

설계기준 Korean Design Standard

KDS 11 10 15 : 2021

지반계측

2021년 12월 16일 개정
<http://www.kcsc.re.kr>

KDS 11 00 00 지반 설계기준

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.

또한 「훈령·예규 등의 발령 및 관리에 관한 규정」에 따라 이 고시에 대하여 2022년 1월 1일 기준으로 매 3년이 되는 시점(매 3년째의 12월 31일까지를 말한다)마다 그 타당성을 검토하여 개선 등의 조치를 하여야 한다.

건설기준 연혁

- 이 기준은 건설기준 코드체계 전환에 따라 기존 건설기준(설계기준, 표준시방서) 간 중복·상충을 비교 검토하여 코드로 통합 정비하였다.
- 이 기준은 지반계측에 대한 기준으로 연혁은 다음과 같다.

건설기준	주요내용	제정 또는 개정 (년.월)
KDS 11 10 15 : 2016	• 건설기준 코드체계 전환에 따라 지반계측에 해당되는 부분을 정비함.	제정 (2016.6)
KDS 11 10 15 : 2016	• 한국산업표준과 건설기준 부합화에 따라 수정함	수정 (2018.7)
KDS 11 10 15 : 2021	• 건설기준 코드작성 지침 반영, 자동화 계측, 유지관리 중 계측 추가, 계측 간격, 계측기기 배치 등에 대한 명확화	개정 (2021.12)

제 정 : 2016년 6월 30일

개 정 : 2021년 12월 16일

심 의 : 국토교통부 중앙건설기술심의위원회

자문검토: 국가건설기준센터 건설기준위원회

소관부서 : 국토교통부 기술혁신과

관련단체 : 한국지반공학회

작성기관 : 한국지반공학회

목 차

1. 일반사항	1
1.1 목적	1
1.2 적용범위	1
1.3 참고 기준	1
1.4 용어의 정의	1
1.5 기호의 정의	1
1.6 계측의 분류	2
1.7 계측계획의 수립	3
1.8 계측단면의 선정	6
1.9 계측항목의 선정	6
1.10 계측기기의 배치	7
1.11 계측기기의 선정	8
2. 조사 및 계획	9
3. 재료	9
4. 설계	9
4.1 공종별 계측계획	9
4.2 계측기기 및 계측시스템의 구성	29

1. 일반사항

1.1 목적

- (1) 이 기준은 건설공사 중 공사 중인 시설물과 유지관리 중인 시설물의 안전을 목적으로 지반계측을 통해 설계시의 불확실성을 확인하고 안전한 공사를 위한 지반계측에 대한 설계기준의 제시를 목적으로 한다.

1.2 적용범위

- (1) 이 기준은 공사 중인 시설물의 안전 및 품질관리와 준공되어 유지관리 중인 시설물의 안전을 목적으로 설계시의 불확정성 확인 및 안정성 평가 등의 안전관리 기본 자료를 취득하는 행위로 정의한다.
- (2) (1)항 이외의 목적에 대한 계측관리는 별도로 계획한다.
- (3) 계측기기의 사양, 측정단위, 설치위치 등 세부사항은 해당공사의 설계도서 및 특별시방서 등에 따른다.
- (4) 본 기준은 공사 중 및 유지관리 중 기본적으로 갖추어야 할 계측에 관한 사항을 정리하고 있으며, 현장 조건에 따른 추가 사항은 별도로 정하도록 한다.
- (5) 계측 대상 시설물은 각 계측 대상 각론에 따른다.
- (6) 계측용역 발주자 및 공사감독자는 계측책임자가 계측과 관련하여 요구하는 제반사항에 적극적으로 협조하도록 계획하여야 한다.

1.3 참고 기준

1.3.1 관련 법규

내용 없음

1.3.2 관련 기준

내용 없음

1.4 용어의 정의

내용 없음

1.5 기호의 정의

내용 없음

1.6 계측의 분류

1.6.1 시설물 계측

- (1) 시설물의 계측은 계측시기, 계측목적, 계측기간, 하중작용 등의 제반특성에 따라 분류한다.

1.6.2 계측목적에 따른 구분

- (1) 안전성(안정성) 평가 계측은 시설물의 안전성 또는 안정성을 평가하기 위하여 실시하는 계측이다.
- (2) 사용성 평가 계측은 시설물의 사용성을 평가하기 위하여 실시하는 계측이다.
- (3) 보수·보강 계측은 보수·보강의 효과 및 품질을 평가하기 위하여 실시하는 계측이다.
- (4) 특별 계측은 정밀안전진단 시의 내하력 평가 또는 계측 대상 시설물의 심층적 거동분석 등 특별한 목적으로 수행되는 계측이다.

1.6.3 계측기간에 따른 구분

- (1) 단기계측은 소규모의 흠막이 가시설 등과 같이 크리프나 온도 변화 등이 계측 결과에 큰 영향을 받지 않는 단기간에 수행하는 계측이다.
- (2) 장기계측은 정밀 시공 및 유지관리를 위해 장기간에 걸쳐 수행되는 계측이다.

1.6.4 계측시기에 따라 공사 중 계측과 유지관리 중 계측으로 구분

- (1) 공사 중 계측은 공사기간 중 시공자 및 주변시설물의 안전성을 확보하고, 시설물의 품질 및 초기값을 확보하기 위하여 실시하는 계측이다.
- (2) 유지관리 중 계측은 준공된 시설물에 대해서 시설물의 안전성, 사용성 및 내구성을 파악하기 위하여 실시하는 계측이다.

1.6.5 계측 대상 시설물에 작용하는 하중의 특성에 따른 구분

- (1) 정적 계측은 계측 대상의 동적 거동을 분석하기 위하여 필요한 측정 주기보다 낮은 빈도로 측정되는 계측을 의미하며, 비교적 측정 속도가 느린 정적 데이터 획득 시스템(data logger)과 계측기기를 사용할 수 있다.
- (2) 동적 계측은 구조물의 동적 해석을 위해 필요한 측정 빈도 이상으로 수행되는 계측을 의미한다.
- ① 정적 계측에 비해 상대적으로 짧은 계측 주기를 갖기 때문에 속도가 빠른 계측기기를 선정하여야 하며 계측기기도 구조물의 동적 거동에 빠른 속도로 반응할 수 있는 제품을 선정하여야 한다.
- ② 구조물의 거동분석을 위해서 해석에 필요한 초당 샘플 수, 측정 시간 등을 결정하여야 한다.
- ③ 또한 유지 관리자가 초당 샘플 수와 측정 시간, 횟수를 임의로 조정이 가능하도록 운

영 프로그램을 설계하여야 한다.

1.6.6 데이터의 수집 방법에 따른 구분

- (1) 수동계측은 계측기기로부터 자료를 입력으로 수집하고 그 후의 처리는 별도의 컴퓨터로 실시하는 자료 수집방법이다.
- (2) 반자동 계측은 기록지 또는 저장장치에 계측자료를 기록할 때까지를 자동화하고, 그 후의 처리는 별도의 컴퓨터로 실시하는 자료 수집방법이다.
- (3) 자동계측은 자료 수집, 해석, 그래프화까지를 유선·무선으로 온라인화 된 시스템으로 일관하여 실시하는 계측방법이다.

1.6.7 데이터의 전송 방법에 따른 구분

- (1) 유선계측은 계측기기로부터 측정된 계측 결과를 케이블을 통하여 전송하여 데이터로 거 또는 컴퓨터로 직접 수집하는 계측방법이다.
- (2) 무선계측은 계측기기로부터 측정된 결과를 케이블을 통하지 않고 무선으로 전송하여 데이터를 수집하는 계측방법이다.
- (3) 유무선 계측은 계측자료를 수집하는 과정에서 일부분은 무선에 의해 자료를 전송하고 일부분은 유선에 의해 계측자료를 전송하는 계측방법이다.

1.7 계측계획의 수립

- (1) 계측계획의 수립 시 계측관리는 현장여건, 지반조사 결과 등에 따라 측정방식(수동, 반자동, 자동 계측)을 결정하여 계획하여야 한다.
- (2) 인접 구조물과의 근접 시공 구간, 응력이 집중되는 단부, 설계 및 시공상 구조적으로 취약할 것으로 예상되는 구간 등에는 자동화 계측방법의 적용을 검토하여야 한다.
- (3) 자동화 계측의 경우에는 이상 작동에 대비하여 수동측정이 가능하도록 계획하여야 한다.
- (4) 계측책임자는 계측착수 전에 설계 시 작성된 계획을 검토하고 현장여건을 반영하여 상세한 계측수행 및 분석계획, 유지관리용 계측기기의 초기치 설정 및 보호 등에 대한 계획을 작성하도록 계획하여야 한다.
- (5) 설계 시 수립된 계측계획은 시공 시 확인되는 현장여건, 지반상태 및 초기 계측결과 등에 근거하여 필요한 경우 보완하여 적용할 수 있도록 계획하여야 한다.
- (6) 계측 계획서는 계측의 목적을 효과적으로 확보할 수 있도록 다음 사항을 충분히 고려하여 수립하여야 한다.
 - ① 계측 대상 시설물(공사)의 개요 및 규모
 - ② 계측 대상 시설물의 구조적 형태(여건, 환경 등의 자료조사 포함)
 - ③ 계측목적, 계측항목, 계측범위, 계측위치, 계측방법 및 시스템의 구성
 - ④ 계측기기의 종류, 사양 및 수량, 검교정 계획
 - ⑤ 계측기기의 설치, 유지관리 방법

- ⑥ 계측결과의 수집방법
- ⑦ 계측결과의 해석방법
- ⑧ 계측자료의 보관, 활용 방법 및 체계
- ⑨ 계측결과를 유지 관리에 활용하는 방법
- ⑩ 계측관리방법(위탁 또는 직영), 직영 관리 시 계측요원의 교육방법
- (7) 제반 여건상 장기적인 안전관리가 필요한 경우에는 이를 위한 계측계획을 수립하여야 하며, 이에 대한 모든 사항은 준공 시 발주자에게 서면으로 이관하여 시설물 운영 시에도 정기적인 계측이 가능하도록 계획을 수립하여야 한다.
- (8) 계측 시에는 동일한 시험이나 계측을 반복하는 것이 어려운 경우가 많기 때문에 계측 준비와 계측과정에서의 오차를 최소화하는 방안을 제시하도록 계획하여야 한다.
- (9) 계측은 일반적인 지침이나 기준에 따라 시행하지만, 계측결과에 포함되는 오차는 경험적인 방법으로 판단할 수 있는 경우가 대부분으로서, 신뢰성 있는 결과를 도출하기 위해서는 참여기술자에 대한 충분한 교육계획을 수립하여야 한다.
- (10) 계측결과에 직접적으로 영향을 미칠 수 있는 다음의 요인들을 분석하여 계측계획을 수립하여야 한다.
 - ① 계측기기 설치에 따른 영향
 - 가. 곡면 부착의 영향
 - (가) 변형률 게이지는 구조부재에 부착시켜 신호를 획득하는 방식이므로 계측기기가 부착될 표면의 처리 및 부착품질에 따라서 계측결과의 신뢰성이 영향을 받으므로 주의하여야 한다.
 - (나) 강부재 또는 철근에 변형률 게이지를 부착하는 경우, 그라인딩 등으로 청결 작업하는 과정에서 측정면이 오목한 곡면 형상으로 표면처리 되면 저항값의 변화를 가져와 계측 오차를 유발시킬 수 있으므로 계측기기의 부착면은 가급적 평면이 되도록 주의하여야 한다.
 - 나. 응력집중 부분의 부착
 - (가) 계측의 목적이 국부적인 응력집중 현상을 파악하고자 하는 것인지 또는 공칭응력을 파악하고자 하는 것인지에 따라 적절한 위치를 선정하여 부착하여야 한다.
 - ② 계측기기 게이지율의 보정
 - 가. 사용 계측기기의 게이지율과 측정에 사용되는 계측기기의 게이지율이 다른 경우, 이에 대한 보정을 하여야 한다.
 - ③ 각도 오차
 - 가. 측정하고자 하는 방향과 계측기기의 설치방향이 일치하지 아니한 경우, 설치각도 오차가 발생하므로 계측기기 설치 시 설치각도가 측정하고자 하는 방향과 일치하도록 신중히 설치하여야 한다.
 - ④ 계측기기 이동오차
 - 가. 교하공간이 높은 상부구조의 계측을 위해 비계 등을 설치하여 계측기기를 고정하게 되는 경우, 계측기기를 비계 등에 견고하게 고정하여야 하며, 비계의 움직임 등에 의

해 계측오차가 발생하지 않도록 주의하여야 한다.

