접속점이 없이 단일선으로 구성하여야 한다.

3.3.3.5 계측시스템 설치에 따른 검사 및 시험

- (1) 계측을 위한 설치 공사 후 조정 및 시험을 완료하고 시운전 시험을 실시하여야 한다.

3.3.3.6 계측기기의 관리

- (1) 계측하는 시간동안은 계측기기는 각종 건설장비 및 작업자에 의해 영향을 받지 않도록 관리하여야 한다.

3.3.3.7 계측의 수행

- (1) 말뚝박기
 - ① 말뚝박기의 종료를 위한 최대 타격횟수를 측정하기 위한 계측을 실시하여야 한다.
 - ② 말뚝박기 종료 시 동적지지력공식에 의해 지지력을 산정할 수 있도록 리바운드를 계

측하여야 한다.

(2) 건전도 및 연직도

- ① 검측용 튜브의 막힘 여부 및 선단깊이를 측정하여 경로별로 검측 심도를 확인한다. 튜브 간 선단 위치의 차이가 심할 경우 선단부에 대하여 별도의 검측을 실시한다.
- ② 말뚝의 선단부로부터 발신센서와 수신센서를 말뚝 길이 방향과 직교하는 동일 평면상에 놓이도록 동시에 끌어 올리면서 연속적으로 측정한다.
- ③ 설치된 검측용 튜브의 개수별로 조합 가능한 모든 경로에 대하여 측정을 실시한다.
- ④ 검측이 완료 된 후 공사감독자의 검사에 대한 판정이 있을 때까지 이물질이 들어가지 않도록 튜브에 보호 덮개를 설치하여야 한다.
- ⑤ 기성말뚝의 연직도는 1/100 이내로 하고, 기성말뚝 시공 후 평면상의 위치가 설계도서의 위치로부터 $D/4$ (D 는 기성말뚝의 직경)와 100 mm 중 큰 값 이상으로 벗어나지 않아야 한다.

(3) 케이슨기초의 침하

- ① 케이슨의 침하도중 케이슨의 경사를 실시간 계측하여야 한다.
- ② 침하 중 극심한 편심 및 경사가 발생한 경우에는 즉시 그 원인을 조사하여 공사감독자에게 보고하고, 그 대책을 협의한 후 시공하여야 한다.

3.3.3.8 계측빈도

- (1) 말뚝의 품질관리를 위한 계측은 설계도면에 제시되어 있는 빈도로 실시한다.
- (2) 케이슨기초의 기울기는 각 세그의 침하 시종점뿐만 아니라 침하 중에서도 케이슨의 경사를 파악할 수 있을 정도로 계측빈도를 결정하여야 한다.

3.3.3.9 계측결과의 정리 및 분석

- (1) 계측이 완료되면 시공자는 해당분야 전문기술자의 검토를 받아 즉시, 각 시험말뚝에 대한 시험보고서를 공사감독자에게 제출하여야 한다.

3.3.3.10 계측 관리기준

- (1) 계측 관리기준은 공사시방서에 명시되어 있는 품질관리기준에 의한다.

3.3.11 계측결과 보고

- (1) 계측결과 보고는 이 기준의 3.1.3.12를 따른다.

3.3.3.12 제출물

- (1) 제출물은 이 기준의 1.4를 참고하여 공사감독자와 협의를 통해 필요한 자료를 제출하여야 한다.

3.4 상하수도 공사

3.4.1 일반사항

3.4.1.1 적용범위

- (1) 상하수도 공사의 시공 중 지반계측의 적용범위는 이 기준의 1. 일반사항 1.1을 따르며, 상하수도 시공 중의 안전관리 및 품질관리를 목적으로 한다.
- (2) 위 (1) 이외의 목적에 대한 계측관리는 별도로 한다.

3.4.2 재료

내용 없음

3.4.3 시공

3.4.3.1 계측기기의 설치

- (1) 설치 개요
 - ① 계측책임자는 계측기기의 제작사가 제공한 지침서에 명시된 절차에 따라서 정확하게 기기를 설치하여야 한다.
 - ② 설치된 계측기기는 공사 또는 기타의 영향으로 손상되지 않도록 보호하여야 한다.
- (2) 누수량 측정장치는 800 mm 미만 하수관(오수관) 중 관경별로 50 % 이상에 대하여 되메우기 전에 설치하여야 한다.
- (3) 수압측정 장치는 압력관로에 대하여 관부설 후 되메우기 전에 설치하여야 한다.
- (4) 방사선 투과장치는 강관배관 용접 후에 설치하여야 한다.
- (5) 초음파 탐상측정 장치는 강관배관 용접 후에 설치하여야 한다.
- (6) 용접부 압력측정 장치는 강관 내·외면 용접이 끝난 후에 설치하여야 한다.
- (7) 전위측정 장치는 상수도관 부설 후 전식방지 대책이 필요한 곳에 설치하여야 한다.
- (8) 흐름분포 및 손실수두 측정장치는 하부집수장치 공사 후에 설치하여야 한다.
- (9) 허용 내하력 측정장치는 장비조립 완료 후 설치하여야 한다.

3.4.3.2 계측기기의 보정

- (1) 계측기기는 설치 전 및 설치 직후에 작동성을 검사하고 필요시 보정하여야 한다.
- (2) 계측수행 중 계측치가 특이하게 변화되는 경우 계측기의 이상 유무를 확인하고 필요시 보정하여야 한다.

3.4.3.3 계측기기의 관리

- (1) 계측기기는 성능보존 및 계측결과의 신뢰성 확보를 위하여 제작사가 제시한 방법과 절차에 따라 관리하여야 한다.

- (2) 발과 또는 기타의 이유로 계측기가 손상되었을 경우에는 손상 계측기 인접부에 계측기를 재설치한 후 계측을 계속 수행하여야 한다.

3.4.3.4 계측의 수행

(1) 개요

- ① 계측수행과 관리는 계측전담반에 의하여 수행되어야 한다.
- ② 계측책임자는 계측기기의 특성과 상하수도 분야의 경험이 풍부한 건설관련분야의 특급기술자나 강재 비파괴 전문기술자이어야 한다.

(2) 누수량 측정

- ① 관저의 낮은 쪽에 고무마개(cylinder type)를 설치한다.
- ② 컴프레서를 사용하여 공기를 고무마개 내부에 주입시킨다.
- ③ 관의 이동이나 고무마개가 수압에 밀리지 않도록 버팀목을 철저히 설치한다.
- ④ 관로의 높은 쪽에 고무마개(air release type)를 설치(공기 빠지는 파이프는 위쪽, 물주입 파이프는 아래쪽)하고 공기를 주입시켜 고정시킨다.
- ⑤ 물탱크와 물주입 파이프를 호스로 적절히 연결한다.
- ⑥ 수직시험관과 공기 빠지는 파이프에 호스를 연결시킨다(수직시험관의 위치는 관 내부 상단부분에서 수직시험관 물수두까지 1m로 한다.).
- ⑦ 물주입 파이프와 공기 빠지는 파이프에 부착된 밸브를 열고 물탱크의 물을 관저 내부에 기포가 차지 않도록 서서히 채운다.
- ⑧ 관저 내부에 물이 차기 시작하여 공기 빠지는 파이프에 물이 나오기 시작하면 약간의 물을 빼낸 후 공기 파이프에 부착된 밸브를 잠근다.
- ⑨ 관저 내에 물을 계속 주입시켜 수직시험관의 물이 넘치면 물주입 파이프의 밸브를 잠근다.
- ⑩ 관저가 포화될 때까지 최소 30분간 방치하여 수직시험관의 수두가 관저 내부 상단에서 1m를 유지하도록 물을 채운다(많은 양의 물이 계속 줄어드는 경우에는 작업을 중단하고 관저상태의 이상 유무를 점검하여야 한다.).
- ⑪ 물의 누수량 검사는 5분 간격으로 수직시험관 꼭대기까지 물을 채운 후 측정한다.
- ⑫ 누수시험결과는 준공서류에 첨부하여야 한다.

(3) 수압측정

- ① 수압시험을 위한 물의 주입에 앞서 관로를 임시로 되메우기하여 관로가 수압시험 중에 이동하는 것을 막아야 한다.
- ② 관로에 물을 주입할 때는 관내공기를 배제하면서 천천히 주입하여야 하며, 충수 중에 공기밸브 등에서 공기배제가 잘 되고 있는지 또는 관로에 이상이 있는지를 확인하여야 하며 누수장소에는 적절한 지수조치를 하여야 한다.
- ③ 관내 충수 후 적어도 24시간을 방치시켜 관내공기를 모두 배제하고 특히 시멘트 모르타르 등 라이닝이 충분히 포화된 다음 수압시험을 시행하며 규정수압을 24시간 유지하여 관로에 이상이 있는지를 확인함과 동시에 누수량을 측정한다.

- ④ 관경 800 mm 이상의 이음은 원칙적으로 공사감독자 입회하에 각 이음마다 내면에서 부터 테스트밴드(test band)로 수압시험을 한다.
- ⑤ 테스트밴드 수압시험은 0.5 MPa(N/mm²) 이상에서 5분간 유지하여 0.4 MPa(N/mm²) 이하로 수압이 내려가지 않아야 한다. 만약 수압이 내려가는 경우에는 다시 접합하고 수압시험을 하여야 한다.
- (4) 초음파 탐상시험
 - ① 현장용접 이음부의 초음파 탐상시험은 KS B 0817, KS B 0888, KS B 0896 및 KS D 0252에 따른다.
- (5) 방사선 투과 측정
 - ① 검사작업에 앞서 검사방법, 공정, 보고서의 작성 양식에 대하여 공사감독자의 승인을 받은 다음 작업을 시작한다.
- (6) 용접부 압력측정
 - ① 관 내외면의 용접이 끝나면 용접부위가 완전히 해열된 후 부착된 오물을 깨끗이 제거 하고 용접 개소 시험공에 압력계를 부착시킨다.
 - ② 압력계를 부착시킨 후 고압가스 압축가스통의 콕을 서서히 열어 압력계의 지침이 1.5 MPa(N/mm²)에 도달되도록 한다.
 - ③ 압력을 1.5 MPa(N/mm²)로 유지한 상태에서 10분 이상 경과한 후에 누설 유무를 관측 하고, 누기지점은 용착물을 완전히 제거한 후 재용접하고 시험을 반복한다.
 - ④ 기밀시험이 끝나면 부착된 압력계를 제거하고 용접 개소 시험공은 용접 처리한다.
 - ⑤ 현장 여건상 부득이 정해진 기밀시험 기간을 유지할 수 없는 경우에는 반드시 공사감독자의 지시에 따라 조치하고, 기밀시험을 합격한 부분에 대하여 1.5 MPa(N/mm²)를 유지한 상태에서 기록 사진을 촬영한 후 공사감독자의 지시에 따라 도복처리 한다.
- (7) 전위측정
 - ① 자연전위는 전기방식 대상물에 방식전류를 흘리지 않은 상태에서 측정하여야 하며 만 일 전류가 흘렀을 경우는 대상물에 유입된 전류의 영향이 완전히 소멸한 뒤에 측정하 여야 한다.
 - ② 방식전위측정은 전류를 흘리고 24시간 이상 경과한 후에 측정하여야 한다.
 - ③ 방식전위의 기준값은 포화 황산동 전극기준으로 -0.85 V 이하이어야 하고, 방식전위 하한값은 지하철도 등의 간섭영향을 받는 곳을 제외하고는 포화황산동 기준전극으로 -2.5 V이상이 되도록 하여야 한다.
 - ④ 방식전류에 의한 자연전위와의 최소 전위변화가 -300 mV 이하이어야 한다.
 - ⑤ 전기방지의 시험 및 검사에는 다음 사항이 포함되어야 한다.
- 가. KS C 1301, KS C 1302에 의한 절연저항측정
- 나. KS C 8536에 의한 내전압시험
- 다. KS D 0235 방식용 희생양극의 성능시험방법
- (8) 흐름분포 및 손실수두 측정
 - ① 하부 집수장치 흐름분포 측정(물)

가. 각 여과지의 하부 집수장치는 모든 오리피스가 이물질에 의해 막히지 않았는지 확인하고, 흐름의 분포가 균일한지 확인하기 위해 눈으로 볼 수 있는 배출흐름 분포시험을 받아야 한다.

나. 이 시험은 여재가 설치되기 전에 이루어져야 하며, 시험을 시작할 때 하부 집수장치는 그 높이의 대략 반 정도를 물로 채워야 한다.

다. 시험흐름속도의 평균 역세척 속도는 설계 시 제시된 속도 이상이어야 하며, 흐름속도는 눈으로 관찰할 수 있도록 약 2분 정도는 측정되어야 한다,

라. 흐름분포시험은 3회 반복 시행되어야 하며, 매 시험동안 각 오리피스로부터의 흐름뿐만 아니라 흐름이 끊어지는 부분 또는 끊는 부분이 있는지 관찰하여야 한다.

마. 시험 도중 발생된 문제점 등을 시정하여야 할 필요가 있는 경우 이에 따른 조치를 취하고 시정되었는지 시험을 다시 해 보아야 한다.

② 하부 집수장치 흐름분포 측정(공기)

가. 각 여과지의 하부 집수장치는 모든 오리피스가 이물질에 의해 막히지 않았는지 확인하고 흐름의 분포가 균일한지 눈으로 볼 수 있는 배출흐름 분포시험을 받아야 한다.

나. 시험도중 발생된 문제점을 시정하여야 할 필요가 있는 경우 이에 따른 조치를 취하고 시정되었는지 시험을 다시 해 보아야 하며, 여재가 설치된 후에 시험을 위해 하부 집수장치의 윗부분보다 약 30 cm 정도의 높이로 하부 집수장치를 깨끗한 물로 채워야 한다.

다. 시험을 위한 흐름속도는 공기와 물의 보통 역세척 속도에 대하여 2분 동안 측정되어야 한다.

라. 이 시험은 3회 반복하여야 하며 매 시험 동안 각 오리피스로부터의 흐름뿐만 아니라 흐름의 끊어지는 부분 또는 끊는 부분이 있는지 관찰하여야 한다.

마. 시험 도중 발생된 문제점들을 시정하여야 할 필요가 있을 경우 이에 따른 조치를 취하여야 하며 그러한 문제가 시정되었는지 시험을 다시 해보아야 한다.

③ 손실수두 측정

가. 시스템의 손실수두를 적어도 한 개의 여과지에 대해서 측정하여야 한다. 이 측정된 마찰손실은 하부 수로, 교차파이프, 하부 집수장치 및 여재 지지시스템 등에도 적용된다.

(9) 허용 내하력 측정

① 장비조립 완료 후 기기의 작동시험을 실시하여야 한다.

② 장비투입 시는 사전에 장비운반, 투입방법, 크레인 규모, 안전조치 등에 대한 세부계획이 포함된 장비반입 계획서를 작업구 굴착 2개월 전까지 제출하여야 한다.

3.4.3.5 계측빈도

(1) 누수량 측정은 관로 되메우기 전과 포장공사 후에 측정하여야 하며 빈도는 각 1회 이상 측정하여야 한다.

(2) 수압측정은 관로 되메우기 전과 포장공사 후에 측정하여야 하며 빈도는 각 1회 이상

측정하여야 한다.

- (3) 초음파 탐상측정은 강관배관 용접 후 되메우기 전에 1회 이상 측정하여야 한다.
- (4) 방사선 투과측정은 강관배관 용접 후 되메우기 전에 1회 이상 측정하여야 한다.
- (5) 용접부 압력측정은 강관 내·외면 용접이 끝난 후 되메우기 전에 1회 이상 측정하여야 한다.
- (6) 전위측정은 상수도관 부설 후 전위측정이 필요한 관로에 대하여 1회 이상 측정하여야 한다.
- (7) 허용 내하력 측정은 장비조립 완료 후 측정하며 1회 이상 계측하여야 한다.
- (8) 흐름분포 및 손실수두 측정은 하부집수장치 설치 후 여재포설 전에 여과지별로 시험 흐름속도와 손실수두를 1회 이상 측정하여야 한다.

