



현장리포트

SPOTLIGHT

지하 흠막이 공사 스마트계측 도입과 제도 개선 방안

이재환 수석연구원 · 김정환 연구위원
박민철 수석연구원 · 김종욱 전임연구원



지하 굴착공사 시에 흠막이 구조물의 안정성과 시민의 안전확보를 위한 스마트계측 관리기술 도입과 제도 개선 방안 제시

지하공간 개발의 증가에 따라, 공사장 안전 확보를 위해 계측관리의 중요성 커져

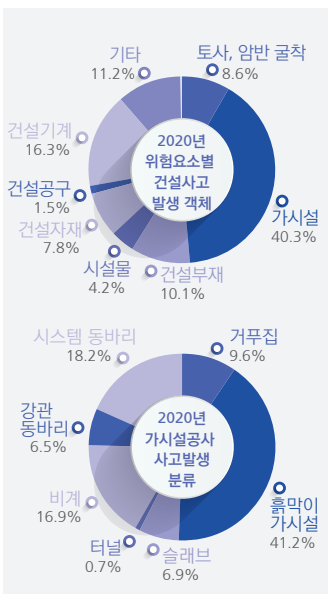


그림 1 | 2020년 건설사고 중 위험 요소별 가시설 사고 통계자료

서울의 과밀화로 인해 서울 내 구조물은 대형화·고층화되고 있으며, 포화된 지상공간을 대신하여 지하공간의 개발이 꾸준히 증가하고 있다. 이에 따라 구조물간의 근접시공과 대심도 굴착 등이 빈번해지고, 공사 중 예측 불가능한 안전사고의 위험요인이 더욱 증가하고 있다. 따라서 도심지 공사현장의 위험요소를 모니터링하고 사전에 반드시 예측할 필요가 있다.

지하공간 개발에 따른 시민의 안전 확보를 위하여 서울시는 「서울특별시 지하안전관리에 관한 조례(이하 '서울시 조례'라 함)」를 제정하고, 서울시 지하시설물 통합 안전관리대책을 수립하는 등 각고의 노력을 기울이고 있지만, 지하 굴착공사 시 지하흠막이가 붕괴되는 사고는 여전히 발생하고 있는 실정이다. 국토교통부 건설공사 안전관리 종합 정보망에 따르면, 2020년 건설공사 중 발생한 사고는 총 6,399건이며, 이 중 가시설 관련 사고는 2,577건으로 40.3%에 해당한다. 전체 가시설 관련 사고 중 흠막이 가시설로 인한 사고는 41.2%로 가장 높은 비율을 차지하고 있다(그림 1). 이처럼 빈번한 흠막이 가시설 사고를 줄이기 위하여 구조물 및 주변 건축물의 안정성을 확보하고 흠막이 벽체의 변형 등을 사전에 예방하기 위한 계측관리가 중요한 실정이다.

현행 계측관리 방법으로는 공사장 안전 확보에 한계

굴착공사에 수반되는 지하훅막이 공사는 계측관리를 통해 시공 중 안전성 및 인접 시설물의 안정성을 확보하도록 권장하고 있다. 그러나 굴착깊이 10 m 미만의 소규모 또는 굴토심의 제외 대상 훅막이 구조물은 계측관리가 유명무실하여 크고 작은 사고가 빈번하게 발생하고 있다.