⑤ 계측결과의 온도 의존성

가. 전기저항식 계측기기를 사용하여 측정한 값의 정밀도는 환경, 재질, 시간, 회로, 측정기 등의 영향을 받으며, 그중에서도 가장 큰 인자로서는 측정 중의 온도 변화에 의한 계측값의 변화이므로 주의하여야 한다.

나. 계측기기를 측정하고자 하는 곳에 부착하면 하중을 가하지 않은 상태에서도 온도의 변화에 따라 저항값이 달라지게 되어 계측값에 영향을 주게 되므로 주의하여야 한다.

다. 온도에 의한 영향을 보상하기 위해서는 일반적으로 자기온도 보상형 계측기기를 사용하거나, 회로구성을 적절히 하는 방법들이 있으며, 이에 관련된 상세한 내용은 계측기기 제조사의 사용자설명서를 참고하도록 한다.

⑥ 습도에 의한 영향

가. 계측기기의 측정값은 계측기기 주변의 습도에 의해서도 큰 영향을 받으므로 주의하여야 한다.

나. 일반적으로 실내에서 짧은 시간동안 계측이 이루어지는 경우, 방습처리는 불필요할 수 있으나, 장시간 또는 습한 현장에서 재하시험을 실시하는 경우는 방습처리가 필요하다.

다. 특히, 콘크리트 표면에 계측기기를 부착하는 경우 콘크리트 표면의 건조상태, 측정장소의 환경 및 콘크리트 내부로부터의 습기 등을 고려하여 적절한 방습처리를 하여야 한다.

⑦ 리드와이어 길이에 의한 영향

가. 계측기기와 측정장비를 연결하는 리드와이어의 길이가 너무 길면 저항값이 변화되어 정밀한 측정이 불가능하므로 유의하여야 한다.

나. 일반적으로 와이어의 길이는 정적 측정의 경우 50 m, 동적 측정의 경우 30 m 이하로 제한하는 것이 바람직하다.

⑧ 직사광선에 의한 영향

가. 계측 수행 중에 노출되어 있는 리드와이어에 직사광선 또는 기타의 원인으로 온도가 상승하면 계측오차를 유발한다. 따라서, 현장 계측에서 계측기기는 물론 노출된 리드와이어의 관리에 세심한 주의가 필요하다.

⑨ 잡신호의 영향

가. 전기저항식 계측기기로부터 계측된 값은 계측기기에서 발생하는 매우 미소한 전기적 신호로부터 변환된다.

나. 전기적 신호에 계측기기의 내·외부에서 발생하는 자기장, 고전압 및 무전기 사용 등의 원인으로 인한 잡신호(노이즈)가 혼입되면 원하는 신호에 대한 계측오차를 발생시키므로 측정 전 잡신호를 제거시켜야 한다.

다. 현장 계측 시 잡신호에 대한 근본적인 문제를 완전히 해결하는 것은 쉽지 않으나, 확실한 접지로 잡신호 감소효과를 얻을 수 있다.

(11) 주변 지반의 특성, 시설물의 중요도를 고려하여 구조물의 기능성 확보 등을 목적으

로 지속적인 계측관리를 통한 유지관리 중 계측계획을 수립하여야 한다.

1.8 계측단면의 선정

- (1) 계측은 구조적인 거동 및 안전성에 결정적인 영향을 미칠 수 있는 구간과 대표적인 단면을 선정하고, 단면상 안정성 검토결과를 고려하여 전체 거동을 파악할 수 있는 계측계획을 수립하여야 한다.
- (2) 공사 중 계측의 계측위치 선정
 - ① 현장 상황을 대표할 수 있는 장소, 또는 큰 변형이 예측되는 장소를 선정하여야 하고, 구조적으로 가장 위험한 단면을 주 계측단면으로 선정하되, 계측기기가 설치된 위치가 선시공되어 시험시공의 의미를 가질 수 있도록 하여야 한다.
 - ② 최종 계측위치의 선정은 위 ①항의 조건을 고려하여 사전에 공사감독자에게 보고 후 시행하도록 계획하여야 한다.
- (3) 유지관리 중 계측단면의 선정은 공사 중 대규모 변위 발생 또는 붕괴가 발생한 구간, 구조물을 대표할 수 있는 구간, 설계 및 시공상 취약구간 또는 구조적 취약구간 등을 고려하여 배치하여야 하며, 장기간 계측관리를 위한 계측기기의 내구성능을 고려하여야 한다.
- (4) 계측기간 중 계측기기의 파손 또는 고장 가능성을 고려하여 계측단면을 선정하여야 하며, 계측기기의 설치 및 배선을 확실히 할 수 있는 위치를 선정하여야 한다.

1.9 계측항목의 선정

- (1) 계측항목은 구조해석, 시공 방법, 계측결과의 활용 목적, 평가 수법을 명확히 이해하고 계측대상, 계측기간, 계측장비 등을 고려하여 선정하여야 한다.
- (2) 공사 중 계측에서 설계도서상의 계측항목은 구조해석, 시공 방법, 계측 결과의 활용 목적, 평가 수법을 명확히 이해한 후 선정되었으므로 특별한 사유가 없는 한 설계 도서를 따르도록 하여야 한다.
- (3) 설계 시 수립된 계측계획은 시공 시 확인되는 현장여건, 지반상태 및 초기 계측결과 등에 근거하여 필요한 경우 보완하여 적용하도록 하여야 한다.

표 1.9-1 계측평가 항목 및 기준

평가항목	평가기준
적응성	- 측정간격을 임의로 설정할 수 있는 것 - 측정치의 시계열 표시가 가능한 것 - 전원에 적합한 것 - 계측기기의 정밀도와 시스템의 정밀도가 일치하는 것
신뢰성	- 낙뢰에 대해서 계측기기를 보호하는 기능을 가지고 있는 것 - 정전에 대해서 백업 기능을 가지는 것
편리성	- 상황에 따라 계측기기의 추가, 현지국의 증설을 실시하는데, 전원장치, 자료송수신장치 등이 기존의 것을 그대로 사용할 수 있는 것 - 계측결과를 신속하게 전달할 수 있는 것
내후성	- 호우 및 폭설 지역 등의 특수성에 대처할 수 있는 것 - 방수, 방습성이 뛰어난 것 - 예측되는 기온 조건에서 정상적으로 작동되는 것
보수성	- 점검빈도가 작은 것 - 단시간에 점검할 수 있는 것
경제성	- 기능성을 유지하면서 저렴한 계측기기

1.10 계측기기의 배치

- (1) 계측 대상 시설물의 규모나 위험도를 기준으로 계측기기 배치밀도를 설정하는 것이 바람직하며, 일반적으로 붕괴나 활동 등의 위험인자별로 여러 종류의 계측기기를 수 개소에 배치하여 상호의 계측자료를 검토하도록 계획하여야 한다.
- (2) 계측기기는 경제성, 시공성을 고려하고 지층구성 및 쌓기시기 등을 감안하여 지반거동을 대표할 수 있는 최소한의 점을 선정하여 최대효과를 얻도록 배치하여야 한다.
- (3) 구체적인 계측기기의 배치에 대해서는 상세한 현장조사, 기존자료 및 구조계산서를 참고하여 붕괴 또는 활동의 형태를 추정한 다음, 각각의 원인별로 계측항목과 계측기기의 관련성을 검토한 다음에 배치 계획(설치위치, 배치밀도, 설치심도 등)을 수립하여야 한다.
- (4) 구조적으로 가장 위험한 단면에서 계측 대상 시설물의 최대변위와 최대응력이 작용할 것으로 예상되는 위치에 중점적으로 계측기기를 배치하여야 한다.
- (5) 계측목적을 고려하여 각 계측기기는 서로의 연관성을 유지하도록 하며, 가능한 동일 단면에 배치하여야 한다.
- (6) 계측수량의 선정은 계측목적, 결과분석, 공사상황, 계측기기의 고장 등을 고려하여 계획하여야 한다.
- (7) 연약지반에 계측기기를 매설할 경우 설치 시, 준설토 또는 토사 매립 시, 프리로딩 재하 및 제거 시 계측기기가 망실될 확률이 높으므로 현장여건을 감안한 계측기기 망실률이 반영되어야 한다.
- (8) 유지관리 계측기기의 배치는 설계 및 시공 상 취약구간이거나 구조적, 재료적으로 취약하거나 지반조건이 불량한 구간 등에 대하여 구조물의 자체의 변위 및 응력, 구조

물 인접 지반의 토압, 간극수압 등에 대해 장기적인 모니터링의 필요성을 검토하고 계측기기의 배치 계획을 수립하여야 한다.

1.11 계측기기의 선정

- (1) 계측기기는 계측목적, 계측기간, 계측 항목, 계측 대상, 계측방법, 계측환경 등을 고려하여 선정되어야 한다.
- (2) 계측기기는 KS 또는 이와 동등 이상의 품질인증이 된 제품 중에서 사용하는 것을 원칙으로 한다.
- (3) 계측기기는 필요로 하는 자료의 정밀도, 기기특성, 현장조건 등을 고려하여 계측항목에 따라 적절한 것을 선정하여야 한다.
- (4) 유지관리용 계측기기는 매설형이나 외부 노출형을 사용하여야 하며, 매설형의 계측기기인 경우 수리가 불가능한 경우가 있으므로 기기 작동불량이나 고장에 대비하여 계측기기 선정 계획을 수립하여야 한다.
- (5) 각종 계측기기의 작동방식을 가능한 한 같은 형식으로 선정하고, 설치 전에 반드시 성능 및 내구성, 교정검사를 하도록 계획하여야 한다.
- (6) 계측기기는 설치, 측정 및 유지관리가 용이하고, 측정기간 동안의 내구성이 유지되어야 한다. 특히 유지관리로 연계되는 계측기기는 공사기간 동안 내구성이 보장되고 성공된 사용실적이 있는 제품이어야 한다.
- (7) 계측기기는 현장에서 수리 및 복구가 용이하며 고장발생 시 원인규명이 신속하고 명확한 기기를 사용하여야 한다.
- (8) 계측기기는 계측목적에 적합한 정확도를 가져야 하고 최대 예상변화량 이상의 측정범위를 가져야 한다.
- (9) 계측시스템은 측정의 편리성, 측정빈도, 측정방법, 기기의 호환성 및 경제성 등을 고려하여 구성하여야 한다.
- (10) 계측자료의 정확성, 이용성, 경제성 등을 고려하여 다음과 같은 점들을 고려하여 계측기기를 선정한다.
 - ① 계측기기의 정밀도, 반복 정밀도, 강도, 계측 범위 및 신뢰도가 계측목적에 적합할 것
 - ② 구조가 간단하고 설치가 용이할 것
 - ③ 온도, 습도에 대해 영향을 적게 받고 보정이 간단할 것
 - ④ 예상 변위나 응력보다 계측기기의 측정 기능범위가 클 것
 - ⑤ 계기 오차 등을 유발 할 수 있는 계측기기의 고장 발견이 용이할 것
 - ⑥ 가격이 경제적일 것

2. 조사 및 계획

내용 없음

3. 재료

내용 없음

4. 설계**4.1 공종별 계측계획****4.1.1 연약지반공사****4.1.1.1 계측계획의 수립**

(1) 이 기준의 1.7을 따른다.

4.1.1.2 계측단면의 선정

(1) 이 기준의 1.8을 따른다.

4.1.1.3 계측항목의 선정

(1) 이 기준의 1.9를 따른다.

4.1.1.4 계측기기의 배치

(1) 이 기준의 1.10을 따른다.

4.1.1.5 계측기기의 선정

(1) 이 기준의 1.11을 따른다.

4.1.2 비탈면 절취공사**4.1.2.1 계측계획의 수립**

(1) 이 기준의 1.7을 따르도록 하고, (2)와 (3)항을 추가한다.

(2) 지표의 변위, 기울기, 균열 변화 및 지중 수직, 수평 변위, 지하수위, 간극수압, 강우량, 응력과 같은 구조물이 있는 경우 구조물 변위, 기울기, 배면 지중 공극수압, 구조물 응력, 토압, 그 외 낙석 감지, 비탈면 감시 등에서 비탈면 시공 중 목적에 부합한 계측계획을 수립하여야 한다. 이때 비탈면 상부 배면 및 비탈면 하부의 시설물의 중요도, 차량 및 통행 인구 유무 등의 제반여건에 따라 가감하거나 생략할 수 있다.

(3) 비탈면 굴착의 영향권 내의 특정 구조물 안전성을 판단하기 위한 지중수평변위 측정,

시설물경사도 측정, 균열 폭 측정, 지하수위 측정, 발파진동 및 소음측정 등도 필요에 따라 비탈면 공사 중 계측에 포함한다.

4.1.2.2 계측단면의 선정

(1) 이 기준의 1.8을 따른다.