3.4.3.6 계측결과의 정리 및 분석

- (1) 모든 계측결과 기록지에는 사업명, 위치, 시설명, 측정, 계측항목, 계측위치, 측정일시, 측정자 등을 기재하여야 한다.
- (2) 계측결과는 상하수도 분야 또는 해당분야의 경험이 풍부한 건설관련분야의 기술자에 의하여 분석되어야 한다.
- (3) 계측 분석결과 상하수도 시설에 영향이 있다고 판단되는 경우에는 이에 대한 적절한 응급조치를 취하고, 그 원인을 규명하여 항구적인 대책을 강구하여야 한다.
- (4) 계측이 종료되면 계측결과를 정리하여 공사감독자에게 제출하여 확인을 얻은 후 후속 작업을 진행하여야 한다.

3.4.3.7 계측 관리기준

- (1) 계측 관리기준은 현장 여건과 상황에 따라 관계 전문가 또는 관리청과 관리기관의 승인하에 변경하거나 조정할 수 있다.
- (2) 누수량 측정은 수직시험관의 물을 채운 후 10분 동안 누수허용수량 이상 수직시험관의 물이 줄지 않으면 합격으로 한다.
- (3) 수압측정 시 누수허용량은 관종, 관경, 이음형식 등에 따라 다르나 고무링을 이용한 소켓 접합방식의 경우 관경 10 mm, 연장 1 km에 대하여 50 L/일 ~ 100 L/일 정도를 표준으로 한다.
- (4) 방사선 투과측정 시 방사선 투과시험의 판정기준은 KS B 0845에 따라 판정하고 제1종 결함 및 제2종 결함의 3급 이상을 합격으로 한다.
- (5) 초음파 탐상측정을 이용한 결함의 평가는 모재의 두께에 따라 표 3.4-1의 A, B, C 값으로 구분되는 결함지시 길이와 최대 에코(echo) 높이의 영역에 따라 표 3.4-2에 의하여 평가하며, 결함의 평가점에 따라 3점 이하이고 결함이 가장 조밀한 용접부의 길이 30 cm당 평가점의 합계가 5점 이하인 것을 합격으로 한다.

표 3.4-1 초음파 탐상시험에 대한 결함지시 길이의 구분

결함지시 길이 구분 모재두께 (mm)	A	B	C
6 이상 18 이하	6	9	18
18 이상	t/3	t/2	t

주 1) t: 모재의 판 두께, 판 두께가 다른 맞대기 용접일 때에는 얇은 쪽의 두께로 한다.

표 3.4-2 초음파 탐상시험에 대한 결함의 평가점

결함지시 길이 최대 에코 높이 (mm)	A 이하	A 이상 ~ B 이하	B 이상 ~ C 이하	C 이상
영역 III	1점	2점	3점	4점
영역 IV	2점	3	4점	4점

(6) 허용 내하력 측정에 적용하는 추진방향 허용 내하력은 표 3.4-3과 같다.

표 3.4-3 추진방향 허용 내하력

호칭경	허용 내하력		유효 단면적 A (m ²)
	500(N/mm ²)	700(N/mm ²)	
800	23.0		0.1766
900	29.9		0.2297
1,000	37.7		0.2897
1,100	43.8		0.3365
1,200	53.1		0.4084
1,350	62.4		0.4800
1,500	79.4		0.6107
1,650	94.5		0.7270
1,800		149.3	0.8533
2,000		183.6	1.0494
2,200		221.5	1.2658
2,400		255.3	1.4590
2,600		299.7	1.7123

3.4.3.8 계측결과 보고

(1) 계측결과 보고는 이 기준의 3.1.3.12를 따른다.

3.4.3.9 제출물

(1) 제출물은 이 기준의 1.4를 참고하여 공사감독자와 협의를 통해 필요한 자료를 제출하여야 한다.

3.5 터널공사

3.5.1 일반사항

3.5.1.1 적용범위

- (1) 터널공사의 시공 중 지반계측의 적용범위는 이 기준의 1. 일반사항 1.1을 따르며, 터널 시공 중의 안전관리를 목적으로 한다.
- (2) 위 (1) 이외의 목적에 대한 계측관리는 별도로 한다.

3.5.2 재료

3.5.2.1 계측기기의 종류

- (1) 지표 및 지중침하계의 오차는 $\pm 1 \text{ mm}$ 이내이어야 한다.
- (2) 내공변위 및 천단침하계의 측정의 오차는 $\pm 1 \text{ mm}$ 이내이어야 한다.
- (3) 지중변위계의 측정 오차는 $\pm 0.1 \text{ mm}$ 이내이어야 한다.
- (4) 록볼트 축력계의 정확도는 0.1 kN 이상이어야 한다.
- (5) 쏫크리트 응력계는 0.01 MPa 이상의 정확도를 가져야 한다.
- (6) 막장전방 선행변위를 측정하기 위한 계측기기의 정밀도는 $\pm 0.1 \text{ mm/m}$ 이상이어야 한다.
- (7) 록볼트 인발시험용 center hole jack은 용량 30 kN 이상, 정밀도 5 kN 이하, 변위계이지의 정밀도는 $1/100 \text{ mm}$ 이하이어야 한다.

3.5.2.2 계측자료 획득 시스템

- (1) 일반적으로 계측관리의 자동화에는 기록지 또는 저장장치에 계측자료를 기록할 때까지를 자동화하고, 그 후의 처리는 별도로 컴퓨터로 실시하는 반자동 계측관리기법과 자료 수집, 해석, 그래프화까지를 유선, 무선으로 온라인화된 시스템으로 일관하여 실시하는 전자동 계측관리기법 및 상기의 두 가지 방법을 병용하는 기법으로 구분하며 계측자료 획득 시스템을 선정하여야 한다.

3.5.3 시공

3.5.3.1 계측기기의 설치

- (1) 지표 및 지중침하계
 - ① 지표 및 지중침하계는 설치위치로부터 터널직경의 3배에 해당하는 위치까지 터널의 막장이 도달하기 전에 초기치를 측정할 수 있는 시기에 설치하여야 한다. 단, 특수지반 등 지반조건상 터널굴진의 영향이 터널직경의 3배 거리 이상까지 미치게 될 것으로 예상되는 경우는 변위의 발생 전에 기기를 설치하고 초기치를 측정하여야 한다.

(2) 내공변위 및 천단침하계

- ① 내공변위 및 천단침하 측점은 실링 숏크리트(sealing shotcrete)가 타설된 직후 설치하고 다음 막장의 굴착이 진행되기 전에 초기치를 측정할 수 있도록 설치하여 터널 굴진에 따른 변위를 최대치로 측정할 수 있도록 하여야 한다.

(3) 지중변위계

- ① 지중변위계의 측점은 지반에 확실하게 고정되어서 지반변위가 충분히 반영되도록 설치하여야 한다.
- ② 지중변위계는 1차 숏크리트가 타설된 직후 설치하고 다음 막장이 진행되기 전에 초기치를 측정하여 터널 굴진에 따른 변위를 최대치로 측정할 수 있도록 하여야 한다.

(4) 록볼트 축력계

- ① 록볼트 축력 측정계는 1차 숏크리트가 타설된 직후 설치하고 지반과 충분히 부착된 후 다음 막장굴착이 진행되기 전에 초기치를 측정할 수 있는 시기에 설치하여 터널 굴진에 따른 축력변화를 최대한 측정할 수 있도록 하여야 한다.
- ② 록볼트 축력계는 지반에 확실하게 고정되어서 지반변위에 따른 측정 설치부의 축력변화를 충분히 반영할 수 있어야 한다.
- ③ 축력 측정용 록볼트의 재질, 규격, 충전재 등은 실제 시공되는 록볼트의 경우와 동일하여야 한다.

(5) 숏크리트 응력계

- ① 숏크리트 응력계는 숏크리트 타설 시에 설치하고 다음 막장굴진이 진행되기 전에 초기치를 측정하여 터널 굴진에 따른 숏크리트의 응력변화를 최대한 측정할 수 있도록 하여야 한다.

(6) 막장전방 선행변위계

- ① 선행변위 측정은 막장전방 지반의 침하 정도를 사전에 인지할 수 있도록 막장면의 굴진 전 터널 전방에 설치하여 초기치를 측정하여야 한다.
- ② 터널 내의 천단침하 측정과 동일한 선상에 설치하여 연직방향 침하 측정결과와의 상호비교가 가능하도록 하여야 한다.
- ③ 계측기의 천공각도는 천공 시 처짐각과 보조공법의 시행에 따른 간섭을 고려하여 상향 7° ~ 10° 정도로 천공하는 것이 바람직하며, 록볼트 또는 보조공법 등 터널 내의 작업에 의해 손상되지 않도록 하여야 한다.
- ④ 선행변위 측정을 통한 변위량의 계산은 천공 홀의 가장 안쪽(계측기 1번)을 기준점으로 누계변위로 계산하여야 하므로 계측기의 개당 설치길이는 변위발생으로 인한 오차가 발생되지 않도록 충분한 소요깊이 이상이어야 한다.

3.5.3.2 계측기기의 보정

- (1) 계측기기는 설치 전 및 설치 직후에 작동성을 검사하고 필요시 보정하여야 한다.
- (2) 계측수행 중 계측치가 특이하게 변화되는 경우 계측기의 이상 유무를 확인하고 필요시 보정하여야 한다.

- (3) 계측장비는 주기적으로 국가인증 검교정 기관 또는 이와 동등 이상의 자격을 갖춘 기관에서 검교정을 받는 것을 원칙으로 하나, 국내에 해당 검교정기관이 없거나 신기술에 의한 장비의 경우에는 해당 장비의 제조사의 매뉴얼에 따른다.

3.5.3.3 계측기기의 보호

- (1) 설치된 계측기기는 공사 또는 기타의 영향으로 손상되지 않도록 보호하여야 한다.

3.5.3.4 계측기기의 관리

- (1) 계측기기는 성능보존 및 계측결과의 신뢰성 확보를 위하여 제작사가 제시한 방법과 절차에 따라 관리하여야 한다.
- (2) 터널 내에 설치된 계측기 주변은 계측기기 관리 및 계측수행을 위하여 충분한 조도를 유지하여야 하며 계측명, 위치, 초기 측정일자와 초기 측정값이 기록된 표시판을 설치하여 관리하여야 한다.
- (3) 발파 또는 기타의 이유로 계측기가 손상되었을 경우에는 손상 계측기 인접부에 계측기를 재설치한 후 계측을 계속 수행하여야 한다.

3.5.3.5 계측의 수행

- (1) 계측의 수행과 관리는 시공자가 계측전담반을 직접 운영하거나 계측 전문업체에 위탁하여 수행할 수 있다.
- (2) 계측책임자는 계측기기의 특성과 터널굴진에 따른 지반 및 지보재의 거동을 이해할 수 있는 지반공학 또는 지질학 관련 분야를 전공한 기술자이어야 한다.

3.5.3.6 계측빈도

- (1) 내공변위, 천단침하, 지중변위 및 록볼트
- ① 내공변위 및 천단침하의 측정빈도는 표 3.5-1과 같이 변위속도 또는 막장거리에 근거하여 결정하되 변위 양상에 따라 조정한다.

표 3.5-1 내공변위 및 천단침하 계측의 측정빈도

측정빈도	변위속도	막장거리	비고
2회/일	10 mm/일 이상	0D ~ 1D	D는 터널 직경
1회/일	10 ~ 5 mm/일	1D ~ 2D	
1회/2일	5 ~ 1 mm/일	2D ~ 5D	
1회/주	1 mm/일 이하	5D 이상	

- (2) 지표 및 지중침하 빈도

- ① 지표 및 지중침하계의 측정빈도는 막장거리, 굴진속도, 지반 및 지보재의 거동 상태를 고려하여 결정하되 계측결과에 따라 다음을 표준으로 적절히 조정한다.

가. 막장 전방 3D ~ 막장 전방 2D 구간: 1회/2일

나. 막장 전방 2D ~ 막장 후방 1D 구간: 1회/1일

다. 막장 후방 1D ~ 막장 후방 3D 구간: 1회/2일

라. 막장 후방 3D ~ 변위 수렴 시까지: 1회/3일

마. 여기서 D는 터널직경을 말한다.

(3) 계측항목과 빈도는 현장 여건 및 지반조건을 감안하여 공사감독자의 확인을 받은 후에 조정할 수 있다.

3.5.3.7 계측기간

(1) 터널공사 중 계측의 측정기간은 계측기기 설치 후부터 계측값의 수렴이 확인될 때까지로 한다.

3.5.3.8 계측결과의 정리 및 분석

(1) 모든 계측결과 기록지에는 사업명, 위치, 터널명, 측점, 계측항목, 계측위치, 측정일시, 측정자 등을 기재하여야 한다.

(2) 계측결과는 측정일자, 경과일수, 막장거리(상반, 하반 구분), 초기치, 금회 변위, 누계 변위를 정해진 양식에 계측 항목별로 별도로 정리하여야 하며, '시간(경과일수)-계측치'와 '막장거리-계측치'를 그래프로 표시하여 계측치의 변화경향을 신속히 파악할 수 있도록 하여야 하며 그 결과를 후속작업에 활용할 수 있도록 하여야 한다.

(3) 계측결과는 계측책임자의 책임하에 지반거동을 이해하고 터널건설에 경험이 풍부한 지반공학 관련 분야를 전공한 기술자에 의하여 분석되어야 한다.

(4) 계측책임자는 당해 현장 또는 유사 현장에서 수행한 수치해석결과, 경험치, 타 계측결과 및 현장지반조건 등을 참조하여 분석하며, 계측치의 절대변화량 및 변화속도 등을 참고하여 계측관리기준치를 설정하고 그에 따라 안정성을 평가한다. 또한, 안정성 평가 및 대책공의 실시(지보패턴 변경 등)는 설계예상 변위에 근거한 관리기준의 적용시 단일항목의 결과만으로 평가하기보다는 관련된 계측항목(지보재 응력, 축력 등)을 종합적으로 고려하여 합리적인 대책을 강구하여야 한다. 이때 계측관리기준치는 공사감독자의 승인을 득하여 설정하도록 한다.

(5) 계측 분석결과 터널의 안전성에 영향이 있다고 판단되는 경우에는 공사감독자는 시공자에게 이에 대한 적절한 응급조치를 취하도록 하고, 그 원인을 규명하여 항구적인 대책을 강구하도록 한다.

(6) 계측이 종료되면 계측결과를 정리하여 공사감독자에게 제출하여 확인을 얻은 후 후속작업을 진행하여야 한다.

3.5.3.9 계측 관리기준

(1) 계측 관리기준은 지반의 거동상태, 인접구조물의 안전한계와 암반 역학적인 조건에 의하여 결정되므로 기준적인 수치를 정확히 제시하기가 어렵기 때문에 이론해석 및

수치해석, 또는 유사조건 하의 시공실적을 참고하여 초기 시공실적을 토대로 관리기준을 수시로 수정해 가는 방법이 가장 합리적이고 실질적이다.

- (2) 1차 관리기준은 공사관리를 위한 목표설정 기준이며, 2차 관리기준은 주변구조물에 영향을 미칠 수 있으므로 대비하라는 기준이고, 3차 관리기준은 터널 자체의 위험에 대비하라는 기준을 의미한다.

3.5.3.10 계측결과 보고

- (1) 계측결과 보고는 이 기준의 3.1.3.12를 따른다.

3.5.3.11 제출물

- (1) 제출물은 이 기준의 1.4를 참고하여 공사감독자와 협의를 통해 필요한 자료를 제출하여야 한다.

3.6 댐공사

3.6.1 일반사항

3.6.1.1 적용범위

- (1) 댐공사의 시공 중 지반계측의 적용범위는 이 기준의 1. 일반사항 1.1을 따르며, 댐 시공 중의 안전관리 및 품질관리를 목적으로 한다.
- (2) 위 (1) 이외의 목적에 대한 계측관리는 별도로 한다.

