

굴착공사 계측관리 기술지침

1. 목 적

이 지침은 산업안전보건기준에 관한 규칙(이하 “안전보건규칙”이라 한다) 제38조(사전조사 및 작업계획서의 작성 등) 및 제347조(붕괴 등의 위험방지)에 따라 굴착공사를 실시하는 경우 지반, 가설 구조물 및 인접 구조물의 안전성을 확인하여 무너짐 사고 등의 재해를 예방하기 위하여 계측관리에 관한 기술적 사항을 정함을 목적으로 한다.

2. 적용범위

이 지침은 굴착공사 시 흙막이 벽체의 변위, 토압 및 수압의 변화, 지하수위의 변화, 버팀대 및 어스앵커의 축력, 인접 지반의 침하 등의 계측관리 시에 적용한다. 단, 터널 굴착공사에는 적용하지 아니한다.

3. 용어의 정의

(1) 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.

(가) “계측(Measurement)”이라 함은 조사, 설계 및 시공 시에 발생하는 오차나 설계, 시공의 오류를 보완하기 위하여 기구를 활용하여 구조물과 지반 등의 거동을 측정하는 행위를 말한다.

(나) “지중경사계(Inclinometer)”라 함은 지반 변위의 위치, 방향, 크기 및 속도를 계측하여 지반의 이완 영역 및 흙막이 구조물의 안전성을 계측하는 기구를 말한다.

(다) “지하수위계(Water level meter)”라 함은 지하수위 변화를 계측하는 기구를 말한다.

- (라) “간극수압계(Piezometer)”라 함은 굴착공사에 따른 간극수압의 변화를 측정하는 기구를 말한다.
- (마) “토압계(Soil pressure meter)”라 함은 주변지반의 하중으로 인한 토압 변화를 측정하는 기구를 말한다.
- (바) “하중계(Load cell)”라 함은 스트럿(Strut) 또는 어스앵커(Earth anchor) 등의 축 하중 변화를 측정하는 기구를 말한다.
- (사) “변형률계(Strain gauge)”라 함은 흙막이 구조물 각 부재와 인접 구조물의 변형률을 측정하는 기구를 말한다.
- (아) “건물경사계(Tiltmeter)”라 함은 인접한 구조물에 설치하여 구조물의 경사 및 변형상태를 측정하는 기구를 말한다.
- (자) “지표침하계(Surface settlement system)”라 함은 지표면의 침하량을 측정하는 기구를 말한다.
- (차) “층별침하계(Differential settlement system)”라 함은 지반의 각 지층별 침하량을 측정하는 기구를 말한다.
- (카) “균열계(Crack gauge)”라 함은 주변구조물 및 지반 등의 균열 발생 시에 균열의 크기와 변화 상태를 정밀 측정하여 균열속도 등을 파악하는 기구를 말한다.
- (타) “절대치 관리(Absolute value management) 기법”이라 함은 시공 전에 미리 설정한 관리기준치와 계측값을 비교·검토하여 그 시점에서 공사의 안전성을 평가하는 방법을 말한다.
- (파) “예측관리(Predictive management) 기법”이라 함은 이전 단계의 계측값에 의하여 예측된 다음 단계의 예측값과 관리기준치를 대비하여 안전성 여부를 판정하는 기법을 말한다.

- (2) 그 밖에 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 이 지침에 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 산업안전보건법, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙 및 산업안전보건기준에 관한 규칙에서 정하는 바에 의한다.

4. 계측관리 필요성 및 목적

4.1 계측관리 필요성

- (1) 설계 시 가정한 지반조건과 토질정수가 실제 현장 조건과 정확히 일치하기는 어려우며, 설계 단계에서 상세한 시공과정을 모두 고려할 수 없으므로 주위 지반 및 기존 구조물의 정확한 거동을 예측하는 것은 불가능하다.
- (2) 공사 중 사고를 방지하기 위해서는 설계 및 시공방법 등의 수정과 보완이 필요하며, 주요 근거자료는 계측값이다. 즉, 계측 자료를 통해 시공 중 굴착공사의 안전성을 지속적으로 확인할 수 있으며, 관리기준치나 계측값을 활용하여 굴착공사 현장의 지반상태 등의 변화에 대하여 사전대책을 수립하여 안전성을 확보할 수 있다.

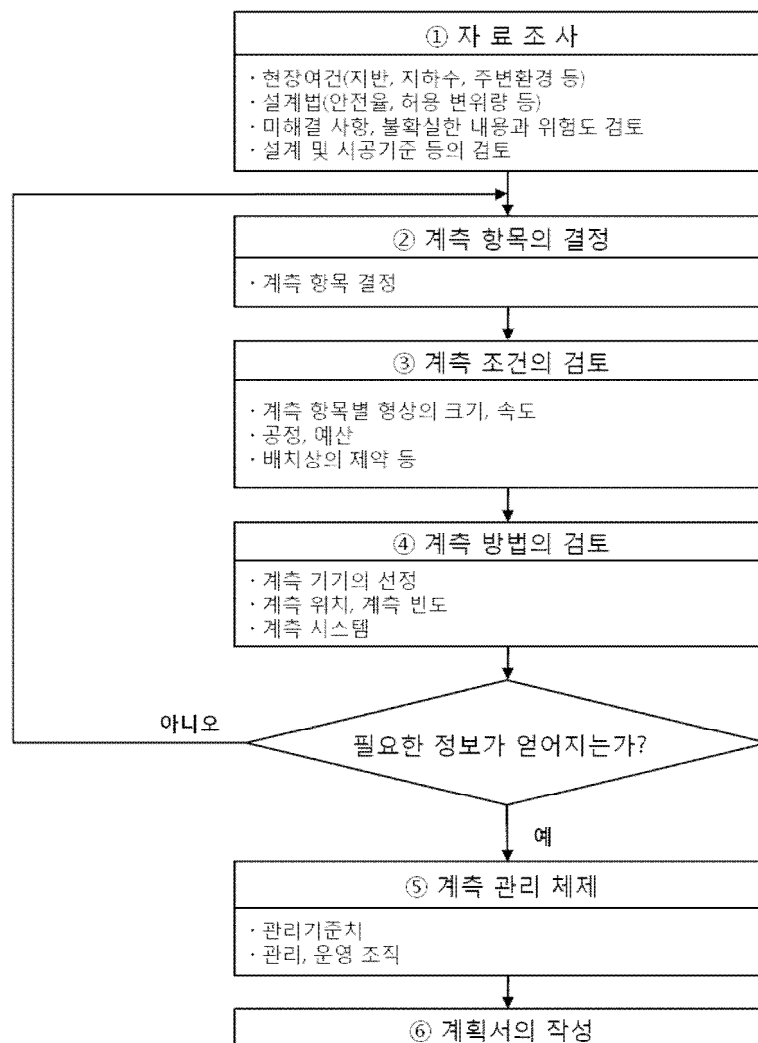
4.2 계측관리 목적

- (1) 지반에 대한 제한된 정보에 근거한 설계 시 제시된 가정조건을 보완하여 굴착공사가 지반에 미치는 영향과 지반의 변화가 가설 구조물에 미치는 영향을 예측하여 시공 안전성을 확보하기 위해 계측관리를 수행한다.
- (2) 굴착공사에 설치된 계측자료의 경향을 파악하여 사전에 위험요소를 찾아내기 위해 계측관리를 수행한다.
- (3) 굴착공사로 인한 인접 건물 및 구조물에 변화를 계측하고 계측된 자료를 수집, 정리 및 분석하고 자료를 축적하여 시공 중과 시공 후에 안전성을 도모하기 위해 계측관리를 수행한다.

5. 계측관리 계획 절차 및 계측기 종류

5.1 계측관리 계획 절차

- (1) 계측관리는 공사 중 발생될 수 있는 문제에 포함된 모든 값이 정확하게 측정될 수 있도록 이해하기 쉽고 신중하게 계획되어야 한다.
- (2) 현장 여건 등의 자료조사를 기반으로 계측 항목을 결정하고, 계측 기기의 선정, 계측 위치 및 계측 빈도, 관리기준 등을 사전에 계획하여야 한다. 일반적인 계측 계획의 수립 절차는 <그림 1>과 같다. 계측관리 담당자는 계측기 설치 전 사전교육 및 설치 후에도 수시로 전문가로부터 보수교육을 통하여 측정, 분석, 평가에 차질이 없도록 하여야 한다.



<그림 1> 계측관리 계획 수립 절차

5.2 계측기 종류

(1) 굴착공사에 따른 측정 위치별 계측기 종류와 측정 목적은 <표 1>에 따른다.

