

KR C-02050

Rev.6, 09. March 2026



계 측



2026. 03. 09



국가철도공단

경 과 조 치

이 “철도설계지침 및 편람” 이전에 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설공사에 대하여는 발주기관의 장이 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 우리공단 “철도설계지침 및 편람”을 그대로 사용할 수 있습니다.

일 러 두 기

- 사용자의 이용 편의를 위하여 책 단위로 구성된 “철도설계지침” 및 “편람”을 국제적인 방식에 맞게 체계를 코드별로 변경하였습니다.
또한, 코드에 대한 해설 및 목차역할을 하는 KR CODE 2012, 각 코드별로 기준 변경사항을 파악할 수 있도록 Review Chart 및 Record History를 제정하였습니다.
- 이번 개정된 “철도설계지침 및 편람”은 개정 소요가 발생할 때마다 각 항목별로 수정되어 공단 EPMS, CPMS에 게시될 것이니 설계적용 시 최신판을 확인 바랍니다.
- “철도설계지침 및 편람”에서 지침에 해당하는 본문은 설계 시 준수해야 하는 부분이고, 해설(이전 편람) 부분은 설계용역 업무수행의 편의를 제공하기 위해 작성한 참고용 기술도서입니다. 여기서, 제목 부분의 편람은 각 코드에서의 해설을 총칭한 것입니다.

목 차

| | |
|----------------------|----------|
| 1. 일반사항 | 1 |
| 1.1 목적 | 1 |
| 1.2 적용 범위 | 1 |
| 1.3 참고기준 | 1 |
| 1.4 용어의 정의 | 1 |
| 1.5 기호의 정의 | 2 |
| 1.6 계측의 분류 | 2 |
| 1.7 계측계획의 수립 | 2 |
| 1.8 계측단면의 선정 | 3 |
| 1.9 계측항목의 선정 | 3 |
| 1.10 계측기기의 배치 | 3 |
| 1.11 계측기기의 선정 | 3 |
| 2. 조사 및 계획 | 3 |
| 3. 재료 | 3 |
| 4. 설계 | 3 |
| 4.1 공종별 계측계획 | 3 |
| 4.2 계측기기 및 계측시스템의 구성 | 4 |
| 4.3 전 생애주기 계측 계획 | 4 |
| | |
| 해설 1. 토사 비탈면 계측 | 5 |
| 해설 2. 암반 비탈면의 계측계획 | 6 |
| 해설 3. 연약지반 계측관리 | 7 |
| 1. 현장계측 | 7 |
| 2. 침하관리 | 10 |
| 3. 안정관리 | 13 |
| 해설 4. 흙막이구조물 계측관리 | 17 |
| 1. 계측의 목적 및 계획 | 17 |
| 1.1 계측목적 | 17 |
| 1.2 계측계획 | 17 |
| 1.3 계측항목 선정 | 17 |
| 1.4 계측시스템의 선정 | 18 |



| | |
|---------------------------------|-----------|
| 2. 계측의 위치선정 및 빈도 | 19 |
| 2.1 계측위치 선정 | 19 |
| 2.2 계측빈도 | 20 |
| 3. 계측의 결과 활용 | 20 |
| 해설 5. 전 생애주기 계측 계획 | 23 |
| 1. 계측기 선정 | 23 |
| 1.1 흡구조물 | 23 |
| 1.2 비탈면 및 옹벽 | 24 |
| 1.3 교량 | 25 |
| 2. 계측기 통신 및 데이터 표준화 | 27 |
| RECORD HISTORY | 28 |

1. 일반사항

1.1 목적

건설공사 중 공사 중인 시설물과 유지관리 중인 시설물의 안전을 목적으로 **계측**을 통해 설계시의 불확실성을 확인하고 안전한 공사를 위한 **계측**에 대한 설계기준의 제시를 목적으로 한다.

1.2 적용 범위

KDS 11 10 15 지반계측 (1.2)를 따른다.

KCS 24 99 05 교량 계측 시설 (1.1)을 따른다.

1.3 참고 기준

내용 없음

1.4 용어의 정의

- (1) 비탈끝 : 비탈면의 아래 쪽 끝부분
- (2) 비탈면 : 지반의 경사진 면을 말하며 형성 기원에 따라 쌓기 또는 깎기로 만들어진 인공비탈면과 원래 지형이 경사진 자연비탈면으로 구분
- (3) 상부노반 : 시공기면으로부터 일정한 깊이(고속철도 3.0m, 일반철도 1.5m)
- (4) 시공기면 : 철도노반 마무리면상 철도중심선의 연직방향 위치로, 일반적으로 설계도면에서 높이 기준면
- (5) 원지반 : 원래의 흐트러지지 않은 자연지반
- (6) 땅깎기 : 원지반면을 제거하여 확정된 선형, 기울기 및 치수나 공사시방서의 규정에 부합되도록 땅을 깎아 시공기면을 형성하는 작업
- (7) 땅깎기 비탈면 : 땅깎기에 의해 조성된 비탈면
- (8) 절리 : 암석 자체에 의한 것과 외력에 의해 암반에 생성되는 비교적 일정한 방향성을 갖는 불연속면으로 상대적 변위가 단층에 비하여 크지 않거나 거의 없는 것
- (9) 간극수압 : 흙의 간극 속에 존재하는 물의 압력
- (10) 단주(short column) : 세장비가 작아(강재기둥인 경우 약 100 이하) 좌굴이 발생하기 전에 압축응력이 허용응력을 초과하게 되는 기둥
- (11) 보일링(boiling) : 터파기 바닥면의 흙이 모래지반인 경우 상향의 침투수압에 의한 동수경사가 모래지반의 한계동수 경사보다 크게 되면 모래입자 사이의 유효응력이 상실되어 분사현상이 발생하는 것
- (12) 세장비 : 압축부재에서 부재의 길이를 단면회전반경으로 나눈 값으로 일반적으로 이 값이 100 이상이면 장주, 그 이하이면 단주로 구분



- (13) 측방유동 : 연약한 지반에서 쌓기 등의 재하하중에 의해 지반이 측방으로 변위 하는 것
- (14) 흙막이 구조물 : 흙막이벽, 옹벽 등 이에 준하는 구조물의 총칭
- (15) 흙막이벽 : 깎기 또는 쌓기에 의해 지지되면서, 토압, 수압 등 외력에 대하여 안정을 유지하는 구조물
- (16) 히빙 : 연약한 점성토 지반에서 터파기 외측의 흙의 중량으로 인하여 터파기된 저면이 부풀어 오르는 현상
- (17) 계측 : 공사 중인 시설물의 안전 및 품질관리와 준공되어 유지관리 중인 시설물의 안전을 목적으로 설계시의 불확정성 확인 및 안정성 평가 등의 안전관리 기본 자료를 취득하는 행위
- (18) 지중변위 : 연약지반에 성토 시 원지반에 발생하는 수직 또는 수평변위
- (19) 케이블 지지교량 : 케이블을 주부재로 하는 교량
- (20) 지반침하 : 토층의 압밀 및 압축, 전단변형, 용해, 공동 붕괴 등으로 인해 지반이 시간에 따라 점진적으로 하향 연직변위를 일으키는 현상
- (21) 허용잔류침하량 : 연약지반상의 구조물이나 성토체에 대하여 공사 완료 후 그 기능과 특성을 해치지 않는 범위 내에서 허용되는 잔류침하량
- (22) 전 생애주기 계측 : 공사 중 설치하는 계측기 중 유지관리 단계까지 지속적으로 운영하여 구조물의 거동을 모니터링하는 계측 체계
- (23) 자동계측 : 자료수집, 해석, 그래프까지 유·무선으로 온라인화된 시스템을 통해 이루어지는 계측
- (24) 수동계측 : 사람이 직접 또는 간접적으로 조작부를 조작하여 수행하는 계측

1.5 기호의 정의

내용 없음

1.6 계측의 분류

KDS 11 10 15 지반계측 (1.6)을 따른다.

1.7 계측계획의 수립

KDS 11 10 15 지반계측 (1.7)을 따른다.

1.8 계측단면의 선정

KDS 11 10 15 지반계측 (1.8)을 따른다.

1.9 계측항목의 선정

KDS 11 10 15 지반계측 (1.9)를 따른다.

1.10 계측기기의 배치

KDS 11 10 15 지반계측 (1.10)을 따른다.

1.11 계측기기의 선정

KDS 11 10 15 지반계측 (1.11)을 따른다.

2. 조사 및 계획

내용 없음

3. 재료

내용 없음

4. 설계

4.1 공종별 계측계획

4.1.1 연약지반공사

KDS 11 10 15 지반계측 (4.1.1)을 따른다.

4.1.2 비탈면 절취공사

KDS 11 10 15 지반계측 (4.1.2)를 따른다.

4.1.3 기초공사

KDS 11 10 15 지반계측 (4.1.3)을 따른다.

4.1.4 상하수도 공사

KDS 11 10 15 지반계측 (4.1.4)를 따른다.

4.1.5 터널공사

KDS 11 10 15 지반계측 (4.1.5)를 따른다.

4.1.6 건축공사

KDS 11 10 15 지반계측 (4.1.9)를 따른다.

4.1.7 지하굴착공사

KDS 11 10 15 지반계측 (4.1.10)을 따른다.

4.1.8 발파진동유발공사

KDS 11 10 15 지반계측 (4.1.11)을 따른다.

4.1.9 가물막이 및 동바리 공사

KDS 11 10 15 지반계측 (4.1.12)를 따른다.