3.6.2 재료

3.6.2.1 계측기기의 종류

- (1) 댐체 표면에서 발생하는 외부변형을 측정하는 계측기기의 측정오차 한계는 $\pm 1.0 \text{ mm}$ 이내이어야 한다.
- (2) 댐체 내부에서 발생하는 침하량을 측정하는 계측기기의 측정오차 한계는 $\pm 1.0 \text{ mm}$ 이내이어야 한다.
- (3) 콘크리트 온도변화에 의한 무응력 변형율의 측정범위는 $3,000 \mu\epsilon$ 이상이어야 하며 최소측정치는 $0.1 \mu\epsilon$ 이하이어야 한다.
- (4) 표면차수벽의 비탈면에 설치하는 경사 계측기기는 $\pm 90^\circ$ 이상, 댐 중앙에 설치하는 수직경사 계측기기는 $\pm 50^\circ$ 이상을 측정할 수 있어야 한다.
- (5) 콘크리트 표면차수벽형 석괴댐의 경우 차수벽과 프린스 이음부의 3 방향별 변위를 측정하여야 하는 변위계의 측정범위는 최소 100 mm 이상이어야 하며, 측정오차의 한계는 $\pm 0.01 \text{ mm}$ 이내이어야 한다.
- (6) 콘크리트 차수벽의 응력을 측정하기 위한 계측기기는 3개를 1조로 설치하여 로제트

블록(rosette block)을 사용하여 0°, 45°, 90° 방향으로 설치하는 것을 원칙으로 한다.

- (7) 간극수압의 측정범위는 설계상의 작용 간극수압을 고려하여 계획되어야 하며, 기본적으로 1 MPa 이상을 측정할 수 있어야 한다.

3.6.2.2 계측자료 획득 장치

- (1) 댐계측은 공사 중 계측뿐만 아니라 유지관리계측까지 연계되어 피해를 미연에 방지하거나 최소화하기 위해서는 조기에 징후를 감지하는 것이 중요하고, 모니터링과 동시에 신속하게 그 정보를 전달, 처리하는 것이 필요하며 계측자료의 수집, 처리, 해석까지를 일관하여 처리하는 자동화 계측시스템을 사용하는 것을 원칙으로 한다.
- (2) 계측자료 자동화 획득 장치는 계측기로부터 계측자료를 원격계측실의 컴퓨터로 전송하여 원격컴퓨터에서 계측자료의 저장분석이 가능하여야 하며, 필요시 수동계측이 가능한 시스템으로 계획하는 것을 원칙으로 하여야 한다.
- (3) 계측자료 자동화 획득 장치는 각 지점의 계측기기를 원격지에서 원격 제어하여 계측의 빈도를 조정할 수 있도록 계획하여야 한다.
- (4) 계측자료 자동화 획득 장치를 사용하는 경우 안정적으로 계측자료를 획득, 저장, 송신할 수 있도록 전원공급장치를 설치하고 전압안정장치, 제습장치, 항온장치, 낙뢰 방지장치 등의 부속기기를 설치하여야 하며 필요한 경우 진동의 영향을 받지 않도록 방진장치를 계획하여야 한다.

3.6.3 시공

3.6.3.1 계측기기의 설치

- (1) 균일형 댐의 경우는 각 계측기기별 케이블 길이를 최소화하여 하류방향 측정실에 설치되도록 하며, 존형 댐의 경우는 케이블이 동일 존을 통과하여 좌안 또는 우안으로 설치되도록 하는 것을 원칙으로 한다.
- (2) 계측기와 회로 중계선 사이를 연결하는 유도선은 암석층, 토사층 또는 콘크리트 내에 매설되거나 노출되는 경우에도 각 계측기기의 정보를 정확하게 전달할 수 있도록 하기 위하여 댐 기초지반 및 댐체 매설용은 철선 등으로 보강하여야 하고, 인장이나 외력, 충격, 낙뢰 등에 대한 보강, 방수, 부식, 절연처리를 하여야 한다.
- (3) 댐체 또는 구조물에 매설되는 계측기와 유도선은 설치 후 즉시 검측하여 정상적 작동이 나타날 경우만 콘크리트 치기 또는 되메우기 공사를 진행하여야 한다.
- (4) 댐체 심벽에 설치되는 경사측정용 계측기기는 축조과정별로 각각 설치되어 연결되어야 하는데 기존 축조단계에서 설치된 튜브상단 중심은 수평과 수직도가 ± 1.0 mm의 정확도를 확보하여야 한다.
- (5) 댐체의 응력 및 변형 측정기기는 다음 방법에 준하여 설치하여야 한다.
 - ① 토압 측정기기를 설치하기 위해서는 최소 1m 이상의 트렌치 굴착을 하여야 한다.
 - ② 굴착하부의 최소 30 cm 심도는 수동 탬퍼 또는 램머로 다져야 하고 상부는 수개층으

로 나누어 완벽한 다짐을 확보하며 되메우기를 하여야 한다.

- ③ 굴착면의 경사는 1:1 보다 완만하게 하며, 토압을 측정하고자 하는 면은 돌출부가 없도록 평평하게 면고르기를 한 후 해당 계측기기를 설치하여야 한다.
- ④ 토압 측정기기의 측정면이 토압작용방향을 향하여 수직이 되도록 설치한 후 움직이지 않도록 고정하여야 한다.
- ⑤ 간극수압 측정용 팁은 설치 전 24시간 동안 정수에 담귀 놓고 직사광선을 받지 않도록 하여야 하며, 보관 후 케이블에 지시계를 연결한 후 읽음 값이 동일하게 나와 공극이 없다고 판단될 때 설치하여야 한다.
- (6) 콘크리트의 응력 및 변형 측정기기는 다음 방법에 준하여 설치하여야 한다.
 - ① 수직이음 변위 측정기기는 수직 이음부에 매설되도록 선행 콘크리트 타설 시와 후행 콘크리트 타설 시의 2단계로 매설하여야 한다.
 - ② 콘크리트 속에 묻히므로 용접 밀폐되어야 하고 부식방지처리를 하여야 한다.
 - ③ 콘크리트 응력측정을 위한 계측기기는 밀면이 콘크리트와 밀착되지 않도록 하여야 하며 콘크리트 타설로 인해 밀착면이 훼손되지 않도록 하여야 한다.
 - ④ 무응력 변형률 측정기기는 응력 계측기기와 같은 위치에 설치한다.
 - ⑤ 무응력 변형률 측정기기는 특별히 제작된 용기에 넣어 매설하되, 주위 콘크리트와 같은 온도, 습도 하에서 설치하여야 한다.
 - ⑥ 무응력 변형률 측정기기는 콘크리트 타설로 인해 측정기기가 접촉면으로부터 뜨지 않도록 하여야 하며 용기 내에 단계적으로 콘크리트를 타설하여야 한다.

3.6.3.2 계측기기의 보정

- (1) 계측기기는 설치 전 및 설치 직후에 작동성을 검사하고 필요시 보정하여야 한다.
- (2) 계측수행 중 계측치가 특이하게 변화되는 경우 계측기의 이상 유무를 확인하고 필요시 보정하여야 한다.

3.6.3.3 계측기기의 보호

- (1) 설치 후 계측기기의 일부가 노출되어 있는 계측기기는 공사용 장비나 사람에 의하여 훼손되지 않도록 적절한 보호 장치에 의하여 보호하여야 하고 잘 보이는 곳에 표지판을 설치하여야 한다.

3.6.3.4 자료 전송 케이블 설치

- (1) 계측자료의 전송을 위한 케이블은 상시계측용으로 적합한 형식을 선정하고 케이블 포설 계획, 통신규격과 케이블 연결 및 접속에 대한 설치계획을 수립하여야 한다.
- (2) 계측기기 케이블은 계측기기 전용 케이블을 사용하여야 하며, 설치 시 매설지점에서 측정실까지 접속점이 없이 단일선으로 구성하여야 한다.
- (3) 계측기기의 침하발생으로 인하여 케이블에 인장력이 발생하지 않도록 여유있게 배선하여야 한다.

- (4) 모든 계측기기의 배선은 계측용 배관을 설치하여 보호하여야 한다.
- (5) 계측용 배관은 케이블의 단면적이 32%를 초과하지 않도록 한다.
- (6) 계측용 배관은 계측용 케이블을 단독으로 사용하여야 한다. 단, 계측용 케이블에 통신 장애를 일으키지 않는 타 케이블은 공사감독자가 확인하여 공동으로 사용할 수 있다.
- (7) 케이블 끝단은 방수처리를 하여 측정 시부터 유지관리 시까지 물이 침투하지 못하도록 하여야 한다.
- (8) 케이블의 끝부분에는 계측기기의 종류, 번호, 선 종류 등을 표시하여 서로 바뀌지 않도록 하여야 한다.
- (9) 모든 자료 전송장비는 향후 확장성 및 확대를 고려하여 계측시스템이 운영될 경우를 대비하여 전송장비 선정 시 호환성을 고려하여야 한다.

3.6.3.5 계측시스템 설치에 따른 검사 및 시험

- (1) 현장에 설치되는 계측기는 공인기관의 성적서 등을 첨부하며, 단, 발주처에서 인정하는 경우에는 제작업체 자체의 시험성적서로 대체할 수 있다.
 - ① 산업표준화법에 의한 한국산업규격(KS) 표시품인 경우
 - ② 전기용품 및 생활용품 안전관리법에 의한 품질등급을 획득한 제품인 경우
 - ③ 전기통신기본법에 의한 전기통신자재 형식승인을 필한 경우
- (2) 장기 또는 상시 계측을 위한 설치 공사 후 조정 및 시험을 완료하고 다음과 같이 시운전 시험을 실시하여야 한다.
 - ① 계측기기 설치 책임기술자는 무부하 상태에서 기기의 1차 시운전에 대한 책임을 지며, 시험 완료 후 시험 결과 보고서를 공사감독자에게 작성 제출하여야 한다.
 - ② 종합 시운전은 부하상태에서의 시운전으로서 본 설비와 관련된 타 설비와의 종합적인 시운전을 포함하여 총괄적인 기능을 이룰 수 있게 하여야 한다.
 - ③ 시운전 시험기간은 최소 30일 이상이어야 한다.

3.6.3.6 계측기기의 관리

- (1) 계측기기는 성능보존 및 계측결과의 신뢰성 확보를 위하여 제작사가 제시한 방법과 절차에 따라 관리하여야 한다.
- (2) 계측기기에 대한 정기적 신뢰성 평가를 실시하여야 하며, 신뢰성 평가는 경시변화에 의한 판정, 전기적 점검에 의한 판정, دم체 거동분석 등의 계측결과 분석에 의한 판정을 종합적으로 고려하여야 한다.

3.6.3.7 계측의 수행

- (1) 계측수행과 관리는 계측전담반에 의하여 수행되어야 한다.
- (2) 계측책임자는 계측기기의 특성과 دم 및 지반의 거동을 이해할 수 있는 해당분야 건설 관련분야의 특급기술자이어야 한다.

3.6.3.8 계측빈도

- (1) 공사 중 계측기간은 아래와 같이 4단계로 구분하며 각 계측빈도는 표 3.6-1과 같다. 계측결과 및 현장 여건, 지반조건을 감안하여 계측빈도를 변경하고자 할 경우에는 계측자료 분석 등을 통하여 변경의 타당성을 확보하고 공사감독자의 확인을 받은 후에 조정할 수 있다.

- ① 1단계: 계측기기 설치 후 1개월간
- ② 2단계: 계측기기 설치 1개월 후부터 댐 완공 시까지
- ③ 3단계: 측정치가 이상거동을 보이고 있는 경우로서 안전이 확인될 때까지
- ④ 4단계: 홍수조절 또는 지진발생 후 1주일간

표 3.6-1 댐공사 계측빈도

계측내용	1단계	2단계	3단계	4단계
간극수압 지하수위 내부침하 및 층별 침하	매일	주 1회	매일	매일
주변이음부 변위 수직이음부 수평변위 댐체 및 콘크리트 변형률 콘크리트 무응력 변형률 비탈면 변위	매일	주 1회	매일	매일
외부변위 및 정부침하	매일	매일	매일	매일
자동계측기록 및 컴퓨터 제어설비	매일	매일	매일	매일

- (2) 각 계측항목별 결과는 상호 비교분석이 필요하므로 관련 계측항목은 동일시기에 측정을 실시하고, 그중 빈도가 높은 것은 별도로 측정하여야 한다.
- (3) 이상홍수, 지진 등 댐 안정성에 영향을 미치는 현상이 발생하였을 때는 즉시 측정 및 분석을 실시하여, 댐체 및 구조물의 이상 유무를 판정하고 이상이 있을 시는 항구적인 대책을 강구하여야 한다.

3.6.3.9 계측기간

- (1) 댐 공사 중 계측의 측정기간은 계측기기 설치 후부터 공사종료 시까지 지속하며 유지관리계측으로 이관하도록 하여야 한다.

3.6.3.10 계측결과의 정리 및 분석

- (1) 모든 계측결과 기록지에는 사업명, 위치, 댐명, 측정점, 계측항목, 계측위치, 측정일시, 측정자 등을 기재하여야 한다.
- (2) 계측결과는 측정일자, 경과일수, 시공상황, 초기치, 금회 측정값, 변화량 등을 정해진 양식에 계측 항목별로 별도 정리하여야 하며, 계측자료를 분석하기 위한 그림은 각각의 계측항목에 대하여 위치별 경시변화 및 댐체에서의 계측항목별 결과 분포도로 나

타내어 그 결과를 시공관리 및 안전관리에 활용할 수 있도록 하여야 한다.

- (3) 계측결과는 댐 및 지반거동을 분석 가능한 건설관련분야의 기술자에 의하여 분석되어야 한다.
- (4) 계측 분석결과 댐의 안전성에 영향이 있다고 판단되는 경우에는 이에 대한 적절한 응급조치를 취하고, 그 원인을 규명하여 항구적인 대책을 강구하여야 한다.
- (5) 댐체의 응력 및 변형 측정 결과분석
 - ① 토압 측정결과를 통해 댐체 응력분포와 주응력 등을 검토하여 설계 시의 적정성 및 댐체 안정성을 확인하고, 응력전이에 따른 수압할렬 가능성 등을 검토하여야 한다.
 - ② 댐체의 변형은 경시변화 및 변형속도, 부등침하 발생 여부 등을 통해 기본적인 안정화를 판단하며, 침하량, 수평 변위량을 동시에 측정하여 상호 영향 및 전체 축조 높이별 각각의 변위 발생량을 분석하여 댐체 안정성 판단에 적용하여야 한다.
 - ③ 콘크리트 차수벽에 설치된 경사측정결과는 댐체 변형 결과와 함께 분석하여 콘크리트 차수벽의 변형 및 균열발생 가능성 등에 대해 검토를 하여야 한다.
- (6) 콘크리트의 응력 및 변형 측정 결과분석
 - ① 콘크리트 표면차수벽 주변 이음부와 같이 인장력이 작용하는 부위에 대한 변위 등을 분석하여 축조 중 단기안정성 및 장기적 내구성 측면의 안정성 검토를 하여야 한다.
 - ② 무응력 변형률 측정결과를 이용하여 콘크리트에 작용하는 외부응력과 온도변화 등 내부에서 자생적으로 발생하는 내부응력을 각각 파악하여 건설 중 품질관리 및 댐체 안정성 평가에 적용하여야 한다.
- (7) 댐체 및 주변지반의 간극수압 측정 결과분석
 - ① 심벽 내에서 발생하는 간극수압을 통해 위치별 유효응력과 전단강도를 분석하여 축조 중 댐체의 안정성 판단에 적용하여야 한다.
 - ② 콘크리트 댐의 경우 댐체에 작용하는 양압력을 이용하여 댐체의 안정성 판단에 적용하여야 한다.