<표 1> 측정 위치별 사용 계측기

측정위치	측정항목		사용 계측기	육안관찰	측정목적
흙막이 벽체	측압	· 토압 · 수압	· 토압계 · 수압계	· 벽체의 휨 및 균열	· 측압의 설계값/계측값 비교 · 주변수위, 간극수압 및 벽면수압의 관련성 파악
	변형	· 두부변위 · 수평변위	· 트랜시, 추 · 경사계	· 흙막이 벽체의 연결부 연속성 확인	· 변형의 허용치 이내여부 파악 · 토압, 수압 및 벽체변형 관계 파악
		· 벽체의 응력	· 변형률계	· 주변지반의 균열 및 침하 · 누수	· 응력분포를 계산해 설계 시 계산된 응력과 비교 · 허용응력/계측값의 비교로 벽체 안전성 확인
버팀대, 어스앵커	· 축력, 변형률, 온도		· 하중계 · 변형률계 · 변위계 · 온도계	· 버팀대 평탄성 · 볼트의 조임 상태	· 버팀대와 어스앵커에 작용하는 하중 파악 · 설계 허용축력과 비교
굴착지반	· 굴착면 변위 · 임의적 변위 · 간극수압 · 지중 수평변위		· 지중경사계 · 층별침하계 · 간극수압계 · 지하수위계	· 내부지반 용수 · 보일링, 히빙	· 응력해방에 의한 굴착측 변형과 주변지반 거동 파악 · 배면, 흙막이 벽체 및 굴착저면의 변위 관계 파악 · 허용변위량/계측값 비교 · 굴착/배수에 따른 침하량 및 침하 범위 파악
주변지반	· 지표/지중 수직 및 수평 변위 · 간극수압		· 지중경사계 · 층별침하계 · 지표침하계 · 지하수위계	· 배면지역의 균열 및 침하 · 도로연석, 블록 등의 벌어짐	
인접건물	· 수직변위, 경사		· 지표침하계 · 건물경사계 · 균열계	· 구조물의 균열 · 구조물의 기울어짐	· 굴착 및 지하수위 저하에 의해 발생하는 기존 구조물의 균열 및 변위 파악
유독가스 수질오염	· 탄산/메탄가스 · 수질오염		· 가스탐지기 · 수질시험		· 굴착 구간 가스 발생 확인 · 지반개량 등에 의한 주변지역의 수질오염 확인

6. 계측기 선정 및 설치

6.1 계측기 선정

(1) 계측 목적에 적합한 계측기를 선정하여야 하며, 일반적인 계측기 선정 원리는 다음 항목과 같다.

- (가) 계측기의 정밀도, 계측 범위 및 신뢰도가 계측 목적에 적합할 것
- (나) 구조가 간단하고 설치가 용이할 것
- (다) 온도와 습도의 영향을 적게 받거나 보정이 간단할 것
- (라) 예상 변위나 응력의 크기보다 계측기의 측정 범위가 넓을 것
- (마) 계기의 오차가 적고 이상 유무의 발견이 쉬울 것

(2) 굴착 공법에 적합한 계측 항목과 계측기를 선정하여야 하며, 일반적으로 널리 적용되는 계측항목과 계측기의 예는 <표 2>와 같다.

<표 2> 계측항목별 계측기의 선정

계 측 항 목	계 측 기
<ul style="list-style-type: none"> · 배면지반의 거동 및 지중수평변위 · 엄지말뚝, 벽체 및 띠장 응력 · 벽체에 작용하는 토압 · 지하수위 및 간극수압 · 버팀대 또는 어스앵커의 거동 · 인접구조물의 피해상황 · 진동 및 소음 · 지반 내 수직변위 	<ul style="list-style-type: none"> · 지중경사계 · 변형률계 · 토압계 · 지하수위계, 간극수압계 · 하중계, 변형률계 · 건물경사계, 균열계 · 진동 및 소음측정기 · 층별 침하계

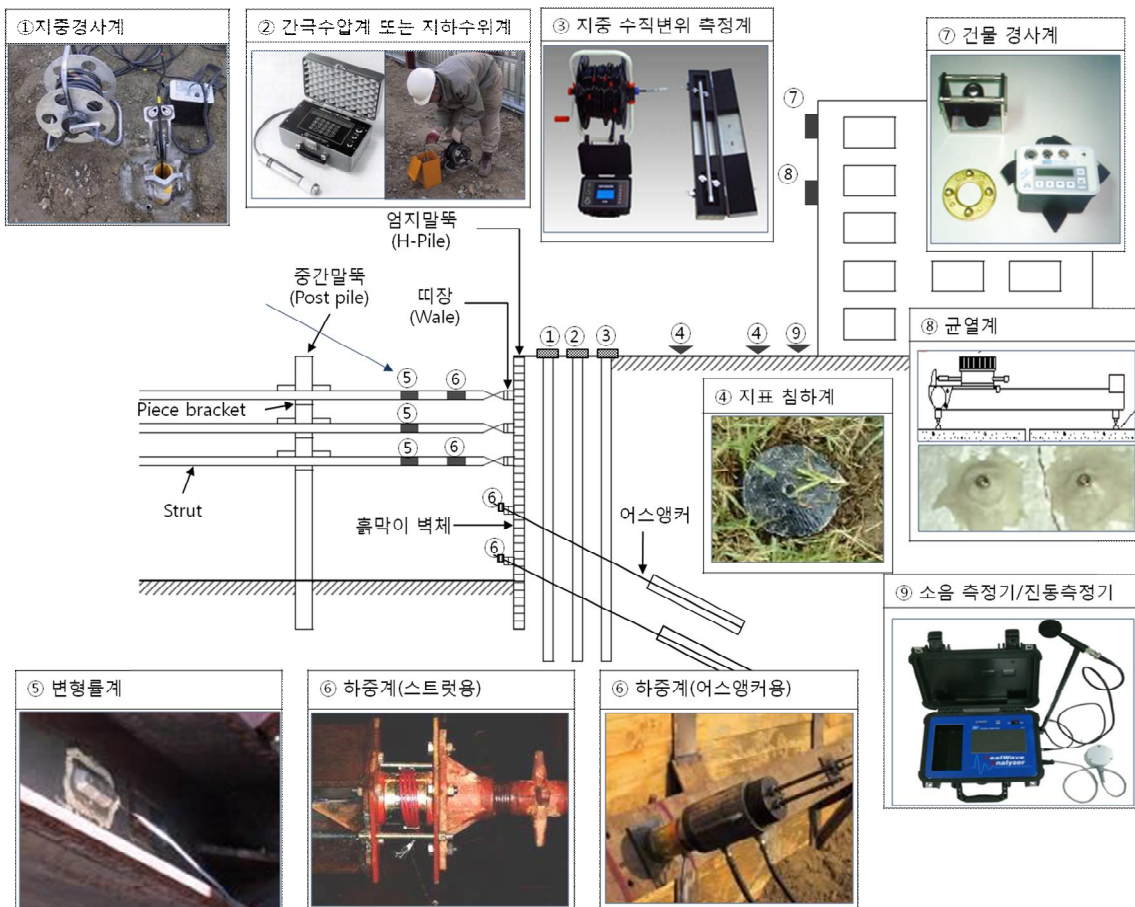
6.2 계측 위치

(1) 시공 중 안전성을 담보할 수 있도록 가능한 많은 위치를 선정하는 것이 바람직하나, 합리적이고 경제적인 측면에서 흙막이 벽체와 배면지반의 거동을 대표할 수 있는 최소한의 측점이 포함되도록 다음 항목과 같은 원칙으로 계측 위치를 선정하여야 한다.

- (가) 원위치 시험 등에 의해서 지반조건이 충분히 파악되어 있는 곳에 배치
- (나) 흙막이구조물의 전체를 대표할 수 있는 곳에 배치

- (다) 중요 구조물이 인접한 곳에 배치
- (라) 주변구조물에 따라 선정된 계측항목에 대해서는 그 구조물의 위치를 중심으로 계기를 배치
- (마) 공사가 선행하는 위치에 배치
- (바) 흙막이 구조물이나 지반에 특수한 조건이 있어서 공사에 영향을 미칠 것으로 예상되는 곳에 배치
- (사) 교통량이 많은 곳(단, 교통 흐름의 장애가 되지 않으며, 계측기 보호가 가능한 곳)에 배치
- (아) 하천 주변 등 지하수가 많고, 수위의 변화가 심한 곳에 배치
- (자) 가능한 한 시공에 따른 계측기의 훼손이 적은 곳에 배치
- (차) 예측관리를 하는 경우, 필요한 항목의 계측치가 연속해서 얻어지도록 배치
- (카) 연관된 계측항목에 따른 계기는 집중 배치
- (타) 계기의 설치 및 배선을 확실히 할 수 있는 곳에 배치

(2) 각종 계측기의 설치위치 예는 <그림 2>와 같다.



<그림 2> 각종 계측기 설치 위치(예)

- (3) 공사 전에 계측기 설치자는 현장 계측기 설치 위치에 대해 공사 감독자, 감리자, 시공자, 안전관리자 및 계측관리 담당자와 사전 검토를 실시하여야 한다.

6.3 계측기 설치 및 측정 방법

- (1) 계측기 설치 및 측정 방법, 측정 시 유의사항은 계측기 제품에 따라 다를 수 있으므로 계측기 설치 회사로부터 관련 내용을 사전에 제공받아야 한다.
- (2) 지중경사계, 지하수위계, 변형률계, 하중계 및 건물경사계의 일반적인 설치 및 측정 방법, 측정 시 유의사항은 <부록 1> ~ <부록 5>와 같다.
- (3) 계측기는 계측기 설치 이전에 반드시 계기 검정을 받아야 하며, 측정 중에도 계측관리 담당자가 필요하다면 추가 검정을 받아야 한다.

7. 계측 자료의 수집, 측정 빈도 및 분석

7.1 계측자료의 수집 및 측정 빈도

- (1) 계측기의 초기치 값은 기초 자료로 활용될 수 있도록 반드시 시공 초기에 미리 얻어져야 한다.
- (2) 굴착에 따른 흙막이 벽체 또는 각종 지지 구조의 변형을 정량화하기 위해서는 계측기의 설치작업을 굴착공사 전이나 부재의 변형이 발생되기 전에 완료하여야 한다. 특히, 경사계의 경우에는 흙막이 벽체의 변형을 측정하는 가장 중요한 자료이므로 반드시 굴착 전에 초기화 작업이 이루어져야 하며 설치시기가 늦어 굴착 진행 후 초기치를 설정하지 않도록 하여야 한다.
- (3) 굴착지반의 거동은 일일 굴착량과 작업기계 및 기상(우천) 등에 영향을 받으므로 데이터의 변화속도와 안정성 여부의 관련성을 충분히 고려하여 적정한 측정 빈도를 설정해야 한다. 데이터의 변화속도가 빠를수록 측정 빈도를 높여야 하며, 안전과 관련된 직접적인 계측항목은 간접적인 계측항목보다 계측 빈도를 높여야 한다.