4.1.2.3 계측항목의 선정

- (1) 이 기준의 1.9를 따르도록 하며, 비탈면 계측항목은 계측관리의 목적, 변상상황, 붕괴 형태, 현장조건 등을 충분히 검토하여 결정하여야 한다.
- (2) 계측기기는 필요로 하는 자료의 정밀도, 기기특성, 현장조건 등을 고려하여 계측항목에 따라 적절한 것을 선정하여야 한다.

표 4.1-1 계측항목과 계측기기

현상	계측의 대상	계측항목	계측수준, 계측기기명	설치장소 및 설치방법	
활동거동	지표면 변동 (변형, 변위)	지반 신축 변위량	지표면 신축계	지표면의 균열을 낀 다수 설치	
		지반 경사 변위량	지반 경사계	지표면의 필요 장소에 다수 설치	
		전도, 회전량	전도스위치	이동암괴 표면부의 필요장소에 다수 설치	
		낙석의 검지	검지선식 낙석검지기	낙석, 붕락 발생 장소에 필요수 설치	
		지표 이동량	이동말뚝 측량	이동말뚝 측량	지표면에 다수 이동말뚝을 설치하여 광파측량을 한다.
			GPS 측량	GPS 측량	지표면에 고정 관측정과 필요 장소에 다수 이동 표점을 설치하여 인공위성에 따라 측량, 해석한다.
	침하핀 측량		침하핀 측량	지표의 균열을 낀 침하핀을 다수 설치	
	지중변동 (변형, 변위)	활동면의 위치 활동 암괴 이동량	삼입식 지중경사계	시추공을 이용하여 활동면을 포함하여 움직이지 않는 지반까지 다수 설치	
			고정식 지중경사계 (설치형 지중경사계)		
			지중 변위계		
지중의 용기, 침하량 이동량	지중 변위계	시추공을 이용하여 변위 발생 심도를 포함하여 움직이지 않는 지반까지 깊게 설치			
구조물의	작용외력	옹벽, 말뚝 등에 작용하는 토압	토압계	구조물의 필요장소에 다수 설치	
		앵커에 작용하는 장력 등	로드셀	앵커 구조물의 필요 장소에 다수 설치	
거동	내부응력	대책공 변형 (축력,	변형게이지	대책공의 필요장소에 다수 설치	

현상	계측의 대상	계측항목	계측수준, 계측기기명	설치장소 및 설치방법
		휨모멘트로 환산)		
		철근의 변형 (축력, 휨모멘트로 환산)	철근계 (록볼트, 네일링 축력계)	원지반 보강재로서의 철근에 있어 서 필요 장소에 다수 설치
	변위, 변형	구조물 변위량	구조물 표면경사계	대책공이나 기설 구조물 표면의 필 요 장소에 다수 설치
			광파 측량법	대책공이나 기설 구조물 표면의 필 요 장소에 다수 표점을 설치하여 광파측량을 한다.
		강관 말뚝 처짐량	삽입형 지중경사계	강관 말뚝 내부의 필요 장소에 다 수 설치
		균열폭, 진행속도량	균열게이지	대책공이나 기설 구조물 표면에 발 생된 균열을 끼고 다수 설치
뿔어 붙이기의 열화도, 공동추정	열 적외선 영상법 (리모트센싱기법)	적외선 카메라에 의한 뿔칠 콘크리 트 표면 온도 정보의 영향 해석을 하여 배면 공동을 추정		
수문 상황	지하수변동 수압변동	지하수위	지하수위계	관측정이나 보링공내를 이용하여 설치
		활동면의 간극수압변동	간극수압계	보링공 내의 활동면 예측 부근에 설치
	기상자료	누적우량, 우량강도 실효우량, 융설량	우량계	계측 대상 비탈면에 가급적 근접된 적절한 장소에 수평으로 설치
		융설량의 추정	적설량계	계측 대상 비탈면에 가급적 근접된 적절한 장소에 수평으로 설치
	지하수 배수효과	배수량의 변화	유량계	<ul style="list-style-type: none"> 배수로의 필요 장소에 방축을 만 들어 다수 설치 배수로의 노치 등에 다수 설치

4.1.2.4 계측기기의 배치

- (1) 계측기기의 배치(설치 또는 배치밀도)는 계측기기의 선정과 동시에 중요한 검토사항으로 비탈면 붕괴나 활동 등의 블록분포상황, 위험상황, 계측기기의 특성 및 현지조건 등을 고려하여 효율적으로 파악할 수 있는 위치에 적절히 배치하여야 한다.
- (2) 비탈면의 손상 규모나 위험도를 기준으로 계측기기 배치밀도를 설정하는 것이 바람직하며, 일반적으로 붕괴나 활동 등의 위험인자별로 수 종류의 계측기기를 배치하여 수 개소의 계측자료를 서로 비교, 검토할 수 있도록 계획하여야 한다.
- (3) 구체적인 계측기기의 배치에 대해서는 상세한 현장조사나 지질조사 등을 실시하여 붕괴 또는 활동의 형태를 추정한 다음, 각각의 원인별로 계측항목과 계측기기의 관련성을 검토한 다음에 배치 계획(설치위치, 배치밀도, 설치심도 등)을 수립하여야 한다.
- (4) 예상되는 비탈면 활동을 파악하기 위한 지중경사계는 단면상으로 활동면의 위치를 파악할 수 있도록 취약 예상 위치를 선정하여 설치하여야 한다.
- (5) 유지관리 중 계측기기 배치는 이 기준의 1.10의 (8)을 따른다.

표 4.1-2 비탈면의 붕괴 형태와 계측기기의 배치 예

붕괴 형태	대상 지질	계측항목	계측기기 및 방법	계측상의 문제점	비고
평면 활동 붕괴	연암, 경암	① 지표 변위량 (수평, 수직성분) ② 지중 변위량 (활동면의 확인)	① 지표면신축계, 이동말뚝측량, 침하핀 측량, GPS 등 ② 지중경사계, 지중 변위계 등	활동면 위치나 머리부 텐션 크랙의 위치 예측이 사전에는 어렵고, 깎기 후의 거동 계측밖에 안 되나, 지질구조 조사나 땅깎기 후의 비탈면 상세 관찰을 실시하는 것이 중요하다.	필요하면 우량계와 지하수위 관측을 실시한다.
썩기 활동 붕괴	연암, 경암			변동활동블록의 사전결정이 어렵고, 계측 위치의 결정이 곤란하나, 지질 구조 조사나 땅깎기 후의 비탈면 상세 관찰을 충분히 실시하는 것이 중요하다.	필요하면 우량계와 지하수위 관측을 실시한다. 파괴형태로서는 많다.
원호 활동 붕괴	토사, 연암, 경암			활동블록의 사전결정이 어렵고, 계측위치의 결정이 곤란하나, 지질 구조 조사나 땅깎기 후의 비탈면 상세 관찰을 충분히 실시하는 것이 중요하다.	필요하면 우량계와 지하수위 관측을 실시한다.
복합 활동 붕괴	토사, 연암, 경암, 암반 산사태 풍화암 활동			사전조사 결과에서 지질 구조를 검토하고 파괴토체의 범위를 예정하여 계측을 실시할 필요가 있다. 산사태의 형태로 초생형의 경우에는 지형상에서의 예측은 곤란하다.	필요하면 우량계와 지하수위 관측을 실시한다.
전도 붕괴	연암, 경암			① 지표 변위량 (수평, 수직성분, 경사량) ② 지중 변위량 (활동면의 확인, 수평변위량)	① 지표면신축계, 광파측량법 ② 지중경사계, 지중 변위계
백링 붕괴	연암	① 지표 변위량 ② 지중 변위량 (수평, 수직 변위량)	① 광파측량법 ② 지중 변위계 ③ 록볼트 축력계	실측 자료의 암체의 좌굴 파괴와의 결부 평가가 어렵다.	주상질리나 층리가 발달된 경암 비탈면에서

붕괴 형태	대상 지질	계측항목	계측기기 및 방법	계측상의 문제점	비고
		③ 대책공 계측			급 경사의 비탈면
응력 개방에 의한 변위	토사, 연암, 경암	① 지표면 변위량 ② 지중 변위량	① 광파측량법 ② 지중 변위계, 지중 경사계, 파이프변형계	응력개방에 따른 지반 팽창인가 활동이나 붕괴에 의한 변위인가의 구별이 어렵다. 응력 개방에 의한 변위가 발생된 경우가 경향이 비탈면의 안정성에 어떻게 관련되는가 또는 주변에 대한 안정성의 평가가 어렵다.	열수변질을 받은 바위로 점토광물을 함유하는 경우, 발생되는 경우가 많다.
붕락 현상	연암, 경암	① 낙석표면 변위량 ② 낙석검지 ③ 대책공계측	① 광파측량법 ② 낙석검지기 ③ 록볼트 축력계, 슛크리트 응력계	전조 현상이 생긴 다음 붕락이 발생할 때까지의 시간이 짧다. 계측보다도 붕락 대책이 우선되는 경우가 많은 편이며, 대책공의 거동 계측이 금후 필요하다고 생각된다.	낙석감지기는 사후 검지이며, 예측되지 않는다.

4.1.2.5 계측기기의 선정

- (1) 이 기준의 1.11을 따르도록 하고, (2)항을 추가한다.
- (2) 비탈면의 계측은 장기적인 계측이 되므로 각각의 계측기기의 평가항목을 감안하여 선정을 하여야 한다.

4.1.3 기초공사

4.1.3.1 계측계획의 수립

- (1) 말뚝박기 향타기록
 - ① 말뚝을 향타에 의해 시공하는 경우 말뚝박기의 종료를 위한 최대 타격횟수를 측정하기 위한 계측계획을 수립하여야 한다.
 - ② 말뚝박기의 최종리바운드 측정계획을 수립하여야 한다.
- (2) 건전도 검사
 - ① 현장타설말뚝에 대하여 말뚝의 성능 확보를 위한 품질을 확인할 수 있는 측정 계획을 수립하여야 한다.
- (3) 케이슨기초
 - ① 시공에 필요한 가교, 축도, 물막이 등의 가시설물에 대하여는 착공 전 계측계획을 세워 공사감독자의 확인을 받도록 하여야 한다.
 - ② 침하방법에 대하여는 미리 침하-하중 관계도를 작성하여 공사감독자에게 보고하도록

하여야 한다.

4.1.3.2 계측항목의 선정

(1) 말뚝박기

- ① 말뚝박기의 향타 횟수를 측정하도록 하여야 한다.
- ② 말뚝의 최종 관입량 및 리바운드를 측정하도록 하여야 한다.

(2) 현장타설말뚝의 건전도

- ① KCS 11 50 10 (3.9)을 반영하여 계획하여야 한다.

(3) 케이슨 기초의 기울기

- ① 케이슨에 가하는 하중의 크기를 측정하도록 하여야 한다.
- ② 케이슨의 침하량을 측정하도록 하여야 한다.
- ③ 케이슨의 기울기를 측정하도록 하여야 한다.

4.1.3.3 계측기기의 배치

(1) 말뚝박기의 리바운드 측정

- ① 말뚝의 침하량을 측정하기 위한 변위계는 최소한 2개 방향에 배치하여야 한다.
- ② 검측용 튜브의 수량은 KCS 11 50 10 (3.9)을 적용한다.

(3) 케이슨 기초

- ① 케이슨의 침하량을 측정하기 위한 변위계는 최소한 3개 방향에 배치하여야 한다.
- ② 케이슨의 기울기를 측정하기 위한 경사계는 최소한 3개 방향에 배치하여야 한다.
- ③ 케이슨 경사계는 깊이 방향으로 3개의 세그를 초과하지 않은 범위 내에 배치하여야 한다.

4.1.3.4 계측기기의 선정

- (1) 이 기준의 1.11을 따른다.

4.1.4 상하수도 공사

4.1.4.1 계측계획의 수립

- (1) 이 기준의 1.7을 따른다.

4.1.4.2 계측항목의 선정

- (1) 자연 유하식 상하수관 부설관로에 대하여 수밀검사를 위한 누수량을 측정하도록 하여야 한다.
- (2) 상하수도 관로 중 압력관의 수밀성을 확인할 필요가 있는 경우에 수압을 측정하도록 하여야 한다.
- (3) 강관 배관용접 후의 용접상태 확인을 위하여 방사선투과를 측정하도록 하여야 한다.

- (4) 강관 배관용접 후의 용접상태 확인을 위하여 초음파 탐상를 측정하도록 하여야 한다.
- (5) 강관 내·외면 용접이 끝난 후 용접개소 시험공에 압력계를 부착하여 용접부 압력을 측정하도록 하여야 한다.
- (6) 상수도관의 전식방지대책을 위하여 전위를 측정하도록 하여야 한다.
- (7) 세미셴드 공사 중 장비조립 완료 후 기기의 작동시험을 실시하여 세미셴드 추진용 관의 허용내하력을 측정하도록 하여야 한다.
- (8) 시스템의 손실수두를 적어도 한 개가 여과지에 대해서 측정하도록 하여야 하며, 급속 여과지 내 유공 블록, 스트레이너 블록, 다공판형, 유공판형을 이용한 하부집수장치의 흐름분포 및 손실수두를 측정하도록 하여야 한다.