4.1.10 공동 또는 싱크홀

- (1) 터널굴착 시 주변지반 이완 등에 의한 싱크홀 또는 지반침하, 인접한 기존 시설물의 영향에 대해 검토하여 시설물을 안전하게 보호하고 각종 사고를 미연에 방지할 수 있도록 사전대책을 수립하여야 한다.
- (2) 터널이 구조물 하부 등을 통과하여 상호 영향이 예상되는 경우 구조물과 그 하부지반의 상대거동 및 공동발생 여부를 확인할 수 있도록 계측계획을 수립하여야 한다..
- (3) 터널 등 지중구조물에 영향을 미칠 수 있는 공동이 확인된 경우 공동의 발생원인, 발생위치 및 규모 등 공동의 특성, 공동에 따른 구조물의 거동특성 등을 고려하여 적합한 대책을 수립하여야 한다.
- (4) 터널 등 지중구조물 주변의 굴착공사 중 확인된 공동에 대한 복구공사는 규모나 형태 등을 고려하여 충전방법과 재료선정 등에 대해 전문가의 검토를 거쳐 현장여건에 적합한 공법을 선정하여야 한다.

4.2 계측기기 및 계측시스템의 구성

KDS 11 10 15 지반계측 (4.2)를 따른다.

4.3 전 생애주기 계측 계획 수립

- (1) 전 생애주기 계측은 대상 구조물의 성능저하 추적, 장기 안전성 평가 및 공용성 확보를 목적으로 한다.
- (2) 전 생애주기 계측은 연약지반 침하, 신공법 적용 등의 사유로 제1항의 목적 달성을 위해 설계자가 반드시 필요하다고 판단하는 구조물을 대상으로 한다.
- (3) 계측기의 데이터 및 시스템 규격은 유지관리시스템과의 연계를 고려해야 한다.
- (4) 계측기기를 유지관리 단계로 이관 시 계측기 내구연한이 초과하지 않도록 설계에 수량을 반영하여야 한다.
- (5) 자동계측의 경우에는 이상작동을 대비하여 수동계측이 가능하도록 계획하여야 한다.

해설 1. 토사 비탈면 계측

- (1) 기존의 흠쌓기 또는 땅깍기 철도 비탈면의 대부분 준공된 지 상당한 시일의 경과로 인해 노후화 되어 있는 실정이며, 물류 수송량의 증대로 철도는 점점 고속화, 고밀화, 대형화, 중량화되고 있는 추세이기 때문에 열차 운행상의 안전성 및 신뢰성의 확보가 그 어느 때보다도 중요하다.
- (2) 근래 다발하는 경향을 보이고 있는 이상기후, 그리고 이로 인한 홍수, 지진 등으로 흠쌓기 또는 땅깍기 비탈면 재해를 미연에 예·검지하여 조치할 수 있는 비탈면 상시계측시스템 구축이 요구된다.
- (3) 상시계측시스템의 계측센서 및 장비는 그 특성과 용도에 맞게 설치할 수 있는 기준이 제시되어야 하며 주요 계측장비의 설치기준은 <표 1>에 제시하였다.

표 1. 주요 계측장비의 설치기준 「국토교통부, 2004」

| 구분 | 계측장비 | 계측기 설치기준 |
|-------------------|--------------|--|
| 비탈면 및 토공시설물 | 지표침하계 | <ul style="list-style-type: none"> ◦ 연약지반 흠쌓기 시 흠쌓기 단면의 중앙에 설치 |
| | 층별 침하계 | <ul style="list-style-type: none"> ◦ 지층별 부등침하가 예상되는 지점 ◦ 장기적 관측이 가능한 노반 가장자리 ◦ 높은 흠쌓기로 상재하중이 많이 작용하는 지점 ◦ 하부 연약지반의 심도가 깊은 지점 |
| | 경사계 | <ul style="list-style-type: none"> ◦ 수평변위가 중요한 흠쌓기 선단부 ◦ 수평변위가 클 것으로 예상되는 흠쌓기 가장자리 |
| | 지표변위계 | <ul style="list-style-type: none"> ◦ 인장균열, 단차의 변위를 측정 (지표면 신축계) ◦ 압반비탈면의 붕괴형태에 따른 계측에 적합 |
| | 간극수압계 | <ul style="list-style-type: none"> ◦ 층별침하계와 인접한 위치 ◦ 층별침하계와 측정대상층과 같은 표고에 설치 |
| | 지하수위계 | <ul style="list-style-type: none"> ◦ 지하수위의 변화에 대한 검토가 필요한 지점 ◦ 간극수압계와 인접한 위치에 설치하여 과잉간극수압 검토 |
| | 측방변위 말뚝 | <ul style="list-style-type: none"> ◦ 흠쌓기 높이가 높아 측방변위 발생이 예상되는 지점 ◦ 흠쌓기 끝에서 약 20~30m 범위 |
| 낙석발생 예상지역 | CCTV 시스템 | <ul style="list-style-type: none"> ◦ 낙석발생 유무를 화상으로 직접 인식 ◦ 대상지역 전체를 관찰할 수 있는 대표지점에 설치 ◦ 여러 개소의 동시계측 지원 |
| | 레이저거리 측정기 | <ul style="list-style-type: none"> ◦ 설치위치와 측정지점 간 장애물이 없는 지역에 설치 ◦ 팬틸트의 지원을 통한 다양한 지점의 측정 가능 ◦ 카메라의 측정위치와 동일한 각도로 설치 |
| | 적외선 센서 | <ul style="list-style-type: none"> ◦ 선로 방향과 평행하게 낙석발생 예상지점에 직접설치 |
| | 와이어 센서 | <ul style="list-style-type: none"> ◦ 낙석 발생으로 인한 선로의 직접적 피해유무 판단 |

- (4) 계측관리의 기준을 설정할 때에는 지질조건, 비탈면의 크기 및 형상, 주변구조물의 환경조건 등에 따라 차별적으로 설정한다. 계측관리기준의 설정방법은 절대치 관리기준의 설정방법과 예측치 관리기준의 설정방법으로 나누어진다. 절대치 관리기준의 설정은 시공전 설정된 관리기준치와 실측치를 비교, 검토하는 것으로 시공시의 안정성 확보에 목적이 있으며, 예측치 관리기준의 설정은 시공 후의 예측치와 관리기준치를 비교, 검토하여 비탈면 유지관리에 활용하는 것이 목적이다.



해설 2. 암반 비탈면의 계측계획

- (1) 암반 비탈면에서 변위가 진행중이거나 예상되는 것을 주의 깊게 관찰하기 위해 필요한 개소에 계측을 실시한다.
- (2) 비탈면에서 현장계측의 기본 조건은 주어진 모든 조건이나 붕괴형태를 정확히 예상하고 파악한 다음에 계측의 목적을 명확히 하여 그 목적에 맞는 계측기기의 선정이나 배치, 계측의 방법, 관리 기준치 등을 검토하여 계측의 실시계획을 작성할 필요가 있다.
- (3) 계측계획을 수립, 작성하는데 있어서 검토하여야 할 주요내용은 ㉠ 계측의 목적, ㉡ 계측 대상 범위, ㉢ 계측항목과 계측기기의 선정, ㉣ 계측기기의 배치, ㉤ 계측기간과 계측빈도, ㉥ 관리기준치, ㉦ 계측체제, ㉧ 계측데이터의 정의·평가방법, ㉨ 계측 결과의 운용방법, ㉩ 계측기기의 유지관리가 포함되어야 한다.

해설 3. 연약지반 계측관리

1. 현장계측

- (1) 연약지반처리의 설계는 복잡한 자연현상(토층 및 토질특성)을 단순화시켜 시행되므로 설계시 추정치의 불확실성과 설계단계에서의 지반조사 자료의 부족 및 불확실성을 시공 중의 현장관리를 통해 보충하고 이를 통한 새로운 정보에 의해 적절히 관리·검토되어야 한다.
- (2) 연약지반의 침하와 변형특성 파악 및 개량효과 분석 등을 제반 계측관리를 통하여 연약지반 개량공법의 질적 향상 및 경제적이고 안전한 시공을 도모해야 하고, 나아가서 이러한 정보를 피드백(Feed-back) 시켜 다음 단계에서 발생할 수 있는 지반거동을 사전에 파악하여 이를 토대로 당초 설계의 타당성 파악 및 대책이 강구되어야 한다.
- (3) 계측관리는 연약지반에 성토를 함에 있어 대상지반의 주요지점에 침하 및 안정관리 등에 필요한 경사계, 침하관, 지하수위계, 간극수압계 등의 계측기를 설치하고 지반의 거동을 정량적으로 확인하는데 필요하며, 다음과 같은 목적이 있다.
 - ① 설계 시 지반조건의 정보부족으로 인한 설계시의 미비점을 시공 중에 발견하여 대책방안을 제시
 - ② 설계시 예측치 않았던 거동이 생기면 신속히 그 원인을 규명하고 그 대책을 수립
 - ③ 계측한 자료를 정리, 분석하여 자료를 축적하고 이를 피드백시켜 앞으로의 성토구조물의 설계시공에 적용하여 경제성, 안정성을 도모
 - ④ 설계이론 및 설계정수의 평가

계측목적별 관리사항을 정리하면 다음과 같다.

 - 가. 긴급한 위험의 징후발견을 위한 계측 : 과대한 토압이나 수압이 작용하는 경우 히빙등의 징후를 사전 확인하여 안전관리를 수행하기 위한 계측
 - 나. 시공 중에 중요한 정보를 얻기 위한 계측 : 재하성토에 의한 지반의 거동을 예견하는데 필요한 정보를 얻기 위한 계측
 - 다. 시공법을 개선하기 위한 계측 : 선행단계의 계측 데이터는 다음단계의 설계정수로 사용되어 현장여건에 적합한 설계를 수행하기 위한 계측
 - 라. 공사지역의 특수한 경향을 파악하기 위한 계측
 - 마. 이론적 결과를 검증하기 위한 계측

상기에서 언급한 바와 같이 현장계측은 여러가지 목적을 위해 실시되는 경우가 많으므로 계측을 성공적으로 실시하기 위해서는 각 목적 항목마다의 충분한 사전 검토를 실시하여야 한다.
- (4) 목적에 맞는 계측기를 선정한 후 그 계측기를 배치하는 것이 중요하며 계측위치의 선정이 측정대상물의 규모나 주변 구조물의 영향정도에 좌우된다는 것은 말할 나위



도 없지만 측정 개소의 지형, 지질, 토질특성 등의 중요한 요소가 있다는 것도 간과할 수 없다. 일반적으로 계측기의 매설위치 선정기준은 아래와 같다.