3.6.3.11 계측 관리기준

- (1) 계측 관리기준은 댐의 형식과 규모, 댐 양안부 및 기초지반의 거동상태, 지질조건, 축조재료, 시공방법 등에 의하여 차이를 보이게 되므로, 기준적인 수치를 명확히 제시하기 어려우며, 각 계측항목별로 이와 같은 사항을 고려하여 결정되어야 한다. 일반적으로 실내시험, 이론 및 수치해석, 그리고 초기 시공실적 및 유사한 조건을 갖는 댐의 계측결과를 토대로 종합적인 검토를 통해 결정하는 것이 합리적이다.
- (2) 댐체의 간극수압 분포도 및 토압 측정결과는 시공속도 및 쌓기높이, 축조재료의 함수비를 조절하여 댐 축조 시 쌓기속도 규제 방안으로 이용되어야 한다.
- (3) 각 계측항목별 계측 관리기준의 절댓값 또는 경향선 형태로 설정될 수 있으며 현장여건과 상황에 따라 현장별 전문가 또는 관리청과 관리기관의 승인하에 변경, 조정될 수 있다.

3.6.3.12 계측결과 보고

(1) 계측결과 보고는 이 기준의 3.1.3.12를 따른다.

3.6.3.13 제출물

(1) 제출물은 이 기준의 1.4를 참고하여 공사감독자와 협의를 통해 필요한 자료를 제출하여야 한다.

3.7 하천제방공사

3.7.1 일반사항

3.7.1.1 적용범위

- (1) 하천제방공사의 시공 중 지반계측의 적용범위는 이 기준의 1. 일반사항 1.1을 따르며, 하천제방 시공 중의 안전관리 및 품질관리를 목적으로 한다.
- (2) 위 (1) 이외의 목적에 대한 계측관리는 별도로 한다.

3.7.2 재료

3.7.2.1 계측기기의 종류

- (1) 제방 변형을 측정하는 계측기기의 측정오차 한계는 $\pm 1.0 \text{ mm}$ 이내이어야 한다.
- (2) 제방 침하량을 측정하는 계측기기의 측정오차 한계는 $\pm 1.0 \text{ mm}$ 이내이어야 한다.
- (3) 제방의 수평변위를 측정하는 변위계의 측정범위는 최소 100 mm 이상이어야 하며, 측정오차의 한계는 $\pm 0.01 \text{ mm}$ 이내이어야 한다.
- (4) 간극수압의 측정범위는 설계상의 작용 간극수압을 고려하여 계획되어야 하며, 기본적으로 1 MPa 이상을 측정할 수 있어야 한다.

3.7.2.2 계측자료 획득 장치

- (1) 하천제방계측은 공사 중 계측뿐만 아니라 유지관리계측까지 연계하여 계측계획을 수립하는 경우 계측자료의 수집, 처리, 해석까지를 일관하여 처리하는 자동화 계측시스템을 사용하는 것을 원칙으로 한다.
- (2) 계측자료 자동화 획득 장치는 계측기로부터 계측자료를 원격계측실의 컴퓨터로 전송하여 원격컴퓨터에서 계측자료의 저장·분석이 가능하여야 하며, 필요시 수동 계측이 가능한 시스템으로 계획하는 것을 원칙으로 하여야 한다.
- (3) 계측자료 자동화 획득 장치를 사용하는 경우 안정적으로 계측자료를 획득, 저장, 송신할 수 있도록 전원공급장치를 설치하고 전압안정장치, 제습장치, 항온장치, 낙뢰 방지장치 등의 부속기기를 설치하여야 하며 필요한 경우 진동의 영향을 받지 않도록 방진장치를 계획하여야 한다.

3.7.3 시공

3.7.3.1 계측기기의 설치

- (1) 현장에 사용될 계측기기는 현장실정 및 사용 목적에 적합한 장비를 선정, 구매하여야 하며, 계측기기의 구입 및 설치 전에 각종 장비의 시방서를 발주처에 제출하고 승인을 얻어야 한다.
- (2) 제방이 침하하여도 케이블이 끊어지거나 손상되지 않도록 케이블에 적당한 방법으로 여유를 두어 제방 표면까지 설치하여야 하며, 케이블의 끝부분에는 계측기기의 종류, 번호, 선 종류 등을 표시하여 서로 바뀌지 않도록 관리하여야 한다.
- (3) 계측책임자는 계측기기의 제작사가 제공한 지침서에 명시된 절차에 따라서 정확하게 기기를 설치하여야 한다.

3.7.3.2 계측기기의 보정

- (1) 계측기기는 설치 전 및 설치 직후에 작동성을 검사하고 필요시 보정하여야 한다.
- (2) 계측수행 중 계측치가 특이하게 변화되는 경우 계측기의 이상 유무를 확인하고 필요시 보정하여야 한다.

3.7.3.3 계측기기의 보호

- (1) 계측기기와 회로 중계선 사이를 연결하는 유도선은 제방 기초지반 및 제방 매설용의 경우 철선 등으로 보강하여야 하고, 인장이나 외력, 충격, 낙뢰 등에 대한 보강, 방수, 부식, 절연처리를 하여야 한다.
- (2) 계측책임자는 각 기기별 설치지침서를 사전에 검토하여 설치 시 발생될 수 있는 제반 문제점을 파악하고 이에 대한 계측기기 보호대책을 수립하여야 한다.

3.7.3.4 자료 전송 케이블 설치

- (1) 계측기기 케이블은 계측기기 전용 케이블을 사용하여야 하며, 설치 시 매설지점에서 측정실까지 접속점이 없이 단일선으로 구성하여야 한다.
- (2) 케이블 끝단은 방수처리를 하여 측정 시부터 유지관리 시까지 물이 침투하지 못하도록 하여야 한다.

3.7.3.5 계측시스템 설치에 따른 검사 및 시험

- (1) 제방 또는 구조물에 매설되는 계측기기와 유도선은 설치 후 즉시 검측하여 정상적 작동이 나타날 경우만 되메우기 공사를 진행하여야 한다.

3.7.3.6 계측기기의 관리

- (1) 계측기기는 성능보존 및 계측결과의 신뢰성 확보를 위하여 제작사가 제시한 방법과 절차에 따라 관리하여야 한다.
- (2) 계측기기에 대한 정기적 신뢰성 평가를 실시하여야 하며, 신뢰성 평가는 경시변화에

의한 판정, 전기적 점검에 의한 판정, 제방 거동분석 등의 계측결과 분석에 의한 판정을 종합적으로 고려하여야 한다.

3.7.3.7 계측의 수행

- (1) 계측수행과 관리는 계측전담반에 의하여 수행되어야 한다.
- (2) 계측책임자는 계측기기의 특성과 제방 및 지반의 거동을 이해할 수 있는 건설관련분야의 기술자이어야 한다.
- (3) 계측기기는 한번 측정할 때마다 같은 날 최소 3회 이상 측정한 후 그 평균값을 측정결과로 채택하여야 한다.

3.7.3.8 계측빈도

- (1) 공사 중 계측기간은 아래와 같이 4단계로 구분하며 각 계측빈도는 표 3.7-1과 같다. 계측결과 및 현장여건, 지반조건을 감안하여 계측빈도를 변경하고자 할 경우에는 계측자료 분석 등을 통하여 변경의 타당성을 확보하고 공사감독자의 확인을 받은 후에 조정할 수 있다.
 - ① 1단계: 계측기기 설치 후 1개월간
 - ② 2단계: 계측기기 설치 1개월 후부터 제방 완공 시까지
 - ③ 3단계: 측정치가 이상거동을 보이고 있는 경우로서 안전이 확인될 때까지
 - ④ 4단계: 홍수발생 또는 지진발생 후 1주일간

표 3.7-1 하천제방 공사 중 계측빈도

계측내용	1단계	2단계	3단계	4단계
간극수압 지하수위 기초침하	매일	1회/3일	매일	매일
수평변위 비탈면 변위	매일	매일	매일	매일
독마루침하	매일	매일	매일	매일
자동계측기록 및 컴퓨터 제어설비	매일	매일	매일	매일

- (2) 각 계측항목별 결과는 상호 비교분석이 필요하므로 관련 계측항목은 동일시기에 측정을 실시하고, 그중 빈도가 높은 것은 별도로 측정하여야 한다.

3.7.3.9 계측결과의 정리 및 분석

- (1) 모든 계측결과 기록지에는 사업명, 위치, 제방명, 측점, 계측항목, 계측위치, 측정일시, 측정자 등을 기재하여야 한다.
- (2) 계측결과는 측정일자, 경과일수, 시공상황, 초기치, 금회 측정값, 변화량 등을 정해진

양식에 계측 항목별로 별도 정리하여야 하며, 계측자료를 분석하기 위한 그림은 각각의 계측항목에 대하여 위치별 경시변화 및 제방에서의 계측항목별 결과 분포도로 나타내어 그 결과를 시공관리 및 안전관리에 활용할 수 있도록 하여야 한다.

- (3) 계측결과는 제방 및 지반거동을 이해하고 제방축조에 경험이 풍부한 건설관련분야의 기술자에 의하여 분석되어야 한다.
- (4) 계측결과는 설계도서 및 당해 현장 또는 유사 현장에서 수행한 수치해석결과, 경험치, 타 계측결과 및 현장조건 등을 참조하여 분석하며, 계측치의 절대변화량 및 변화속도 등을 참고하여 계측관리기준치를 설정하고 그에 따라 안정성을 평가한다.
- (5) 이상홍수, 지진 등 제방 안정성에 영향을 미치는 현상이 발생하였을 때는 즉시 측정 및 분석을 실시하여, 제방 및 구조물의 이상 유무를 판정하고 이상이 있을 때는 항구적인 대책을 강구하여야 한다.
- (6) 계측이 종료되면 계측결과를 정리하여 공사감독자에게 제출하여 확인을 얻은 후 후속 작업을 진행하여야 한다.

3.7.3.10 계측 관리기준

- (1) 계측 관리기준은 제방규모, 제방 양안부 및 기초지반의 거동상태, 지질조건, 축조재료, 시공방법 등에 의하여 차이를 보이게 되므로, 기준적인 수치를 명확히 제시하기 어려우며, 각 계측항목별로 이와 같은 사항을 고려하여 결정되어야 한다. 일반적으로 실내 시험, 이론 및 수치해석, 그리고 초기 시공실적 및 유사한 조건을 갖는 제방의 계측결과를 토대로 종합적인 검토를 통해 결정하는 것이 합리적이다.
- (2) 제방의 간극수압 분포도 측정결과는 시공속도 및 쌓기높이, 축조재료의 함수비를 조절하여 제방 축조 시 쌓기속도 규제 방안으로 이용되어야 한다.
- (3) 각 계측항목별 계측 관리기준의 절댓값 또는 경향선 형태로 설정될 수 있으며 현장 여건과 상황에 따라 현장별 전문가 또는 관리청과 관리기관의 승인하에 변경, 조정할 수 있다.

3.7.3.11 계측 결과보고

- (1) 계측결과 보고는 이 기준의 3.1.3.12를 따른다.

3.7.3.12 제출물

- (1) 제출물은 이 기준의 1.4를 참고하여 공사감독자와 협의를 통해 필요한 자료를 제출하여야 한다.

3.8 항만공사

3.8.1 일반사항

3.8.1.1 적용범위

- (1) 항만공사의 시공 중 지반계측의 적용범위는 이 기준의 1. 일반사항 1.1을 따르며, 항만 시공 중의 안전관리 및 품질관리를 목적으로 한다.
- (2) 위 (1) 이외의 목적에 대한 계측관리는 별도로 한다.

3.8.2 재료

3.8.2.1 계측기기의 종류

- (1) 변형을 측정하는 계측기기의 측정오차 한계는 $\pm 1.0 \text{ mm}$ 이내이어야 한다.
- (2) 침하량을 측정하는 계측기기의 측정오차 한계는 $\pm 1.0 \text{ mm}$ 이내이어야 한다.
- (3) 콘크리트 변형률의 측정범위는 $3,000 \mu\epsilon$ 이상이어야 하며 최소측정치는 $0.1 \mu\epsilon$ 이하이어야 한다.

3.8.2.2 계측자료 획득 장치

- (1) 계측자료 자동화 획득 장치는 계측기로부터 계측자료를 원격계측실의 컴퓨터로 전송하여 원격컴퓨터에서 계측자료의 저장·분석이 가능하여야 하며, 필요 시 수동 계측이 가능한 시스템으로 계획하는 것을 원칙으로 하여야 한다.
- (2) 계측자료 자동화 획득 장치는 각 지점의 계측기기를 원격지에서 원격 제어하여 계측의 빈도를 조정할 수 있도록 계획하여야 한다.

3.8.3 시공

3.8.3.1 계측기기의 설치

- (1) 계측기기는 설치되는 지점의 항만구조물과 인접주변지반에 설치하며 그 지점의 거동을 정확히 측정할 수 있도록 설치하여야 한다.
- (2) 항만구조물의 계측에 필요한 계측기기는 항만구조물 제작 시 계측기기를 설치하는 것을 원칙으로 한다.
- (3) 항만구조물 주변 지반의 계측은 항만구조물을 시공하기 전에 설치하는 것을 원칙으로 한다.
- (4) 계측책임자는 계측기기의 제작사가 제공한 지침서에 명시된 절차에 따라서 정확하게 기기를 설치하여야 한다.

3.8.3.2 계측기기의 보정

- (1) 계측기기는 설치 전 및 설치 직후에 작동성을 검사하고 필요시 보정하여야 한다.
- (2) 계측수행 중 계측치가 특이하게 변화되는 경우 계측기의 이상 유무를 확인하고 필요시 보정하여야 한다.

3.8.3.3 계측기기의 보호

- (1) 계측기와 자료 수집장치 간의 케이블은 암석층, 토사층 또는 콘크리트 내에 매설되거나 노출되는 경우에도 각 계측기의 정보를 정확하게 전달 할 수 있어야 하며, 인장이나 외력, 충격, 낙뢰 등에 대한 보강, 방수, 부식, 절연처리를 하여야 한다.

3.8.3.4 자료 전송 케이블 설치

- (1) 계측기 케이블은 계측기 전용 케이블을 사용하여야 하며, 설치 시 매설지점에서 측정실까지 접속점이 없이 단일선으로 구성하여야 한다.
- (2) 지반 침하에 대비하여 케이블이 끊어지거나 손상되지 않도록 케이블에 보호방안을 마련하여 설치하여야 하며, 케이블의 끝부분에는 계측기의 종류, 번호, 선 종류 등을 표시하여 서로 바뀌지 않도록 관리하여야 한다.
- (3) 케이블 끝단은 방수처리를 하여 측정 시부터 유지관리 시까지 물이 침투하지 못하도록 하여야 한다.

3.8.3.5 계측시스템 설치에 따른 검사 및 시험

- (1) 항만구조물 내 또는 표면 그리고 주변 지반에 설치되는 계측기는 설치 후 즉시 측정하여 정상적 작동이 나타날 경우만 후속 공사를 진행하여야 한다.

3.8.3.6 계측기의 관리

- (1) 계측기는 성능보존 및 계측결과의 신뢰성 확보를 위하여 제작사가 제시한 방법과 절차에 따라 관리하여야 한다.
- (2) 계측기에 대한 정기적 신뢰성 평가를 실시하여야 하며, 신뢰성 평가는 경시변화에 의한 판정, 전기적 점검에 의한 판정, 항만구조물 거동분석 등의 계측결과 분석에 의한 판정을 종합적으로 고려하여야 한다.

3.8.3.7 계측의 수행

- (1) 계측수행과 관리는 계측전담반에 의하여 수행되어야 한다.
- (2) 계측책임자는 계측기의 특성과 항만 구조물 및 주변 지반의 거동을 이해할 수 있는 건설관련분야의 기술자이어야 한다.
- (3) 계측기는 한번 측정할 때마다 같은 날 최소 3회 이상 측정한 후 그 평균값을 측정 결과로 채택하여야 한다.