- (4) 계측 빈도는 공사 진행 정도에 따라 적합하게 결정되어야 하며 구조물의 갑작스러운 응력 변화나 주변 구조물에 공사로 인한 문제점이 발견되면 계측 빈도를 증가시켜야 한다. 일반적인 계측기별 측정 빈도는 <표 3>을 따른다.
- (5) 계측값의 변화가 없다고 임의로 계측을 중단하여서는 안 되고, 굴착공사 중에 지속적으로 계측을 실시하여야 한다. 흙막이 가시설의 해체시에도 지반의 변위는 지속적으로 발생되므로 흙막이 가시설 해체 후 계측값이 안정화 될 때까지 지반의 변위에 대한 계측이 실시되어야 한다.
- (6) 기 측정일과 다음 측정일 사이의 기간에도 굴착 중 발생하는 대상 구조물의 변화를 주의 깊게 관찰해야 한다.

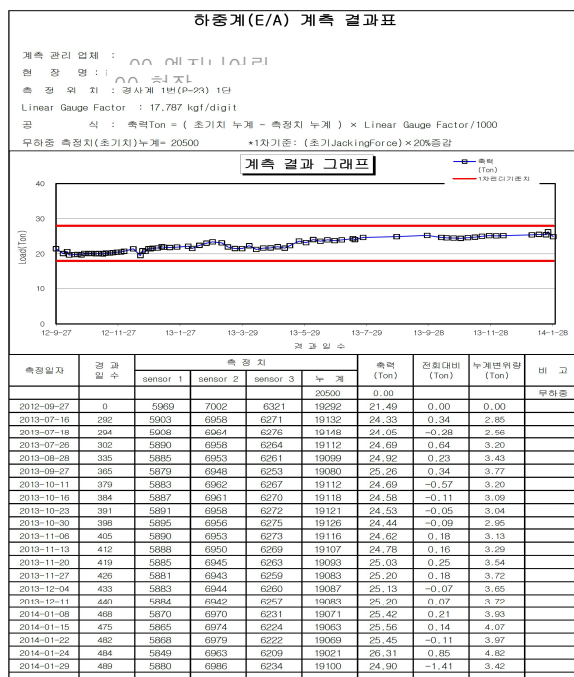
<표 3> 계측기별 측정 빈도 예(한국지반공학회(2002), 굴착 및 흙막이 공법)

계측항목	설치시기	측정시기	측정 빈도	비고
지하수위계	굴착 전	계측기 설치 후	1회/일 (1일간)	초기치 설정
		굴착 진행 중	2회/주	우천 1일후 3일간 연속 측정
		굴착 완료 후	2회/주	
하중계	스트럿과 어스앵커 설치 후	계측기 설치 후	3회/일 (2일간)	초기치 설정
		굴착 진행 중	2회/주	다음단 설치시 추가측정
		굴착 완료 후	2회/주	다음단 해체시 추가측정
변형률계	스트럿 설치 후	계측기 설치 후	3회/일	초기치 설정
		굴착 진행 중	3회/주	다음단 설치시 추가측정
		굴착 완료 후	2회/주	다음단 해체시 추가측정
지중경사계	굴착 전	그라우팅 완료 후 4일	1회/일 (3일간)	초기치 설정
		굴착 진행 중	2회/주	
		굴착 완료 후	2회/주	
건물경사계 균열계	굴착 전	계측기 설치 후 1일 경과	1회/일 (3일간)	초기치 설정
		굴착 진행 중	2회/주	
		굴착 완료 후	2회/주	
지표침하계	굴착 전	계측기 설치 후 1일 경과 후	1회/일 (3일간)	초기치 설정
		굴착 진행 중	2회/주	
		굴착 완료 후	2회/주	

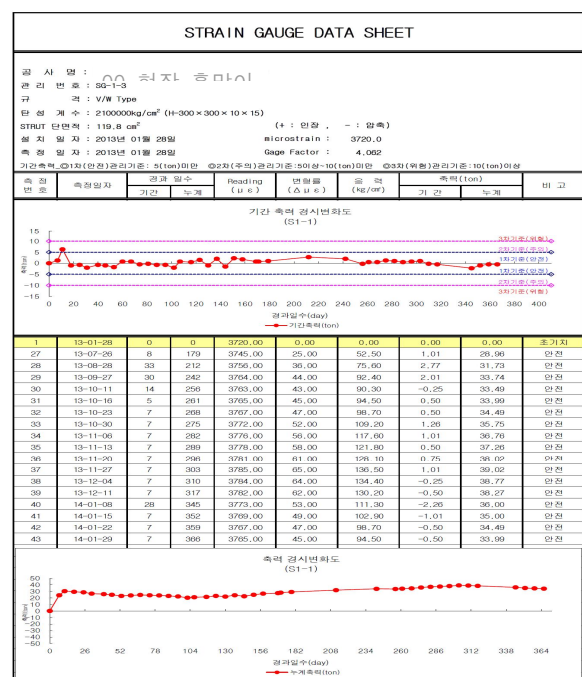
※ 측정 빈도는 경우에 따라 조정하여 수행할 수 있으며, 특히 집중 호우 시와 해빙기와 같이 급속한 변위가 진행될 때에는 빈도를 높여 수시로 측정을 실시해야 한다.

7.2 계측 자료의 정리

- (1) 자료 수집시 공사내용 및 주변상황, 기상조건 등도 면밀히 기록되어야 한다. 현장에서 얻어진 자료는 즉시 공사현황 및 기상상태 등을 고려하여 분석되고 도표 등으로 가시화되어야 한다.
- (2) 현장에서 얻어진 계측자료를 분석 프로그램을 활용하여 공사현황 및 기상상태 등이 고려된 종합 분석을 실시하여야 한다. 계측 결과를 도표 등으로 가시화하고 계측값의 경향을 파악하여 이상이 있다고 판단되면 재측정을 실시하여야 한다.
- (3) 각종 계측결과는 일상의 시공관리의 이용 및 장래공사의 계획에 반영할 수 있도록 충분한 경험과 전문지식을 가진 계측 전문기술자에 의해 종합적으로 분석 평가되어야 하며, 분석 결과는 보존되어야 한다.
- (4) 관찰된 거동과 예측된 거동 사이에 발생하는 경향을 파악하기 위해 데이터 처리에 의한 결과의 도시와 요약이 필요하다.
- (5) 관련계측자료는 주간보고서, 월간보고서, 최종보고서 등으로 제출되어 현장에서는 관련보고서를 비치하여 관리하여야 한다.



〈그림 3〉 어스앵커 하중계 계측결과 도식화 예



<그림 4> 변형룰계 계측결과 도식화 예

8. 계측관리 방법 및 절차

8.1 계측관리 방법

- (1) 굴착 공사현장의 안전관리를 위한 계측관리 방법은 절대치 관리 기법과 예측관리기법으로 나눌 수 있으며, 현장에서는 계측관리 방법을 선택하여 지속적으로 계측관리를 수행하여야 한다.
- (2) 절대치 관리 기법은 계측결과에 대해서 신속하게 대처 가능하므로 현장에서의 단순관리에 이용될 수 있으며, 예측관리 기법은 보다 합리적인 관리를 할 수 있으나 예측치 산정이 어려운 단점이 있다.
- (3) 사고 위험가능성이 높거나 중요한 구조물 등에서는 절대치 관리 기법과 예측관리기법을 병행하여 수행할 수 있다.
- (4) 절대치 관리 기법은 충분한 시간을 가지고 대책공법을 수립할 수 있는 예측관리 기법과는 달리 계측 검토결과 위험한 상태인 경우 즉각적인 대책공법이 실시되어야 하므로 사전에 발생 가능한 상황에 대한 충분한 대책방안이 수립되어야 한다.

8.2 절대치 관리 기법

- (1) 계측관리 기준은 지질 조건, 단면의 크기 및 형상, 굴착 공법, 주변 구조물 및 환경조건 등에 따라 각각 달라지므로 일정한 기준을 적용하는 것은 곤란하나, 각종 이론식에 의한 기준치, 유사지질 및 단면에서의 계측결과를 토대로 한 경험적 기준치에 의하여 정한다.
- (2) 절대치 관리 기법의 한 예는 설정된 절대 기준치에 대하여 1차 관리기준치를 부재의 허용응력일 경우와 벽체의 변형 및 배면 토압 등에 대하여 80~100%로 정하고, 2차 관리기준치는 허용응력과 설계 변위로 규정지어 그 이상일 경우는 공사를 중지하고 흠막이 벽체의 전반적인 검토를 수행하는 것이다. 개략적인 1, 2차 관리기준 값의 예는 <표 4>와 같다.

<표 4> 1, 2차 관리기준 예(한국지반공학회(2002), 굴착 및 흙막이 공법)

계 측 항 목	비 교 의 대 상	관 리 기 준 치	
		제 1 차	제 2 차
측압, 수압	설계 측압 분포 (지표면 ~ 각 단계, 굴착 깊이)	100%	-
벽체 응력	I) 철근의 허용인장응력도	80%	100%
	II) 허용 휨모멘트	80%	
	III) 콘크리트의 허용압축응력도	80%	
벽체 변형	설계 시 계산치	100%	-

(3) 또 하나의 절대치 관리방법은 안전율의 개념을 도입한 것으로 사전에 각 항목별로 안전율을 설정하고 설계값과 계측값의 비와 안전율을 비교하여 공사의 안전성을 예측하는 방법이다. <표 5>는 절대치관리방법의 예로 표에서 F1~F5로 나타낸 지표는 안전율을 이용한 방법을 나타낸다.