- ① 대상지역 전체를 대표하는 지점
 - ② 취약지역
 - ③ 지반개량 효과분석 및 안정관리 대상지역
 - ④ 차량, 장비로부터 보호 및 관리가 용이한 지점
 - ⑤ 계측기의 상호 연계를 파악할 수 있도록 통합
 - ⑥ 사전자료 및 시추조사 등으로 지반조건이 충분히 파악된 지점
- (5) 계측내용에 따라 필요한 계측기를 설치해야 하겠으나, 통상의 압밀시공과 관련하여 지표면침하, 층별침하, 측방변위(경사), 간극수압 등이 수행되어야 한다. 이들 측정을 위한 계측기의 배치간격은 연약지층에 따라 달라질 것이다.
- (6) 지반이 복잡하고 주요 구조물이 축조된 경우에서 집중관리의 대상으로서 보다 철저하고 많은 계측기를 설치하며, 이때 연약지반의 흠뻑기 재하시 지반거동을 고려하여야 한다. 각 계측기의 설치위치에 대해서는 지표침하판 및 층별 침하계는 철도노반의 중앙, 간극수압계는 흠뻑기단면 하부에 설치한다. 고성토구간에서는 흠뻑기단면 비탈끝에서 용기나 측방이동을 관측할 수 있도록 경사계나 변위말뚝을 설치해야 한다.(<그림 1> 참조)

계측기의 종류 및 배치기준은 <표 2>와 같으며 계측빈도 및 설치개소는 현장여건, 연약지반상태를 고려하여 조정하도록 한다.

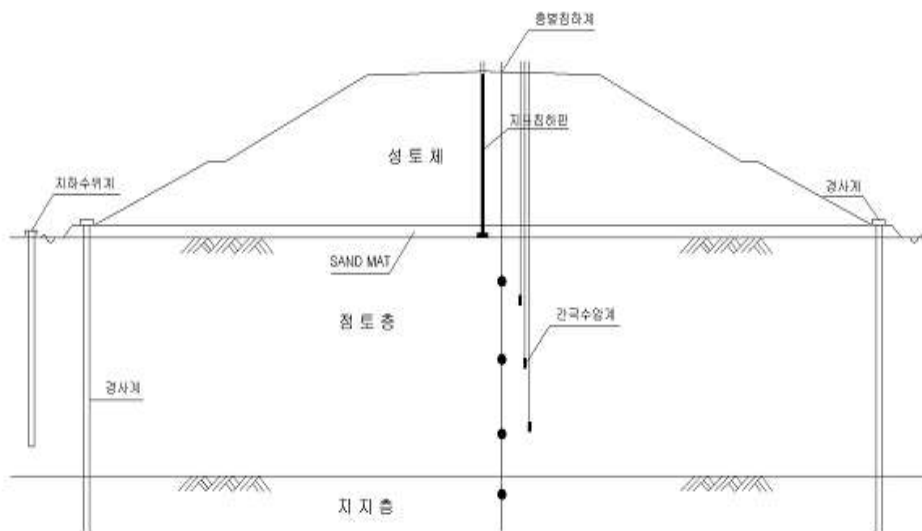


그림 1. 계측기 배치 단면도

표 2. 계측기의 종류 및 배치기준 「국토교통부, 2000」

| 계측기명 | 계측목적 및 검토사항 | 계측기 배치원칙 |
|--------------------|---|--|
| 층별침하계 | <ul style="list-style-type: none"> · 연약점토성의 심도별 압밀침하량 측정 및 지표면 침하량과의 비교 분석 · 측정된 침하량을 이용하여 지반의 층별 압밀정수 추정 | <ul style="list-style-type: none"> · 연약심도가 깊거나 고성토지역에 간극수압계와 동일지점에 설치 · 공당소자는 3개씩 |
| 간극수압계 (piezometer) | <ul style="list-style-type: none"> · 흩쌓기 하중에 의한 지반내 간극수압의 변화측정 · 과잉간극수압의 소산정도 및 유효응력증가량 유추 · 압밀의 효과 확인 · 압밀진행 및 강도증가상황 확인 | <ul style="list-style-type: none"> · 연약심도가 깊거나 고 흩쌓기지역에 층별침하계와 동일지점에 설치 · 공당소자는 3개씩 |
| 경사계 (inclinometer) | <ul style="list-style-type: none"> · 흩쌓기 비탈면부의 지반내 수평방향의 변형량과 변형속도 측정 · 흩쌓기 중앙부의 최대침하량과 함께 분석하여 흩쌓기 비탈면의 안정관리 · 측방유동 토압에 의한 교대의 안정성 확인 | <ul style="list-style-type: none"> · 전단파괴가 우려되는 고성토지역에 좌, 우 비탈면에 설치 · 현장상황에 따라 교대전후면 또는 측면에 설치 |
| 지하수위계 | <ul style="list-style-type: none"> · 흩쌓기에 의한 지하수위의 변화파악 · 간극수압과 비교하여 과잉간극수압의 소산정도 및 유효응력 증가량 유추 | <ul style="list-style-type: none"> · 간극수압계가 설치되는 지점에서 흩쌓기에 의해 자연 지하수위가 영향을 받지 않도록 흩쌓기 비탈면에 이격하여 설치 |
| 지표침하판 | <ul style="list-style-type: none"> · 설치지점의 전침하량 측정 · 흩쌓기 속도 조절, 프리로딩 제거시기 판정 | <ul style="list-style-type: none"> · 연약지반 흩쌓기 시 100m간격으로 흩쌓기 단면 중앙에 설치 |

(7) 계측기 설치시기는 샌드매트와 연약지반처리공법(연직배수공법 등) 완료 후 연약지반상에 성토를 하기 전에 대상지반의 주요지점에 침하 및 안정관리 등에 필요한 경사계, 침하판, 지하수위계, 간극수압계 등의 계측기를 설치하여야 하며, 설치준비 및 설치 후 시공 중 망실에 대비하여 계측기기 유지관리는 다음과 같이 시행 하여야 한다.

- ① 제조업자측이 제공하는 매뉴얼로 일상유지절차를 수립함
 - ② 기기의 일상점검을 통해 기기오염 및 고장시 즉각적인 보수, 교체를 실시함
 - ③ 섬세한 기기의 경우 운반 및 관리시 충격과 손상방지를 위해 패드와 같은 충격완화재를 설치함
 - ④ 계측기는 시공 중에 파손되는 경우가 많으므로 시공장비에 의해 파손되지 않도록 보호시설과 눈에 띄는 표지를 설치하여 파손을 예방하고 중요 부위의 계측은 여분의 계측기를 매설하여 파손에 따른 자료손실에 대비한다.
- 한편, 연약지반상에 침하, 간극수압, 지중변위 등의 계측치는 초기치 및 성토시공



이 개시되는 시점이 중요하다. 이는 계측관리를 통하여 침하 및 안정관리를 수행함에 있어 계측기설치 초기 계측값은 침하량, 압밀도 등의 예측과 시공 중 위험의 징후를 파악하는데 중요하며, 초기치 설정이 이루어져야 성토시공 중 과잉간극수압, 지중변위 등의 변화를 정확히 파악할 수 있다.

2. 침하관리

(1) 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 추정한후 당초설계를 검토하여 실측침하와 불일치할 경우 이를 시공 및 설계에 다시 반영한다.

① 쌍곡선법

쌍곡선법은 시간의 경과에 따른 침하의 진행이 쌍곡선으로 감소한다는 가정하에 초기의 실측 침하량으로 부터 장래의 침하량을 예측하는 방법으로 <식 (1)>, <식 (2)>를 이용한다. 이 방법을 적용하여 추정한 침하량은 초기에는 실측치에 비하여 작고 후반부의 직선부분에서는 일치하는 경향이 있으므로 압밀도가 약 50% 정도 도달해야만 어느 정도 근사치에 접근할 수 있는 것으로 알려져 있다.

$$S_t = S_o + \frac{t}{\alpha + \beta \cdot t} \quad (1)$$

$$S_f = S_o + \frac{1}{\beta} \quad (2)$$

여기서 S_t : 쌍기종료 후 경과시간 t 에서의 침하량

S_f : 최종침하량

S_o : 쌍기종료 직후의 침하량

t : 쌍기종료 시점으로부터의 경과 시간

α, β : 실측침하량 값으로부터 구한 계수

이때 쌍기 종료 후 t 시간 동안의 실측침하량을 기초로 하여 $t/(S_t - S_o)$ 를 계산한 다음 $t \sim t/(S_t - S_o)$ 의 관계를 <그림 2>와 같은 방법으로 도시하여 α, β 값을 결정한다.