4.1.4.3 계측기기의 배치

(1) 누수량 측정

- ① 수밀검사를 위한 누수시험은 800 mm미만 하수관(오수관) 중 관경별로 50 % 이상 실시하도록 하여야 한다.
- ② 검사구간은 어느 한 곳에 국한하지 말고 전 지역에 대하여 골고루 실시하도록 하여야 한다.

(2) 수압측정

- ① 수압시험은 200 m 간격으로 시행하여야 하며 제수밸브와 제수밸브 사이에서 시험하도록 계획하는 것이 좋다.

(3) 방사선 투과 측정

- ① 검사개소는 원칙적으로 개소당 2개소로 하고, 그 위치는 공사감독자가 지시하도록 계획하여야 한다.
- ② 방사선투과 측정의 1개소 검사 길이는 30 cm를 표준으로 한다.
- ③ 공사감독자가 필요하다고 인정할 때에는 검사 개소 및 검사 길이를 증가시킬 수 있도록 계획하여야 한다.
- ④ 소구경관으로서 현장요원들이 들어갈 수 없는 경우에는 KS B 0888에 규정한 이중벽 편면 촬영 방법에 따라 계획하여야 한다.

(4) 손실수두 측정

시스템의 손실수두를 적어도 한 개가 여과지에 대해서 측정하도록 하여야 한다.

4.1.4.4 계측기기의 선정

- (1) 이 기준의 1.11을 따른다.

4.1.5 터널공사

4.1.5.1 계측계획의 수립

- (1) 이 기준의 1.7을 따르도록 하고, 아래 (2), (3), (4)항을 추가한다.
- (2) 지상에서 수행하는 지표 및 지중침하 측정은 토피의 높이나 지상시설물의 유무에 따

라 가감하거나 생략할 수 있다.

- (3) 터널내부에서 수행하는 지중변위 측정, 내공변위 및 천단침하 측정, 록볼트 축력측정, 슛크리트 응력측정, 강지보 응력측정은 실제 노출되는 지반의 상태나 초기의 계측결과에 근거하여 설치간격이나 위치 등을 조정할 수 있다.
- (4) 터널 영향권 내의 특정 구조물 안전성을 판단하기 위한 지반수평변위 측정, 막장전방 선행변위 측정, 시설물경사도 측정, 균열 폭 측정, 지하수위 측정, 발파진동 및 소음 측정 등도 필요에 따라 터널계측에 포함하며, 특히 아파트, 연립주택 및 다중이용시설의 직하부, 철도구조물, 고가도로 등의 기초 직하부를 통과하는 경우에는 위 항목의 계측을 실시하여야 한다.

4.1.5.2 계측단면의 선정

(1) 지표 및 지중침하계

- ① 토피가 터널직경의 3배 이내일 때에는 지표 및 지중침하를 측정하여 지반의 연직 변위에 대한 지상 구조물 및 지반의 안정성을 확인하여야 한다.
- ② 토피가 터널직경의 3배 이상이라도 지표상에 지반의 연직 변위로 인하여 피해를 입을 구조물이 있는 경우에는 지표 및 지중침하를 측정하여야 한다.

(2) 내공변위 및 천단침하계

- ① 굴착에 따른 터널 벽면의 변위를 측정하여 터널거동을 파악하고 안전시공을 도모하기 위하여 내공변위 및 천단침하량을 측정하여야 한다.
- ② 천단침하 측정은 터널 외부에 설치한 수준점을 기준으로 측정하여 지표침하량과 상대비교가 가능하도록 하여야 한다.

(3) 지중변위계

- ① 터널 굴착면 주변지반의 심도별 반경방향 변위를 측정하기 위하여 지중변위계를 설치하며 계측결과로부터 지반이완 영역의 범위를 확인한다.

(4) 록볼트 축력계

- ① 터널 반경방향의 변위에 수반하여 발생하는 록볼트의 축력을 측정하고 록볼트의 지보효과를 확인하기 위하여 록볼트 축력계를 설치한다.

(5) 슛크리트 응력계

- ① 터널주변 변위에 수반하여 발생하는 슛크리트의 응력을 측정하여 허용응력과 비교함으로써 부재의 적정성을 확인하기 위하여 슛크리트 응력계를 설치한다.

(6) 막장전방 선행변위계

- ① 터널전방에 설치하여 막장전방 지반의 침하정도를 전체변위량 차원에서 관리함으로써 굴착면 전방의 불량구간(파쇄대 또는 공동 등)의 존재 여부를 사전에 인지하고, 터널의 굴진에 의한 막장전방의 지반변화에 따른 터널의 거동양상을 사전에 예측하기 위하여 막장전방 선행변위계를 설치하여야 한다.

(7) 록볼트 인발시험

- ① 록볼트의 인발시험은 록볼트의 종류 선정 및 시공 후 정착효과를 판정하기 위한 것이

다.

- (8) 유지관리 중 계측기기 설치위치는 지반이 취약한 지점(단층대 통과구간), 터널의 시·종점 갱구부, 하천 횡단 지점, 기존 지하철 및 도시철도 등의 터널을 통과하는 구간, 고가도로 및 교각 하부 통과구간, 도심지 주요시설물 인접 통과하는 구간 등을 우선 선정하여 터널 및 인접 구조물의 안정성을 확보할 수 있도록 하여야 한다.

4.1.5.3 계측항목의 선정

- (1) 이 기준의 1.9를 따르도록 하고, 아래 (2)항을 추가한다.
- (2) 유지관리 중 계측의 대상 항목은 간극수압, 콘크리트 라이닝응력, 철근응력, 전단면 내공변위 등을 주로 설치하고, 현장 여건을 고려하여 필요시 추가하여 계측항목을 선정하여야 한다.

4.1.5.4 계측기기의 배치

- (1) 계측기기 배치를 위한 측선은 터널형상, 지보패턴, 암피복 두께, RMR 결과 등을 고려 하여야 한다.
- (2) 지표 및 지중침하계
- ① 계측기기의 설치 위치는 터널 상부의 지표 또는 지중으로서 지표면 조건, 지반상태, 터널의 규모, 시공법 등에 따른 터널 굴진의 영향범위를 고려하여 선정하여야 한다.
 - ② 지표침하 계측측선은 4.1.5.4 (1)을 고려하여 터널 축 방향을 따라 0m~20m 간격으로 배치하며, 갱구부 50m 구간과 토피가 터널직경의 2배 이하인 구간은 10m 간격을 표준으로 하여 지형여건을 고려한 배치를 하여야 한다.
 - ③ 지반상태가 양호하고 해당 시공구간의 계측결과에 의하여 안정성이 확인된 경우에는 측선간격을 넓게 조정할 수 있다.
 - ④ 지반조건이 불량한 구간이나 변화가 심한 구간에 대하여는 계측간격을 상기 표준간격보다 좁혀서 계측결과 수렴 여부를 확인하여 배치를 조정할 수 있도록 계획한다.
 - ⑤ 지표침하의 횡방향 측정범위는 터널하부 좌우 모서리에서 연직선과 45°를 이루는 선들로 포함된 지표부로 하며, 5m~10m 간격으로 측정을 실시하여 횡단방향의 침하곡선이 작성될 수 있도록 계획하여야 한다. 단, 뚜렷한 층리, 엽리, 절리 등의 발달로 인하여 터널굴착의 영향범위가 상기 범위를 벗어난다고 판단되는 경우에는 계측범위를 확대할 수 있도록 계획하여야 한다.
 - ⑥ 지중침하 계측기기의 설치 간격은 500m를 표준으로 하며 심도별 침하를 측정할 수 있도록 계획하여야 한다. 단, 주요 구조물 하부지반의 침하 등을 측정하고자 할 경우에는 이 지점을 고려하여 계측기기 설치간격을 조정할 수 있도록 계획하여야 한다.
 - ⑦ 지중침하 측정점 중 최하단 측정점은 가능하면 터널 천정부에 근접되게 설치하도록 계획하여야 한다. 단, 여굴, 록볼트, 경사볼트 등 터널내의 작업에 의해 손상되지 않도록 계획하고, 주의하여 시공하도록 하여야 한다.
- (3) 내공변위 및 천단침하계

- ① 내공변위 및 천단침하 측점은 동일 단면에 설치하고 4.1.5.4 (1)을 고려하여 터널 축 방향을 따라 0 m ~ 20 m 간격으로 배치하며, 갱구부 50 m 구간과 토피가 터널직경의 2 배 이하인 구간은 10 m 간격을 표준으로 한다.
- ② 지반상태가 양호하고 기 시공구간의 계측결과에 의하여 안정성이 확인된 경우에는 측 선 간격을 넓게 조정할 수 있다.
- ③ 지반조건이 불량한 구간이나 변화가 심한 구간에 대하여는 계측간격을 표준간격보다 좁혀서 계측결과와 수렴 여부를 확인하여 배치를 조정할 수 있도록 계획하여야 한다.
- ④ 측선의 배치 그림 4.5-1과 같이 전단면 굴착의 경우에는 3측선, 반단면 굴착의 경우에는 4측선을 표준으로 하며, 지반상태, 굴착방법, 굴착 단면적 등을 참고하여 측선 수를 조정할 수 있도록 계획하여야 한다.

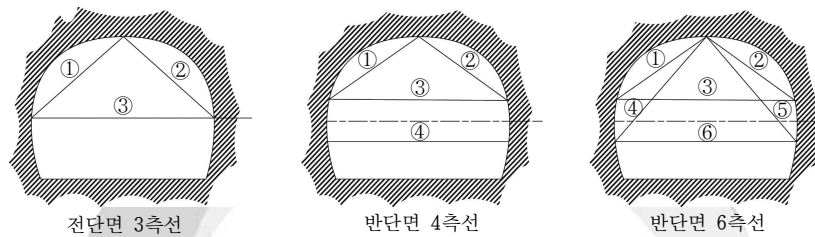


그림 4.5-1 내공변위 계측의 측선 배치 예

- ⑤ 내공 변위량이 예상보다 큰 경우나 편압 현상이 현저할 경우 또는 확폭부나 접속부 등의 특수구간에는 3차원 계측을 원칙으로 하며 3차원 계측에는 자동 광파기, 3D 디지털카메라, 레이저스캐닝 등의 최신기법을 사용할 수 있다. 이때 가능한 절대좌표를 사용하도록 하나 장대터널이나 곡선터널에서는 거동이 수렴된 구간에 기준점을 설치하여 3차원 계측이 가능하도록 계획할 수 있다.
- ⑥ 또한, 필요시 자동화 계측을 적용하여 계측의 신뢰도를 높여야 하며, 파쇄대, 습곡, 단층, 탄층의 출현 등 심각한 지층변화가 예상되는 구간에는 물리탐사 및 선진수평시추를 실시하도록 계획하여야 한다.

(4) 지중변위계

- ① 지중변위 측정단면은 4.1.5.4 (1)을 고려하여 터널 축 방향을 따라 0 m ~ 500 m 간격을 표준으로 배치하며 터널의 규모나 지반조건 등 터널상황에 따라 조정할 수 있다.
- ② 내공변위 및 천단침하측정 단면과 동일 단면에 설치하여 계측결과를 종합적으로 분석하도록 하여야 한다.
- ③ 측정단면의 좌우 측벽부 및 천정부 등 3개소에 3~5 측정의 심도별 다중측점 지중변위계를 설치하며 터널규모나 지반조건 등을 고려하여 증감한다.
- ④ 지중변위계의 측점은 터널 벽면에서 터널직경의 0.5배 범위 또는 예상되는 이완영역을 충분히 포함하는 범위까지 배치하여야 한다.

(5) 록볼트 축력계

- ① 록볼트 축력 측정단면은 4.1.5.4 (1)을 고려하여 터널 축 방향을 따라 0 m ~ 500 m 간격

을 표준으로 배치하며 터널의 규모, 단면당 록볼트 수, 지반조건 등 터널상황에 따라 조정할 수 있다.

