

## 가설공사 안전관리를 위한 무선계측 시스템 적용

### Application of Wireless Measurement System for Safety Management of Temporary Substructures

인 치 훈\*      임 흥 철\*\*      이 근 우\*\*\*

In, Chi-Hun   Rhim, Hong-Chul   Lee, Kun-Woo

#### Abstract

This study deals with the application of USN wireless inclinometer sensor for earth retaining structure safety measurement. The application of wireless inclinometer sensor has great advantage about real-time monitoring of earth retaining structure. It allows a construction manager to monitor movement data from anywhere connected through internet during the process of excavation for substructures of buildings. To validate the applicability of the wireless inclinometer sensor, laboratory and field tests have been performed. The results have shown that the measured values of wireless inclinometer sensor represent the behavior of H-pile well. Both convenience of sensor installation and real-time monitoring of earth retaining structure are confirmed. The proposed wireless measurement system provides a good basis for exact measurement of temporary substructures. More measurements and application are expected for the other excavation sites with various conditions.

키 워 드 : USN, 무선 경사계, 흠막이 벽, 실시간 모니터링

Keywords : Ubiquitous Sensor Network, Wireless Inclinometer Sensor, Earth Retaining Structure, Real-Time Monitoring,

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

최근 도심지에서의 지하공사는 효율적인 대지 이용을 위해 점차 대형화, 대심도화 되어 가고 있다. 지하 공사는 전체공사비, 공사기간 측면에서 차지하는 비율이 매우 큰 공종이라 할 수 있고(김재엽, 강경인, 2001), 안전사고 발생 시 인적, 물적 손실을 초래하기 때문에 설계 및 관리의 중요성이 강조된다. 지하 공사 중 흠막이는 굴착을 안전하게 하기 위한 수단으로 충분한 강도와 강성을 가져 작용하중에 견딜 수 있도록 설계되어야 하는 요소이다(오정환, 2004). 흠막이 공법은 선정과 설계 단계에서 여러 조건을 고려하여 안전하게 시공되어야 하는 항목이나, 불확실한 정보를 토대로 선정 및 설계가 이루어지는 경우도 발생한다(김재엽 외 2인, 2002; 김재엽 외 2인, 2006).

이러한 조사, 설계, 시공 시에 부득이하게 발생하는 오차나 설계, 시공상의 오류를 보완하기 위해 하는 것이 현장 계측이다.

현장 계측 기기로는 지하수위계, 하중계, 변위계, 지중경사계, 건물경사계, 지표침하계 등이 있으며, 이 중 지중경사

계는 흠막이 벽의 거동과 가장 직접적인 관련이 있는 계측 기기이다. 그러나, 기존 지중경사계는 매 계측시마다 측정자가 직접 계측하는 추가비용이 발생하고, 계측결과 보고서의 지연(김민석 외 4인, 2001)으로 인해 즉각적인 대응이 어려운 점 등의 개선 사항을 갖고 있다. 따라서 본 연구에서는 직접적인 거동 확인 및 실시간 모니터링이 가능한 Ubiquitous Sensor Network (USN) 무선경사계를 흠막이 계측에 적용하고 실험실 및 현장 계측값 분석을 통해 실제 흠막이 안전 계측에 있어서 USN 무선경사계 센서의 적용 가능성을 확인하고자 한다.

### 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 흠막이 벽 안전 계측에 있어서의 USN 무선경사계 센서 적용성을 실험실 및 현장 적용을 통해 검증하였다. 연구의 범위로는 실험실에 제작된 간단한 철골 라멘 구조체와 굴착 공사가 진행 중인 현장의 업지말뚝식 흠막이벽에 있어서의 센서 적용을 연구대상으로 하였다. 연구 방법으로는 무선경사계 센서를 실험실에 2개소 설치하여 횡하중 재하 시 기둥의 거동, 현장에 5개소 설치하여 흠막이 벽의 거동을 실시간 모니터링하고 그 계측값을 분석하였다.

\* 연세대학교 건축공학과 첨단구조연구실 석사과정, 정희원

\*\* 연세대학교 건축공학과 교수, 정희원

\*\*\* 경북대학교 건축과 교수, 정희원

## 2. USN 무선 경사계 센서

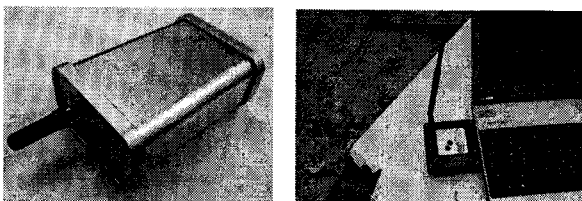
### 2.1 USN 무선 센서

건축 구조물등의 유지관리를 위하여 무선 계측기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 무선계측(USN)은 무선계측에 의존하는 기존의 모니터링 기술에 비하여 설치의 용이성 뿐만 아니라 유지관리가 편리하다는 장점을 가지고 있다. 현재는 기초적인 연구뿐 아니라 상업화를 위한 여러 가지 종류의 무선센서가 개발 및 적용되었으며(Lynch et al, 2005; Lynch and Kenneth, 2006), 실험실 또는 현장 적용을 위한 많은 연구가 진행 중이다(한재구, 김균태, 2007). 특히 가속도계와 스트레인 센서는 토목 구조물의 Structural Health Monitoring (SHM)을 위하여 여러 분야에 응용 되었다(장기태 외 2인, 2003).