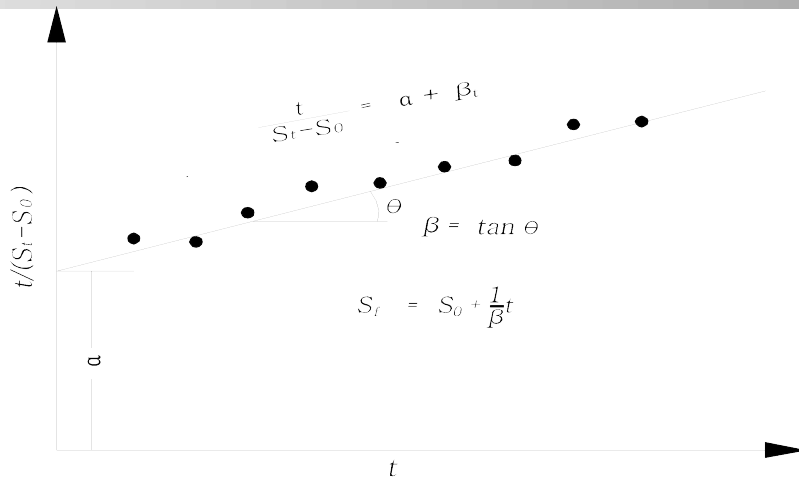


그림 2. 쌍곡선법에 의한 계수 결정법

② Hoshino법 (\sqrt{t} 법)

침하는 현장에서의 전단에 의한 유동변형을 포함하며 시간의 평방근에 비례한다는 기본원리에서 장래의 침하량을 예측하는 방법으로 \sqrt{t} 법이라고도 한다.

$$S_t = S_o + S_d = S_o + \frac{A \cdot K \sqrt{t}}{\sqrt{1 + K^2 \cdot t}} \quad (3)$$

여기서, S_t : 쌍기종료 후 경과시간 t 에서의 침하량

S_o : 쌍기종료 직후의 침하량

S_d : 시간의 경과와 더불어 증가하는 침하량

t : 쌍기종료 시점으로부터의 경과시간

A, K : 실측침하량 값으로부터 구한 계수

쌍기종료 후 t 시간 동안의 실측침하량을 기초로 하여 $t/(S_t - S_o)^2$ 를 계산한 다음 $t \sim t/(S_t - S_o)^2$ 의 관계를 도시하여 A, K 값을 결정하며, 최종침하량 (S_f)는 $t = \infty$ 로 보고 <식 (3.4)>로 부터 산정한다.(<그림 3> 참조)

$$S_f = S_o + A = S_o + \sqrt{1/\beta} \quad (4)$$

여기서, S_f : 최종 침하량

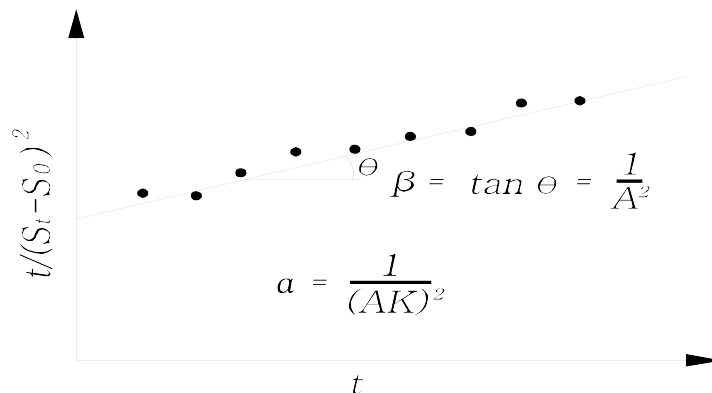


그림 3. Hoshino법에 의한 계수 결정법



③ Asaoka 법

1차원 압밀방정식에 의거 하중이 일정할 때의 침하량을 나타내는 <식 (5)>와 같은 간편식으로 장래 침하량을 예측하는 방법이다.

$$S_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot S_{i-1} \quad (5)$$

여기서, S_i : 시간 t 를 이산화하여 $t_i = t \times i (i=1,2,3,\dots)$ 로 할 때 시간 t_i 에서의 침하량

S_{i-1} : 시간 $t_{i-1} = \Delta t \times (i-1)$ 에서의 침하량

S_d : 시간의 경과와 더불어 증가하는 침하량

β_0, β_1 : 계측침하량으로 구한 계수

실측침하량 경시 변화도(<그림 4>)로부터 동일한 시간간격(Δt)에 대응하는 침하량 $S_1, S_2, \dots, S_{i-1}, S_i$ 를 관측하여 S_{i-1} 과 S_i 를 축으로 하는 좌표상에 $(S_1, S_2), (S_2, S_3), \dots, (S_{i-1}, S_i)$ 를 도시(<그림 5>)한다. 이 경우 도시된 점은 거의 직선상에 위치한다.

도시최종침하량은 도시된 직선과 $S_{i-1} = S_i$ 인 직선 (45°)의 교점으로부터 도식적으로 <식 (6)>과 같이 산정된다.

$$S_f = \frac{\beta_0}{1 - \beta_1} \quad (6)$$

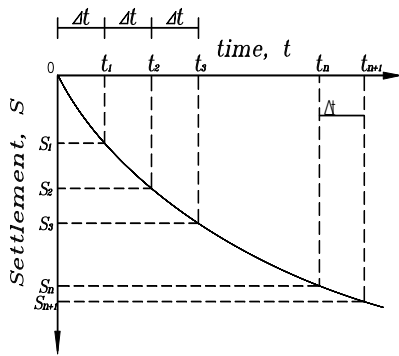


그림 4. 실측침하량 경시 변화도

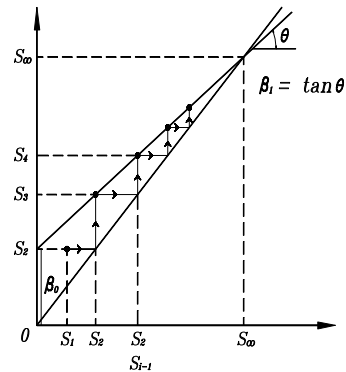


그림 5. 최종침하량 산정(Asaoka)

- (2) 연약지반 각층의 침하량을 측정하고, 장래침하량을 예측하여 압밀진행 상황을 파악한다. 이때 각층의 간극수압의 변화로부터 각 시점에서의 정확한 압밀도를 파악한다.
- (3) 연약지반 처리시 압밀촉진 예상효과와 실제와의 차이를 비교하여 선하중(Preloading)의 재하기간과 제거시기를 결정한다.
- (4) 장래침하량 예측에 따라 잔류침하량을 추정하여 교대와 성토의 연결부 단차와 그 외의 침하에 대한 대책을 검토한다.

3. 안정관리

- (1) 연약지반에서 성토하중의 증가가 지반의 강도증가와 균형을 이루도록 성토속도를 조절하여 안정한 상태에서 시공할 수 있도록 성토속도를 설정하고, 시공진행과 함께 계측결과를 기초로 안정관리를 하며, 그것에 의해 성토속도를 조절한다.(<표 3> 참조)

표 3. 지반과 흩쌓기 속도 「국토교통부, 2000」

| 지반의 종류 | 흩쌓기 속도 |
|------------------------------------|---------|
| 두꺼운 점토지반 및 유기질토가 두껍게 퇴적된 이탄토지반 | 30mm/일 |
| 보통의 점토질지반 | 50mm/일 |
| 얇은 점토질지반 및 유기질토가 거의 끼지 않은 얇은 이탄토지반 | 100mm/일 |

- (2) 계측결과를 분석하여 불안정한 징후가 보이면 성토를 중단하고 방치기간을 갖는다. 방치에 의해 안정화 경향이 확인되면 쌓기를 속행하게 되지만, 방치해 두어도 불안정한 상태가 계속되어 파괴가 예측되는 경우에는 조속히 성토하중 경감 등의 대책을 실시함과 동시에 필요에 따라 확인 시추조사나 안정해석 등을 실시해 본격적인 대책을 강구한다. 반대로 안정관리에 의해 충분한 여유가 있다고 판단될 때에는 쌓기 속도를 높일 수 있다.
- (3) 기초지반의 변형량과 변형속도를 계속해서 상세측정, 안정성을 검토한다.
- (4) 지반 내 간극수압을 동시에 측정하여 간극수압의 경시변화로부터 압밀의 진행상황 분석한다.
- (5) 이상의 측정·조사결과에 의해 쌓기가 안정상태에서 진행되는지를 검토, 불안정할 경우 그 정도에 따라 쌓기속도의 지연, 중지 또는 일부 쌓기제거 등 조치를 강구한다.
- (6) 정성적방법은 성토중앙부 침하(S)와 성토측방의 수평변위(δ)의 측정결과를 가지고 연약지반이 안정 또는 불안정한지를 판단할 수 있다.지반이 안정한 경우 침하량이 어느정도 시간이 지남에 따라 일정해지는 경향을 보이고, 그렇지 않고 갑자기 증가하면 불안정한 상태라 할 수 있다.
- 즉, 수평·수직 변위가 거의 발생하지 않거나 성토 쪽으로 수평변위가 발생하면 안정하고 그렇지 않고 변위가 급격히 발생하거나 성토 밖으로 수평변위가 발생하면 불안정한 상태이다.(<그림 6>, <그림 7> 참조) 지반파괴 및 불안정 상태의 정성적인 경향은 다음과 같다.