3.8.3.8 계측빈도

- (1) 공사 중 계측기간은 아래와 같이 5단계로 구분하며 각 계측빈도는 표 3.8-1, 3.8-2와 같다.
 - ① 항만구조물
 - 가. 1단계: 항만구조물 제작단계
 - 나. 2단계: 항만구조물 거치 단계

다. 3단계: 항만구조물 배면 뒤편 단계

라. 4단계: 일상계측 단계(3단계 끝난 후 이상 징후가 발생하지 않고 일상적인 계측 단계)

마. 5단계: 긴급계측 단계(항만구조물에 이상 징후가 발생할 경우)

표 3.8-1 항만구조물 구간 계측빈도

계측내용	항만구조물 제작단계	항만구조물 거치 단계	항만구조물배면 뒤편 단계	일상계측 단계	긴급계측 단계
항만구조물 침하 항만구조물 수평변형 및 기울기	-	1회/10분	1회/30분	1회/1일	1회/10분
철근응력계 콘크리트 응력 토압계 반력계	1회/1시간	1회/10분	1회/30분	1회/1일	1회/10분

② 주변지반

가. 1단계: 사석마운드 포설 단계

나. 2단계: 항만구조물 거치 단계

다. 3단계: 항만구조물 배면 뒤편 단계

라. 4단계: 일상계측 단계(3단계 끝난 후 이상 징후가 발생하지 않고 일상적인 계측 단계)

마. 5단계: 긴급계측 단계(주변지반에 이상 징후가 발생할 경우)

표 3.8-2 주변 지반 계측빈도

계측내용	사석마운드 포설 단계	항만구조물 거치 단계	항만구조물배면 뒤편 단계	일상계측 단계	긴급계측 단계
육측 지표 침하 육측 층별 침하 육측 지중 변위	1회/30분	1회/10분	1회/30분	1회/1일	1회/10분
항만구조물 하부 침하 항만구조물 하부 층별 침하 사석 마운드 침하	1회/30분	1회/10분	1회/30분	1회/1일	1회/10분
해측 지중 변위	1회/30분	1회/10분	1회/30분	1회/1일	1회/10분
조위계	1회/30분	1회/10분	1회/30분	1회/1시간	1회/10분

(2) 케이슨 구간과 주변 지반 구간을 분리하여 계측빈도를 달리 설정하여야 한다.

(3) 계측결과 및 현장여건, 지반조건을 감안하여 계측빈도를 변경하고자 할 경우에는 계측자료 분석 등을 통하여 변경의 타당성을 확보하고 공사감독자의 확인을 받은 후에 조정할 수 있다.

- (4) 각 계측항목별 결과는 상호 비교분석이 필요하므로 관련 계측항목은 동일시기에 측정을 실시하고, 그중 빈도가 높은 것은 별도로 측정하여야 한다.

3.8.3.9 계측결과의 정리 및 분석

- (1) 계측결과는 항만구조물 및 지반거동을 이해하고 항만건설공사 경험이 풍부한 건설관련분야의 기술자에 의하여 분석되어야 한다.
- (2) 모든 계측결과 기록지에는 사업명, 위치, 구조물명, 측정점, 계측항목, 계측위치, 측정일시, 측정자 등을 기재하여야 한다.
- (3) 계측결과는 측정일자, 경과일수, 시공상황, 초기치, 금회 측정값, 변화량 등을 정해진 양식에 계측항목별로 별도 정리하여야 하며, 계측자료를 분석하기 위한 그림은 각각의 계측항목에 대하여 위치별 경시변화 및 계측항목별 결과 분포도로 나타내어 그 결과를 시공관리 및 안전관리에 활용할 수 있도록 하여야 한다.
- (4) 계측분석 결과 항만구조물의 안전성에 영향이 있다고 판단되는 경우에는 이에 대한 적절한 응급조치를 취하고, 그 원인을 규명하여 항구적인 대책을 강구하여야 한다.
- (5) 계측이 종료되면 계측결과를 정리하여 공사감독자에게 제출하여 확인을 얻은 후 후속작업을 진행하여야 한다.
- (6) 항만구조물 계측결과 분석
 - ① 항만 구조물의 응력 및 반력(토압) 측정결과를 통해 케이슨의 응력분포를 검토하여 설계시의 적정성 및 구조체의 안정성을 확인하며, 거치 시 및 재하블록 상치 시 반력상태를 파악한다.
 - ② 항만 구조물의 변형은 경시변화 및 변형속도, 부등침하 발생 여부 등을 통해 기본적인 안정화를 판단하며, 침하량, 수평 변위량(기울기)을 동시에 측정하여 시공에 따른 항만구조물의 거동상태를 확인한다.
- (7) 항만구조물 주변지반의 계측결과 분석
 - ① 주변지반에 설치된 지중침하 및 지중수평변위 측정결과는 항만구조물의 변형 및 응력결과와 함께 분석하여 뒷채움 및 쌓기에 따른 지반의 이상거동 가능성 등에 대해 검토를 하여야 한다.

3.8.3.10 계측 관리기준

- (1) 계측결과는 설계도서 및 당해 현장 또는 유사 현장에서 수행한 수치해석결과, 경험치, 타 계측결과 및 현장조건 등을 참조하여 분석하며, 계측치의 절대변화량 및 변화속도 등을 참고하여 계측 관리기준치를 설정하고 그에 따라 안정성을 평가한다.
- (2) 계측 관리기준은 항만구조물의 형식과 규모, 주변지반, 지질조건, 조위, 시공방법 등에 의하여 차이를 보이게 되므로, 기준적인 수치를 명확히 제시하기 어려우며, 각 계측항목별로 이와 같은 사항을 고려하여 결정되어야 한다. 일반적으로 실내시험, 이론 및 수치해석, 그리고 초기 시공실적 및 유사한 조건을 갖는 항만구조물의 계측결과를 토대로 종합적인 검토를 통해 결정하는 것이 합리적이다.

- (3) 항만구조물 및 주변지반의 침하, 수평변위의 측정결과는 시공속도 및 배면 뒤채움 및 쌓기속도 등을 조절하여 항만공사 시공 규제 방안으로 이용되어야 한다.
- (4) 각 계측항목별 계측 관리기준은 절대치 또는 경향선 형태, 변위속도로 설정될 수 있으며 현장 여건과 상황에 따라 현장별 전문가 또는 관리청과 관리기관의 승인하에 변경, 조정될 수 있다.

3.8.3.10 계측결과 보고

- (1) 계측결과 보고는 이 기준의 3.1.3.12를 따른다.

3.8.3.11 제출물

- (1) 제출물은 이 기준의 1.4를 참고하여 공사감독자와 협의를 통해 필요한 자료를 제출하여야 한다.

3.9 건축공사

3.9.1 일반사항

3.9.1.1 적용범위

- (1) 건축공사의 시공 중 지반계측의 적용범위는 이 기준의 1. 일반사항 1.1을 따르며, 건축구조물 공사 중의 안전관리를 목적으로 한다.
- (2) 위 (1)에는 준공 후 건물의 계측을 위한 시공과정에서의 계측기 설치 및 계측을 포함한다.
- (3) 건축공사 중 계측은 기울기, 변위, 하중, 침하 등을 계측함으로써 구조물의 궁극적 안전을 도모하기 위해 수행하며, 이 기준에서 명시하는 계측은 다음 항과 같다.
 - ① 장경간 구조물에서 처짐 관리가 필요한 건물의 처짐 계측
 - ② 초고층건물에서 기둥의 축소량 계측
 - ③ 구조물의 안전에 유해한 것으로 의심되는 균열 발생 시 균열계측
 - ④ 굴착공사, 진동 등의 영향으로 주변건물에 손상 발생 또는 손상발생 우려 시 주변건물에 대한 계측
 - ⑤ 큰 응력이 발생하는 매우 중대한 구조부재의 응력 계측
 - ⑥ 매우 중요한 건축물의 주요 구조부재에 대한 변형률 계측
- (4) 위 (3) 이외의 공사 중 안전관리를 위해 필요하다고 판단되는 경우 별도의 계측계획을 통해 계측관리를 수행한다.

3.9.2 재료

3.9.2.1 계측기기의 종류

- (1) 침하를 측정하는 계측기기의 측정오차 한계는 $\pm 1.0 \text{ mm}$ 이내이어야 한다.
- (2) 경사측정 시 계측기를 선택할 때에는 건물의 X, Y, Z 3축방향의 움직임을 예측하여, 건물의 변위를 동시에 측정할 수 있는 것을 사용함을 원칙으로 한다.
- (3) 변형률 측정 시 전기저항식 계측기기를 사용할 경우 계측 대상 부재의 국부적 변위만을 측정하게 되므로 구조부재의 광범위한 변형률을 측정하여야 할 경우 광섬유게이지, long gages, 레이저 게이지 등을 사용한다.
- (4) 균열계측 시 균열측정의 소요 정밀도, 균열측정의 목적 등에 따라 경제적이고 목적에 합당한 균열측정방법 및 측정기기를 선정하도록 한다.
- (5) 계측기기는 온도변화, 부식, 습도, 진동, 전자기 등의 외부 여건으로부터 영향을 받지 않는 것이어야 한다.

3.9.3 시공

3.9.3.1 계측기기의 설치

- (1) 경사측정
 - ① 계측기기의 설치 위치는 대상건물의 기울기를 가장 잘 나타낼 수 있는 위치에 설치한다.
 - ② tilt plate를 부착할 때 바탕면이 견고한 상태여야 하며, 공사, 온도, 습도 등에 의해 변형이 발생하지 않아야 한다.
- (2) 응력계측
 - ① 대상건물의 주요 구조부재에 설치하여 구조물의 과응력상태를 파악할 수 있도록 설치하여야 한다.
 - ② 하중계는 대상구조물의 시공과정에서 설치한다.
- (3) 기둥 축소량(column shortening) 측정
 - ① 계측기기의 설치 위치는 대상건물의 주요 기둥 및 코아 벽체에 설치한다.
 - ② 계측기가 설치되는 기둥은 물리적 축소량 이외의 변수가 작용하지 않도록 하기 위해 가급적 균열이나 공극 등 재료적 결함이 없어야 한다.
 - ③ 계측기기는 기둥의 축방향과 나란히 기둥이나 벽체의 중심에 설치하여야 한다.

3.9.3.2 계측기기의 보정

- (1) 계측기기는 설치 전 및 설치 직후에 작동성을 검사하고 필요시 보정하여야 한다.
- (2) 계측수행 중 계측치가 특이하게 변화되는 경우 계측기의 이상 유무를 확인하고 필요시 보정하여야 한다.

3.9.3.3 계측기기의 보호

- (1) 설치된 계측기기는 공사 또는 기타의 영향으로 손상되지 않도록 보호하여야 한다.

3.9.3.4 자료 전송 케이블 설치

- (1) 자료 전송 케이블의 설치는 이 기준의 3.1.3.4에 따른다.

3.9.3.5 계측시스템 설치에 따른 검사 및 시험

- (1) 계측시스템 설치에 따른 검사 및 시험은 이 기준의 3.1.3.5에 따른다.

3.9.3.6 계측기기의 관리

- (1) 계측기기는 성능보존 및 계측결과의 신뢰성 확보를 위하여 제작사가 제시한 방법과 절차에 따라 관리하여야 한다.
- (2) 계측기가 손상되었을 경우에는 손상 계측기 인접부에 계측기를 재설치한 후 계측을 계속 수행하여야 한다.
- (3) 계측기 설치자는 계측의 목적이 완료되는 시점까지 계측기가 망실되지 않도록 충분한 보호조치를 취하여야 한다.

3.9.3.7 계측의 수행

- (1) 계측수행과 관리는 계측전담반에 의하여 수행되어야 한다.
- (2) 계측책임자는 계측기기의 특성과 대상구조물의 거동을 이해할 수 있는 건설관련분야의 기술자이어야 한다.
- (3) 제반 여건상 장기적인 안전관리가 필요한 경우에는 이를 위한 계측기기를 설치하여야 하며, 이에 대한 모든 사항은 준공 시 발주자에게 서면으로 이관하여 시설물 운영 시에도 정기적인 계측이 가능하도록 하여야 한다.
- (4) 계측 도중 계측기의 손상, 오작동 등으로 계측자료의 오류가 발생하거나 신뢰도를 인정할 수 없는 경우 다시 초기치를 정하여야 하며, 이전 계측과의 연계성은 전문가 및 감독과 협의해서 결정한다.
- (5) 변위측정은 절대변위와 상대변위로 나누어 측정목적에 합당한 방향으로 실시한다.
- (6) 계측기는 온도변화, 지하수위변화, 하중에 따른 신축 등 일상적인 균열신축 요인이 있을 경우 온도측정, 지하수위측정 등 관련된 계측도 동시에 실시하거나 필요한 자료를 확보할 수 있도록 한다.

3.9.3.8 계측빈도

- (1) 계측빈도는 재하되는 하중의 변동빈도, 대상구조물의 파손·붕괴모드 등을 고려하여 결정되어야 하며, 계측자료는 건물의 거동을 충분히 파악할 수 있는 해상도가 되어야 한다.
- (2) 계측의 빈도는 현장 여건 및 지반조건을 감안하여 공사감독자의 확인을 받은 후에 조정할 수 있다.

(3) 침하(settlement) 측정

- ① 침하계의 계측빈도는 공사 초기에는 2회 ~ 3회/1주일 실시하며 계측자료가 안정되었다고 판단되면 점차 횟수를 조절한다.
- ② 침하측정은 매 층이 올라갈 때마다 실시한다.

(4) 변형률 측정

- ① 변형률의 측정빈도는 정기적측정과 부정기적 측정으로 나누어 실시한다.
- ② 정기적 측정은 공사감독자와 설계자 또는 관련자들이 협의하여 그 빈도를 정한다.
- ③ 부정기적 측정은 바람, 눈 등과 같은 돌발적 하중이 우려될 때 관리자의 판단으로 시행한다.
- (5) 기둥축소량 측정은 최소한 매 층이 올라갈 때마다 실시한다.

3.9.3.9 계측기간

- (1) 침하계의 측정기간은 계측기기 설치 후부터 변위의 수렴이 확인될 때까지로 한다. 계측기의 수렴 여부는 일정 기간 동안의 침하량으로 판단하며, 절대침하량 또는 총 누계침하량에 대한 상대침하량으로 정한다.
- (2) 경사계의 측정기간은 계측기기 설치 후부터 변위의 수렴이 확인될 때까지로 한다. 경사 측정의 종료는 지중경사계, 흠막이벽경사계, 지하수위계 등 연관된 계측결과의 수렴정도를 검토하여 결정하도록 한다.
- (3) 변형률계의 측정기간은 계측기기 설치 후부터 준공 시까지로 한다.

3.9.3.10 계측결과의 정리 및 분석

(1) 침하(settlement) 측정

- ① 계측실시 전 구조물의 구조형식, 기초형식, 구조물의 중요도, 침하예측량 등을 고려하여 관리치를 정한 후 공사감독자의 승인을 받아야 한다.
- ② 절대침하량 또는 상대침하량이 관리치를 초과하면 전문가와 협의 후 목표치 재설정 또는 지반보강 등의 조치를 취하여야 한다.

(2) 경사측정

- ① 마감 등의 공사로 인해 불가피하게 계측기의 일시적 제거가 필요한 경우 공사감독자의 승인 하에 최종 계측을 실시하고, 재설치 후 이전 자료를 참고하여 초기치를 정하여야 한다.
- ② 공사현장 주변 기존 구조물에 대한 경사 계측 시에는 기존 구조물의 상태를 면밀히 파악한 후 분석하여야 한다.
- ③ 자료분석 시 지중경사계, 흠막이벽경사계, 지하수위계 등 연관된 계측자료를 검토하여 종합적으로 분석하여야 한다.

(3) 변위측정

- ① 온도변화, 크리프 또는 기타 외부 환경적 요인에 의해 영향을 받는 경우를 고려하여야 하며, 이를 위해 추가의 해석 또는 관련 측정결과를 병행하여 분석한다.