수동계측은 위험
징후의 실시간 인지가
어렵고, 중·소규모의
민간 공사장에서는
고가의 자동계측
적용이 어려움

지하훅막이 사고는 사고위험을 사전에 인지하지 못하여 선제적으로 대응하지 못하였거나, 사고 직전의 계측데이터가 없거나, 사전에 이상징후를 인지하지 못한 상태에서 사고가 발생하는 것으로 보고되고 있다. 현재 중·소규모의 민간 공사장에서는 주로 수동계측을 시행하고 있다. 수동계측의 경우 보통 주 1~2회 측정하고 측정 후 계측보고서를 만들어 시공사에 보고되기까지 약 7~10일 정도가 소요된다. 이렇게 계측 공백이 발생하면 현장의 위험징후를 실시간으로 인지하지 못하고, 계측결과의 공유가 늦어지면서 안전 사고가 발생할 확률이 높아질 수 있다. 공사현장의 계측정보를 실시간으로 취득하여 실시간 계측관리를 할 수 있는 자동화 계측기술이 있기는 하지만, 비용이 고가이기에 건설원가를 상승시키는 요인으로 작용하여 중·소규모의 민간 공사장에서는 적용이 어려운 실정이다. 또한 현재 계측관리 용역은 시공사가 업체를 선정하여 수행하는 방식으로 운영되기 때문에 관리관이나 감독 기관에서 실제 계측결과를 공유받을 수 없어 계측 데이터의 신뢰성에 문제가 있을 수 있다.

스마트 계측관리
기술의 도입 및
제도 개선 방안 필요

이처럼 소규모 공사장의 경우에는 계측관리가 부실한 상황이고, 계측관리를 강화할 수 있는 제도 개선에 대한 준비도 아직 미흡한 실정이다. 따라서 공사장의 안전을 보다 적극적으로 확보하기 위해서는 계측 기준과 계측 방법 등을 개선하여 실시간으로 훅막이 구조물의 안정성 확인이 가능하도록 현행 계측관리방법의 개선이 필요한 시점이다. 특히 수동계측의 문제점을 비롯한 현안들을 보완하거나 현재 기술 수준을 개선할 수 있는 스마트계측 관리기술의 도입과 이를 위한 제도 개선 방안도 마련되어야 한다.



○○동 지하훅막이(2015)
지중경사계 계측 오류(작업통로
미확보)로 초기 과다 굴착 미확인



○○동 지하훅막이(2016)
배면에 작업창고 설치로 훅막이
구조물 과다 하중작용



○○동 지하훅막이(2018)
배면지반 내 지하수위 상승에 따른
훅막이 구조물 작용 수압 증가

그림 2 | 지하훅막이 공사장 피해사례

기존 계측방법의 기술적 한계를 보완한 스마트계측 관리기술 도입 방안 제시

스마트계측 관리 기술의 정의 및 특징 스마트계측 관리기술은 데이터 수집의 편의성 및 안전성을 향상시키기 위해 혁신적인 기술(빅데이터, 사물인터넷, 무선센서 네트워크 등)을 융합한 스마트 기술로서 센싱 기능 이외에 통신, 데이터 처리, 의사결정기능 등 두 가지 이상의 기능을 통합한 계측 기법이다(그림 3).



그림 3 | 스마트 계측관리기술의 정의 및 특징

저전력·고효율·보급형 IoT 센싱망 기반 모니터링 시스템 스마트계측 관리기술은 모니터링 시스템과 유지관리 시스템으로 구성된다(그림 4). 먼저, 모니터링 시스템은 다양한 계측기기에 적용가능하도록 포팅가능한 프레임워크로 구성되며 계측기기들을 자동으로 인식하고 계측된 데이터의 보안성을 확보하여야 한다. 또한 저전력 운영 및 시기반의 데이터 분석가능 연계를 통하여 관리자들이 쉽고 경제적으로 모니터링 시스템을 운영할 수 있어야 한다. 스마트계측 관리기술은 저전력·고효율·보급형 IoT 센싱망을 구성하여 자동계측에 비해 많은 지점의 계측데이터를 효율적으로 모니터링할 수 있다는 장점이 있어 지속적인 관심과 개발이 필요하다.