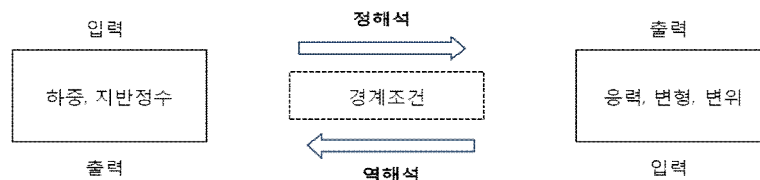
<표 5> 흙막이공사의 관리기준치 산정 예

측정항목	안전·위험의 판정기준치	관 정 표			
		지표 (관리기준)	위험	주의	안전
측 압* (토압, 수압)	설계 적용한 토압분포 (지표면에서 각 단계 근입깊이)	$F1 = \frac{\text{설계 적용 토압}}{\text{계측 측압}}$	$F1 < 0.8$	$0.8 \leq F1 \leq 1.2$	$F1 > 1.2$
벽체변형*	설계 추정치	$F2 = \frac{\text{설계 추정치}}{\text{계측 변형값}}$	$F2 < 0.8$	$0.8 \leq F2 \leq 1.2$	$F2 > 1.2$
흙막이벽체 응력*	철근의 허용인장 응력	$F3 = \frac{\text{철근의허용인장응력}}{\text{계측 인장응력}}$	$F3 < 0.8$	$0.8 \leq F3 \leq 1.2$	$F3 > 1.2$
	흙막이벽체의 허용 휨 모멘트	$F4 = \frac{\text{허용 휨모멘트}}{\text{계측 휨모멘트}}$	$F4 < 0.8$	$0.8 \leq F4 \leq 1.2$	$F4 > 1.2$
버팀대 축 력*	부재의 허용 축력	$F5 = \frac{\text{부재의 허용축력}}{\text{계측 축력}}$	$F5 < 0.7$	$0.7 \leq F5 \leq 1.2$	$F5 > 1.2$
굴착저면 히빙량*	T.W. Lambe에 의한 허용 히빙량		계측결과가 위험영역에 Plot되는 경우	계측결과가 주의영역에 Plot되는 경우	계측결과가 안전영역에 Plot되는 경우
침 하 량*	각 현장마다 허용치를 결정	각 현장상황에 맞는 허용 침하량을 지정하고, 그 허용 침하량을 초과하면, 위험 또는 주의신호로 판단한다.			
지하수위 변화량	각 현장마다 허용치를 결정	각 현장상황에 맞는 허용 지하수위 변화량을 설정 (예, 1차 관리기준-0.5m/주, 0.5m/일, 2차 관리기준-1.0m/주, 1.0m/일)			
간극수압	각 현장마다 허용치를 결정	각 현장상황에 맞는 허용 값을 설정			
부등침하량*	건물의 허용부등 침하량(각변위)	기둥간격에 대한 부등침하량의 비(δ/L)	1/300이상	1/300 ~1/500	1/500이하

* 한국지반공학회(2002, 굴착 및 흙막이 공법)에서 제시한 관리기준치

8.3 예측관리 기법

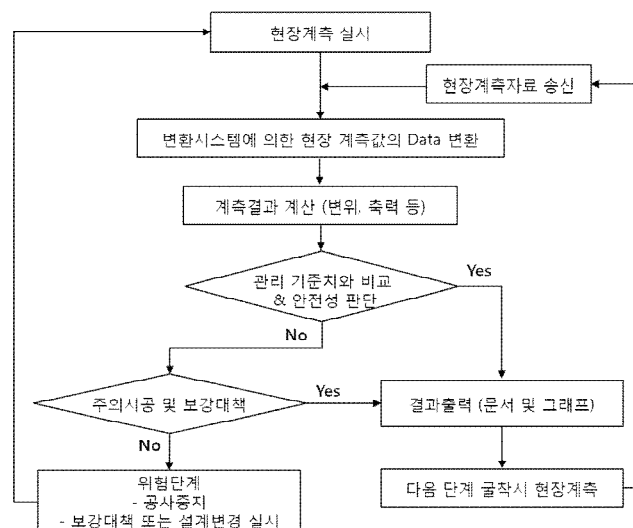
- (1) 예측관리 기법은 선행굴착에 대한 측정결과에서 토질정수, 벽체 및 지보공의 특성값을 구한 후 그 값을 이용하여 다음 단계굴착 이후의 벽체와 지보공의 거동을 시뮬레이션 하여 안전성을 판단하여 안정하면 굴착공사를 진행하고 문제가 있으면 대책을 강구하고 다시 시뮬레이션을 수행하여 안전성을 확인 후 공사를 진행하는 방법이다.
- (2) 초기에 문제점을 발견할 수 있는 장점이 있으나 숙련된 기술자가 필요하며, 계측변위를 입력데이터로 하여 역으로 토질정수를 출력데이터로 얻게 되는 역해석 방법이 이용된다.



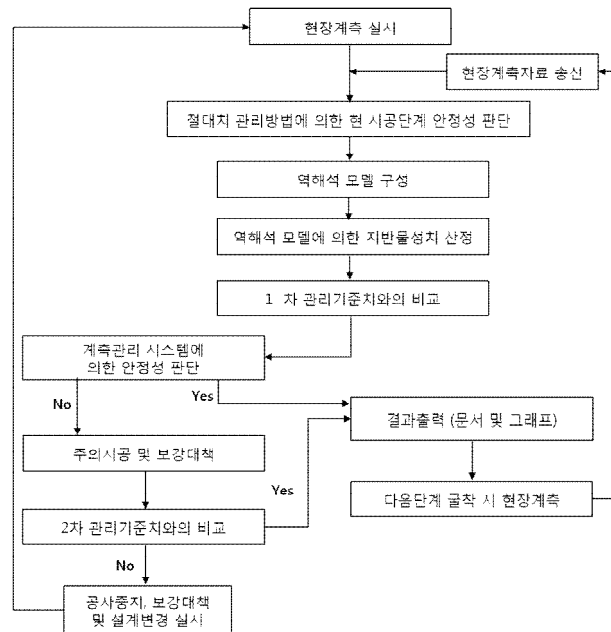
<그림 5> 역해석 개념도

8.4 계측관리 절차

- (1) 관리치를 설정한 후 계측을 계속하여 계측값이 관리기준치에 접근하면 계측 빈도를 높이는 등의 감시체제를 강화하고, 계측값이 더욱 증가하는 경향을 나타내면 시공을 중단하고 발생 원인을 찾고 사전대책을 강구한 후 공사를 재개해야 한다.
- (2) 계측관리 절차의 한 예는 <그림 6> 및 <그림 7>과 같다.



<그림 6> 절대치 관리기법에 의한 계측관리 절차 예



<그림 7> 예측 관리기법에 의한 계측관리 절차 예

9. 안전관리 활용 및 특기사항

- (1) 공사 책임자는 시공 담당자 중에서 계측관리 담당자를 사전에 지정하여야 하며, 시공 전에 반드시 계산서 등의 설계 도서를 확인하여 단계별 계측관리기준을 명확히 설정하여야 한다.
- (2) 계측관리 담당자는 계측값을 관리기준과 비교·분석하여 안전회의와 위험성 평가 등의 회의에 보고하여야 하며, 공사 책임자, 굴착공사 책임자, 관리감독자는 계측값을 확인하고 분석 자료를 근거로 현 단계 및 향후 굴착공사의 안전성을 확인 후 공사를 진행하여야 한다. 굴착공사 안전성 검토는 흙막이 구조물의 설치뿐만 아니라 해체 공정을 반드시 포함하여야 한다.
- (3) 단계별 관리기준에 계측값이 접근하는 경우, 계측 빈도를 높이고 주의시공 및 필요시 보강대책을 수립하여야 한다. 단계별 관리기준을 넘어서는 경우, 즉시 시공을 중단하고 발생 원인을 찾고 사전대책을 강구하여 안전성을 확보한 후 굴착공사를 진행하여야 한다. 또한, 관리기준을 초과하는 경우 공사 관계자 등에게 즉시 알려야 한다.(예, SMS 문자 등).
- (4) 계측관리를 수행하기 전에 관련된 모든 사항들을 신중하게 계획을 세우고, 특별한 사정이 없는 한 계획안에 맞추어 업무가 진행되도록 한다. 계측기

설치자, 시공자, 안전관리자 및 계측관리 담당자 간의 상호 협조체제가 결여되어 계획되지 않은 지점에 계측기를 설치하거나 시기를 놓쳐버리는 일이 없도록 해야 한다. 또한, 계측기의 매설은 특별한 주의를 요구되므로 철저한 교육을 통하여 정확한 계측결과를 얻을 수 있도록 하여야 한다.

- (5) 현장 내에 설치된 계측기는 시공이 진행됨에 따라 다양한 원인으로 파손되는 경우가 많다. 어스앵커 천공에 따른 경사계관의 파손, 백호우에 의한 흙막이 벽체 근접 굴착 시 하중계와 변형률계의 파손 및 케이블 훼손에 따른 측정불능 등의 많은 사고가 발생하므로 일반적으로 눈에 잘 보이도록 표지판과 보호웬스 등의 보호 장치를 설치하고 현장 작업자들에게 주지시켜 피해를 최소화시켜야 한다. 계측계획 수립 시 계측기 보호방안이 포함되어야 하며, 표지판에는 계측명, 위치, 초기 측정일자와 초기 측정값 등이 기록되어야 한다.