- ② 측정하고자 하는 대상구조물의 강도, 탄성계수를 실험 또는 신뢰성 있는 자료를 통해 확인하여야 하며, 이를 근거로 분석을 실시한다.
- ③ 계측기 설치 이전에 해석을 통해 처짐계산을 실시한 후 계측결과를 분석한다.
- (4) 변형률 측정
 - ① 측정하고자 하는 대상구조물의 강도, 탄성계수를 실험 또는 신뢰성 있는 자료를 통해 변형율을 근거로 분석하여야 한다.
 - ② 응력-변형률 관계를 통해 응력을 관찰하여야 하며, 응력이 항복강도를 초과할 경우 즉시 공사를 중지하고 대책을 수립하여야 한다.
- (5) 균열 측정
 - ① 균열계측 이전에 균열의 원인, 균열 형상, 응력상태 등 계측을 하고자 하는 균열에 대한 분석이 먼저 이루어져야 한다.
 - ② 균열계측은 균열 폭의 변화와 길이의 변화를 동시에 조사하여 분석하여야 한다.
 - ③ 균열은 재료의 인성, 재료의 두께 등의 요인에 따라 진행양상이 다르기 때문에 분석 시 재료적 특성을 염두에 두어야 한다.
 - ④ 균열에 대한 조치를 취할 때 구조물 또는 구조부재의 중요도, 재료적 특성, 균열의 양상, 균열진행 추이를 고려하여야 한다.
- (6) 기둥 축소량 (column shortening) 측정
 - ① 결과치는 평균 변형률로 산정하고 계측이 실시된 후 크리프에 대해서도 고려하여 분석하여야 한다.
 - ② 예측축소량과 계측축소량을 정기적으로 비교함으로써 재해석 또는 재보정을 수행한다.
 - ③ 재해석 재보정은 공사 전 공사감독자와 협의하여 정하며, 기본적으로 10~20층 단위로 수행하도록 한다.

3.9.3.11 계측 관리기준

- (1) 계측 관리기준은 대상 건축물의 구조형식, 상태, 중요도 등 건물 요인과 대상 구조부재의 재료적 특성, 구조역학적 조건, 파손모드 등 부재 요인뿐 아니라 지역·환경적 여건 등을 종합적으로 고려하여 현장에서 공사감독자와 상의하여 결정하여야 한다.
- (2) 계측시작 전 계측 관리기준을 필히 설정하여야 하며, 계측 관리기준은 계측실시 중 합당한 사유가 있을 경우 현장 여건과 상황에 따라 관계전문가 또는 관리청과 관리기관의 승인하에 변경하거나 조정할 수 있다.

3.9.3.12 계측결과 보고

- (1) 계측결과 보고는 이 기준의 3.1.3.12를 따른다.

3.9.3.13 제출물

- (1) 제출물은 이 기준의 1.4를 참고하여 공사감독자와 협의를 통해 필요한 자료를 제출하여야 한다.

3.10 지하굴착공사

3.10.1 일반사항

3.10.1.1 적용범위

- (1) 지하굴착공사의 시공 중 지반계측의 적용범위는 이 기준의 1. 일반사항1.1을 따르며, 굴착공사 중의 안전관리를 목적으로 한다.
- (2) 위 (1)에 명시되지 않은 사항은 공통편의 사항에 의하며, 공통편에도 명시되지 않은 사항은 관련 설계기준 및 표준시방서에 의한다.

3.10.2 재료

3.10.2.1 계측기기의 종류

- (1) 지중수평변위계(지중경사계, inclinometer)는 굴착지반이 연약하여 지반변위가 예상되거나, 굴착공사에 영향을 주는 범위 내에 중요한 구조물이 있는 경우에 적용한다.
- (2) 지하수위계(ground water level meter)는 굴착공사와 관련 지하수의 변화가 예상되며, 굴착공사 영향 범위 내에 중요구조물이 있는 경우 적용한다.
- (3) 하중계(load cell)는 굴착공사에서 지지구조물(버팀보, 어스앵커 등)에 작용하는 하중 및 인장력의 변동이 예상되거나, 굴착공사에 영향을 주는 범위 내에 중요한 구조물이 있는 경우 적용한다.
- (4) 변형률 측정계(strain gauge)는 굴착공사에 수반되는 흙막이구조물의 지지기구인 버팀보, 엄지말뚝, 중간말뚝, 띠장, 복공구간의 H-beam 등과 같이 응력을 지지하는 기구에 적용한다.
- (5) 지표침하계는 굴착심도가 깊고 지하수 유출에 따른 지반침하가 예상되거나, 흙막이벽체의 변위에 따른 배면지반의 침하가 예상될 경우 적용한다.
- (6) 지중침하계(extensometer)는 연약지반 굴착공사 인접하여 중요한 지중구조물이 매설된 경우 적용한다.
- (7) 건물경사계(tiltmeter)는 굴착공사로 인한 지반변위의 영향범위 내에 위치한 건물이나 구조물의 부등침하 발생에 기인된 구조물의 기울기 변화를 측정하는 것을 적용범위로 한다.
- (8) 균열측정계(crack meter)는 굴착공사로 인한 지반변위의 영향범위 내에 위치한 건물이나 구조물에 발생된 균열의 변화를 측정하는 것을 적용범위로 한다.

3.10.2.2 계측자료 획득 장치

- (1) 계측자료 획득 장치는 측정의 편리성, 측정빈도, 측정방법, 기기의 호환성 및 경제성 등을 고려하여 구성하여야 한다.

- (2) 계측기기 운용기법은 인력에 의한 계측기기 운용과 자동화 장비에 의한 운용기법으로 크게 구분할 수 있으며, 붕괴 및 활동의 진행 특성, 계측대상 시설물의 중요도, 피해 발생 시 영향, 경제성, 계측빈도 등을 고려하여 운용기법을 선택하여야 한다.

3.10.3 시공

3.10.3.1 계측기기의 설치

- (1) 굴착공사장 외부에 설치하는 계측기기는 굴착 전에 설치 완료하여 굴착의 영향이 측정위치에 미치지 전에 초기치 측정을 완료하여야 하며, 굴착공사장 내부에 설치하는 계측기기는 굴착 직후 또는 가설부재 설치 직후에 설치하여 즉시 초기치 측정을 완료하여야 한다.
- (2) 지중수평변위계(지중경사계)
 - ① 설치위치는 배면에 중요구조물이 위치하는 곳의 엄지말뚝이나 벽체로부터 약 0.5 m 정도 이격되어 작업공간 확보가 용이한 곳이어야 한다.
 - ② 지중경사계 설치공의 천공직경은 86 mm 이상으로, 지중경사계 관 삽입 후 그라우팅이 가능해야 한다.
 - ③ 지중경사계 관과 별도로 그라우팅 파이프를 삽입할 경우 지중경사계 관과 그라우팅 파이프의 삽입이 가능한 직경이어야 하며, 그라우팅 파이프를 삽입할 필요가 없는 경우에는 지중경사계 관 외부의 공간을 그라우팅용 채움재료가 용이하게 통과하기에 충분한 직경이어야 한다.
 - ④ 천공 시 공벽의 붕괴가 우려되는 지층에서는 케이싱을 사용하여 공벽을 보호하여야 한다.
 - ⑤ 설치심도는 수평변위 측정 시 기준이 될 수 있도록 지반의 변위가 없다고 판단되는 견고한 지층 내부 1.5 m 이상이어야 한다.
 - ⑥ 지중경사계 관의 이음부는 그라우팅용 채움재를 차단하기 위하여 리벳팅 후 실리콘과 테이프 등으로 밀봉하여야 한다.
 - ⑦ 지중경사계 측정 시 지중경사계의 흔들림 방지를 위하여 충분한 그라우팅 채움과 초기치의 신뢰도를 높이기 위하여 적절한 양생기간 후 초기치를 설정하여야 한다.
 - ⑧ 흙막이벽체가 지하연속벽인 경우 벽체 최하단부터 최상단까지 모두 측정 대상이 되도록 벽체 내부에 별도의 설치관을 통해 지중경사계를 설치하여야 하며, 벽체 하단의 움직임이 예상되는 경우에는 이 설치관을 통해 벽체하단 이하의 추가적인 천공도 고려하여야 한다.
 - ⑨ 주열식 흙막이벽체에 엄지말뚝(H-Pile)을 시공하는 경우, 엄지말뚝에 지중경사계 설치관을 부착해서는 안 되며, 주열식 흙막이벽체 배면지반에 별도의 천공을 통해 지중경사계를 설치하여야 한다.
- (3) 지하수위계
 - ① 설치위치는 흙막이 벽체로부터 약 0.5 m 정도 이격되어 작업공간 확보가 용이한 곳이어

야 한다.

- ② 측정하고자 하는 지층 내에 카사그란데팁(Casagrande tip)이 위치하도록 하며, 팁 상단 0.5 m 정도와 주변은 입도가 양호한 모래나 투수성 재료로 채워 카사그란데팁의 투수성이 유지되도록 하여야 한다.
- ③ 모래나 투수성 재료 상부에는 패커나 불투수성 재료(벤토나이트재 등)를 1.0 m 정도 채워 상부 지층에서의 물이 침투하지 않도록 한 후 나머지 천공부는 원지반과 투수성이 유사한 토사로 채운다.
- ④ 굴착에 따라 지하수위 변화가 예상되는 지층마다 지하수위계를 설치하여 지반 내 지하수위를 관리하도록 하여야 한다.
- ⑤ 피압대수층이 존재하는 지층구성인 경우에는 피압대수층 내에 카사그란데팁 또는 간극수압계를 설치하고 상기의 설치방법을 따르도록 한다.
- ⑥ 설치가 완료된 후에는 하단부에 카사그란데팁이 부착된 PVC 측정관 내의 천공 작업용수는 양수하여 배출시킨 후 측정 대상지층의 지하수위가 측정되도록 하여야 한다.
- ⑦ 계측기 주변의 상·하수도관의 파손 등이 발생하는 경우 굴착에 따른 수위저하를 정확히 파악할 수 없으므로 계측기와 상·하수도관과의 이격거리 및 관의 크기를 기재하여 그 영향정도를 파악할 수 있도록 하여야 한다.
- ⑧ 굴착공정에 따라 재배열되는 유선망의 위치를 측정하여 영향거리 및 피해발생 가능성을 예측할 수 있도록 일정한 간격으로 1열로 배치하여야 한다.

(4) 하중계

- ① 하중계는 사용 목적에 적합한 구조로 제작하여야 하며, 하중계 정격용량은 현장의 작용 가능한 최대하중의 200 % 이상의 용량을 갖는 것을 사용한다.
- ② 편심을 방지하기 위하여 하중계의 중심과 지지부재의 축을 일치시켜 설치하여야 하며, 편심방지를 위한 보조기구인 플레이트(plate)를 상·하부에 설치하여야 한다.
- ③ 어스앵커 하중계는 인장 전에 브라켓에 하부 ‘플레이트-하중계-상부 플레이트-앵커 콘’의 순으로 설치하며, 반드시 앵커 축과 수직을 유지하도록 설치하여야 한다.
- ④ 버팀보 하중계는 띠장과 버팀보 사이에 ‘플레이트-하중계-플레이트’ 순으로 설치하여야 하며, 굴착에 따른 버팀보의 편심 하중을 받지 않도록 설치하여야 한다.
- ⑤ 설치지점에서 측정지점까지 케이블을 연장할 경우, 접합부는 정확하게 시공하여야 하며, 방수 성능과 연결부의 손상 방지를 위하여 완전하게 접합하여야 한다.

(5) 변형률 측정계

- ① 용도에 적합한 크기 및 종류를 선정하여 설치하여야 한다(전기저항식, V.W.형, 매설식, 표면 부착식).
- ② 측정하고자 하는 방향과 일치되도록 설치하여야 하며, 부재에 확실히 밀착시켜 일체화하여야 한다.
- ③ 강재에 설치한 측정계는 고전압에 의하여 기능이 저하될 수 있으므로 전선이 직접적으로 강재에 닿지 않도록 하여야 한다.
- ④ 설치지점에서 측정지점까지 케이블이 연장되어야 할 경우 정확한 접합, 방수 및 연결

부위의 파손을 방지하기 위하여 완전접합을 하여야 한다.

(6) 지표침하계

- ① 흙막이벽과 나란한 방향으로의 배치와 흙막이벽과 직각방향으로의 배치를 동시에 만족하여야 한다.
- ② 측량기준점은 이동될 수 없는 위치에 고정점을 확보하여야 한다. 현장 여건상 고정점 확보가 곤란한 경우 지중에 강봉을 매설하여 고정점을 설치할 수 있다.

(7) 지중침하계

- ① 중요구조물의 매설지점에 따라 천공깊이를 결정하여 굴착공을 천공하여야 한다.
- ② 케이싱 외부에 원하는 측점 개소만큼 감지소자를 끼워서 굴착공 내에 삽입하여야 한다.
- ③ 공 내의 여굴은 그라우팅을 실시하여야 한다.
- ④ 케이싱은 보링공이 자립하지 않는 부분까지만 삽입하여 계기의 설치가 끝나면 반드시 제거하여야 한다.
- ⑤ 초기값은 굴착공의 그라우팅이 양생된 후에 측정한다.

(8) 건물경사계

- ① Tiltmeter plate의 1축 - 3축의 1축이 현장방향으로 향하게 하고, 수평을 유지하도록 조정하여야 한다.

(9) 균열측정계

- ① 굴착공사 영향범위 내에 위치한 인접건물이나 구조물의 균열측정은 공사 전에 실시하여 초기치를 확보하여야 하며, 해당 건물 소유자의 확인을 받아야 한다.
- ② 균열측정은 계측기기 외에 사진이나 비디오 촬영을 실시하여 증거자료로 비치하여야 한다.

3.10.3.2 계측기기의 보정

- (1) 계측기기는 설치 전 및 설치 직후에 작동성을 검사하고 필요시 보정하여야 한다.

3.10.3.3 계측기기의 보호

- (1) 설치 후 계측기기의 일부가 노출되어 있는 계측기기는 공사용 장비나 사람에 의하여 훼손되지 않도록 적절한 보호 장치에 의하여 보호하여야 하고 잘 보이는 곳에 표지판을 설치하여야 한다.
- (2) 지중수평변위계는 그라우팅 완료 후 측정관 상부에는 뚜껑을 설치하여 흙이나 돌부스러기 등 이물질이 투입되지 않도록 한다.
- (3) 지하수위계 및 지중침하계는 측정관 상단의 지표면으로부터 우수 및 우수가 유입될 가능성이 있는 경우에는 지표수의 유입을 방지하기 위해 콘크리트 또는 모르타르로 주위를 타설하고 굴착공의 상단을 완전히 밀봉하여야 한다.
- (4) 지표침하계는 계측표식기초 콘크리트 경화 후 보호덮개를 씌워야 한다.

3.10.3.4 자료 전송 케이블 설치

- (1) 계측자료의 전송을 위한 케이블은 상시계측용으로 적합한 형식을 선정하고 케이블 포설 계획, 통신규격과 케이블 연결 및 접속에 대한 설치계획을 수립하여야 한다.
- (2) 계측기기 케이블은 계측기기 전용 케이블을 사용하여야 하며, 설치 시 매설지점에서 측정실까지 접속점이 없이 단일선으로 구성하여야 한다.
- (3) 모든 계측기기의 배선은 계측용 배관을 설치하여 보호하여야 한다.

3.10.3.5 계측시스템 설치에 따른 검사 및 시험

- (1) 계측시스템 설치 공사 후 조정 및 시험을 완료하고 다음과 같이 시운전 시험을 실시하여야 한다.
 - ① 계측기기 설치 책임기술자는 무부하 상태에서 기기의 1차 시운전에 대한 책임을 지며, 시험 완료 후 시험 결과 보고서를 공사감독자에게 작성 제출하여야 한다.
 - ② 종합 시운전은 부하 상태에서의 시운전으로서 본 설비와 관련된 타 설비와의 종합적인 시운전을 포함하여 총괄적인 기능을 확인할 수 있도록 하여야 한다.

3.10.3.6 계측기기의 관리

- (1) 계측기기는 성능보존 및 계측결과의 신뢰성 확보를 위하여 제작사가 제시한 방법과 절차에 따라 관리하여야 한다.
- (2) 계측기기 및 자료수집 장치에는 지침표찰과 명찰을 부착하여야 한다.