- ② 지중변위, 쏫크리트 응력, 내공변위 및 천단침하측정 단면과 동일한 단면에 설치하여 다양한 계측결과를 종합적으로 분석하도록 하여야 한다.
 - ③ 록볼트 축력은 축력 측정용 록볼트를 실제의 록볼트 설치 위치에 동일한 방법으로 설치하여 측정하며, 측정단면의 좌우 측벽부 및 천정부 등을 포함하는 3개~5개의 측정용 록볼트를 설치한다.
 - ④ 축력 측정용 록볼트는 측정 간격이 0.5 m~1.0 m이어야 한다.
- (6) 쏫크리트 응력측정 배치
- ① 쏫크리트 응력계의 측정단면은 4.1.5.4 (1)을 고려하여 터널 축 방향을 따라 0 m~500 m 간격을 표준으로 배치하며 터널의 규모, 지반조건 등 터널상황에 따라 조정할 수 있다.
 - ② 지중변위, 록볼트 축력, 내공변위 및 천단침하측정 단면과 동일한 단면에 설치하여 다양한 계측결과를 종합적으로 분석하도록 하여야 한다.
 - ③ 쏫크리트의 응력계는 쏫크리트에 발생하는 응력과 배면 지반압의 크기 및 그 분포상황을 종합적으로 파악할 수 있도록 측정단면의 좌우 측벽부 및 천정부 등을 포함하는 3개소~5개소에 설치를 계획한다.
 - ④ 터널 반경방향 및 접선방향의 쏫크리트 응력을 측정하기 위하여 각 측정에는 반경방향 및 접선방향에 직각이 되도록 2개의 응력계 설치를 계획한다.
- (7) 막장전방 선행변위 배치
- ① 계측기기의 설치위치는 터널 상부의 지중으로서 지반상태, 토피고, 시공방법 등을 고려하여 터널 굴진 시 침하량이 클 것으로 예상되는 위치를 선정하여야 한다.
 - ② 계측기기의 개당 길이는 0.5 m~3.0 m를 표준으로 하고, 공 당 천공길이는 최대 50 m 까지 가능하다.
 - ③ 정확한 분석을 위해 설치위치 간 중첩길이는 최소 2.0 m 이상이 필요하나, 암반조건을 고려한 적절한 천공길이의 적용과 경제성을 감안한 선정이 필요하다.
- (8) 록볼트 인발시험
- ① 가능한 한 굴착 초기단계에 갱구부근에서 30분~50분당 1분에 대하여 실시하며, KCS 27 30 00 (3.6.4(3))에 따라 인발시험을 실시하도록 계획하여야 한다.
- (9) 유지관리 중 계측기기 설치위치는 지반이 취약한 지점(단층대 통과구간), 터널의 시·종점 갱구부, 하천 횡단 지점, 기존 지하철 및 도시철도 등의 터널을 통과하는 구간, 고가도로 및 교각 하부 통과구간, 도심지 주요시설물 인접 통과하는 구간 등을 우선 선정하여 터널 및 인접 구조물의 안정성을 확보할 수 있도록 계획하여야 한다.

4.1.5.5 계측기기의 선정

- (1) 이 기준의 1.11을 따른다.

4.1.6 댐공사

4.1.6.1 계측계획의 수립

- (1) 이 기준의 1.7을 따르도록 하고, (2)와 (3)항을 추가한다.
- (2) 댐 공사 중에는 여러 종류의 계측기기를 매설하여 축조과정에서의 안전관리와 품질관리를 하고, 댐이 완성되어 담수 후에는 댐 내부에서의 응력변화와 이에 따른 댐체의 거동을 관측하여 안전관리에 활용할 수 있도록 계측계획을 수립하여야 한다.
- (3) 댐 건설 중 각종 계측기록을 공사진행 과정에 따라 정보화하고 계측결과가 공사 및 안전관리에 즉각적으로 활용될 수 있도록 자동계측시스템의 구축을 계획하고, 공사 감독자와 협의하여 설치하도록 계획하여야 한다.

4.1.6.2 계측단면의 선정

- (1) 계측은 댐의 구조적인 거동 및 안전성에 결정적인 영향을 미칠 수 있는 구간과 대표적인 단면을 선정하여 공사 중 및 유지관리 중 계측 계획을 수립하여야 한다.
- (2) 계측위치의 선정은 현장 상황을 대표할 수 있는 장소, 또는 큰 변형이 예측되는 장소를 선정하여야 하고 구조적으로 가장 위험한 단면을 주 계측단면으로 선정하여야 한다.

4.1.6.3 계측항목의 선정

- (1) 중심코어형 사력댐은 공사 중 댐체의 변형, 응력, 간극수압, 기초의 간극수압 등을 측정하도록 계획하여야 한다.
- (2) 콘크리트댐 및 표면차수벽형 석괴댐의 표면차수벽은 공사 중 댐체의 수화열 및 이에 의한 무응력 변형률, 변형, 외부하중에 의해 콘크리트 내부에서 발생하는 내부응력, 기초의 간극수압과 댐체에 작용하는 양압력 등을 측정하도록 계획하여야 한다.
- (3) 콘크리트 표면차수벽형 석괴댐(CFRD)은 중심코어형 사력댐에서의 댐체 변형과 응력, 차수벽의 변형과 응력, 차수벽 내 수화열에 의한 콘크리트 응력, 차수벽 이음부의 변형, 차수벽과 플린스 이음부의 변형, 기초의 간극수압 등을 측정하도록 계획하여야 한다.
- (4) 댐 건설 중 댐체 중량과 수압작용에 대한 댐체 내의 수평, 수직방향의 토압을 측정하도록 계획하여야 한다.
- (5) 댐 건설 중 댐체 축조에 따른 간극수압을 측정하고 발생 및 소산정도를 분석하여 축조속도를 관리하여야 하며 기초부 차수 그라우팅 지점의 차수효과를 확인할 수 있도록 계획하여야 한다.
- (6) 기초 암반층과 댐체 사이에 작용하는 간극수압을 측정하도록 계획하여야 한다.

4.1.6.4 계측기기의 배치

- (1) 배치일반
 - ① 댐 형식 및 규모, 지반조건, 현장조건 등을 고려하여 최대변위와 최대응력이 작용할

것으로 예상되는 위치에 중점적으로 계측계획을 수립하여야 한다.

- ② 구조적으로 가장 위험한 단면을 주 계측단면으로 선정하며, 높이 15m 이상의 대댐에서는 3개 이상의 주 계측단면을 설정하여 계측기기를 배치하여야 한다.
 - ③ 계측목적에 고려하여 각 계측기기는 서로의 연관성을 유지하도록 하며 가능한 한 동일단면에 배치하여야 한다.
 - ④ 공사 중 계측기기의 파손 또는 고장 가능성을 고려하여 계측위치를 선정하여야 하며, 계측기기의 설치 및 배선을 확실히 할 수 있는 위치를 선정하여야 한다.
 - ⑤ 계측기기 설치수량은 기존댐의 설치 실례와 운영실적을 참고하여 정하되 운영기간 중의 고장 등을 고려하여 20% 정도의 여유물량을 추가하여야 한다.
- (2) 댐체의 응력 및 변형 측정을 위한 계측기기 배치
- ① 댐 건설 중 댐체 중량과 수압작용에 대한 댐체 내의 수평, 수직방향의 토압을 측정하여야 한다. 토압은 각 심도별로 수평, 45°, 135° 경사비탈면의 3방향별 측정을 할 수 있도록 배치하는 것을 계획하여야 한다.
 - ② 댐체 표면에서 발생하는 외부변형과 내부에서 발생하는 침하량 및 수평변위를 측정할 수 있도록 계획하여야 한다. 댐체의 외부변형 측정을 위한 계측기기는 전체적인 변형 거동을 파악할 수 있도록 상류 비탈면, 하류 비탈면, 정상부에 충분히 배치하여야 한다. 외부변형 측정 시는 댐 축조로 인한 영향을 받지 않는 암반 등에 기준점을 설치하고 관리하여야 하며, 기준점은 인근의 국가에서 설치한 1등 수준점에서 측량되도록 계획하여야 한다.
 - ③ 댐체 심벽에 지점별 침하와 경사를 측정하여야 한다.
 - ④ 존형댐의 경우는 댐체 내부 침하용 계측기기를 동일 표고에서 각기 다른 존에 설치하여 부등침하 등의 확인이 가능하도록 배치하여야 한다.
 - ⑤ 중심코어형 사력댐의 경우 차수를 위한 심벽에서는 심도별 연속적인 침하량과 댐체 심벽 지점별 경사측정용 계측기기를 배치하여야 한다.
 - ⑥ 콘크리트 표면차수벽형 석괴댐의 경우 콘크리트 표면차수벽 표면 또는 내부에 경사측정용 계측기기를 배치하고, 콘크리트 차수벽과 프린스 이음부의 3방향별 변위를 측정할 수 있도록 계획하여야 한다.
- (3) 댐체 및 주변지반의 간극수압 측정을 위한 계측기기 배치
- ① 댐체 단면 중 큰 단면을 포함한 적정 계측단면을 선정 후, 기초 암반층과 댐체 사이에 작용하는 간극수압을 측정할 수 있도록 계측단면상의 상류 및 하류부에 배치하여야 한다.
 - ② 토압계가 설치된 개소에 대해서는 토압계와 병행하여 간극수압을 측정할 수 있도록 배치하여야 한다.
 - ③ 간극수압 계측기기의 설치 표고와 간격은 저수위별 침윤선을 예상하여 침윤선 해석이 가능하도록 배치하여야 한다.
 - ④ 향후 저수위 상승에 따른 간극수압의 발생 유무를 측정하기 위한 계측기기는 댐체 기초 암반층에 배치되어야 하며 측정범위는 설계 시 작용수두를 고려하여 결정되어야

한다.

- (4) 콘크리트의 응력 및 변형 측정을 위한 계측기기 배치
- ① 콘크리트댐의 경우는 내부 및 외부의 온도를 측정하도록 계획하여야 한다.
 - ② 설계도서, 단면조건, 하중조건, 현장상황, 주변 지반조건 등을 고려하여 큰 변위발생 부위를 선정하여 콘크리트 변위를 계측할 수 있는 계측기기를 배치하여야 한다.
 - ③ 수직이음 변위 계측기기는 수직 이음부에 매설되도록 배치하여야 한다.

4.1.6.5 계측기기의 선정

- (1) 이 기준의 1.11을 따르도록 하고, (2)와 (3)항을 추가한다.
- (2) 댐체 표면에서 발생하는 외부변형과 내부에서 발생하는 침하량 및 수평변위 측정을 위한 계측기기는 물이나 공기 중에 노출되어도 기능을 유지할 수 있는 구조여야 하며 재질은 녹이 슬지 않는 재질로 계획하여야 한다.
- (3) 댐체 심벽에 지점별 침하와 경사를 측정하여 물이나 공기 중에 노출되어도 기능을 유지할 수 있는 구조이어야 하며, 표면차수벽의 온도변화에 따른 측정오차가 없는 계측기기로 계획하여야 한다.

4.1.7 하천제방공사

4.1.7.1 계측계획의 수립

- (1) 이 기준의 1.7을 따르도록 하고, (2)와 (3)항을 추가한다.
- (2) 제방 공사 중에는 여러 종류의 계측기기를 매설하여 축조과정에서의 안전관리와 품질관리를 하고, 제방이 완성된 후에는 제방 내부에서의 변위와 이에 따른 제방의 거동을 관측하여 안전관리에 활용할 수 있도록 계측계획을 수립하여야 한다.
- (3) 제방 건설 중 각종 계측기록을 공사진행 과정에 따라 정보화하고 계측결과가 공사 및 안전관리에 즉각적으로 활용될 수 있도록 자동계측시스템의 구축을 계획하고, 공사감독자와 협의하여 구축하도록 계획을 수립하여야 한다.

4.1.7.2 계측단면의 선정

- (1) 이 기준의 1.8을 따른다.

4.1.7.3 계측항목의 선정

- (1) 공사 중 제체의 변형, 침하, 수평변위, 간극수압 등을 측정하도록 계획하여야 한다.
- (2) 추가적인 계측항목에 대해서는 공사감독자와 협의하여 결정하도록 계획하여야 한다.
- (3) 댐체 및 주변지반의 간극수압 측정을 위한 계측기기 배치

4.1.7.4 계측기기의 배치

- (1) 제방규모, 지반조건, 현장조건 등을 고려하여 최대변위와 최대응력이 작용할 것으로

예상되는 위치에 중점적으로 계측기기를 배치하여야 한다.

- (2) 계측목적에 고려하여 각 계측기기는 서로의 연관성을 유지하도록 하며 가능한 한 동일단면에 계측기기를 배치하여야 한다.
- (3) 계측기기 설치수량은 기존제방의 설치 실례와 운영실적을 참고하여 정하되 운영기간 중의 고장 등을 고려하여 20 % 정도의 여유물량을 추가하여 배치하여야 한다.

4.1.7.5 계측기기의 선정

- (1) 이 기준의 1.11을 따른다.