- ① 성토의 천단부나 사면에 원호균열(Arc-Crack) 모양의 발생
- ② 성토 중앙부의 침하가 급격히 증가
- ③ 성토사면 끝부분 지반의 수평변위가 성토 외측방향으로 크게 발생
- ④ 성토사면 끝부분 지반의 수직변위가 상향으로 크게 발생
- ⑤ 성토작업 중지 시에도 수평변위가 지속되며 간극수압 상승

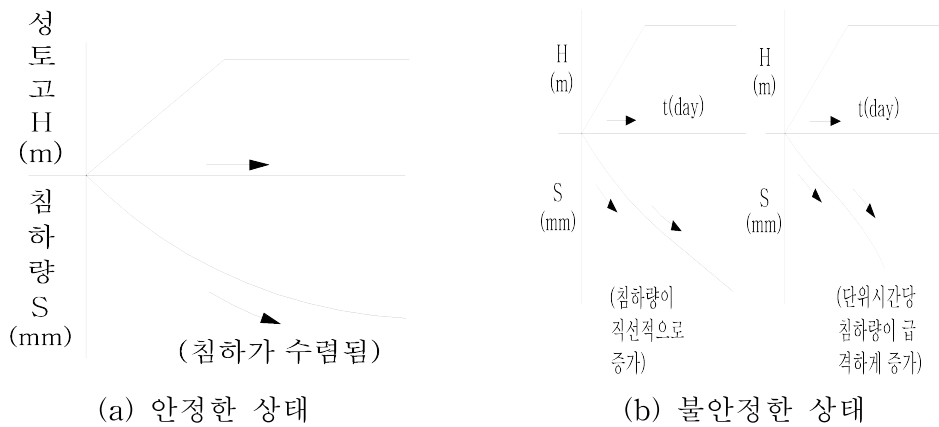


그림 6. 침하량 경시변화

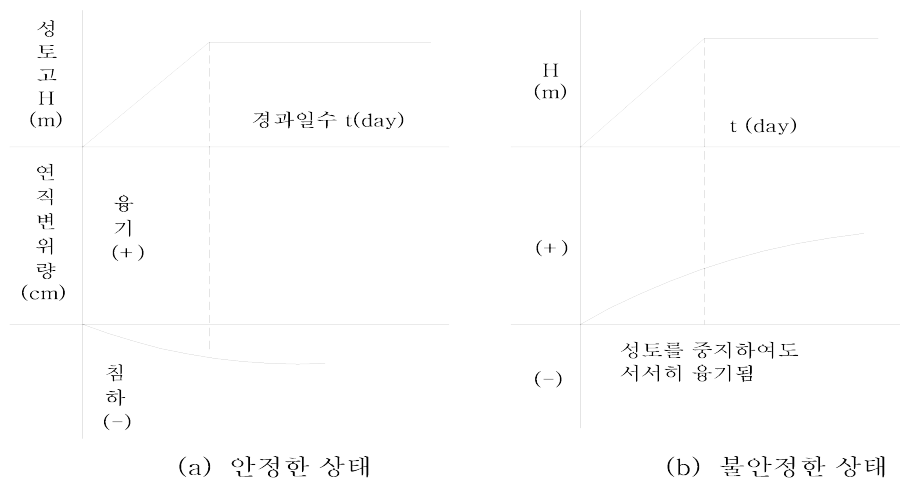


그림 7. 변위말뚝의 연직변위량 경시변화

(7) 정량적관리는 일반적으로 흙쌓기 중앙부의 침하량(S)과 흙쌓기 법면 끝부분의 수평 변위량(δ) 및 성토하중(q)을 이용하여 안정관리 하며, S는 연약층이 매우 두꺼운 경우는 안정에 관계되는 상층부의 침하량으로 하고 δ 는 최대 변위값을 사용한다.

① Matauo-Kawamura법

Matsuo는 많은 흙쌓기의 파괴사례를 조사하여 파괴시의 흙쌓기 중앙부의 침하량 S 와 흙쌓기 비탈면의 수평변위량 δ 를 이용하여 관계가 일정한 파괴 기준을 정립하였다. 본 방법 $S \sim \delta/S$ 의 관계 그래프를 그려보면 파괴는 일정한 곡선에 근접하거나 접했을 때 파괴가 일어난다는 이론이며, <그림 8>에서 보는 바와 같이 지반파괴에 도

달하는 성토하중을 Q_f , 성토시공 하중을 Q 라 하여 하중비로 나타내어 그 기준을 정한 것이다. Matsuo는 현장계측 결과를 이용한 회귀분석을 통하여 <식 (7)>을 제안하였다.

$$Q/Q_f = a \cdot \exp[b(\delta/S)^2 + c(\delta/S)] \quad (7)$$

여기서, a, b, c : 파괴기준에 따른 상수(<표 4> 참조)

표 4. 등치선의 종류에 따른 매개변수 값(Matsuo, 1978)

| Q/Q_f | a | b | c | δ/S 의 범위 | 관리기준 |
|---------|------|------|-------|----------------------|--------|
| 1.0 | 5.93 | 1.28 | -3.41 | $0 < \delta/S < 1.4$ | 지반파괴 |
| 0.9 | 2.80 | 0.40 | -2.49 | $0 < \delta/S < 1.2$ | 시공중단 |
| 0.8 | 2.94 | 4.52 | -6.37 | $0 < \delta/S < 0.8$ | 시공속도지연 |

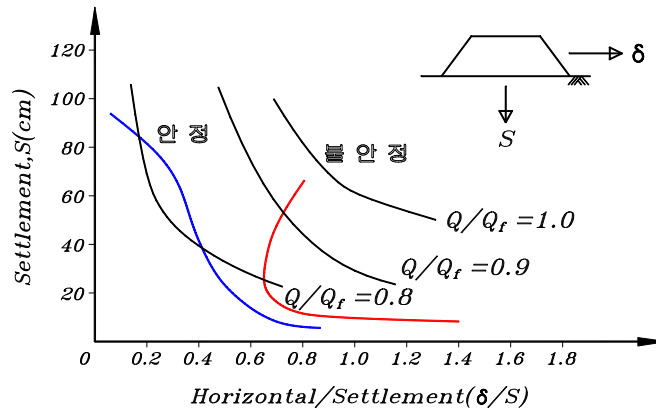


그림 8. Matsuo-Kawamura에 의한 안정관리도

② Tominaga - Hashimoto법

Matauo-Kawamura이론을 참고하여 S 와 δ 를 측정하여 도시해보면 기울기 a 를 갖는 직선 선상에 있게 된다. 성토고가 낮아 안정된 구간은 직선이지만 불안정하면 S 의 증가에 비해 δ 의 변화가 커진다. $\Delta\delta/\Delta S = a$ 라 할 때 a 값이 감소하면 안정된 상태로, 증가하면 불안정한 상태로 변할 때 변곡점이 생긴다. 이 변곡점 이전의 값 즉, 안정 상태의 a 를 a_1 , 변곡점 이후의 값 즉, 불안정한 상태의 a 값을 a_2 라 하고 a_2/a_1 과 a_1 의 관계를 그래프로 나타내면 안정영역과 불안정영역으로 구분되어지는데 다음 두 방법으로 불안정기준을 정의할 수 있다.(<그림 9> 참조)

가. 제1방법

$$a_1 \geq 0.7, a_2 \geq a_1 + 0.5 \text{ 이면 불안정}$$



나. 제2방법

원점으로부터 현재까지 측정결과의 1/3시점에서 S- δ 의 기울기 α 와 판단하고자 하는 시점의 기울기를 비교하여 1.25이상이면 불안정

S- δ 관리도의 장점은 압밀 변형과 전단 변형 여부를 용이하게 파악할 수 있고 파괴의 징후를 조기에 발견할 수 있다는 것이지만 절대적이지 않기 때문에 주의해서 사용할 필요가 있다.

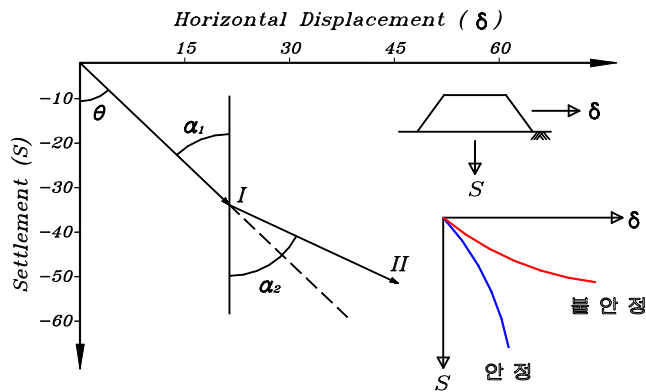


그림 9. Tominaga - Hashimoto에 의한 안정관리도

③ Kurihara법

흙쌓기 비탈면의 수평변위 속도에 착안하여 관리하는 방법으로 측정치에서 $\Delta\delta/\Delta t$ 와 t의 관계를 도시하여 $\Delta\delta/\Delta t$ 가 어느 한계치를 넘는 경우에 위험으로 판단한다.(<그림 10> 참조)

일반적으로 초기 관리값은 10~20(mm/day)로 하며, Kurihara는 불안정하게 되는 판단기준을 20~30(mm/day)으로 제안하였다. 그러나 표층이 매우 연약한 경우 성토 초기에 $\Delta\delta/\Delta t$ 의 최고치가 매우 크게 나타나는 경우가 있으며, 성토 시 국부파괴가 발생하기도 하나 안정성에는 관계가 없을 수도 있어 이 방법은 주로 후반단계 공사에 권장한다.

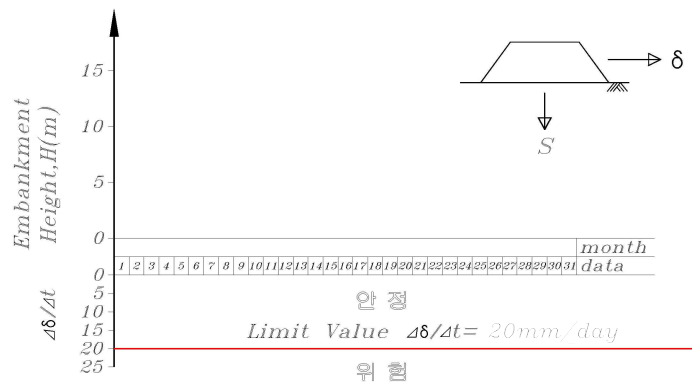


그림 10. Kurihara에 의한 안정관리도

해설 4. 흠막이구조물 계측관리

1. 계측의 목적 및 계획

1.1 계측목적

지반을 굴착할 때 발생하는 흠막이 구조물, 주변지반 및 인접구조물의 거동을 파악하여 설계, 시공 및 유지관리에 활용토록하며 흠막이 구조물의 안정성과 경제성을 확보하고, 주변지반 및 인접구조물의 안전을 기한다.

1.2 계측계획

- (1) 계측계획은 흠막이 구조물, 인접구조물, 지반, 시공 및 계측기기의 특성 등을 고려하여 계획한다.
- (2) 계측계획 시에는 발생 가능성이 있는 문제를 미리 예측하여 합리적인 지점을 선택, 계측기기를 배치한다.
- (3) 각종 계측기 센서의 작동방식을 가능한 한 같은 형식으로 선정하여 호환성이 양호한 시스템으로 구성한다.
- (4) 계측하고자 하는 현장의 규모, 계측기의 종류 및 수량, 실시간 모니터링의 필요성 등에 따라 수동, 자동 및 수동자동 혼합 시스템을 선택한다.