3.10.3.7 계측의 수행

- (1) 계측수행과 관리는 계측전담반에 의하여 수행되어야 한다.
- (2) 계측책임자는 계측기기의 특성과 굴착공사에 따른 지반 및 가설구조물의 거동을 이해할 수 있는 건설관련분야의 특급기술자이어야 한다.
- (3) 버팀대용 변형률계는 버팀대 거치 후 스크류잭(screw-jack) 가압 전·후 로 1회씩 측정을 하고 스크류잭 가압에 의한 차이를 파악하여야 하고, 띠장용 변위계도 스크류잭 가압 전·후에 측정하여 가압에 의한 변위량 차이를 기록하여야 한다.
- (4) 엄지말뚝용 변형률계는 띠장 거치 후 지지구조가 버팀대인 경우는 스크류잭 가압 전·후에 1회씩 측정, 지지구조가 앵커인 경우는 인장 전·후에 1회씩 측정하여 인장에 의한 변화량을 기록하여야 한다.
- (5) 지표침하(surface settlement) 측정은 레벨(level)을 이용하여 3회 이상 반복측정하여 확인된 수치를 기록하여야 한다.
- (6) 건물경사계(tiltmeter)는 계측값이 안정되지 않고 미세하게 움직이는 경우 2~3회 반복 측정한다.

3.10.3.8 계측빈도

- (1) 계측빈도는 붕괴유발 부재와 붕괴유발 부재가 아닌 경우로 분류하여 계측빈도를 정한다.

- (2) 붕괴유발 부재에 추가적인 하중이 가해지는 실시간 동안에는 실시간 계측을 실시하고, 붕괴유발 부재가 아닌 경우에는 통상적인 계측빈도를 적용한다.

3.10.3.9 계측기간

- (1) 측정기간은 계측기기 설치 후부터 지하구조물이 완성되고 되메움이 끝난 시점까지로 한다.
- (2) 버팀대용 계측기기의 측정기간은 계측기기 설치 후부터 버팀대 해체 전까지로 한다.

3.10.3.10 계측결과의 정리 및 분석

- (1) 계측기록지에는 지층구성, 지보공의 설치 유무 및 해체 유무, 흙막이벽체의 종류, 인접구조물의 근접정도, 인접구조물의 건축양식, 노후화 정도, 기초형태 및 깊이 등이 명시되어야 한다.
- (2) 계측결과는 시간경과에 따른 계측값의 변화를 그래프로 나타내어야 하며, 경시변화 그래프에는 지하수위 높이, 현재 굴착고의 변화 및 그에 따른 관리기준, 버팀대 설치 유무 및 해체 유무, 측정 시 온도 등을 기록하여야 한다.
- (3) 지중경사계의 계측결과는 계측시점의 굴착심도에 따른 관리기준치와 함께 심도별 시간-변위 경시변화 그래프를 나타내어 시공공정에 따른 분석이 가능하도록 하여야 한다.
- (4) 심도별 시간경과에 따른 계측값의 변화 그래프에서 굴착의 진행 없이 변위가 증가하거나 이상변위 발생 시에는 현장현황을 면밀히 관찰하여 그 사유를 반드시 확인하고 대책을 수립한 후에 굴착을 진행하도록 보고하여야 한다.
- (5) 계측결과는 굴착 전체 영역 중 한 구간에 설치된 지중경사계, 지하수위계, 하중계, 변형률계, 변위계, 지표침하계, 구조물 기울기계, 균열계, 진동계 등 각종 계측기기의 측정결과를 종합적으로 분석하여 해당 단면에서의 흙막이 구조계의 안정성 여부를 판단할 수 있도록 분석결과를 공사감독자에게 보고하여야 한다.

3.10.3.11 계측 관리기준

- (1) 계측 관리기준은 최대허용변위를 기준으로 하되 지반 상태, 흙막이 구조물, 인접 구조물에 미치는 영향 등 현장 요건을 고려하여 결정하여야 한다.
 - (2) 응력계측기인 경우 계측기 설치 시점의 하중상태를 고려한 구조해석 및 실내시험을 수행하여 관리기준치를 결정하여야 한다.
 - (3) 각종 변위계, 균열계, 지하수위계 등의 경우에는 초기치 확인 후 계측 관리기준을 설정하며, 초기치 설정 방법을 구체적으로 제시하여야 한다.
 - (4) 지중경사계의 관리기준은 다음 값을 참고하여 결정할 수 있다.
 - ① 지중경사계는 흙막이 구조물의 설계 시 정하여진 최대허용변위를 기준으로 관리기준을 정한다.
 - ② 최대허용변위는 흙막이벽체의 강성과 굴착심도(H)에 따라 결정할 수 있으며, 현장 여건과 상황에 따라 관계 전문가 또는 관리청과 관리기관의 승인하에 변경하거나 조정할 수 있다.
- 가. 강성 흙막이벽 ($t \geq 60$ cm인 콘크리트 연속벽): $0.002 H$ (H: 굴착심도)

- 나. 보통 흙막이벽 ($t \approx 40 \text{ cm}$ 정도인 콘크리트 연속벽): $0.0025 H$ (H : 굴착심도)
- 다. 연성 흙막이벽 (H -Pile과 흙막이판 설치하는 흙막이벽): $0.003 H$ (H : 굴착심도)
- ③ 인접지반의 균열방지를 위한 7일간(1주) 변위변화량은 아래의 허용기준을 참고하되 설계예상값을 초과하지 않도록 하는 것이 바람직하다.
- 가. $\delta \leq 2 \text{ mm}$ (7일간): 안전측
- 나. $2 \text{ mm} < \delta \leq 4 \text{ mm}$ (7일간): 주의 요망
- 다. $4 \text{ mm} < \delta \leq 10 \text{ mm}$ (7일간): 특별관리 요망
- 라. $10 \text{ mm} < \delta$ (7일간): 시급한 대책 요망
- ④ 암반의 미끄러움이나 지반앵커 정착부 이완 등을 점검하기 위한 1일간 변위변화량 기준은 아래와 같다.
- 가. $\delta \leq 1 \text{ mm}$ (1일간): 안전측
- 나. $1 \text{ mm} < \delta \leq 2 \text{ mm}$ (1일간): 주의 요망
- 다. $2 \text{ mm} < \delta \leq 4 \text{ mm}$ (1일간): 특별관리 요망
- 라. $4 \text{ mm} < \delta$ (1일간): 시급한 대책 요망
- ⑤ 현장 여건에 따라 위의 관리기준이 부적합하거나 계측기의 오차가 포함될 수 있으므로 계측은 꾸준히 실시토록 하고 관리기준치를 굴착단계에 따라 현장 여건에 맞게 보완토록 한다.
- ⑥ 벽체 변형은 3차관리기준을 흙막이벽체 강성에 따라 $0.002 \sim 0.003 H$ (H =굴착깊이)로 하고, 1차 및 2차 관리기준은 각각 3차 관리기준의 60%, 80%를 근거로 아래와 같이 판단하도록 한다.
- 가. 1차관리기준 $\geq$ 계측값: 안전측
- 나. 1차관리기준 $<$ 계측값 $\leq$ 2차관리기준: 주의 요망
- 다. 2차관리기준 $<$ 계측값 $\leq$ 3차관리기준: 특별관리 요망
- 라. 3차관리기준 $<$ 계측값: 시급한 대책 요망
- ⑦ 실측에 의한 변형량이 설계시의 추정치를 초과하는 단계부터는 현장기술자 및 공사감독자와 협의하여 역해석 여부를 결정하도록 한다.
- (6) 하중계의 관리기준은 다음을 기준으로 결정할 수 있다.
- ① 1차 관리기준치 (주의): 설계하중의 80~100% 수준으로 설정하며, 이 값을 초과하면 주의 깊은 관찰이 필요하다.
- ② 2차 관리기준치 (경고): 설계 하중의 100~120% 수준으로 설정하며, 이 값을 초과하면 즉시 전문가의 정밀 진단과 안전 조치가 필요하다.
- ③ 3차 관리기준치 (위험): 설계 하중의 120% 이상 등 현장 상황에 따라 설정하며, 이 값을 초과하면 즉시 작업을 중단하고 긴급 보강 대책을 강구해야 한다.
- (7) 지하수위계의 관리기준은 다음을 기준으로 결정할 수 있다.
- ① 관리기준의 설정은 설계 시보다는 현장 여건과 굴착상황에 따라 현장에서 설정하는 것을 기준으로 한다.
- ② 지하수의 급격한 하강 시에는 일단 굴착을 중지하고 차수벽의 이상 유무 및 배면 지

반의 침하 정도를 확인하여야 한다. 이후, 원수위로 회복되거나 이상이 없을 시에 굴착공사를 재개토록 한다.

- (8) 건물경사계의 관리기준은 구조물에 미치는 영향에 대한 각 변위의 한계와 구조물 기초의 종류에 따른 구조물의 손상한계를 기준으로 한다.

3.10.3.12 계측결과 보고

- (1) 계측결과와 정리는 계측수행 직후에 수행하여야 하며, 현장에서 얻어진 자료는 즉시 공사현황 및 기상상태 등을 고려한 분석을 통하여 성과를 도표 등으로 가시화하고 각종의 계측결과를 상호 연계시켜 분석하여야 하며, 예측치와 비교하여 이상 징후가 발견되었을 경우 즉시 시공자와 공사감독자에게 보고하여야 한다.
- (2) (1) 외의 계측결과 보고에 관한 사항은 이 기준의 3.1.3.12를 따른다.

3.10.3.13 제출물

- (1) 제출물은 이 기준의 1.4를 참고하여 공사감독자와 협의를 통해 필요한 자료를 제출하여야 한다.

3.11 발파진동유발공사

3.11.1 일반사항

3.11.1.1 적용범위

- (1) 발파진동유발공사의 계측관리는 각종 건설공사를 수행하기 위하여 실시하는 발파공사 중의 안전관리를 목적으로 한다.
- (2) 발파공사 계측관리는 발파공사 착수 시에 시행하는 시험발파 계측관리와 발파공사 중에 발파 영향권 범위에 위치하는 보안물건에서 실시하는 상시 계측관리로 구분한다.

3.11.2 재료

내용 없음

3.11.3 시공

3.11.3.1 계측기기의 설치

- (1) 계측기기는 제작사가 제공한 지침서에 명시된 절차에 따라서 정확하게 기기를 설치하여야 한다.
- (2) 발파진동 측정 장치 설치
- ① 진동가속도에 따른 설치방법은 다음 사항에 따른다.
- 가. 진동계이지 위치 지역의 모래, 다져지지 않은 흙, 화단이나 짚 등의 지반상태에 따라

- 기록의 정확성에 영향을 줄 수 있으므로 지반상태를 점검하여야 한다.
- 나. 진동게이지의 작동원리상 가능한 한 수평으로 설치하여야 한다.
- 다. 진동게이지의 진행방향 성분은 계측기기에 표시된 방향표시와 발파원의 방향이 항상 일치하도록 설치한다.
- 라. 진동가속도가 0.2 g 이하인 경우에는 매설이나 부착이 필요 없다.
- 마. 진동가속도가 0.2 g와 1.0 g 사이인 경우에는 매설이나 부착이 좋으며 스파이크로 박아 진동게이지를 고정하는 것이 좋다. 또한 계측기기의 스파이크가 지반에 삽입되지 않을 경우에는 모래주머니를 이용하여 계측기기를 완전히 고르게 덮어주어 하중을 가하여 지반과 같이 움직이도록 해준다.
- 바. 진동가속도가 1.0 g 보다 큰 경우에는 매설이나 견고한 부착이 요구된다.
- ② 부착이나 매설방법은 다음 사항에 따른다.
- 가. 매설높이는 계측기기 높이보다 3배를 넘지 않게 하며, 바닥에 비닐주머니로 계측기기를 넣고 묻거나 계측기기에 부착된 스파이크를 이용하여 지반에 박고, 계측기기의 주위와 위를 흙으로 견고하게 다진다.
- 나. 지반이 매우 굳거나 콘크리트구조물 그리고 암반과 같은 장소에 설치할 경우에는 고정판을 이용하여 볼트나 앵커로 고정시키거나 또는 석고, 시멘트 모르타르, 양면접착제, 에폭시 수지, 고무찰흙, 진흙덩어리 등을 이용하여 암반 표면이나 지반에 접촉시킨다.
- 다. 구조물의 기초가 지표에서 $\pm 30 \text{ mm}$ 내에 위치한다면 계측기기를 구조물의 기초에 부착할 수 있다. 단, 이 방법은 매설, 스파이크로 박거나 모래주머니를 덮는 방법 등이 어려운 경우에만 사용한다.
- ③ 기타 설치방법은 다음 사항에 따른다.
- 가. 스파이크 고정 시에는 흙의 교란을 최소화하면서 뗏장을 제거하고, 스파이크가 부착된 계측기기를 지반에 견고하게 압착시킬 필요가 있다.
- 나. 계측기기의 스파이크가 지반에 삽입되지 않을 경우 모래주머니를 이용하며, 모래주머니는 충분히 커야 하고 50 N ~ 120 N 무게 정도의 모래로 느슨하게 채우고, 지반과 최대한 견고하게 접촉할 수 있도록 수직단면은 가능한 한 낮게 그리고 넓게 하여 고르게 덮어 계측기기에 하중을 가해줌으로써 지반과 같이 거동하게 해준다.
- (3) 발파소음(폭풍압) 측정 장치 설치
- ① 측정지점에 건물, 자동차 다른 장애물들이 가까이에 위치하게 되는 경우 소음측정용 마이크는 이러한 것들에 의해 발파로부터의 발파풍이 방해를 받지 않도록 설치하여야 한다. 그러나 방해물들을 피할 수 없다면 방해물과 소음측정용 마이크 사이의 수평거리가 마이크보다 위에 위치하는 방해물 높이보다는 더 커야 한다.
- ② 구조물과 너무 가까이 설치한다면 폭풍압이 건물표면으로부터 반사되어 더 증폭될 수 있으므로, 구조물에 의한 반향을 최소화하기 위하여 소음측정 계측기기는 가급적 모서리에 설치하여야 한다.
- ③ 바람의 영향을 줄이기 위해 계측기기는 제작사에서 제공하는 바람막이용 스크린을 부

착하여야 한다.

3.11.3.2 계측기기의 보정

- (1) 계측기기는 설치 전 및 설치 직후에 작동성을 검사하고 필요시 보정하여야 한다.
- (2) 계측수행 중 계측치가 특이하게 변화되는 경우 계측기의 이상 유무를 확인하고 필요시 보정한다.
- (3) 구입 후 1년 이상 경과하였거나 빈번하게 측정된 계측기기는 연 1회 교정을 하여야 한다.
- (4) 발파진동 측정
 - ① 지반진동 트리거수준은 측정목적에 따라 예상되는 진동속도를 고려하여 트리거수준을 설정하여야 한다. 일반적으로 트리거수준의 설정 형태는 지반진동이나 발파풍압을 기준으로 설정하지만 일반적으로 진동을 기준으로 설정한다.
 - ② 기록될 파형의 해상도는 측정된 파형이 발파에 의한 파형인지 아닌지를 확인할 수 있어야 한다.
 - ③ 진동기록시간은 음속과 발파원과의 거리 그리고 발파지속시간을 고려하여 입력한다. 일반적으로 발파진동 지속시간보다 긴 2초를 기본으로 설정하고 발파원으로 부터 매 300 m마다 1초씩 추가한다.
 - ④ 주의할 사항은 지발발파에서 발파소요 시간을 고려하여 최대발파 소요시간보다 높은 단계의 시간을 설정하도록 한다.
- (5) 발파소음(폭풍압) 측정
 - ① 잘못된 소음들의 발생에 의한 작동을 최소화하기 위해 주변의 암소음도를 사전에 측정하여 그 수준보다 높게 설정하여야 한다.
 - ② 폭풍압만의 측정이 요구될 때는 폭풍압에 맞게 트리거수준을 충분히 낮추어 설정하여야 한다.
 - ③ 폭풍압만을 측정할 경우 발파 지속시간보다 길게 설정하여야 하며, 지반진동과 폭풍압 측정을 동시에 기록할 경우 지반진동의 설정지침을 따른다.

3.11.3.3 계측기기의 관리

- (1) 계측기기는 성능보존 및 계측결과와 신뢰성 확보를 위하여 제작사가 제시한 방법과 절차에 따라 관리하여야 한다.
- (2) 수동에 의한 측정 시 측정지점에 진동 및 소음을 유발할 수 있는 조건을 최대한 배제하여 관리한다.
- (3) 자동에 의한 측정 시 측정기기 주변에 계측 중임을 알리는 표지판을 붙이고 가급적 측정기기에 근접되지 않는 장소를 선택하여 관리한다.