4.1.8 항만공사

4.1.8.1 계측계획의 수립

- (1) 이 기준의 1.7을 따르도록 하고, (2)항을 추가한다.
- (2) 항만 건설 중 각종 계측기록을 공사진행 과정에 따라 정보화하고, 계측결과가 공사 및 안전관리에 즉각적으로 활용될 수 있도록 자동 및 인터넷을 활용한 계측시스템의 구축을 검토하여 계획을 수립하여야 한다.

4.1.8.2 계측단면의 선정

- (1) 항만 공사 중 항만구조물(케이슨, 안벽 등) 및 주변 지반을 계측대상으로 한다.
- (2) 계측계획을 수립할 때 주 계측단면과 보조 계측단면으로 구분하여 계측계획을 수립한다.
- (3) 계측은 구조적인 거동 및 안전성에 결정적인 영향을 미칠 수 있는 구간을 대표 단면으로 선정하여 계획을 수립하여야 한다.
- (4) 계측위치의 선정은 현장 상황을 대표할 수 있는 장소, 또는 큰 변형이 예측되는 장소를 선정하여야 하고 구조적으로 가장 위험한 단면을 주 계측단면으로 선정하여야 한다.
- (5) 설치위치는 사전에 공사감독자에게 보고 후 시행할 수 있도록 계획하여야 한다.

4.1.8.3 계측항목의 선정

- (1) 항만 공사 중 항만구조물(케이슨, 안벽 등) 계측
 - ① 설계상의 작용하는 응력과 반력, 토압과 비교하기 위하여 항만 구조물에 작용하는 철근응력, 콘크리트 응력, 반력, 수평토압을 측정하도록 계획하여야 한다.
 - ② 항만 구조물의 안정성을 확인하기 위하여 외력(뒤채움, 쌓기, 조위 등)에 의한 침하 및 수평변위(기울기)를 측정하도록 계획하여야 한다.
 - ③ 항만 구조물 주변 지반의 안정성을 확인하기 위한 층별 침하, 지중수평변위를 측정하도록 계획하여야 한다.
 - ④ 항만 구조물 주변 지반의 지하수위 및 조위를 측정하도록 계획하여야 한다.
- (2) 추가적인 계측항목에 대해서는 공사감독자와 협의하여 결정할 수 있도록 계획한다.

4.1.8.4 계측기기의 배치

- (1) 항만구조물의 형식 및 규모, 지반조건, 현장조건 등을 고려하여 최대변위와 최대응력이 작용할 것으로 예상되는 위치에 중점적으로 계측계획을 수립하여야 한다.
- (2) 계측목적에 고려하여 각 계측기기는 서로의 연관성을 유지하도록 하며 가능한 한 동일단면에 배치하여야 한다.
- (3) 계측수량은 계측 목적, 결과분석, 공사상황, 계측기기의 고장 등을 고려하여 선정하여야 한다.
- (4) 계측기기 설치수량은 기존 항만 구조물의 설치 실례와 운영실적을 참고하여 정하되 운영기간 중의 고장 등을 고려하여 30 % 정도의 여유물량을 추가하여 계획하도록 한다.
- (5) 항만 구조물의 변형 및 응력 측정
 - ① 구조계산 결과를 참고하여 구조적 취약부위에 철근응력 및 콘크리트 응력 계기를 동일 지점에 배치하여야 한다.
 - ② 항만구조물 배면 토압은 케이슨의 크기 및 구조계산 결과를 참고로 하여 설치 위치를 선정한다.
 - ③ 반력은 항만구조물 하부 바닥면 모서리에 배치하여야 한다.
 - ④ 항만구조물의 거동을 관측하기 위해 설치되는 침하 및 수평변위(기울기) 계측기기는 항만구조물 표면에 부착하는 것으로 한다.
- (6) 항만 구조물 주변지반의 변형 및 응력 측정
 - ① 항만 구조물 하부 지반의 침하 상태를 파악하기 위해 지층별 침하를 측정하여 항만 구조물 하부 지반의 안정성을 확인할 수 있도록 계획한다.
 - ② 해측 지반에 지중수평변위를 측정하여 해측 지반의 거동상태를 파악할 수 있도록 계획하여야 한다.
 - ③ 육측 지반에 지표침하, 층별 침하, 지중수평변위를 측정하여 육측 지반의 거동상태를 파악할 수 있도록 계획하여야 한다.
 - ④ 항만공사에 필히 설치되어야 할 조위계는 현장의 대표 조위를 설치할 수 있는 장소에 설치하여 실시간으로 조위정보를 받을 수 있도록 계획하여야 한다.

4.1.8.5 계측기기의 선정

- (1) 계측기기는 설치, 측정 및 유지관리가 용이하고 측정기간 동안의 내구성이 유지되도록 계획하여야 한다.
- (2) 계측기기는 계측목적에 적합한 정확도를 가져야 하며 최대 예상변화량 이상의 측정범위를 갖도록 하여야 한다.
- (3) 측정시스템은 측정의 편리성, 측정빈도, 측정방법, 기기의 호환성 및 경제성 등을 고려하여 구성하도록 하여야 한다.
- (4) 자동계측기기의 경우 이상 작동에 대비하여 수동측정이 가능하도록 계획하여야 한다.

4.1.9 건축공사

4.1.9.1 계측계획의 수립

- (1) 이 기준의 1.7을 따른다.

4.1.9.2 계측항목의 선정

- (1) 침하측정은 초고층건물 또는 동별 층고나 중량의 현저한 차이가 있어 부등침하의 우려가 있을 경우, 또는 연약지반에 구축하는 건축물에 대해 침하측정을 실시하도록 하여야 한다.
- (2) 경사측정은 대상건물 또는 주변건물이 지반침하와 같은 물리적 영향을 받아 부등침하가 발생할 우려가 있을 경우 건물의 기울기 측정을 계획하여야 한다.
- (3) 변위측정은 장기간 구조물에서 사용성 측면의 처짐관리가 필요할 경우 변위측정을 계획하여야 하며, 새로운 구조시스템 또는 대공간구조물의 지붕 등 구조적 안전성을 면밀히 검토할 필요가 있을 때 변위측정을 계획하여야 한다.
- (4) 변형률 측정은 일부 부재 또는 건물이 집중적으로 하중을 받음으로 인해 그 부재의 안전성 여부를 확인을 위해 계획하고 케이블구조, 다중이용 시설물, 새로운 형식의 구조물 등 안전상 관리가 필요한 구조물의 거동을 파악하기 위한 계획을 수립하여야 한다.
- (5) 균열계측은 기 발생되어 있는 균열의 지속적인 변화 여부를 파악하여 구조물의 안전성을 감시하기 위하여 실시하도록 하여야 한다.
- (6) 기둥 축소량(column shortening) 측정은 초고층건물 기둥과 같이 시공과정 또는 시공 후 탄성수축, 건조수축, 크리프 등의 현상으로 기둥이 축소함으로 인해 구조물의 안전과 사용성에 영향을 미칠 우려가 있을 경우에 계측항목을 선정하여야 한다.

4.1.9.3 계측기기의 배치

(1) 침하측정

- ① 계측기기는 일반적으로 대상 건물의 주요 수직부재 또는 강성이 높은 수평부재에 설치하여 구조물의 침하를 파악할 수 있는 곳에 배치하여야 한다.
- ② 계측기는 구조물의 강성분포를 고려하여 부등침하 또는 일괄침하 여부를 파악할 수 있는 위치에 배치되어야 하며, 이때 필히 기초의 강성분포도 고려하여야 한다.

(2) 경사측정

- ① 삼축방향의 계측기기를 설치하지 않을 경우 계측기기의 방향성을 고려, 건물의 삼축 방향 움직임을 감지할 수 있도록 계측기기를 배치하여야 한다.

(3) 변위측정

- ① 계측기기는 처짐이 가장 많이 발생하거나 변위가 가장 많이 발생할 것으로 예측되는 부위에 배치한다.

- ② 온도변화의 영향을 민감하게 받는 경우 온도계도 동시에 배치하여야 한다.
- (4) 변형률 측정
- ① 계측기기는 대상구조물의 붕괴 시나리오와 붕괴메커니즘을 구조해석 등을 통해 파악한 후 붕괴 유발부재에 대해 배치하여야 한다.
- ② 계측기기는 처짐이 가장 많이 발생하거나 변위가 가장 많이 발생할 것으로 예측되는 부위에 배치하여야 한다.
- ③ 대상 건물의 주요 구조부재에 설치하여 구조물의 과응력상태를 파악할 수 있도록 계획한다.
- (5) 균열폭 진행성 측정
- ① 계측기기는 건물의 주요 균열부에 배치한다.
- ② 계측기기는 가급적 온도 변화, 지하수위 변화, 하중에 따른 신축 등 일상적인 균열신축 요인이 없는 곳에 배치한다.
- (6) 기둥 축소량(column shortening) 측정
- ① 계측기기는 대상 건물의 기둥이 파괴 또는 붕괴 시 구조물 전체가 부분적 또는 전체적으로 기능을 유지하지 못하거나 심각한 구조적 손상을 미칠 우려가 있는 기둥 및 코아 벽체에 설치하도록 계획하여야 한다.
- ② 계측기기는 상대비교를 위해 대상 기둥뿐 아니라 상대변위를 측정할 수 있는 위치(예, 코아 벽체)에도 배치하여야 한다.
- ③ 구조물 전체의 거동과 일부 기둥의 거동에는 차이가 있을 수 있으므로 구조물 전체의 거동을 파악할 수 있도록 계측기기의 위치를 배치하여야 하고, 계측기기의 수량도 이에 맞춰 정하여야 한다.
- ④ 기둥축소량은 변형률을 측정하는 것을 기본으로 하며, 온도변화의 영향이 예측되는 경우에는 온도계도 동시에 설치하도록 계획하여야 한다.

4.1.9.4 계측기기의 선정

- (1) 이 기준의 1.11을 따른다.

4.1.10 지하굴착공사

4.1.10.1 계측계획의 수립

- (1) 이 기준의 1.7을 따르도록 하고, (2)항을 추가한다.
- (2) 계측계획 수립 시 다음 사항을 포함하여야 한다.
- ① 현장 공사개요 및 규모
- ② 현장 지반 및 인접 환경조건
- ③ 계측 기자재의 목적에 따른 계획범위와 계측위치에 따른 계측기기 종류와 수량
- ④ 현장 운영을 위한 독자적인 자체 계측기기 세부 시방내역
- ⑤ 계측기기의 매설, 설치, 유지 보호 및 관리 방안

- ⑥ 계측 규모에 맞는 인원 확보
- ⑦ 계측결과 수리, 보관, 분류 양식의 합의
- ⑧ 계측결과 해석용 컴퓨터 프로그램 결정 및 사전교육
- ⑨ 계측결과를 빠른 시간 내 시공에 재반영할 수 있는 유기적인 체계구성

4.1.10.2 계측단면의 선정

- (1) 이 기준의 1.8을 따른다.

4.1.10.3 계측항목의 선정

- (1) 이 기준의 1.9를 따른다.

4.1.10.4 계측기기의 배치

- (1) 이 기준의 1.10을 따른다.

4.1.10.5 계측기기의 선정

- (1) 이 기준의 1.11을 따른다.

4.1.11 발파진동유발공사

4.1.11.1 계측계획의 수립

- (1) 시험발파는 발파공사 착수 시에 설계도서에서 작성된 기준을 검토하고 현장여건을 반영하여 시험발파계획서를 제출하여 공사감독자의 승인을 얻은 후 실시하도록 계획하여야 한다.
- (2) 시험발파의 목적은 현장의 지반과 지형 및 발파조건에 부합되는 진동과 소음(폭음) 전파특성을 파악하고 인근 보안물건에 영향권을 분석하여 추후 공사 시 보안물건의 안전성을 유지하고 관리하는 데 목적을 두고 계획을 수립하여야 한다.
- (3) 발파공사 착수 시에는 시험발파결과 작성된 분석결과를 반영하여 발파영향권의 범위에 위치하고 있는 보안물건에 대한 상세한 계측수행 및 분석계획을 작성하여 공사감독자의 승인을 득하도록 계획하여야 한다.
- (4) 계측항목은 발파 시 발생하는 지반진동과 소음(폭풍압)의 측정을 모두 수행할 수 있도록 계획하여야 한다.

4.1.11.2 계측항목의 선정

- (1) 굴착작업을 함에 있어 발파 및 기계굴착을 하는 공사장에서는 진동과 소음의 측정을 계획하여야 한다.

4.1.11.3 계측기기의 배치

(1) 발파진동 측정

- ① 진동계이지는 발파원을 향해 측정대상이 되는 구조물 양측면의 지반 속이나 지반 위에 위치하도록 계획하여야 한다.
- ② 진동계이지는 측정된 자료가 보안구조물에서 받는 진동수준을 충분히 나타낼 수 있는 곳에 위치하도록 계획하여야 한다.
- ③ 접근이 곤란한 보안물건이 있을 경우 진동계이지를 교란이 되지 않은 지반 중 발파원과 가까운 곳에 배치하도록 계획하여야 한다.