1.3 계측항목 선정

계측항목의 선정은 터파기 규모 혹은 지반조건 등에 따라서 달라지기 때문에 구체적인 계측결과의 활용목적, 평가수법을 명확하게 수립한 후 필요한 계측항목을 선정해야 한다. <표 5>는 지하터파기 공사시 필요한 주요 계측항목과 계측기를 나타낸다.



표 5. 지하터파기 공사시 주요 계측항목 및 계측기기

| 계측 대상 | 계 측 항 목 | | 계 측 기 기 | 육 안 관 찰 | 계 측 목 적 |
|----------|-----------------------------|------------|----------------------|---|---|
| 흙막이벽 | 측압 | 토압, 수압 | 토압계, 수압계 | <ul style="list-style-type: none"> · 벽체의 휨 · 연속성 확인 · 누수 · 주위지반의 균열 | <ul style="list-style-type: none"> · 실측치와 설계치와의 비교 검토 · 주변수위, 간극수압, 벽면수압의 관련성 파악 |
| | 변형 | 두부변위, 수평변위 | 측량, 경사계 | | <ul style="list-style-type: none"> · 실측치와 허용수치와의 비교 · 토압, 수압과 벽체변형과의 상관성 파악 |
| | 벽체내 응력 | | 변형계, 철근계 | | <ul style="list-style-type: none"> · 설계치와 실측치의 벽체내 응력 분포 비교 · 벽체의 안정성 파악 |
| 앵커 · 버팀보 | 축력, 변위량, 온도 | | 하중계, 신축계, 상대변위계, 온도계 | <ul style="list-style-type: none"> · 버팀보의 평판성 · 볼트가 죄어진 상태 | <ul style="list-style-type: none"> · 지보공의 토압분담을 파악 · 작용하중과 허용축력과의 비교에 의한 안전성 확인 |
| 터파기 지반 | 굴착지반내의 수직 및 수평변위, 간극수압 | | 간극수압계, 경사계 | <ul style="list-style-type: none"> · 지하터파기 바닥면의 과도한 융기 혹은 균열 · 내부지반의 용수 | <ul style="list-style-type: none"> · 응력경감에 의한 터파기지반의 변형이나 주변지반 거동파악 · 배면지반, 흙막이벽, 굴착바닥면의 상관성 파악 · 허용변위량과 실측변위량과의 비교에 의한 안정성 확인 |
| 주변지반 | 지표 및 지중 연직 변위, 간극수압, 지중수평변위 | | 경사계, 지중침하계, 간극수압계 | <ul style="list-style-type: none"> · 배면지반의 균열 · 도로의 연석, 보도블럭등의 벌어짐 | <ul style="list-style-type: none"> · 지하터파기 및 배수에 따른 주변지반의 침하량 및 침하범위 파악 |
| 근접구조물 | 연직변위, 경사량, 균열 | | 침하계, 경사계, 균열측정기 | <ul style="list-style-type: none"> · 구조물의 균열 및 기울어짐 | <ul style="list-style-type: none"> · 지하터파기 및 배수에 의한 가설구조물의 변형 파악 |

1.4 계측시스템의 선정

1.4.1 데이터 획득 시스템

방식과 수동측정방식과 정해진 시간에 자동으로 측정되어 입력되는 방식이 있다. 수동측정방식은 초기설치비가 저렴하나 측정에 소요되는 비용이 높다. 계측점수와 계측빈도가 적은 경우에는 수동계측이 유리하다. 자동측정방식은 계측점수가 많고 위치적으로 비교적 집중되거나 야간에도 감시가 필요한 경우에 유리하다. 측정점수가 많지는 않지만 도로, 철도와 같이 연장이 긴 노선형의 현장과 광역매립공사와 같이 측정위치가 분산되어 있거나 계측 빈도가 그다지 많지 않은 경우는 두 가지 방식을 병행한 반자동 방식이 편리하다.

1.4.2 네트워크 시스템 구성

다수의 건설현장을 관리해야 하는 대규모 건설프로젝트의 경우는 계측 네트워크를 이용하여 계측업무 시행체계의 통합, 일원화의 효과를 높일 필요가 있다. 계측 네트워크를 활용하면 계측데이터 해석을 위한 고급기술자와 장비를 효율적으로 운영할

수 있고 감독의 입장에서는 각 공사의 계측상태를 총괄 감독할 수 있는 장점이 있다.

1.4.3 의사결정 시스템

얻어진 계측데이터로부터 의사결정을 하는 방식으로 다음과 같은 3가지 방식이 있다. 발주자 결정방식은 일반적인 예로서 정보는 발주처의 집중 관리센터에 수집 정보화 되며, 공단의 방침결정에 이용되어 시공업자에게 시공방침에 대한 지시가 내려진다. 이 방식에서 의사결정은 발주자측에 있다.

공동 결정방식은 발주자, 시공자 및 감리자가 공동으로 참여하는 기술관리위원회를 구성하여 의사결정을 하는 방식이다.

시공자 결정방식은 시공자측에 일괄책임을 주어 의사결정을 하고 발주자에 대해서는 요구되는 품질과 공기내에 완성품을 제공하는 방식이다.

2. 계측의 위치선정 및 빈도

2.1 계측위치 선정

계측기를 설치할 위치는 경제성, 시공성을 고려하여 흠막이 구조물 및 배면지반의 거동을 대표할 수 있는 최소한의 위치를 선정하여 최대효과를 얻도록 해야 하며 다음과 같은 개소를 우선적으로 선정한다.

- (1) 원위치시험 등에 의해서 지반조건이 파악되어 있는 곳
(또는 비교적 단순하고 대표적인 지반상태를 갖는 지점)
- (2) 설계와 시공면에서 흠막이 구조물을 대표할 수 있는 장소
- (3) 중요 구조물이 인접한 곳
- (4) 우선적으로 굴착공사를 진행할 곳
- (5) 흠막이 구조물이나 지반에 특수한 조건이 있어 공사에 영향을 미칠 것으로 예상되는 장소(지반상태 및 재료가 변경되는 지점)
- (6) 교통량이 많은 장소
- (7) 하천주위 등 지하수의 분포가 다량이고 수위의 상승, 하강이 빈번한 곳
- (8) 가능한 한 계측기기의 훼손이 적은 곳(기기 설치와 측정이 용이한 지점)
- (9) 과도한 변위가 우려되는 지점
- (10) 현장작업에 용이한 곳에 설치해야 한다.
- (11) 각 계측항목별 측정결과는 상호 긴밀한 연관성을 갖기 때문에 계측위치를 선정할 후 가능한 한 계측기가 동일단면에 설치되도록 해야 한다.



2.2 계측빈도

계측빈도는 굴착의 진행상태와 계측치의 변화속도에 따라 결정하며, 읽음치 간에 급격한 변화가 없도록 빈도를 정해야 한다. 계측기 설치초기에는 계측치의 정상작동 여부와 초기치 설정을 위하여 빈도를 늘인다. 계측빈도는 <표 6>을 기준으로 한다.

표 6. 흙막이 계측빈도

| 계측항목 | 측정시기 | 측정빈도 | 비고 |
|-------------------|----------------------------|--|--|
| 지하 수위계 | 설치 즉시 공사진행 중 공사완료 후 | 1회/일 (1일간) 2회/주* (가) 1회/주*(1개월간) | 초기치 선정 우천 이후 3일간 연속측정 |
| 하중계 축력계 | 설치 즉시 공사진행 중 공사완료 후 | 3회/일 (3일간) 2회/주* 1회/주*(1개월간) | 초기치 선정 다음 단 설치시 추가 측정 다음 단 해체시 추가 측정 |
| 변위계 | 설치 즉시 공사진행 중 공사완료 후 | 3회/일 1회/일* 2회/주* | 초기치 선정 다음 단 설치시 추가 측정 다음 단 해체시 추가 측정 |
| 지중 경사계 | 설치 4일후 공사진행 중 공사완료 후 | 1회/일 (3일간) (나) 2회/주* 1회/주* | 초기치 선정 다음 단 설치시 추가 측정 다음 단 해체시 추가 측정 |
| 건물 경사계, 균열계 | 설치 즉시 공사진행 중 공사완료 후 | 1회/일 (3일간) 2회/주* 1회/주*(1개월간) | 초기치 선정 |
| 지표 침하계 | 설치 즉시 공사진행 중 공사완료 후 | 1회/일 (3일간) 2회/주* 1회/주* | 초기치 선정 |

- 주) 1. 공사 중은 굴착공사를 의미함.
 2. 상기 측정빈도는 경우에 따라 (계측분석반에 승인을 득한 후) 조정, 수행할 수 있음.
 3. (*) 표시된 빈도는 외부하중 및 지반거동 변화시 추가측정을 실시하며 공사중단 중인 경우 측정빈도를 재조정해야 함.
 4. 계측기(특히 센서)는 강제 설치 전에 부착해야 하고, 말뚝위치에 설치해야 함

3 계측의 결과 활용

- (1) 계측 결과치와 비교 대상이 되는 관리기준치로써 허용치를 사용하는 방법과 설계시의 추정치를 사용하는 방법이 있으며 계측 항목에 따라 합리적으로 택한다.

(2) 계측치와 관리기준치를 비교하여 정상, 주의 및 위험단계로 판정하며, 주의 및 위험 단계일 때는 필요한 대책을 수립한다. 관리기준치의 예는 <표 7>과 같다.