본 연구에서는 USN을 지하구조물, 특히 흙막이 벽체의 안전성 모니터링에 적용하기 위한 센서의 특성과 설치 가능성에 대하여 검토를 하여 보았다. 지하구조임으로 인하여 가지는 특성과 기존 센서와의 차별적 특성이 주요 검토 항목이 될 것이다.

### 2.2 USN 무선 경사계 센서의 개요

현장에 적용된 USN은 한국유지관리의 무선 센서 모듈을 사용하였다. 이 장비는 경사계 센서를 내장하고 있으면서 측정 데이터를 무선으로 실시간으로 전송하는 기능을 가진다. 전송된 데이터는 무선 데이터 로거를 통하여 기록된다. 무선 경사계 시스템의 그림과 사양은 각각 그림 1, 표 1과 같다.



a) USN 무선경사계                      b) 무선데이터 로거

그림 1. USN 무선경사계와 데이터 로거

표 1. 무선 센서 모듈 사양

Category	Specification
Sensor	SCA61T
Range	±30 도
Resolution	0.035 도
Frequency	2.4 GHz
Distance	Max. 200 M
Mechanical Shock	20,000 g
Battery	2 ea(LR6)

무선 센서 모듈에 적용된 경사계는 Silicon Capacitor를 이용한 MEMS센서를 사용한 것으로서 안정적인 데이터 값을 얻을 수 있고 충격에 강하다는 특징을 가지고 있다. 무선 경사계 시스템은 별도의 전선이 필요하지 않아 설치가 용이하며 유지, 관리가 편리하다는 특징을 가지고 있다.

## 3. 가설공사 계측 시스템

### 3.1 흙막이 안전 계측 동향

흙막이의 안정성을 위하여 여러 가지 계측 기기들이 표 2와 같이 사용되고 있다. 현재는 인터넷 및 Personal Digital Assistant (PDA)를 활용하여 다양한 계측기기의 계측값을 통합하여 관리하는 계측시스템이 제시된 바 있고(이웅균 외 3인, 2004; 김범기 외 4인, 2005), 흙막이 변위량 예측에 인공신경망 기법을 활용(신한우 외 2인, 2007)하는 등 흙막이 안전 관리를 위한 많은 연구가 진행 중이다.

표 2. 안전 계측 기기

종류	용도
지중경사계	인접지반 수평 변위량 측정
층별침하계	인접지층의 각 지층별 침하량 파악
지하수위계	지하수위 변화 측정
지표침하계	지표면의 침하량 변화 측정
토 압 계	토압 변화를 측정하여 부재의 안정상태 분석
하 중 계	스트럿, 어스앵커등의 하중 변화상태 측정
변형률계	구조물의 부재와 인근 구조물의 응력 측정

### 3.2 기존 계측 시스템의 개선 필요점

기존의 지중경사계는 흙막이 벽 배면에 경사계 케이싱을 설치한 뒤 케이싱 안에 Probe를 삽입하여 그림 2와 같이 측정자가 직접 수동으로 측정을 해야 했다. 이는 측정의 번거로움과 함께 인력 측정으로 인한 오차발생의 우려가 있다. 그리고 초기 설치비용은 저렴하나 장기적으로는 유지비용이 높게 든다는 단점이 있다. 또한 실시간 측정이 불가능하여 1~2주 사이에 1회 정도 측정을 하는 관계로 그 사이에 이상이 생길 경우에 문제점이 크다고 할 수 있겠다. 최근에 지하 흙막이 구조물 붕괴사고에서도 측정기간 사이에 문제가 발생하였다는 보고가 있었다. 즉, 간헐적인 측정이 아닌, 실시간 모니터링이 가능하고 현장적용이 용이한 USN 모니터링은 흙막이 안전 계측에 있어서 유용한 측정 방법이 될 것이다.



그림 2. 지중 경사계 장비와 측정 모습

## 4. USN 무선 경사계 센서 적용

### 4.1 적용가능성 실험

USN 무선 경사계 센서의 흠막이 벽 안전계측 적용 가능성을 테스트하기 위해 양쪽 가동은 H-pile (H 150×150×7/10), 보는 H-pile (H 194×50×6/9)로 구성된 철골 라멘 구조체를 그림 3과 같이 실험실 내에 제작하였다. 구조체의 높이는 1544mm이며 무선경사계 센서 1은 1176mm 높이 (위치 A)에, 센서 2는 581mm 높이 (위치 B)에 설치하였다. 실제 H-pile과 토류판 공법에 적용하듯이 구조체의 좌측 H-pile에 받침대를 용접하여 센서를 설치하였으며, 무선경사계 센서 계측값의 변위 비교를 위해 LVDT를 동일한 위치에 각각 설치하였다.