3.11.3.4 계측의 수행

- (1) 계측수행책임자는 계측기기의 특성과 발파공해의 영향을 이해할 수 있는 건설관련분야의 특급기술자이어야 한다.
- (2) 계측수행은 발파관련 전문엔지니어링 업체에서 수행하여 주변 보안물건의 안전성 확인과 향후 발파관련 민원 등에 대비하여 객관적인 자료를 축적할 수 있을 정도로 수행한다.
- (3) 발파진동 및 발파소음(폭풍압)은 측정항목별 측정방법에 따라 측정을 실시한다.
- (4) 시험발파 시 계측수행은 다음 사항에 따른다.
 - ① 시험발파 시 지반의 전파특성을 파악하여 발파영향권 분석을 위한 현장 진동추정식을 구하기 위함이므로 가급적 주요 보안물건 방향으로 일직선이면서 등간격으로 배치한다.
 - ② 최상의 감쇠관계를 구하기 위해서 지질상황이 일정한 지역에 측선을 설정하여 장비를 배치한다.
 - ③ 측정은 원칙적으로 수직성분(V: Vertical), 진행성분(L: Longitudinal), 접선성분(T: Transverse)에 대한 3성분을 동시에 측정한다.
 - ④ 시험발파의 정량적인 분석을 하기 위해 통계적 의미가 있는 수의 측정자료가 필요하며, 최소 30측점을 획득할 수 있도록 발파횟수 및 계측기 설치 대수를 계획하여 신뢰도를 높인다.
 - ⑤ 계측기기는 지반운동이 같이 거동할 수 있도록 지반 위나 구조물상에 계측기기를 견고하게 고정시키며, 단단한 지반에서는 계측기기에 부착된 스파이크(spike)를 이용하여 지반에 견고하게 설치한다.
 - ⑥ 계측기기의 설치 방향은 계측기기에 표시된 방향표시와 발파원의 방향이 항상 일치하도록 하고 계측을 수행한다.

3.11.3.5 계측빈도

- (1) 발파에 의한 굴착을 하는 경우 진동 및 소음의 계측은 매 발파 시마다 실시한다.
- (2) 기계에 의해 굴착하는 경우 2회 ~ 3회/일의 빈도로 계측한다.

3.11.3.6 계측결과의 정리 및 분석

- (1) 계측결과는 발파공해의 특성을 이해하고 발파에 대해 경험이 풍부한 건설 관련분야의 기술자에 의하여 분석되어야 한다.
- (2) 계측결과 기록지에 사업명, 위치, 일시, 시공업체, 계측수행업체 등을 기록 한다.
- (3) 계측분석 결과 주변에 대한 각종 영향이 있다고 판단되는 경우에는 이에 대한 적절한 조치를 취하고, 그 원인을 규명한 후 후속 발파 작업에 임한다.
- (4) 계측이 종료되면 계측결과를 정리하여 공사감독자에게 제출하여 확인을 얻은 후 후속 작업을 진행한다.
- (5) 계측결과 분석에 대한 세부사항은 다음에 따른다.
 - ① 정량적인 회귀분석을 위해 시험발파 패턴은 천공과 장약량을 각기 달리하여 다양하게

실시하는 것을 원칙으로 하되, 단일 패턴을 적용할 경우에는 계측거리를 달리하여 다양한 환산거리(scaled distance)를 획득할 수 있도록 고려한다.

- ② 분석측점 수는 최소 30개 이상의 계측자료를 이용하여 분석한다.
- ③ 계측된 자료는 회귀분석기법에 의해 통계처리를 하여야 하며, 이때 입력되는 자료는 각 성분의 최대입자속도(PPV: Peak Particle Velocity)를 기준으로 한다.
- ④ 회귀분석은 자승근 환산거리와 삼승근 환산거리에 의해 수행하여 적합도가 높은 추정식을 적용한다.
- ⑤ 회귀분석 후 산출된 발파진동 추정식은 신뢰수준 95% 값을 적용한다.
- ⑥ 계측결과 추정식의 상관계수가 0.70에 미치지 못하는 경우에는 시험발파를 다시 실시하여야 한다.

3.11.3.7 계측 관리기준

- (1) 발파진동의 분석과 평가를 실시하는 데 판단의 기초가 되는 수량적 한계가 필요하나, 구조물의 재질, 구조, 기초 등의 다양성과 진동파의 입사각도 및 주파수 등에 따라 변화되기 때문에 국내에서도 법적인 규제기준이 마련되고 있지 않고 발주처별로 신축적으로 적용되고 있다. 따라서 국내에서 적용되고 있는 발파진동에 대한 기준과 배경, 시험발파결과를 참조로 하여 전문가가 현장에 적합한 발파진동 허용기준을 설정하여야 한다.
- (2) 발파진동기준을 설정할 때는 보안물건에 대한 상태와 현황을 상세히 파악한 후 발파진동기준을 발파작업의 안전관리 기준치, 발파진동 허용기준, 발파진동 허용한계기준으로 구분하여 제안하여야 한다.
 - ① 발파작업의 안전관리기준: 발파작업의 불확실한 요소를 감안하면서 완벽한 안전을 보장하기 위한 기준치
 - ② 발파진동 허용기준: 실제로 인근 보안물건에 전혀 피해 발생이 없는 기준치
 - ③ 발파진동 허용한계기준: 보안물건에 미세피해라도 유발할 수 있는 피해한계의 최하한치
- (3) 발파진동치는 각 성분의 최대치(PPV: Peak Particle Velocity)를 기준으로 한다.
- (4) 국내에서 적용되고 있는 발파진동의 권고기준은 표 3.11-1, 표 3.11-2와 같으며, 도로설계기준의 경우 KDS 44 30 00 표 4.4-4, 터널설계기준의 경우 KDS 27 20 00 표 4.2-1에 제시되어 있다.

표 3.11-1 건교부 노천발파설계지침의 국내 권고기준 (2006. 12)

구분	유적, 문화재, 컴퓨터 시설물	주택, 아파트	상업용 건축물	철근콘크리트 건물 및 공장
진동속도 (cm/sec)	0.2	0.3 ~ 0.5	1.0	1.0 ~ 5.0

주 1) 노천발파 시에는 폭음과 진동이 수반되어 발생되어 인체감응도에 따른 민원 예방기준으로 일종의 달성이 요망되는 표준의 뜻이 포함된 것으로 이를 초과 시 건물 등에 피해가 발생된다는 의미가 아닌 것으로 평가

표 3.11-2 환경분쟁조정위원회 발파진동 허용기준

건전도 등급	대상건축물	진동속도, cm/sec			
		주파수대역			
		< 10 Hz	10 ~ 40 Hz	40 ~ 100 Hz	>100 Hz
I	철근콘크리트조 건물	1.5	1.5 ~ 4.5	4.5 ~ 5.0	5.0
II	콘크리트, 벽돌조 건물	1.0	1.0 ~ 2.5	2.5 ~ 3.0	3.0
III	조적조 시멘트 블록조 건물	0.5	0.5 ~ 1.5	1.5 ~ 2.0	2.0
IV	III의 건물을 개축한 건물. 역사적 보호건물	0.25	0.25 ~ 0.75	0.75 ~ 1.0	1.0

주 1) 건전도는 건축물의 종류와 상태의 양호함을 의미하나 전문가의 평가가 필요함.

3.11.3.8 계측 결과보고

(1) 계측결과 보고는 이 기준의 3.1.3.12를 따른다.

3.11.3.9 제출물

(1) 제출물은 이 기준의 1.4를 참고하여 공사감독자와 협의를 통해 필요한 자료를 제출하여야 한다.

3.12 가물막이 및 동바리 공사

3.12.1 일반사항

3.12.1.1 적용범위

- (1) 가물막이 및 동바리 공사의 시공 중 지반계측의 적용범위는 이 기준의 1. 일반사항 1.1을 따르며, 구조물을 시공하기 위해 설치하는 가물막이 및 동바리 등 가시설물에 적용한다.
- (2) 위 (1) 이외의 목적에 대한 계측관리는 별도로 한다.

3.12.2 재료

3.12.2.1 계측기기의 종류

- (1) 하중계는 작용 가능한 최대하중의 200 % 이상의 용량을 갖는 것을 사용한다.
- (2) 변위계는 1/100 mm이하의 정밀도를 만족하여야 한다.
- (3) 변형률계는 설치되는 조건에 적합한 제품이어야 한다.
- (4) 경사계의 정밀도는 1 mm를 원칙으로 한다.

3.12.2.2 계측자료 획득 장치

- (1) 계측대상 조건을 고려하여 자동화 또는 반자동화 운용기법을 선정하여야 한다.
- (2) 콘크리트 타설을 위한 동바리의 경우 콘크리트 타설 시 집중적으로 하중이 가해지게 되므로 조기에 징후를 감지하는 것이 중요하고 모니터링과 동시에 신속하게 그 정보를 전달, 처리하는 것이 필요하므로 실시간 계측자료의 수집, 처리, 해석까지를 일관하여 처리하는 자동화 기술을 사용하는 것을 원칙으로 한다.

3.12.3 시공

3.12.3.1 계측기기의 설치

- (1) 가시설에 설치하는 모든 계측기기는 굴착이나 가시설을 설치하기 전에 설치 완료하여 가시설에 작용하는 어떤 하중의 영향이 측정위치에 미치기 전에 초기치 측정을 완료하여야 한다.
- (2) 시공단계상 시공이 완료되지 않은 상태에서 설치가 어려운 것은 계측대상 가시설물을 설치하고 다음 공사단계를 넘어 가기 전에 설치한다.

3.12.3.2 계측기기의 보정

- (1) 계측기기는 설치 전 및 설치 직후에 작동성을 검사하고 필요시 보정하여야 한다.

3.12.3.3 계측기기의 보호

- (1) 설치된 계측기기는 공사 또는 기타의 영향으로 손상되지 않도록 보호하여야 한다.

3.12.3.4 자료 전송 케이블 설치

- (1) 계측기기 케이블은 계측기기 전용 케이블을 사용하여야 하며, 설치 시 매설지점에서 측정실까지 접속점이 없이 단일선으로 구성하여야 한다.

3.12.3.5 계측시스템 설치에 따른 검사 및 시험

- (1) 계측기기 설치 공사 후 조정 및 시험을 완료하고 시운전 시험을 실시하여야 한다.

3.12.3.6 계측기기의 관리

- (1) 계측기기는 성능보존 및 계측결과의 신뢰성 확보를 위하여 제작사가 제시한 방법과 절차에 따라 관리하여야 한다.
- (2) 계측기기 및 자료 수집장치에는 지침표찰과 명찰을 부착하여야 한다.
- (3) 설치된 계측기기는 계측명, 위치, 초기 측정일자와 초기 측정값이 기록된 표시판을 설치하여 관리하여야 한다.

3.12.3.7 계측의 수행

- (1) 시간경과에 따른 하중의 변화가 지속적으로 발생하는 경우에는 하중이 재하되는 시간 동안에는 실시간 계측하여야 하며 측정결과를 검토하고 필요한 조치에 대해 공사감독자에게 보고하여야 한다.
- (2) 계측의 수행과 관리는 시공자나 유지관리 주체가 계측전담반을 직접 운영하거나 계측 전문업체에 위탁하여 수행할 수 있다.
- (3) 계측책임자는 계측기기의 특성과 계측기기가 부착된 부재의 거동을 이해할 수 있는 건설관련분야의 특급기술자이어야 한다.

3.12.3.8 계측빈도

- (1) 시간경과에 따라 가시설에 하중이 변하는 경우에는 실시간으로 계측을 하여야 한다.
- (2) 가시설물 중에서 실시간 하중이 변화하지 않은 경우에는 실시간 계측을 하지 않아도 된다.

3.12.3.9 계측기간

- (1) 계측기간은 계측기기 설치 후부터 계측값의 수렴이 확인될 때까지를 원칙으로 한다.

3.12.3.10 계측결과의 정리 및 분석

- (1) 계측결과의 정리는 계측 수행 직후에 수행하여야 한다.
- (2) 실시간 계측을 실시하는 경우 계측담당자는 실시간 계측결과를 모니터링하고 절대변화량 및 변화속도를 분석하여 계측대상 부재의 위험성을 판단하여야 한다.

3.12.3.11 계측 관리기준

- (1) 계측 관리기준은 재료의 성질에 의해 결정하는 것을 원칙으로 하고 기준값은 구조계 산서상의 설계예상값을 참고하여 결정하여야 한다.
- (2) 계측기간 중 계측 관리기준값은 변화의 절대변화량 및 변화속도 등을 참고하여 지속성 또는 급변성에 대해 각각 결정하여야 한다.

3.12.3.12 계측결과 보고

- (1) 실시간 계측을 실시하는 경우 계측담당자는 실시간 계측결과를 모니터링하고 절대변화량 및 변화속도를 분석하여 계측대상 부재가 소요하중을 지지하기에 부적당하며 불

안전하다고 판단될 경우에는 즉시 공사감독자에게 보고하여야 하고 공사감독자는 시공자에게 후속 작업의 진행을 중지시킬 수 있다.

(2) (1) 외의 계측결과 보고에 관한 사항은 이 기준의 3.1.3.12를 따른다.

3.12.3.13 제출물

(1) 제출물은 이 기준의 1.4를 참고하여 공사감독자와 협의를 통해 필요한 자료를 제출하여야 한다.



집필위원

성 명	소 속	성 명	소 속
강인규	(주)브니엘컨설팅	김태식	홍익대학교

자문위원

성 명	소 속	성 명	소 속
윤희정	홍익대학교		

국가건설기준센터 및 건설기준위원회

성 명	소 속	성 명	소 속
이영호	한국건설기술연구원	정문경	한국건설기술연구원
김기현	한국건설기술연구원	강대규	(주)한가람
김나은	한국건설기술연구원	김기석	(주)희송지오택
김민관	한국건설기술연구원	김기연	(주)경동엔지니어링
김재훈	한국건설기술연구원	김만일	산림조합중앙회
김희석	한국건설기술연구원	박이근	(주)지오알앤디
류상훈	한국건설기술연구원	박재현	한국수자원공사
안준혁	한국건설기술연구원	송 훈	(주)동해종합기술공사
원훈일	한국건설기술연구원	여규권	삼부토건(주)
유영수	한국건설기술연구원	정재형	한국건설기술연구원
이상규	한국건설기술연구원		
이소정	한국건설기술연구원		
이승재	한국건설기술연구원		
이승환	한국건설기술연구원		
이용수	한국건설기술연구원		
이원종	한국건설기술연구원		
주영경	한국건설기술연구원		
최봉혁	한국건설기술연구원		
허원호	한국건설기술연구원		

중앙건설기술심의위원회

성 명	소 속	성 명	소 속
김상철	(주)삼안	민영욱	특수건설
김선백	대우건설	송영석	한국지질자원연구원
김성호	대보건설	장범수	한국건설품질연구원
문인기	앰플러스이엔씨(주)		

국토교통부

성 명	소 속	성 명	소 속
권미정	기술혁신과	신중호	기술혁신과
양성모	기술혁신과		

(분야별 가나다순)

KCS 11 10 15 : 2025 시공 중 지반계측

2025년 12월 24일 개정

소관부서 국토교통부 기술혁신과

관련단체 (사)한국지반공학회
05836 서울특별시 송파구 법원로9길 26, C동 701호(문정동,에이치비즈니스파크)
Tel : 02-3474-4428 E-mail : kgssmfe@hanmail.net
<http://www.kgshome.org>

작성기관 (사)한국지반공학회
05836 서울특별시 송파구 법원로9길 26, C동 701호(문정동,에이치비즈니스파크)
Tel : 02-3474-4428 E-mail : kgssmfe@hanmail.net
<http://www.kgshome.org>

국가건설기준센터
10223 경기도 고양시 일산서구 고양대로 283(대화동)
Tel : 031-910-0444 E-mail : kcsc@kict.re.kr
<http://www.kcsc.re.kr>