<그림 8> 계측기 보호 예

- (6) 기온이 영하로 아주 심하게 내려 갈 경우에는 계측기의 배터리 소모량이 급격히 증가하므로 동절기의 계측관리에는 이를 감안한 대비책을 미리 강구해야 한다.
- (7) 계측기는 도면에 표시된 바와 동일한 위치에 설치되어야 하며 현장 사정상 설치가 곤란한 경우는 감리자의 지시에 따라 위치를 재선정하여야 한다.
- (8) 측정 시스템은 기계식, 전자식 등이 있으며, 측정 형식을 동일 시스템으로 통일하는 것이 좋다.
- (9) 계측기의 운영방법은 인력에 의한 계측기 운영과 자동화 장비에 의한 자동화 계측으로 구분되며, 계측대상 시설물의 중요도, 피해 발생시 영향, 경제성 및 계측빈도 등을 고려하여 결정되어야 한다. 굴착공사시 일반적으로 인

력에 의한 계측방법이 선호되고 있으나, 중요한 구조물과 시공 중 위험도가 높은 공사일 경우에는 자동화 계측을 실시하여야 한다.

- (10) 흙막이 가시설의 해석방법은 관용적인 간편 해석법, 탄소성 해석법, 유한요소법(FEM) 및 유한차분법(FDM) 등이 적용되고 있다. 간편 해석법(1/2 분할법, 하방분담법, 단순보법 및 연속보법)은 계산이 간단하나 흙막이 벽체의 변위 계산과 굴착 단계별 해석이 불가능하므로, 단계별 굴착이 실시되는 경우 탄소성 해석법, 유한요소법 및 유한차분법을 적용하여 굴착단계별 안전성을 확인하여야 한다.
- (11) 지반 구조물의 해석은 설계자의 판단에 따라 정해진 토질 특성값을 사용하므로 설계자와 사용 해석 프로그램에 따라서 계측값과 상이할 수 있다. 또한, 시공사의 시공품질, 지층변화, 작업과정에 따라 동일 위치에서도 현장 계측값은 많은 차이를 보이므로 반드시 현장의 관리기준을 설정하여 계측값을 확인하고 공사를 진행하여야 한다.
- (12) 흙막이 벽체의 변위 및 지지구조 축력 분포 등은 시공 조건에 따라 일정한 유형을 나타내므로 갑작스러운 변위 발생시 굴착공사를 중지하고 계측값을 확인하여 흙막이 벽체의 안전성을 확인하여야 한다.
- (13) 흙막이 벽체의 종류와 지지 형식에 따라 굴착단계에 따른 벽체의 변위 발생 형상은 상이하다. 자립식 흙막이 벽체의 경우는 굴착이 진행될수록 벽체의 최상단에서 최대 수평변위가 발생하나, 버팀대(스트럿)와 어스앵커 등으로 지지된 경우 지지대에서 변위가 줄어들고 지지대 사이와 지지대와 굴착면 사이에서 수평변위가 증가하는 형상을 나타낸다. 따라서 굴착단계에 따른 최대 수평 변위 위치를 계산서에서 확인한 후 상시 점검시 주의 깊게 관찰하여야 한다.
- (14) 어스앵커로 보강한 경우, 설계에 가정된 정착장 길이를 확보하지 않고 시공하거나 실제 파괴면과 설계 시 가정한 가상 파괴면이 상이할 경우 어스앵커의 정착장 부족으로 파괴가 발생할 수 있다. 일반적으로 어스앵커 정착장 부족 등으로 파괴가 발생할 경우에 벽체의 수평변위는 자립식 흙막이와 같이 벽체 최상단 변위가 급작스럽게 증가하여 무너지므로 굴착단계에 따른 수평변위의 발생 현상을 주의 깊게 관찰하여야 한다.

- (15) 벽체의 변위분포 양상은 벽체 및 지반의 강성뿐만 아니라 과굴착과 같은 시공 요소에도 영향을 받는다. 벽체 및 지반의 강성이 감소함에 따라 벽체 중하단부에서, 과굴착이 이루어진 경우는 중상단부에서 변위증가가 두드러지므로 설계에 제시된 제원에 따라 흙막이 벽체를 설치하고, 단계별 시공 순서 및 굴착 깊이를 준수하여야 한다. 계측값이 관리기준을 넘어서는 경우 공사를 중지하고 안전대책을 세워야 한다.
- (16) 굴착공사 주변 지반의 침하영역과 벽체 배면의 최대 침하는 설계에서 제시된 값을 기준으로 계측값을 관리하여야 한다. 엄지말뚝과 흙막이 판으로 구성된 흙막이 벽체의 경우, 일반적으로 주변 지반의 침하 영역은 굴착 깊이의 1.0~2.0배 정도이며, 벽체 배면의 최대 침하는 벽체 최대 수평변위의 0.7~1.0배 정도임을 감안하여 시공 안전성을 확보하여야 한다.
- (17) 굴착공사 주변에 상재하중이 존재하지 않는 경우의 지표 침하는 벽체 배면에서 가장 큰 침하량을 보이고 벽체로부터 이격됨에 따라 점차적으로 침하량이 감소하는 곡선을 나타내나, 상재하중이 존재하는 경우는 상재하중이 적용된 지점 바로 하부에 큰 침하량을 나타내는 포물선 형태의 침하 곡선을 나타낸다.
- (18) 본 굴착 완료 후 지보 해체 공정에서도 벽체 수평변위 및 지표 침하가 지속되어 최대 수평 변위와 지표 침하량은 해체 공정에서 발생하므로 해체 공정시 계측관리에 유의하여야 하며, 설계 시에 해체 공정을 포함한 구조검토가 이루어져야 한다. 지반 및 흙막이 구조물 거동에 대한 검토 작업이 수반되지 않는 무리한 지보 해체는 과도한 지반 변위를 초래하며, 본 구조물과 인접 구조물의 손상이 발생할 수 있으므로 현장특성에 적합한 해체 공정의 수립 및 관리가 이루어져야 한다.

<부록 1> 지중경사계 설치방법, 측정방법 및 측정 예시

1. 설치방법 및 측정방법

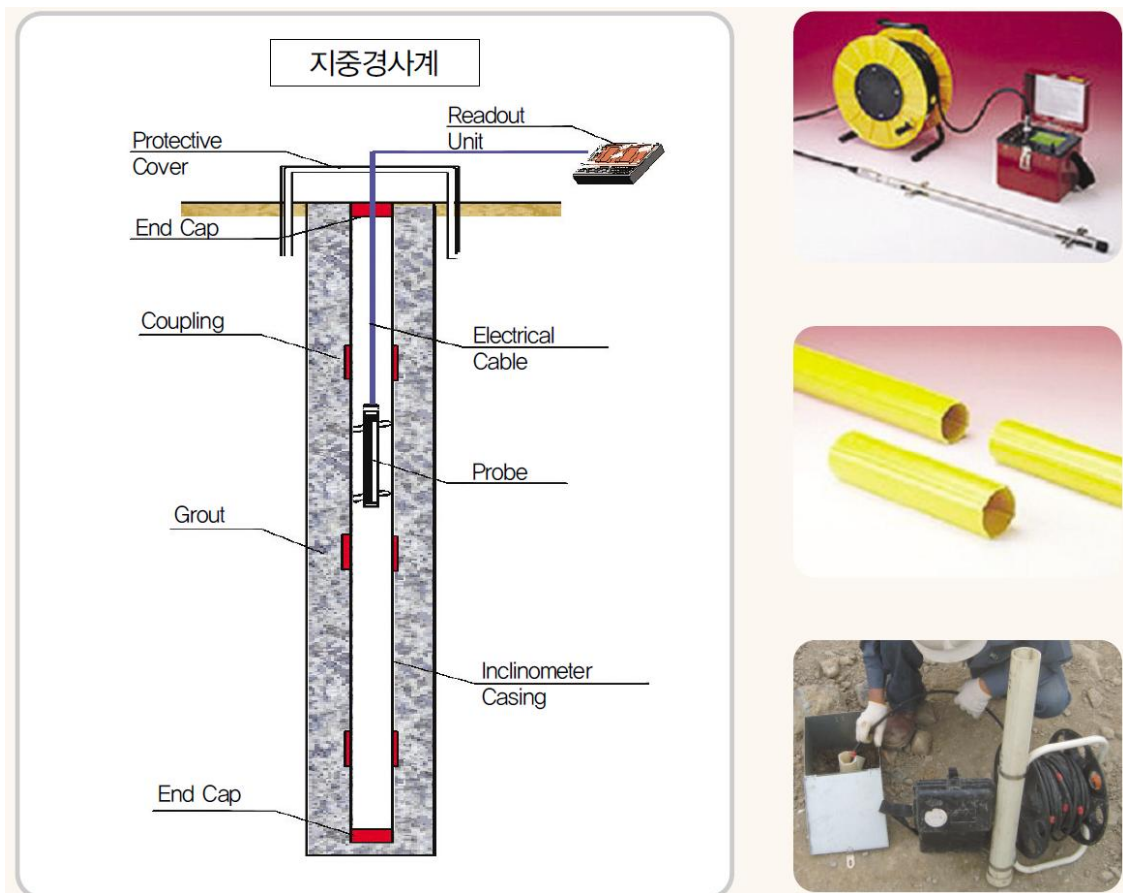
각 현장 및 기기의 특성으로 지중경사계의 설치 및 측정 방법은 다르나 일반적인 경우는 다음과 같다(출처 : 안전보건공단, 2009-S-663 : 굴착 계측관리 - 지중경사계).