표 7. 흙막이공사의 계측관리 기준치(예)

| 측정항목 | 안전, 위험의 판정기준치 | 판정법 | | | |
|---------------------------|--------------------------------|---|---------------------------|-------------------------|---------------------|
| | | 지표 (관리기준) | 위험 | 주의 | 안전 |
| 측압 (토압, 수압) | 설계시에 이용한 토압분포(지표면에서 각단계 근입 깊이) | $F_1 = \frac{\text{설계시에 이용한 토압}}{\text{실측에 의한 측압(예측)}}$ | $F_1 < 0.8$ | $0.8 \leq F_1 \leq 1.2$ | $F_1 > 1.2$ |
| 벽체변형 | 설계시의 추정치 | $F_2 = \frac{\text{설계시의 추정치}}{\text{실측의 변형량(예측)}}$ | $F_2 < 0.8$ | $0.8 \leq F_2 \leq 1.2$ | $F_2 > 1.2$ |
| 흙막이벽 내응력 | 철근의 허용인장응력 | $F_3 = \frac{\text{철근의 허용 인장응력}}{\text{실측의 인장응력(예측)}}$ | $F_3 < 0.8$ | $0.8 \leq F_3 \leq 1.0$ | $F_3 > 1.0$ |
| | 흙막이벽의 허용 휨모멘트 | $F_4 = \frac{\text{허용 휨모멘트}}{\text{실측에 의한 휨모멘트(예측)}}$ | $F_4 < 0.8$ | $0.8 \leq F_4 \leq 1.0$ | $F_4 > 1.0$ |
| STRUT 축력 | 부재의 허용축력 | $F_5 = \frac{\text{부재의 허용축력}}{\text{실측의 축력(예측)}}$ | $F_5 < 0.7$ | $0.7 \leq F_5 \leq 1.2$ | $F_5 > 1.2$ |
| 굴착저면의 히빙 (Heaving)량 | TW Lambe에 의한 허용 히빙량 | | 실측결과가 위험영역에 저축(plot)되는 경우 | 실측결과가 위험영역에 저축되는 경우 | 실측결과가 위험영역에 저축되는 경우 |
| 침하량 | 각 현장마다 허용치를 결정 | 각 현장상황에 맞는 허용침하량을 지정하고, 그 허용침하량을 넘으면 위험 또는 주의 신호로 판단한다. | | | |
| 부등침하량 | 건물의 허용부등침하량 | 기둥간격에 대한 부등 침하량의 비 | 1/300 이상 | 1/300 ~ 1/500 | 1/500 이하 |

(3) 계측치는 관리기준치와 비교하여 안전하더라도 값의 변화속도가 클 때는 위험에 다다를 수 있으며 변화속도가 안전관리 기준이 될 때가 있다.

(4) 안전관리를 위한 계측관리기법으로는 절대치관리와 예측관리로 나눌 수 있다.

- ① 절대치관리란 시공 전에 미리 설정한 관리기준치와 실측치를 비교, 검토하여 그 시점에서 공사의 안전성을 평가하는 방법이다.
- ② 예측관리는 이전 단계의 실측치에 따라 예측된 잔여단계의 예측치와 관리기준치를 대비하여 안전성 여부를 판정하는 기법이다. 잔여단계의 예측치를 추정하는 방법에



는 역해석 기법을 사용할 수 있다. 어느 단계까지 굴착했을 때의 실제 측정된 변위와 버팀보 축력은 설계시의 값보다 더 크게 나오거나 더 작게 나올 수 있으며, 설계시 사용한 입력데이터, 즉 지반의 점착력이나 내부마찰각 등을 바꾸어 가면서 반복 계산하여 실제 계측된 결과와 같은 값이 얻어지도록 했을 때의 데이터가 현장상황과 일치되는 데이터라고 볼 수 있다. 이 데이터를 이용하여 잔여단계에 대한 해석을 하면 당초 설계시보다 더 신뢰성이 높은 결과를 얻을 수 있으며 잔여단계 시공시 안전하지 않으면 보강대책을 세우고 너무 안전하여 비경제적이라면 설계를 변경하여 공사비를 절감할 수 있는 도구로 사용한다.

해설 5. 전 생애주기 계측 계획

1. 계측기 선정

1.1 흡구조물

(1) 계측기의 선정 및 배치기준

표 8. 흡구조물 계측기 선정

| 구분 | 기본 계측기 | 선택 계측기 | 비고 |
|-----------------------------|-----------------|--------|--|
| 대상 흡구조물 중 원지반이 연약지반인 경우 | 원지반침하계 지표침하계 | 지하수위계 | 지반조건, 주변환경 등을 고려하여 설계자, 발주자, 운영기관에서 필요하다고 판단되는 계측 항목 추가 또는 생략 가능 |
| 대상 흡구조물 중 성토고가 10m를 초과하는 경우 | 지표침하계 | - | |
| 대상 흡구조물 중 교량 또는 터널 접속부 | 지표침하계 | 지하수위계 | |

표 9. 흡구조물 계측 목적에 따른 배치 기준

| 계측기명 | 계측 목적 | 배치 기준 | 비고 |
|--------|---------------------------------|---|-------------------------------------|
| 원지반침하계 | 원지반의 잔류침하량 확인을 목적 성토체 압축량 확인 | 허용 잔류침하량 초과가 예상되는 구간에 대하여 설치 자동화가 불가할 경우 수동 계측 가능 | 지반조건, 주변환경 등을 고려하여 위치 조정 및 추가 배치 가능 |
| 지표침하계 | 지표 상단의 잔류침하량 확인을 목적 | 허용 잔류침하량 초과가 예상되는 구간에 설치 원지반침하계의 상부 지표에 설치 자동화가 불가할 경우 수동 계측 가능 | |
| 지하수위계 | 지하수위의 변화에 대한 검토 | 지하수위의 변화에 대한 검토가 필요한 지점에 설치 | |

(2) 계측기 사양

표 10. 흡구조물 계측 항목에 따른 사양 및 측정 빈도

| 구분 | 계측기 | 환경조건 | 최소사양 | 측정빈도 (측정방식) | 비고 |
|------|--------|---|--|----------------------------------|-------------------------------------|
| 흡구조물 | 원지반침하계 | 내구성: (매설형) IP68 (그 외 환경) | 측정범위 : 2,000 mm 이내로 예상 침하 범위에 따라 결정 분해능: 0.05% FS 이하 정확도 : 0.5% FS 이하 정밀도 : 1 mm 이하 | 10분 (자동계측) 1회/월 (인력 측정) | 급경사지 계측기기 성능검사 기준에 관한 규정 준용 (행정안전부) |
| | 지표침하계 | 작동온도: (태양광 노출형) -40 ~ 80℃ (그 외 환경) | 측정범위 : 250 mm 이내로 예상 침하 범위에 따라 결정 분해능: 0.05% FS 이하 정확도 : 0.5% FS 이하 정밀도 : 1 mm 이하 | 10분 (자동계측) 1회/월 (인력 측정) | |
| | 지하수위계 | -30 ~ 70℃ (그 외 환경) | 측정범위 : 150m 이내로 예상 수위 범위에 따라 결정 분해능 : 0.1% FS 이하 정확도 : 0.5% FS 이하 | 10분 (자동계측) | |

※ 측정 빈도는 운영 과정에서 현장 여건 및 운영 조건을 고려하여 조정할 수 있다.



1.2. 비탈면 및 옹벽

(1) 계측기의 선정 및 배치기준

표 11. 비탈면 및 옹벽 계측기 선정

| 구분 | 기본 계측기 | 선택 계측기 | 비고 |
|------------------------|----------------|-------------------------|---|
| 대상 비탈면 | 지표변위계 지표경사계 | 지하수위계 지중경사계 지표침하계 | 지반조건, 주변환경 등을 고려하여 설계자, 발주자, 운영기관에서 필요하다고 판단되는 계측 항목 추가 또는 생략 가능 |
| 대상 옹벽 중 보강토, 블록형식 외 | 구조물 경사계 | EL빔 | |
| 대상 옹벽 중 보강토, 블록형식 | EL빔 | 구조물 경사계 | |

표 12. 비탈면 및 옹벽 계측 목적에 따른 계측기 배치 기준

| 계측기명 | 계측 목적 | 배치 기준 | 비고 |
|--------------------|---|--|---|
| 지표변위계 | 붕괴 지점을 예측하고 변위 깊이 추정을 목적으로 인장균열, 단차의 변위를 측정 | 암반 비탈면에서 예측되는 붕괴 형태에 따라 계측에 적합한 위치에 설치 인장균열, 단차의 변위가 예상되는 단면 | 지반조건, 주변 환경 등을 고려 하여 위치 조정 및 추가 배치 가능 |
| 지하수위계 | 지하수위의 변화에 대한 검토 | 지하수위의 변화에 대한 검토가 필요한 지점에 설치 | |
| 지중경사계 | 지중 활동 및 전도 등의 변화를 감지 | 측방변위 발생이 예상되는 지점 비탈면 전체를 대표할 수 있는 곳 | |
| 지표경사계 | 지표면 활동 및 전도 등의 변화를 감지 | 수평변위가 중요한 흩쌓기 선단부 또는 수평 변위가 클 것으로 예상되는 가장자리에 설치 활동이 가장 클 것으로 예상되는 부위에 설치 | |
| 지표침하계 | 잔류 침하 초과 예상 구간 감시 | 허용잔류침하량을 초과가 예상되는 구간의 최대 침하량 발생구간, 연약지반 흩쌓기 시 흩쌓기 단면의 각 소단에 설치 | |
| 구조물 경사계, EL빔 | 대책공이나 구조물 활동 감시 | 대책공이나 구조물 표면의 필요 장소에 다수 설치 활동 등 변위 발생이 예상되는 단면 기준으로 2개 이상 설치 | |