빅데이터와 시기반 유지관리 시스템 유지관리 시스템은 계측 데이터 기반의 관리기준과 관리단계를 설정하여 관리자가 객관적이고 공학적인 판단을 할 수 있어야 한다. 빠른 공학적 판단으로 위험징후를 실시간으로 인지하고 대응할 수 있게 해주기 위함이다. 계측 데이터는 시계열 데이터로 AI 기반의 예측이 가능하고, 데이터의 분해를 통해 계절적·주기적·노이즈 성분을 제거하여 가장 중요한 경향성(Trend)을 파악할 수 있어야 한다. 또한, 관리기준과 거동 예측을 통해 관리자에게 안전에 대한 의사결정을 지원할 수 있어야 하며, 예·경보기능을 탑재하고 있어야 한다. 마지막으로 예·경보의 경우 전자 표준행동절차가 자동으로 수행되고 통합상황판에 계측데이터와 관리단계를 직관적으로 표출하여야 한다.

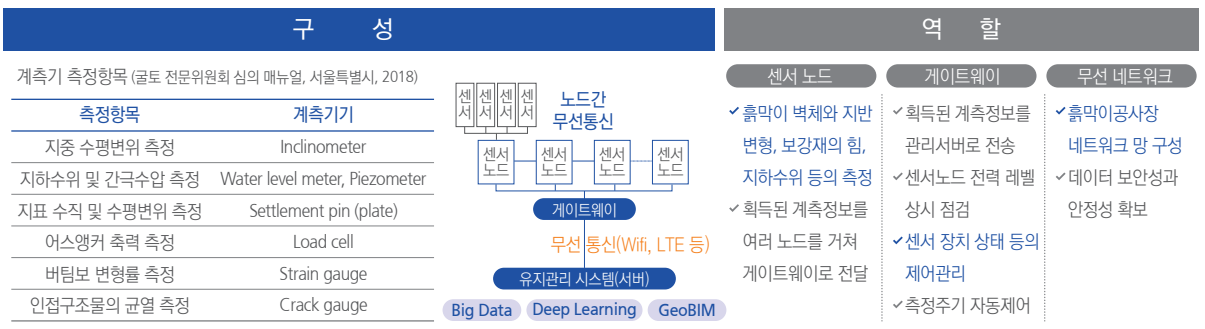


그림 4 | 스마트계측 관리기술의 구성과 역할

공사장 안전 확보를 위한 계측관리 제도 개선(안) 마련

현행 지하훅막이 계측관리기술을 고도화하고 계측 품질 향상 및 공사장 안전 피해를 최소화하기 위해 「서울시 조례」와 서울시의 지하훅막이 공사 계측관리 기준의 개선(안)을 제시하였다.

첫째, 스마트계측 관리기술 도입을 위한 관련 규정(안) 제시

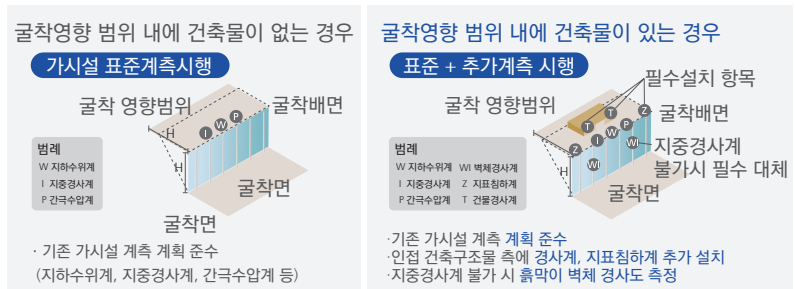
현행 「서울시 조례」에는 훅막이 계측관리에 관한 규정이 부재한 실정이므로, 새로운 스마트계측 관리기술 도입을 위한 관련 규정(안)을 표 1과 같이 제시하였다. 스마트계측을 원칙으로 하되 일부 현장의 경우 수동계측의 예외를 인정하며, 각각의 예외 인정 범위에 대한 구체적인 설명을 제시하여 제13조(훅막이 계측관리)를 신설하고 해당 용어의 정의를 제2조에 추가한 후 전문가 자문 과정을 거쳐 서울시 조례 개정(안)을 도출하였다.