(1) 사용목적

- 굴착 시 공동현상 및 지하수위의 변화 등 기타 영향으로 인한 흙의 수평 변위량의 위치, 크기 및 속도를 계측하여 설계상의 예상 변위량과 비교·검토하여 안전도 및 피해영향권 추정

(2) 구성 및 원리

- 경사계관(Access tube), 연결관(Coupling tube), 케이블(Cable), 감지기(Probe), 데이터 수집장치(Data logger)로 구성



(3) 설치방법 및 순서

- 설치장소 : 배면에 중요 구조물이 위치하는 곳, 벽체에서 0.5m 정도 떨어진 곳
- 설치방법 : 고정점 확보를 위해 부동층까지 천공(토사 : 3~4m, 암반 : 1~2m)
- 설치순서
 - ① 계획심도까지 보링 실시(홀 크기 100~200mm 정도)
 - ② 경사계 케이싱의 한쪽 끝에 End cap을 씌우고 리벳(Rivet) 작업
 - ③ 미리 케이싱과 커플링을 리벳으로 조합시켜 놓고 실링(Sealing) 처리
 - ④ 조립된 케이싱을 차례로 보링 홀 내에 넣어 측정방향과 Keyway의 방향을 일치
 - ⑤ 그라우팅 펌프와 트레미 관을 이용하여 천공 홀 내부 그라우팅
 - ⑥ 그라우팅재가 양생된 후 침하된 부위에 다시 그라우팅
 - ⑦ 그라우팅재로 완전히 채운 후 경사계를 보호 커버(Protective cover)로 덮고 보호시설 설치
- 계측방법
 - ① 경사계관의 상부 보호마개를 열고 Pulley assembly를 설치
 - ② Pulley assembly와 데이터 수집 장치를 연결
 - ③ 50cm 간격으로 측정데이터를 입력
 - ④ A방향과 B방향을 측정하여 데이터 입력
 - ⑤ 계측 수행 시 특이사항 기재
 - ⑥ 데이터 정리 후 분석

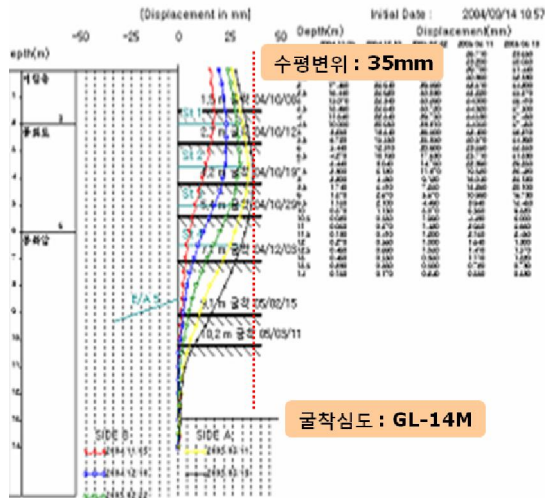
2. 지중경사계 측정 예시

다음은 OO현장에서 측정한 예시로 개별 현장에서는 현장 특성에 적합한 관리 기준치를 설정하여 시공 중 안전성을 확인하여야 한다.

(1) 관리 기준 설정

구 분	안전/위험의 판정기준값	관리 등급		
		1차 관리기준	2차 관리기준	비 고
벽체 변위량	관리기준치(%) = 수평변위량(m)/굴착깊이(m)×100	0.20%	0.40%	일반 흙막이 벽체
		0.15%	0.35%	주열식 벽체

(2) 측정 결과 분석 예



- 일반 흙막이 벽체
- 굴착심도는 약 14m, 굴착방향으로 약 35mm의 누적변위가 발생. 이는 약 0.25%의 벽체 기울기로서 1차 관리 기준치 0.2%를 초과하여 현장 관리자의 주의가 요하는 상태임.
- 추후 2차 관리 기준치인 0.4%를 초과하는 변위가 발생할 경우에는 즉각적인 대책 방안 수립 및 보강이 이루어져야 하는 상태임.

<부록 2> 지하수위계 설치방법, 측정방법 및 측정 예시

1. 설치방법 및 측정방법

각 현장 및 기기의 특성으로 지하수위계 설치 및 측정 방법은 다르나 일반적인 경우는 다음과 같다(출처 : 안전보건공단, 2009-S-664 : 굴착 계측관리 - 지하수 위계).

(1) 사용목적

- 굴착에 의한 지반내의 간극수압의 증감을 측정하여 지반의 안전성을 파악함으로써 시공속도를 조절하고, 흩막이 구조물의 안전성을 검토

(2) 구성 및 원리

- Tip



- Standpipe with coupling
- 부속기구

- 지시계



(3) 설치방법

- ① 계획심도까지 보링을 한다(홀 크기 100~200mm 정도)
- ② 카사그란드 팁(Casagrande tip)과 PVC 관 연결
- ③ PVC 관을 커플링을 이용하여 지표까지 계속 연결 설치
- ④ 카사그란드 팁 상부 300mm까지 모래를 채우고 벤토나이트 차수층 형성
- ⑤ 그라우팅 및 보호 커버 작업

(4) 계측방법

- ① 계측기 팁에 물을 묻혀보고 이상이 없는지를 확인한다.
- ② 감지기를 스탠드 관(Stand pipe) 속으로 삽입하여, 지하수위 위치가 확인되면 줄자의 깊이를 읽고 기록한다.
- ③ 측정치 기록시 기상상태, 우천일자 및 그라우팅이 실시된 경우에는 그라

우팅의 종류, 깊이, 지층조건 등을 기록한다.

(5) 주의사항

- 지하수위 측정 시 기준점은 측정관의 상단을 기준으로 초기치 설정
- 측정관 상단이 우수가 유입될 가능성이 있는 경우 유입차단시설 설치
- 집중호우 영향으로 굴착진행과는 무관하게 수위가 상승하는 경우 기록지에 강우정도, 시기 등을 기록하여 그 영향 등을 파악 할 수 있도록 함

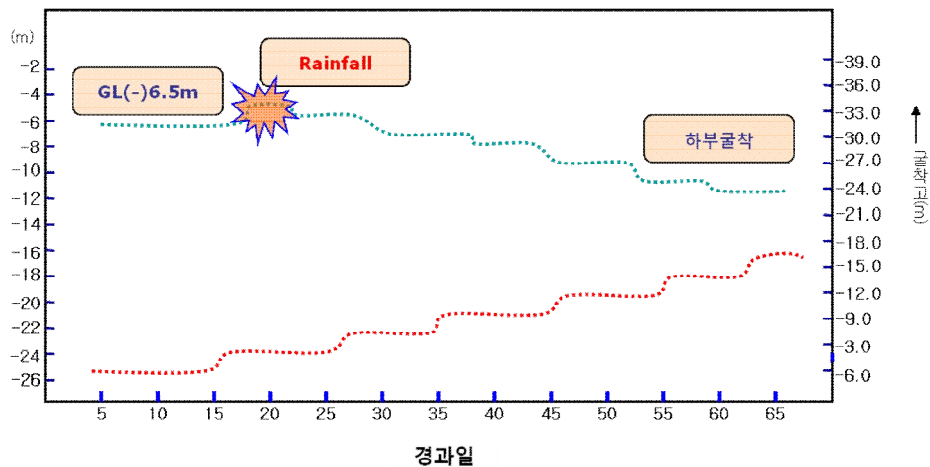
2. 지하수위계 측정 예시

다음은 OO현장에서 측정한 예시로 개별 현장에서는 현장 특성에 적합한 관리 기준치를 설정하여 시공 중 안전성을 확인하여야 한다.

(1) 관리 기준 설정

구분	관리기준	관리등급	
		1차 관리기준	2차 관리기준
지하수위 변화량	1주 변화량	0.5m/주	1.0m/주
	1일 변화량	0.5m/일	1.0m/일

(2) 측정 결과 분석 예



- 지하수위계를 통한 수위면 측정시 1일 변화량 0.5m 정도를 이상 상태로 설정 하고 1일 변화량 1.0m 이상일 경우 위험 상태로 설정하여 관리

<부록 3> 변형률계 설치방법, 측정방법 및 측정 예시

1. 설치방법 및 측정방법

각 현장 및 기기의 특성으로 변형률계 설치 및 측정 방법은 다르나 일반적인 경우는 다음과 같다(출처 : 안전보건공단, 2009-S-665 : 굴착 계측관리 - 변형률계).

(1) 사용목적

- 흙막이 구조물의 지지구조체인 버팀대, 엄지말뚝 및 띠장 등의 표면에 부착 부재의 변형률을 측정하여 부재에 작용하는 응력이나 휨모멘트 산정하여 사용장재의 안전성 여부 및 인접 구조물이나 지반의 거동을 예측

(2) 구성 및 원리

- 계측장비 : 변형률계, 변형률측정기



<변형률계>



<변형률측정기>

(3) 설치방법

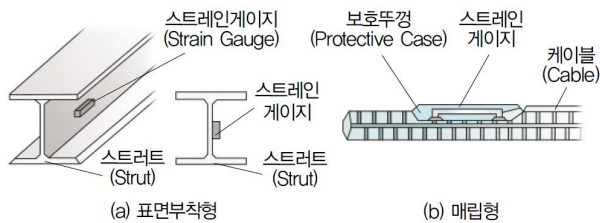
■ 설치위치

- 버팀대용 변형률계는 버팀대 끝단 1m 이내의 복부판 양쪽에 부착
- 띠장용 변형률계는 버팀대용과 같이 관리하는 경우 버팀대와 접촉하는 플랜지 배면에 부착하고, 엄지말뚝용 변형률계와 같이 관리하는 경우에는 엄지말뚝과 접촉하는 플랜지 배면에 부착. 엄지말뚝용 변형률계는 노출된 플랜지 면에 부착

- 설치방법은 표면 부착형과 매립형이 있으며 표면 부착형 설치방법은 다음과 같다.