(2) 발파소음(폭풍압) 측정

- ① 발파원에 가장 가까운 구조물의 측정면을 따라서 배치하여야 한다.
- ② 소음측정 계이지의 높이는 지상에서 900 mm 정도가 적당하고 필요에 따라 높이를 변경하도록 계획하여야 한다.

4.1.11.4 계측기기의 선정

- (1) 이 기준의 1.11을 따른다.

4.1.12 가물막이 및 동바리 공사

4.1.12.1 계측계획의 수립

- (1) 공사계획에 맞추어 가시설물의 계측계획서를 작성하여 제출하도록 하여야 한다.
- (2) 버팀대가 3단 이상 또는 수위의 차가 5m이상의 차이가 발생하는 가물막이는 계측계획을 수립하여야 한다.
- (3) 높이가 4.5m를 초과하는 동바리에 대해서는 계측계획을 수립하여야 하며, 규모가 작거나 구조해석 결과에 안전이 확인된 경우에는 계측을 생략할 수 있다.
- (4) 계측계획 수립 시 콘크리트 타설을 위한 동바리와 같이 실시간 하중이 변하는 경우에는 실시간 계측을 할 수 있도록 계획하여야 한다. 동바리는 콘크리트 타설 작업 중 침하와 변형을 정확하게 측정할 수 있는 장치를 설치하여 관리할 수 있도록 계측계획을 수립하여야 한다.
- (5) 평상시에는 하중의 변화가 없으나 홍수 시에도 안전이 확보되어야 하는 가물막이는 실시간 계측을 할 수 있도록 계측계획을 수립하여야 한다.

4.1.12.2 계측단면의 선정

- (1) 이 기준의 1.7을 따른다.

4.1.12.3 계측항목의 선정

- (1) 이 기준의 1.9를 따른다.

4.1.12.4 계측기기의 배치

(1) 이 기준의 1.10을 따른다.

4.1.12.5 계측기기의 선정

(1) 이 기준의 1.11을 따른다.

4.2 계측기기 및 계측시스템의 구성

4.2.1 계측기기의 종류

4.2.1.1 계측기기 정의

(1) 계측기기는 물리적 에너지를 변환하기 위해 계측기기 재료의 감지 소자가 내장된 변환기에 의해 전기 또는 빛 에너지로 변환되어 자료 수집과정을 거쳐 정보화처리 되는 것이다.

표 4.2-1 감지소자에 따른 역학계측기기의 분류

감지 소자	대표적 변환기
스트레인 게이지	변형, 변위, 하중, 경사, 압력, 토크, 온도, 가속도
차동트렌스 게이지	변위, 하중, 각도, 압력, 가속도
진동현식 게이지	변형, 변위, 하중, 경사, 압력, 토크, 온도
포텐서미터	변위, 하중, 각도, 가속도
광학식 게이지	변위, 하중, 각도, 가속도
광섬유격자 게이지	변형, 변위, 하중, 경사, 압력, 토크, 온도, 가속도

표 4.2-2 역학계측기기의 감지소자

역학계이지	대표적 감지소자
응력 및 변형	스트레인게이지, 진동현식, 광섬유격자
변위	스트레인게이지, 진동현식, 포텐서미터, 차동트렌스, 광섬유격자, 광학식
각도	차동트렌스, 포텐서미터, 광학식
경사	스트레인게이지, 진동현식, 광섬유격자, 포텐서미터, 차동트렌스, 전해질, 광학
가속도	스트레인게이지, 차동트렌스, 압전소자, 정전용량소자, 서보형
하중	스트레인게이지, 진동현식, 광섬유격자, 포텐서미터, 차동트렌스

4.2.1.2 스트레인게이지(변형률 게이지)

(1) 스트레인게이지는 금속이나 반도체에서 기계적인 신장 또는 압축을 받으면 그로 인해 저항이 변하는 성질을 이용하는 계측기기이다. 스트레인게이지는 진동현식 계측기기 와 함께 역학계이지 중 가장 다양한 변환기가 제조되고 있으며, 건설 및 기계 현장

의 다양한 계측 측정에 활용되고 있다. 변형률 게이지에 의한 계측값은 부재의 결함 및 손상상태, 결선방법, 와이어의 길이 및 주변환경 등의 영향을 많이 받으므로 계측 기기 선정 시 다음 사항들을 고려하여 선정하여야 한다.

- ① 용도(콘크리트용, 강재용)
- ② 측정항목 및 위치(축응력, 주응력)
- ③ 기후(일반형, 방수형)
- ④ 측정범위
- ⑤ 사용온도범위
- ⑥ 정밀도
- ⑦ 게이지 저항, 게이지 계수율
- ⑧ 결선방법
- ⑨ 와이어 종류 및 길이
- ⑩ 사용 장비와 호환성 등

4.2.1.3 변위계(displacement)

- (1) 변위계측에 이용되는 계측기기의 종류에는 다이얼 게이지(dial gauge), LVDT(Linear-Variable Differential Transformer), ring type 변위변환기, 포텐서미터(potentiometer) 등이 있으며, 균열 및 신축이음부의 간격변화를 측정하기 위해 간혹 균열계 등도 사용된다.

4.2.1.4 다이얼 게이지(dial gauge)

- (1) 소형으로 적용하기 쉽고, 계측 결과를 자체와 계측기에 의해 각각 또는 동시에 판독할 수 있으나, 동적 변위의 측정은 불가능하며, 대부분 실험실 수준의 계측에서 사용되고 있다.

4.2.1.5 차동트렌스 게이지

- (1) 차동트렌스 게이지(LVDT: Linear Variable Differential Transformer)는 코일의 상호 유도작용을 이용하여 직선변위 및 각 변위를 전기신호로 변환하는 계측기기이다. 현장 계측에서 가장 일반적으로 사용되는 변위변환기로써 정·동적 변위측정에 사용된다.

4.2.1.6 ring type 변위변환기

- (1) 구조물의 변위에 따라 ring에 부착된 변형률 게이지를 이용하여 ring의 변형을 변위로 환산하여 측정하는 계측기기로 교량의 정·동적 처짐 측정에 사용된다.

4.2.1.7 포텐서미터

- (1) 포텐서미터(potentiometer)는 가변저항 양단에 정전압을 인가한 상태에서 피측정 물체에 연결된 와이퍼(wiper)가 저항체 위를 이동하면 저항이 변위량의 크기에 비례하여

변화하는 전압을 얻는 원리를 이용하는 계측기기이다. 저항을 사용한 접촉식 포텐서미터는 습동자의 마찰력에 의한 마모로 인해 수명의 신뢰성이 낮고 측정 장소의 환경적인 영향에 민감하여 사용이 부적절한 경우가 있다.

4.2.1.8 광학식 변위게이지

- (1) 광학식 변위게이지(optical displacement sensor)는 위치검출소자(PSD: Position Sensitive Device)를 이용하여 반도체의 표면저항을 이용해서 1개의 핀접합으로 입사 광점의 위치를 검출하는 반도체 소자이다. PSD에는 1축방향만의 광을 검출하는 1차원 PSD와 각 변위 측정에 적합한 1차원 PSD, 평면상의 광점 위치를 검출할 수 있는 2차원 PSD가 있다.

4.2.1.9 진동현식 게이지

- (1) 진동현식 게이지의 구조는 피아노선과 전자석으로 구성되며, 피아노선(현)을 양단에 일정한 장력이 유지되도록 정착하고 전자석에 펄스를 인가하여 현이 자력선에 의해 고유 진동주파수로 진동하는데, 이때 현의 장력에 따라 진동 주파수가 변하게 되며 변화하는 진동 주파수를 측정하여 현의 장력을 계산하여 계측하는 원리를 이용하는 계측기기이다. 진동현식 계측기기의 장점은 현의 진동주파수를 전송하므로 전기저항식 게이지에 비해 감지신호를 장거리 전송하여도 신호의 감쇄가 없다. 단점은 온도 계수가 크고, 신호의 감지 범위가 다른 소재에 비해 낮다. 진동현식 게이지는 스트레인게이지와 함께 역학게이지 중 가장 다양한 변환기로 제조되고 있으며, 주로 건설 현장에 많이 적용되고 있다.

4.2.1.10 광섬유격자 게이지

- (1) 광섬유격자 게이지(FBG: Fiber Bragg Grating)는 광섬유 자체가 신호 전달 역할을 하므로 하나의 단일 광섬유선을 이용하여 구조물의 여러 부위에서 측정된 정보를 수집, 처리할 수 있는 다중점(multi-point) 게이지 또는 분포(distributed) 게이지의 구현이 가능하다.

4.2.1.11 가속도계

- (1) 가속도계는 구조물의 진동을 전기적인 신호로 변환하여 물리량 값을 지시계 또는 자료 처리장치에 전송한다.
- (2) 가속도계는 원리에 따라 여러 가지의 형식이 있으며, 현재 일반적으로 많이 사용되는 형식으로는 전기저항식, 서보형식 및 압전형식 등이 있다.
- (3) 가속도계는 계측 대상 주파수 전체 범위를 계측할 수 있는 사양을 선정하여야 한다. 특히 주파수 특성에 따라 계측 자료의 시간간격을 설정하는 것이 중요하다.

4.2.1.12 계측기기의 특성을 나타내는 용어

- (1) 감도(sensitivity)는 입력량에 대한 출력량의 비율을 나타낸다. 다른 사양서에는 감도 대신에 스케일 팩터(scale factor)라고 적혀 있기도 하다.
- (2) 범위(range)는 각 계측기기가 측정할 수 있는 범위를 나타낸다. 이것을 보통 풀 스케일(full scale), 풀 스패ن(full span) 또는 풀 스트로크(full stroke)으로 나타내기도 한다. 약어 FS로 사용한다.
- (3) 분해능(resolution)은 각 계측기기가 측정할 수 있는 최소 물리량을 나타내며, 작을수록 좋은 계측기기이다.
- (4) 비직선성(non-linearity)은 계측기기의 입력대비 출력 관계가 이상적인 직선 관계로부터 벗어남의 정도이다. 비직선성에서 나타나는 수치가 작은 계측기기일수록 더 신뢰할 수 있는 계측기기라는 의미이다.
- (5) 정확도(accuracy)는 계측기기에서 나오는 출력값이 실제 참값과 얼마나 가까운지를 나타내는 값이다. 계측기기 사양서에는 정확도 표시를 오차 개념으로 표시한다.

4.2.2 계측시스템의 구성

- (1) 계측시스템은 크게 자료 획득시스템 및 전송시스템으로 구성한다. 자료 획득 시스템은 계측기기, 스위치박스, 변형측정기, 기록기, 자료저장 및 제어를 위한 컴퓨터, 분석을 위한 컴퓨터, 그 밖의 주변기기 등을 말한다. 전송시스템은 데이터 전송을 위한 송신, 수신 장치를 말한다.
- (2) 계측자료 획득 장치(data logger)는 계측시스템의 핵심으로 브릿지 전원, 신호증폭기, A/D변환기 등의 기본 기능 외에 교환기의 제어와 컴퓨터와의 인터페이스 등의 기능을 가지고 있는 장치이다.
- (3) 계측기기는 센서 및 게이지 등이다.
- (4) 스위치박스는 측점이 많은 경우 변형측정기만으로 계측기와 연결이 불가능할 때 사용하는 일종의 교환기로 스캐너라고도 한다.
- (5) 제어 및 분석을 위한 컴퓨터는 많은 양의 계측자료를 효율적으로 분석하기 위하여 측정기와 연결하여 계측을 제어하고 분석하는 컴퓨터 시스템이다.
- (6) 히스토그램 분석기는 구조물의 피로해석 및 이에 따른 잔존수명 예측에서 정확한 응력 빈도함수를 측정하기 위해서 사용되는 장치이다.
- (7) F.F.T 분석기는 Fourier Transform 회로를 이용하여 계측 자료의 주파수를 분석하고 출력하는 기기이다.
- (8) 저장장치는 계측된 자료를 저장하는 장치이다.
- (9) 차폐 케이블(shield cable)은 각종 노이즈를 차단하기 위하여 사용하는 자료 전송용 케이블로서 가는 선을 망사 모양으로 꼰 것과 알루미늄 포일 형태가 있다.
- (10) 접지(earth end)는 보호함, 내부 기기, 전원 접지 단자, 차폐 케이블의 실드 등은 적절하게 접지를 하여 유입된 노이즈를 흘려보낼 수 있는 경로를 마련해 주는 것이다. 접지는 또한 기기 누전 시 사람을 보호할 수 있다. 접지는 검토를 충분히 하고, 접지의 품질을 파악하여 적절히 설치하여야 하며, 잘못된 접지는 오히려 노이즈 유

입원이 되는 경우도 있다.