표 1. 서울시 조례 개정(안) 주요 사항

구분	주요 개정(안) 내용
제2조 제7호 (추가)	7. “훅막이 계측관리”란 굴착공사 시 훅막이 벽체의 조사, 설계 및 시공에서 발생하는 오차나 설계, 시공의 오류를 보완하기 위하여 기구를 활용하여 구조물, 지반 및 지하수 등의 거동을 측정하는 행위를 말한다.
제2조 제8호 (추가)	8. “스마트계측”이란 데이터 수집 편의성 및 안정성을 향상시키기 위해 혁신적인 기술(빅데이터, 사물인터넷, 무선센서 네트워크 등)을 융합한 스마트 기술로서 센싱 기능 이외에 통신, 데이터 처리, 의사결정기능 등 두 가지 이상의 기능을 통합한 계측 기법을 말한다.
제13조 (신설)	제13조(훅막이 계측관리) ① 훅막이 계측관리는 스마트계측을 원칙으로 한다. ② 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우에는 수동계측으로 할 수 있다. 1. 최대 지하굴착깊이가 10.0 m 미만 또는 지하 2층 미만인 경우 2. 공사기간이 3개월 이내인 단기 공사의 경우(최대 지하굴착깊이가 10.0 m 이상 또는 지하 2층 이상인 경우는 제외) 3. 굴착지역의 경계에서 굴착깊이의 4배 이내의 거리에 시설물이 존재하지 않는 경우 4. 계측인원 상주로 계측관리를 시행하는 경우

둘째, 지하훅막이 공사현장의 계측 관리 대책방안 제시

소규모 굴착 현장으로 분류되어 굴토심의 또는 지하 안전 영향평가 대상에서 제외 되는 지하훅막이 공사 현장의 계측관리 대책방안을 그림 5와 같이 제시 하였다.



셋째, 계측기 설치간격(위치)에 대한 제도 개선 방안 제시

그림 5 | 굴토심의 제외 소규모 공사현장의 계측관리 대책(안)

현재 서울시의 훅막이 가시설 관련 계측관리 매뉴얼은 도시기반시설본부와 주택건축본부에서 수립한 「서울지하철 계측관리 요령 개선」과 「서울특별시 굴토 전문위원회 심의 매뉴얼」이 있지만, 계측기 설치간격(위치)에 대해서는 일관된 기준이 필요하다. 사고사례 분석을 통해 계측기 설치간격(위치)에 대해서 제도 개선 방안을 제시하였다(표 2).

스마트계측 관리기술의 도입방안과 계측관리 제도 개선(안)을 통해 이 기술을 도입할 수 있는 명확한 법적 근거를 마련하여 공사현장과 서울 시민의 안전 확보에 큰 도움이 될 것으로 기대한다.

표 2. 계측기 설치간격 개선(안)

구분	지중경사계 ¹⁾	지표침하계 ²⁾	건물경사계 ³⁾	응력계 ⁴⁾	하중계	지하수위계 ¹⁾
현재 기준	0~50 m	0~50 m	-	0~50 m	0~50 m	0~50 m
개선(안)	각 면 배치	0~50 m (4면 이상)	0~50 m (4면 이상)	-	0~50 m	0~50 m
취약부 배치	· 우각부 우선 배치 · 굴착벽체 변경구간 필수 배치	· 굴착배면 필수 배치	· 배면구조물 필수 배치	· 각 단 설치 · 우각부 우선 배치	· 우각부 우선 배치	

주 1) 굴착면마다 지중경사계, 지하수위계 포함

2) 현재 계측 설계 및 시행에 있어, 지표침하계가 누락되는 경우가 많아 주의 필요

3) 현장여건에 따라 굴착영향거리 이내의 배면구조물에 필수 배치 필요

4) 전체 버팀보 설치 권장