(2) 계측기 사양

표 13. 비탈면 및 옹벽 계측 항목에 따른 사양 및 측정 빈도

| 구분 | 계측기 | 공통사양 | 최소사양 | 측정빈도 (측정방식) | 비고 |
|-----|---------|---|--|----------------|--|
| 비탈면 | 지표변위계 | 내구성: (매설형) IP68 (그 외 환경) IP67 작동온도: (태양광 노출형) -40 ~ 80℃ (그 외 환경) -30 ~ 70℃ | 측정범위 : 2,000mm 이내 분해능 : 0.05% FS 이하 정확도 : 0.5 % FS 이하 | 10분 (자동계측) | 급경사지 계측기기 성능검사 기준에 관한 규정 (행정안전부) |
| | 지중경사계 | | 측정범위 : ±30 deg 이내 분해능 : 0.5% FS 이하 정확도 : 3.0% FS 이하 | 10분 (자동계측) | |
| | 지하수위계 | | 측정범위 : 150m 이내로 예상 수위 범위에 따라 결정 분해능 : 0.1 % FS 이하 정확도 : 0.5 % FS 이하 | 10분 (자동계측) | |
| | 지표경사계 | | 측정범위 : ±10 deg 이내 분해능 : 0.1% FS 이하 정확도 : 1.0% FS 이하 | 10분 (자동계측) | |
| | 지표침하계 | | 측정범위 : 250 mm 이내로 예상 침하 범위에 따라 결정 분해능 : 0.05% FS 이하 정확도 : 0.5% FS 이하 정밀도 : 1 mm 이하 | 10분 (자동계측) | |
| 옹벽 | 구조물 경사계 | | 측정범위 : ±10 deg 이내 분해능 : 0.1% FS 이내 정확도 : 1.0% FS 이내 | 10분 (자동계측) | |

※ 측정 빈도는 운영 과정에서 현장 여건 및 운영 조건을 고려하여 조정할 수 있다.

1.3 교량

(1) 계측기의 선정 및 배치기준

표 14. 교량 계측기 선정

| 구분 | 기본 계측기 | 선택 계측기 | 비고 |
|----------------------|----------------|--|--|
| 대상 교량 중 케이블 지지 교량 | 가속도계, 장력계, 처짐계 | 구조물경사계, 변형률계, 신축이음계, 온도계, 풍향풍속계 등 | 지반조건, 주변환경, 신규공법, 부등침하 등을 고려하여 설계자, 발주자, 운영기관에서 필요하다고 판단되는 계측 항목 추가 또는 생략 가능 |
| 대상 교량 중 1·2중 교량 | 가속도계, 처짐계 | 구조물 경사계, 변형률계, 신축이음계, 온도계 등 | |

※ 기상감지장치가 인근에 있는 경우 풍향풍속계를 대체하여 활용할 수 있다.

※ 처짐계 및 구조물경사계는 해당 계측 목적과 사양을 만족하는 경우 GNSS(Global Navigation Satellite System) 방식으로 대체할 수 있다.



표 15. 교량 계측 목적에 따른 계측기 배치 기준

| 계측기명 | 계측 목적 | 배치 기준 | 비고 |
|---------|---|--|-------------------------------------|
| 가속도계 | 동적변위, 가속도 등 동적응답과 고유진동수 측정 | 경간의 중앙 또는 양측, 주탑 상부 등 진동 특성을 측정할 수 있는 위치 | 지반조건, 주변환경 등을 고려하여 위치 조정 및 추가 배치 가능 |
| 구조물 경사계 | 단부회전, 기울기 등 측정 | 교각, 교대, 주탑, 상부구조 중 기초세굴, 부등침하 등으로 중대한 결함 발생이 우려되는 개소 | |
| 변형률계 | 구조물 응력 평가, 균열 발생 감시, 장애 거더 및 연결판의 균열 및 과도한 변형을 측정 | 주요부재 중 최대 응력이 발생하는 지점 과다 변형에 따른 균열 발생 우려 개소 | |
| 신축 이음계 | 상부구조 연단부에서의 교축방향 변위/회전 | 교대 전단부, 중간 교각부, 분절부 등에 설치 거더의 교축방향 신축량 측정이 필요한 개소 | |
| 장력계 | 케이블 교량의 구조계 변화 및 건진도 파악 | 교량의 좌·우측 최장 케이블 등 허용장력 대비 최대 발생장력의 비가 큰 케이블 또는 진동 발생 우려가 큰 케이블 | |
| 처짐계 | 교량 건전성, 열차 주행안전성, 승차감 또는 동적안전성 등 판단 | 형식 및 규모, 구조해석 결과 등을 고려하여 최대 처짐이 발생할 것으로 예상되는 위치 | |
| 풍향풍속계 | 구조물 시공 영향 검토 및 철도 운행 통제 | 주탑 상부 또는 상부구조의 바람 노출이 양호한 위치에 설치 | |
| 온도계 | 교량 장기 운영환경 및 외부환경 영향 파악 | 온도경사에 의한 응력이 크게 발생하는 박스형식의 거더 내부 등의 상하부 플랜지 및 외부 온도 측정이 용이한 위치 | |

(2) 계측기 사양

표 16. 교량 계측 항목에 따른 사양 및 측정 빈도

| 구분 | 계측기 | 공통사양 | 최소사양 | 측정빈도 (측정방식) | 비고 |
|----|---------|--|---|-----------------|----------------------------------|
| 교량 | 가속도계 | 내구성: (매설형) IP68 (그 외 환경) IP67 작동온도: (태양광 노출형) -40 ~ 80℃ (그 외 환경) -30 ~ 70℃ | 측정범위 : ±2 g 이내 정밀도 : 0.002 g 이하 | 100Hz 이상 (자동계측) | 최대연직가속도 (KDS 24 10 10) |
| | 구조물 경사계 | | 측정범위 : ±10 deg 이내 정밀도 : 0.001 deg 이하 | 10분 (자동계측) | 정밀도는 관리기준의 1/100 이내 |
| | 변형률계 | | 측정범위 : ±5,000 µε이내 정밀도 : 1µε이하 | 10분 (자동계측) | 허용응력 (설계 계산서, KDS 24 10 10) |
| | 신축이음계 | | 측정범위 : ±750mm 이상(교량에 따라 범위 결정) 정밀도 : 0.1 mm 이하 | 10분 (자동계측) | 신축이음량 (설계 계산서 KDS 24 10 10) |
| | 장력계 | | 측정범위 : ±4g 이내 정밀도 : 0.002g 이하 주파수 : 0~300Hz (저주파용) | 100Hz 이상 (자동계측) | 허용장력 (설계 계산서, KDS 24 14 42) |
| | 처짐계 | | 측정범위 : ±100mm 이상 (경간 길이에 따름) 분해능: ±0.15% FS 이하 정밀도 : 0.1mm 이하 | 100Hz 이상 (자동계측) | 최대연직처짐 (KDS 24 10 10) |
| | 풍향풍속계 | | 측정범위 : 75m/s이내(풍속) 0~360°(풍향) 정확도 : ±0.5% 이하(풍속) ±2°이내(풍향) | 10분 (자동계측) | 고속철도 기상검지장치, KRSA-T-2023-4016-R0 |
| | 온도계 | | 측정범위 : -80~60℃ 정확도 : 20℃ 기준 ±0.2℃ 이하 | 10분 (자동계측) | 고속철도 기상검지장치, KRSA-T-2023-4016-R0 |

※ 측정 빈도는 운영 과정에서 현장 여건 및 운영 조건을 고려하여 조정할 수 있다.

2. 계측기 통신 및 데이터 표준화

- (1) 계측기 유·무선 통신 및 데이터의 표준(각종 데이터 및 시스템 구조, 테이블 설계, 인터페이스 규격 등)은 전 생애주기 계측에 적합하도록 통신 및 자료구조의 호환성을 확보하고, 장기 계측자료의 연속적 저장 및 관리가 가능하도록 하여야 한다.
- (2) 계측 통신방식은 유선 및 무선을 병행하여 적용할 수 있으며, 통신 보안 및 안정성, 유지 관리 효율성 및 경제성을 종합적으로 고려하여 적절한 통신 방식을 선정한다. 단, 무선 계측기 적용 시 통신 장애를 대비하여 일정 시간 동안 로컬 저장 기능을 갖추도록 한다.
- (3) 계측기 데이터는 표준 프로토콜을 사용하여 중앙서버에 제공하도록 하며, 데이터 유실 방지, 위변조 방지, 암호화, 재전송, 시간동기화 등의 요건을 만족하여야 한다.
- (4) 데이터로거의 사양은 계측기 수량, 측정 빈도, 정밀도, 데이터 표준화 및 통신방식 등을 고려하여 결정한다.



RECORD HISTORY

- Rev.0('12.12.5) 철도설계기준 철도설계지침, 철도설계편람으로 나누어져 있는 기준 체계를 국제적인 방법인 항목별(코드별)체계로 개정하여 사용자가 손쉽게 이용하는데 목적을 둬.
- Rev.1('13.6.19) 감사원 “세출예산 구조조정 실태 감사” 과정에서 지적된 “계측기 설치개소”를 현장여건 및 연약지반상태를 고려하여 조정토록 문구를 삽입하고 “지표 침하관 등” 계측기 배치도 수정
- Rev.2('14.1.10) 철도설계기준(국토교통부고시제2013-757호, '13.12.5)이 개정 고시됨에 따라 개정내용을 반영
- Rev.3('17.3.20) 철도설계기준(국토교통부고시제2015-1014호, '15.12.29)이 개정 고시됨에 따라 개정내용(공동 또는 싱크홀 예방)을 반영
- Rev.4('24.06.04) 상위기준(KDS 등)과 체계일치, 현행화 등 시행을 위한 건설기준 고도화 용역 검토사항 등을 반영한 KR CODE 체계 개편 및 개정(심사기준처-715호, '24.06.04)
- Rev.5('25.02.11) 직전 개정 시 단순누락·오류 사항 정정(심사기준처-137, '25.01.13, 심사기준처-510, '25.02.11)
- Rev.6('26.03.09) 「철도구조물 유지관리를 위한 공사중 계측기 설치 및 관리기준 수립 연구 용역」 결과 반영(심사기준처-680, '26.03.03)