- (11) 데이터 획득 시스템 자체는 크기와 경제성 면에서 소수의 채널을 가지고 채널 수 만큼의 계측기기를 측정할 수 있다. 하나의 데이터 획득 시스템이 제공하는 채널 수보다 많은 계측기기를 측정하기 위해서는 다중화기(multiplex)를 사용하여 채널을 확장하는 것이 가능하며, 확장된 채널 수 만큼 연결 가능한 계측기기 수가 늘어난다. 데이터 획득 시스템은 다중화기 제어 신호를 사용하여 확장된 채널의 주소를 지정하여 원하는 계측기기를 순차적으로 측정할 수 있다.

4.2.2.1 계측자료 획득 장치

- (1) 측정의 편리성, 측정빈도, 측정방법, 기기의 호환성 및 경제성 등을 고려하여 구성하여야 한다.
- (2) 계측자료 획득 장치에는 정적 계측자료 획득 장치와 동적 계측자료 획득 장치로 구분할 수 있으며 계측대상 시설물의 중요도, 피해 발생 시 영향, 경제성, 측정빈도 등을 고려하여 계획을 수립하여야 한다.
- ① 정적 계측자료 획득 장치
- 가. 정적 데이터 획득 장치는 정적 계측기기로 측정할 수 있는 신호처리회로와 자료저장 메모리, 컴퓨터와의 통신을 위한 통신 인터페이스장치가 내장되어야 한다.
- 나. 정적 데이터 획득 장치는 다양한 전기적 신호를 처리할 수 있어야 하며, 계측기기의 정밀도를 안정적으로 보장하여야 한다.
- 다. 정적 데이터 획득 장치는 측정자료의 저장, 일정 주기로 자동측정할 수 있는 스케줄 설정기능, 자가진단기능 및 자동복귀기능을 갖추어야 한다.
- 라. 다수의 계측기기를 연결하기 위한 채널확장장치를 사용하는 경우 데이터 로거의 제어신호에 따라 순차적으로 측정이 이루어져야 한다.
- ② 동적 데이터 획득 장치
- 가. 동적 데이터 획득 장치는 계측 대상 시설물의 동적 분석이 가능한 측정속도를 수행할 수 있어야 한다.
- 나. 동적 데이터 획득 장치는 계측치가 임계치 이상의 값을 갖는 경우에 계측 시작과 저장을 지시하는 트리거 기능을 보유하여야 한다.
- 다. 동적 계측자료를 저장할 수 있는 적절한 용량의 내장메모리가 장착되어 있거나 외부 메모리장치를 연결할 수 있어야 한다.
- 라. 대용량 자료 전송이 가능한 통신 인터페이스장치를 내장하고 있어야 한다.

4.2.2.2 계측기기 운용기법

- (1) 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, 측정빈도 등을 고려하여 운용기법을 선택하여야 한다.

4.2.2.3 일반적인 계측관리의 자동화

(1) 기록지 또는 저장장치에 계측자료를 기록할 때까지를 자동화하고, 그 후의 처리는 별도로 컴퓨터로 실시하는 반자동 계측관리 기법과, 자료 수집·해석·그래프화까지를 유선·무선으로 온라인화된 시스템으로 일관하여 실시하는 전자동 계측관리 기법 및 상기의 두 가지 방법을 병용하는 기법으로 구분하며, 계측대상 조건을 고려하여 운용기법을 선정하여야 한다.

4.2.2.4 피해 방지 및 최소화 방법

(1) 조기에 징후를 감지하는 것이 중요하고, 모니터링과 동시에 신속하게 그 정보를 전달·처리하는 것이 필요하며 계측자료의 수집·처리·해석까지를 일괄하여 처리하는 자동화 기술을 사용하는 것을 고려하여야 한다.

4.2.2.5 계측자료 자동화 획득 장치

- (1) 계측기기로부터 계측자료를 원격계측실의 컴퓨터로 전송하여 원격컴퓨터에서 계측자료의 저장·분석이 가능하여야 하며, 필요시 수동 계측이 가능한 시스템으로 계획하여야 한다.
- (2) 각 지점의 계측기기를 원격지에서 원격제어하여 계측의 빈도를 조정할 수 있도록 계획하여야 한다.
- (3) 계측자료 자동화 획득장치를 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.

표 4.2-3 전원 공급장치의 설치 유무

종류	공사 중 계측	유지관리계측
정전압 공급장치	설 치	설 치
무정전 전원공급장치	미설치	설 치
각종 noise 저감장치	설 치	설 치

4.2.2.6 계측자료 통신방법

- (1) 계측자료 통신방법은 유선 및 무선방식을 사용할 수 있다.
- (2) 계측자료 통신방법은 전압드롭, 전자기 간섭 등 주위 환경뿐만 아니라, 유지 관리비를 고려하여 결정하여야 한다.
- (3) 유선에 의한 통신에는 차폐 케이블(shield cable)을 사용하여야 한다.
- (4) 무선에 의한 통신에는 무선 통신관련 법규에 위배되지 않는 방법을 적용하여야 한다.
- (5) 자동계측시스템의 통신장치는 현장의 제반여건을 고려하여 선정 및 보완하여 구축하도록 한다.

- (6) 공사 중 계측과 연계하여 장기계측을 수행할 경우에는 통신시스템에 대한 장기간 안정성과 유지관리의 효율성 및 경제성 등을 고려하여 통신시스템을 계획하여야 한다.
- (7) 통신 매체는 RS232, RS485, RS422, UTP, 광케이블, 모뎀, 무선 RF 모뎀, 무선 CDMA 모뎀, 802.11(a,b,g) 등의 방식을 사용할 수 있어야 하며, 통신 프로토콜은 MODBUS 또는 FIELDBUS를 사용하여 호환성을 유지할 수 있어야 한다.
- (8) 통신망 구축 시 도면에 표시된 규격 또는 그 이상의 규격을 사용하여야 한다.
- (9) 통신용 케이블의 배선은 색상을 통일하여 배선하도록 하며, 접속방법은 안정적인 접속이 되도록 견고한 고정방식을 적용하여야 한다.

4.2.2.7 전원차단기

- (1) 누전에 의한 자동화계측장치의 오동작, 파손, 계측자료의 오류를 방지하기 위하여 전원차단기를 사용한다.
- (2) 전원차단기의 용량은 전체 시스템의 소비전류를 감안하여 적절한 용량을 선정하여야 한다.

4.2.2.8 전압안정기

- (1) 불안정한 전원으로 인한 자동화계측장치의 오동작, 파손, 계측자료의 오류를 방지하기 위하여 정전압, 정주파수를 공급할 수 있는 전압안정기를 사용하여야 한다.

4.2.2.9 무정전 전원공급장치

- (1) 정전 및 단전으로 인한 계측자료 손실을 최소화하기 위하여 무정전 전원공급장치를 사용한다.
- (2) 무정전 전원공급장치의 용량은 시스템 소비전류와 지속시간을 감안하여 적절한 용량을 선정하여야 하며, 정전압, 정주파수를 공급할 수 있어야 한다.

4.2.2.10 항온·항습장치

- (1) 항온·항습장치는 주변환경이 시스템의 가동에 영향을 줄 경우에 적용한다.

4.2.2.11 보호함

- (1) 보호함은 계측기기 및 자동계측장치를 보호하기 위하여 사용한다.
- (2) 보호함의 재질은 주변여건에 따라 선정하여야 한다.
- (3) 보호함은 시건장치를 장착하여 외부인의 접촉을 방지하여야 한다.
- (4) 보호함은 내부장치 및 배선의 점검이 용이한 크기여야 한다.

4.2.2.12 잡신호 필터

- (1) 잡신호(노이즈) 발생이 예상되는 부분에는 적절한 잡신호 필터장치를 사용하여야 한다.

4.2.2.13 접지설비

- (1) 접지설비는 주변환경과 접지의 용도에 따라 적합한 형태를 선정하여야 한다.
- (2) 접지설비는 이용 가능한 현장구조물 접지설비를 사용하며, 현장여건이 여의치 않을 때는 별도의 접지공사를 하여야 한다.
- (3) 접지설비는 접지로 인하여 오히려 시스템에 역기능이 발생할 경우에는 설치 여부를 재검토하여야 한다.

4.2.3 운영시스템 및 프로그램

4.2.3.1 일반사항

- (1) 운영시스템 및 프로그램은 각 계측기기로부터 자동계측장치로 전달되는 신호를 관리하고, 장치를 제어하며, 계측자료를 분석하는 종합기능의 컴퓨터 프로그램이어야 한다.
- (2) 운영프로그램의 기능은 그래픽을 바탕으로 구성되어 사용이 간편하고, 한글화된 구조이어야 한다.
- (3) 자동계측장치로부터 전달되는 계측자료는 실시간으로 디스플레이가 가능하여야 한다.
- (4) 운영프로그램의 계측자료 처리 시 요구되는 다음의 기능을 포함하여 계획하여야 한다.
 - ① 계측자료의 이상 유무 판단 알고리즘
 - ② 계측기기의 타입별, 계측기기 위치별 관리한계의 설정
 - ③ 트리저링에 의한 자동 계측자료 파일 관리
 - ④ 계측기기의 전기적 신호를 공학적 파라미터로의 전환기능
 - ⑤ 계측자료의 용지 인쇄 및 범용 파일형식(엑셀, 텍스트)으로의 출력기능
 - ⑥ 관리한계 초과 시 경보발령 기능

4.2.3.2 운영프로그램 구성

- (1) 운영프로그램은 그래픽 화면 구성으로 설치단면의 위치 및 단면 내 설치된 계측기기의 위치를 표기하여 사용자가 이해하기 쉽도록 구성되어야 한다.
- (2) 계측자료는 시간이력에 대한 그래프 표시가 되어야 하며, 계측항목에 따른 다양한 비교 분석기능이 가능하여야 한다.
- (3) 원격으로 자동계측장치를 제어하여 계측빈도 및 설정상태를 조절할 수 있어야 한다.
- (4) 자동계측의 결과는 가능한 한 인터넷을 통하여 다수의 사용자에게 실시간으로 제공되어야 한다.
- (5) 운영프로그램은 자동계측자료 외에 수동계측자료 및 기타 관측자료를 입력할 수 있어야 하며 종합적인 분석이 가능하여야 한다.

4.2.4 경보시스템

4.2.4.1 일반사항

(1) 현장의 계측결과에 대한 경보전파는 다양한 방식으로 전파될 수 있어야 한다.

4.2.4.2 SMS 문자경보

(1) 휴대폰 문자전송방식을 이용하여 관리자에게 즉시 경보전파가 이루어져야 한다.

(2) SMS 문자경보의 내용에는 발생시점, 계측기기 번호, 계측자료가 포함되어야 한다.

4.2.4.3 경광등

(1) 현장의 여건에 따라 경광등을 사용하여 경보를 전파한다.

4.2.4.4 사이렌

(1) 현장의 여건에 따라 사이렌을 설치하여 경보상황을 전파한다.



집필위원

성명	소속	성명	소속
강인규	(주)브니엘컨설턴트	우종태	경북대학교
권형석	(주)이제이텍	이용수	한국건설기술연구원
백승철	안동대학교		

국가건설기준센터 및 건설기준위원회

성명	소속	성명	소속
이영호	한국건설기술연구원	정충기	서울대학교
구재동	한국건설기술연구원	김동민	(주)한국종합기술
김기현	한국건설기술연구원	김범주	동국대학교
김나은	한국건설기술연구원	김운형	(주)다산컨설턴트
김태송	한국건설기술연구원	남문석	한국도로공사
김희석	한국건설기술연구원	박이근	(주)지오알앤디
류상훈	한국건설기술연구원	박종호	평화지오텍(주)
원훈일	한국건설기술연구원	여규권	(주)삼부토건
이승환	한국건설기술연구원	오정호	한국교통대학교
이여경	한국건설기술연구원	이규환	건양대학교
주영경	한국건설기술연구원	이선복	동부건설
최봉혁	한국건설기술연구원	최재희	(주)이산
허원호	한국건설기술연구원	최창호	한국건설기술연구원

중앙건설기술심의위원회

성명	소속	성명	소속
권석현	(주)디엠씨엠	김영근	(주)건화
권순철	SK건설(주)	김희룡	(주)천마기술단
김사한	(주)건화	류은영	(주)태암엔지니어링

국토교통부

성명	소속	성명	소속
유병수	기술혁신과	양성모	기술혁신과
백세영	기술혁신과		



KDS 11 10 15 : 2021 지반계측

2021년 12월 16일 개정

소관부서 국토교통부 기술혁신과

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

작성기관 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>