- ① 설치하고자 하는 부재의 표면의 이물질 제거
- ② 마운팅 블록(Mounting block)을 용접을 이용하여 부재에 부착
- ③ 변형률계(Strain gauge)를 마운팅 블록에 설치
- ④ 케이블을 측정하기 적당한 곳까지 연장

⑤ 측정기를 이용하여 측정



(4) 계측방법

■ 부재별 초기치 산정

- 버팀대용 변위계는 버팀대 전후로 1회씩 측정하고, 스크류잭 인장 후에 측정
- 띠장용 변위계는 설치 후 1회 측정하고 스크류잭 인장 후에 측정
- 엄지말뚝용 변위계는 띠장 거치 후 1회 측정하고 버팀대의 경우에는 스크류잭 인장 후에 1회 측정, 어스앵커의 경우는 인장 시에 1회, 인장완료 후에 1회 측정하며, 그 이후에는 계측빈도에 의거 측정

(5) 주의사항

- ① 변형률계 부착은 정확한 계측결과를 얻기 위해 용접기로 부착
- ② 설치하고자 하는 모재에 수분이 있을 경우에는 토치램프를 이용하여 수분을 말린 후 부착
- ③ 변형률계 설치시 용접으로 인한 모재 및 센서의 온도상승에 따른 측정오차가 발생할 수 있으므로 충분한 시간이 경과한 후 초기치 측정
- ④ 진동현상의 긴장나사는 차량하중과 발파진동에 의하여 풀릴 수 있으므로 재설치 후 초기치 선정
- ⑤ 온도변화가 심한 경우에는 가급적 계측시간대를 일정하게 유지

2. 변형률계 측정 예시

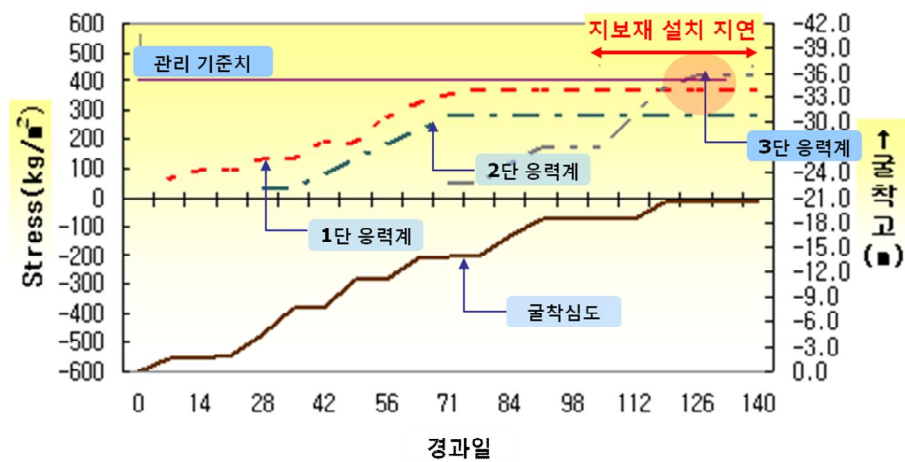
다음은 OO현장에서 흙막이 벽체 버팀대의 변형률을 측정한 예시로 개별 현장에서는 현장 특성에 적합한 관리 기준치를 설정하여 시공 중 안전성을 확인하여야 한다.

(1) 관리 기준 설정

- 측정된 변형률을 응력으로 환산하여 사용 강재의 허용응력과 비교

구분	안전/위험의 판정기준값	관리등급		
		위험	주의	안전
버팀대 응력	$F = \text{강재 허용응력} / \text{계측응력}$	$F < 0.7$	$0.7 \leq F \leq 1.2$	$F > 1.2$

(2) 측정 결과 분석 예



- 1단과 2단 버팀대(지보재)는 응력 관리 기준치를 만족하고 있으나, 3단 버팀대는 4단 버팀대 설치 지연 등의 원인으로 관리 기준치를 초과하고 있으므로 버팀대를 조속히 설치하여야 함
- 버팀대 설치가 지연되지 않은 경우, 위 그림과 같은 현상이 나타난다면 추가로 버팀대를 설치하여야 함

<부록 4> 하중계 설치방법, 측정방법 및 측정 예시

1. 설치방법 및 측정방법

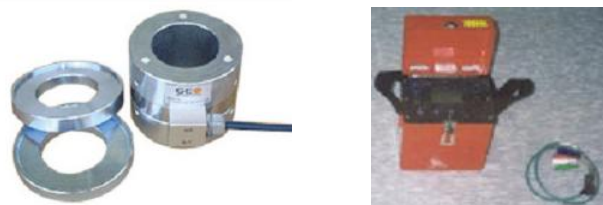
각 현장 및 기기의 특성으로 하중계 설치 및 측정 방법은 다르나 일반적인 경우는 다음과 같다(출처 : 안전보건공단, 2009-S-666 : 굴착 계측관리 - 하중계).

(1) 사용목적

- 버팀대의 축력이나 어스앵커의 긴장력을 측정하여 설치값과 비교 및 검토함으로써 흙막이 구조물의 거동과 정착부 이상 유무를 파악하여 스트럿 및 어스앵커의 전반적인 안정문제 검토

(2) 구성 및 원리

- 하중계 센서의 종류 : 전기저항식과 유압식, 진동형식
 - 전기식 제품사양
 - 용량 : 50톤, 100톤, 150톤, 200톤, 300톤
 - 출력 : $2.5\text{mv/v} \pm 10\%$



(3) 계측기 설치 및 계측방법

- 하중계 설치시기 : 설치위치 +0.5~1.0m 보다 현 굴착고가 작은 상태에서 설치해야 하며 하중계 설치 시 변위계를 함께 설치하는 것이 원칙

1) 어스앵커용 하중계

- 하중계의 규격에 맞추어 미리 띠장을 가공
- 초기치를 기록하고, 유압인장기를 이용하여 정착
- 인장시 늘어난 양을 측정하고 설계값과 비교하여 어스앵커의 정착상태를 파악
- 케이블 연결 및 보호캡 설치
- 계측 및 계측관리

2) 버팀대용 하중계

- 하중계 설치 전에 버팀대의 제작은 재하판 및 하중계 소요두께를 고려하여 약 10cm정도 짧게 하고 브라켓은 띠장, 하중계, 버팀대를 동시에 거치할 수 있는 크기로 제작하여 설치부위에 부착
- 띠장과 버팀대 사이에 하중계 설치
- 스크류잭 인장 전·후 1회씩 측정
- 계측시에는 현재 굴착고 및 주변현황 기록



[어스앵커용 하중계]



[버팀대용 하중계]

(4) 주의사항

- 어스앵커의 지반반력을 측정하기 위하여 어스앵커에 하중계 부착설치 시 프리스트레스의 손실률이 30~50%정도 과다한 경우 → 어스앵커와 지반사이의 부착불량이나 인장기의 품질문제 및 하중계와 강선을 잡아주는 콘의 역할 불량 등이 원인
- 인장력이 과다하게 손실되면 굴착으로 인해 발생하는 배면토압에 대한 벽체의 안정에 문제 → 하중계 설치시 강선의 프리스트레스 손실율을 10% 이하로 유지
- 인접 구조물의 거동을 고려하고 수평변위 발생과 연관지어 분석하기 위하여 지중경사계와 변형률계와 함께 하중계를 설치하여 자료의 신뢰성을 향상
- 어스앵커 하중계 값이 급격히 증가하는 경우에는 콘 불량의 미끄러짐, 어스앵커 정착부의 진행성 파괴, 강선의 응력완화, 지반의 횡방향 지내력 감소, 엄지말뚝의 변형이 원인
- 버팀대 하중계의 측정값이 급격히 증가하는 경우에는 하중계 위치와 현 굴착고의 높이차가 큰 경우나, 하중계 하부 활동면이 형성된 경우이므로 하중계의 결과를 분석하고 대처방안 수립
- 하중계의 측정값이 감소하는 원인으로는 무리한 굴착이나 굴착진행 속도에 문제가 있으므로 굴착진행을 정지한 다음 계측을 실시하여 안전여부를 검토한 후 보강여부 검토

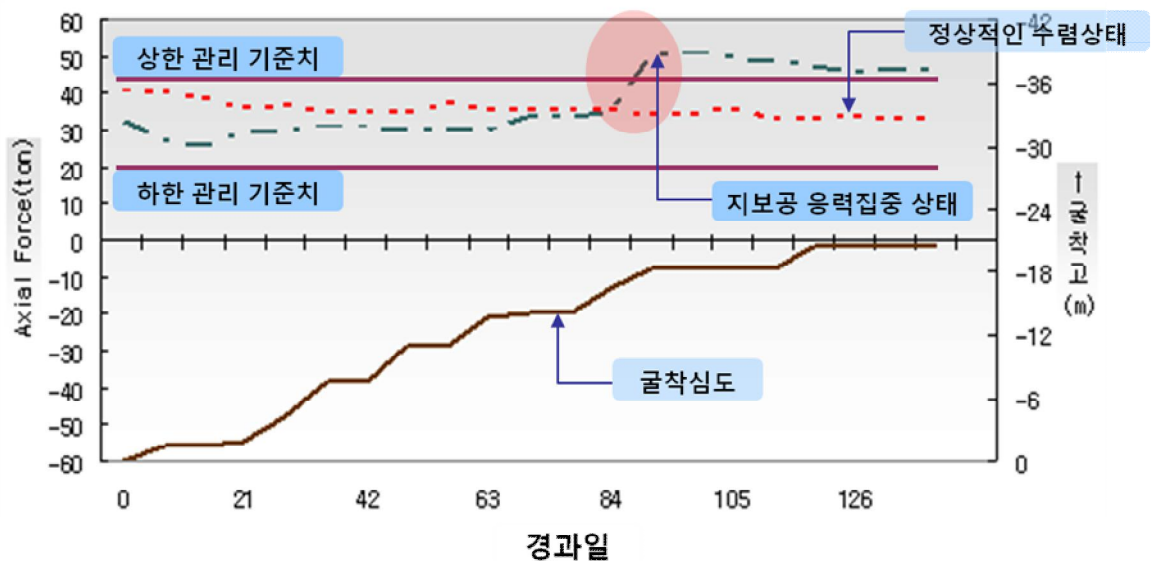
2. 하중계 측정 예시

다음은 OO현장에서 하중계를 활용하여 버팀대 축력을 측정한 예시로 개별 현장에서는 현장 특성에 적합한 관리 기준치를 설정하여 시공 중 안전성을 확인하여야 한다.

(1) 관리 기준 설정

구분	안전/위험의 판정기준값	관리등급		
		안전	주의	위험
축하중 크기	허용하중	계측값 < 허용하중		계측값 > 허용하중
	7일 변화하중	5TON	5~10TON	10TON

(2) 측정 결과 분석 예



- 버팀대 축력이 관리 기준치 내에 있는 경우 안전성에 문제가 없지만, 그림의 녹색선과 같이 상한 관리 기준치를 넘어서는 경우 급속 굴착이나 버팀대 설치 지연 등에 의해 지보공에 응력 집중 현상이 발생한 것이므로 흙막이 벽체의 붕괴가 우려되므로 유의하여야 한다.
- 하한 관리 기준치에 도달하지 못하는 축력이 발생될 경우에도 버팀대가 역할을 제대로 하지 못하여 흙막이 벽체에 과변위가 발생할 우려가 있으며, 어스 앵커의 경우에는 정착부 슬립에 의한 벽체 과변위가 발생할 수 있다.

<부록 5> 건물경사계 설치방법, 측정방법 및 측정 예시

1. 설치방법 및 측정방법

각 현장 및 기기의 특성으로 건물경사계 설치 및 측정 방법은 다르나 일반적인 경우는 다음과 같다(출처 : 안전보건공단, 2009-S-667 : 굴착 계측관리 - 건물경사계).

(1) 사용목적

- 굴착공사시 주변건물이나 옹벽 및 지반에 설치하여 측정지점의 경사도를 측정하여 주변구조물의 안정성 판단 자료로 활용

(2) 구성 및 원리

- 틸트 플레이트(Tilt plate), 건물경사계, 데이터 수집 장치



(3) 계측기 설치방법

- ① 설치지점을 그라인더로 표면 손질 및 이물질 제거
- ② Devcon bonding을 이용하여 틸트 플레이트 부착



- ③ 건물경사계 센서를 플레이트에 거치시킨 후 경사계 Readout을 이용하여 계측

(4) 계측방법

- 부착 후 2~3일 경과 후에 부착정도를 확인한 후에 초기치를 측정
- 계측시에는 Peg의 1-3축, 2-4축, 3-1축 및 4-2축으로 감지기를 시계방향으로 돌려가면서 측정
- 측정값이 안정되지 않고 미세하게 움직이는 경우에는 2~3회 반복하여 측정
- 측정된 결과치는 주어진 상관관계식으로부터 상대침하량과 각 변위로 나타

낼 수 있다. 환산된 값은 틸트 플레이트의 크기에 한정된 결과이므로 설치된 위치에 따라 스케일 팩터(Scale factor)를 사용하여 해석하는 경우가 일반적임

- 현재의 읽음값과 초기값의 차를 계산하여 변형량과 변형속도로 파악

(5) 주의사항

- Tilt peg 위에 이물질이 끼여 있으면 측정오차가 발생하므로 반드시 이물질을 제거하고 측정
- 틸트 플레이트를 재설치하는 경우에는 기 측정된 자료와 재 설치된 측정자료 사이의 초기치의 차이를 반영하여 기록 유지
- Tilt peg가 세라믹제품일 경우 측정기의 충격력에 의하여 Peg가 파손되지 않도록 주의
- 건물경사계 측정결과 분석시 고려사항
- 1개의 틸트 플레이트에서 바닥면에 설치한 경우 4방향을 측정할 수 있고 벽면에 설치한 경우 2방향을 측정할 수 있다. 측정된 결과치는 주어진 상관관계식으로부터 상대침하량과 각 변위로 나타낼 수 있다. 환산된 값은 플레이트의 크기(10cm)로 한정된 것이므로 일반적으로 설치된 위치에 따라 스케일 팩터를 사용하여 유추 해석

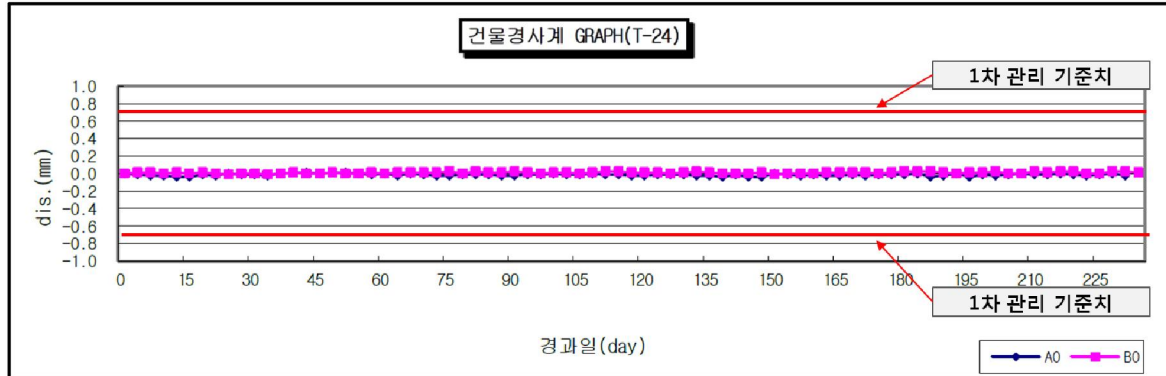
2. 건물경사계 측정 예시

다음은 OO현장에서 건물경사계를 활용하여 인접 건물의 안전성을 측정한 예시로 개별 현장에서는 현장 특성에 적합한 관리 기준치를 설정하여 시공 중 안전성을 확인하여야 한다.

(1) 관리 기준 설정

구 분	관리 등급	
	1차 관리기준	2차 관리기준
변위량	1/500 H	1/300 H

(2) 측정 결과 분석 예



측정일	경과일	측정치				degree		rad.		dis. (mm/100mm)		비고
		A0	A180	B0	B180	(°)		각 변위(A)	각 변위(B)	변위(A)	변위(B)	
14/01/15	0	-87	139	89	-41	0.000	0.000	0	0	0.000	0.000	초기치
14/01/18	3	-88	139	89	-42	-0.007	0.007	1 / -8306	1 / 8306	-0.012	0.012	
14/01/21	6	-89	139	89	-42	-0.014	0.007	1 / -4153	1 / 8306	-0.024	0.012	
14/01/24	9	-89	139	88	-42	-0.014	0.000	1 / -4153	0	-0.024	0.000	
14/01/27	12	-90	139	89	-42	-0.021	0.007	1 / -2769	1 / 8306	-0.036	0.012	
14/01/30	15	-90	139	88	-42	-0.021	0.000	1 / -2769	0	-0.036	0.000	
14/02/02	18	-89	138	89	-42	-0.007	0.007	1 / -8306	1 / 8306	-0.012	0.012	
14/02/05	21	-90	138	89	-41	-0.014	0.000	1 / -4153	0	-0.024	0.000	
14/02/08	24	-88	138	89	-40	0.000	-0.007	0	1 / -8306	0.000	-0.012	
14/02/11	27	-89	138	89	-41	-0.007	0.000	1 / -8306	0	-0.012	0.000	
14/02/14	30	-89	138	89	-41	-0.007	0.000	1 / -8306	0	-0.012	0.000	
14/02/17	33	-90	138	89	-40	-0.014	-0.007	1 / -4153	1 / -8306	-0.024	-0.012	
14/02/20	36	-89	137	89	-41	0.000	0.000	0	0	0.000	0.000	
14/02/23	39	-89	136	89	-42	0.007	0.007	1 / 8306	1 / 8306	0.012	0.012	
14/02/26	42	-89	136	89	-41	0.007	0.000	1 / 8306	0	0.012	0.000	
14/03/01	45	-89	137	89	-41	0.000	0.000	0	0	0.000	0.000	
14/03/04	48	-89	136	89	-42	0.007	0.007	1 / 8306	1 / 8306	0.012	0.012	
14/03/07	51	-89	136	89	-41	0.007	0.000	1 / 8306	0	0.012	0.000	
14/03/10	54	-90	136	89	-41	0.000	0.000	0	0	0.000	0.000	
14/03/13	57	-90	137	90	-41	-0.007	0.007	1 / -8306	1 / 8306	-0.012	0.012	
14/03/16	60	-90	136	89	-41	0.000	0.000	0	0	0.000	0.000	
14/03/19	63	-90	138	90	-41	-0.014	0.007	1 / -4153	1 / 8306	-0.024	0.012	
14/03/22	66	-89	137	90	-41	0.000	0.007	0	1 / 8306	0.000	0.012	
14/03/25	69	-90	137	89	-42	-0.007	0.007	1 / -8306	1 / 8306	-0.012	0.012	
14/03/28	72	-90	138	89	-42	-0.014	0.007	1 / -4153	1 / 8306	-0.024	0.012	
14/03/31	75	-90	138	90	-42	-0.014	0.014	1 / -4153	1 / 4153	-0.024	0.024	
14/04/03	78	-90	137	89	-41	-0.007	0.000	1 / -8306	0	-0.012	0.000	
14/04/06	81	-90	137	90	-42	-0.007	0.014	1 / -8306	1 / 4153	-0.012	0.024	
14/04/09	84	-90	137	89	-42	-0.007	0.007	1 / -8306	1 / 8306	-0.012	0.012	

- 각 변위로부터 환산한 수평변위가 관리 기준치 안에 있으므로 현 상태에서는 안전성에 문제가 없음