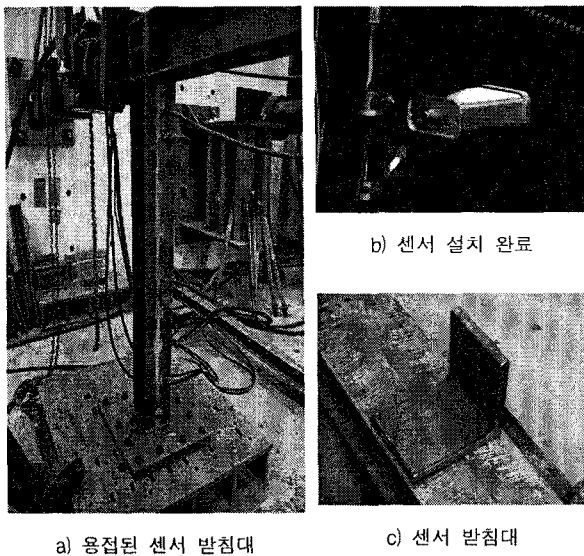


그림 3. 실험실용 구조물과 센서

실험은 구조체의 좌측 상단에 횡하중을 가해 센서를 설치한 H-pile의 거동을 그림 4와 같이 실시간으로 모니터링하고, 계측값을 동일 위치의 LVDT 값과 비교함으로써 그 값의 유효성 분석을 실시하였다. A 위치와 B 위치에서의 무선경사계와 LVDT값을 비교 분석한 결과는 표 3과 같다. 두 센서의 계측값 오차는 A 위치에서 11.33%, B 위치에서 4.87%이지만 실제 계측값의 차이는 0.48mm, 0.11mm의 작은 값으로 계측값의 결과가 유효함을 확인할 수 있다.

표 3. 무선경사계와 LVDT 계측값 비교 분석

	A 위치 (단위)	B 위치 (단위)
무선경사계	4.29 (mm)	2.20 (mm)
LVDT	4.77 (mm)	2.31 (mm)
오차율	11.33 (%)	4.87 (%)

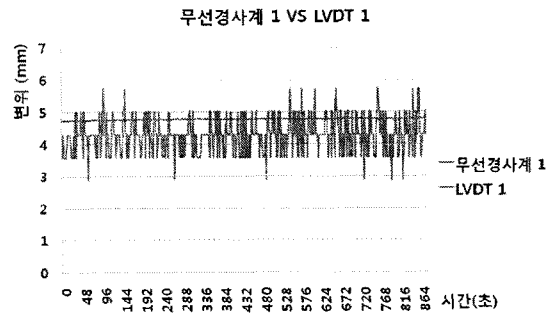


그림 4. 무선경사계 1과 LVDT 1 변위 그래프

### 4.2 현장 적용

실제 흠막이 벽의 거동을 측정하기 위해 그림 5와 같이 무선경사계 센서를 현장에 설치하였다. 센서간의 송수신 상태 점검을 위한 센서 2개 (#1, #5), 기존 지중경사계의 전면 H-pile에 설치한 센서 3개 (#2, #3, #4)로 총 5개의 센서를 설치하였다. 이 중 송수신 상태 점검을 위한 센서는 H-pile에 각각 1개씩 설치하였으며, 기존 지중경사계의 전면 H-pile에 설치한 3개의 센서는 1개의 H-pile에 모두 설치하였다.

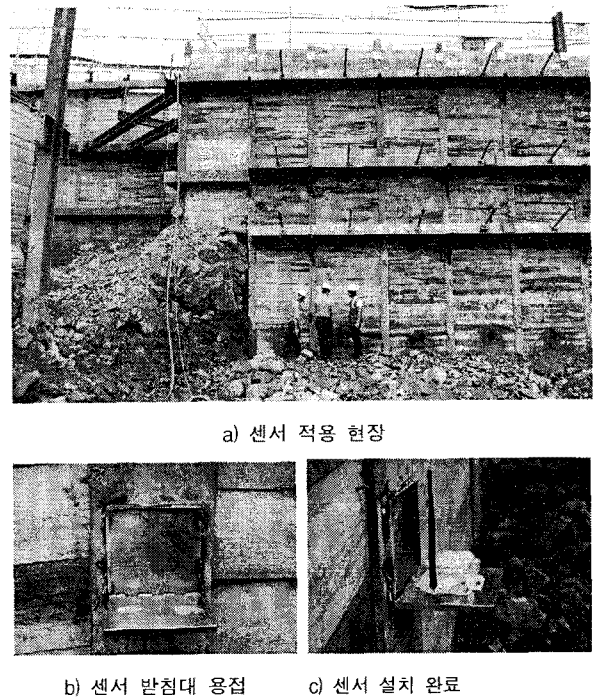


그림 5. 현장 적용

센서의 설치에 센서 받침대를 H-pile에 용접한 다음 센서를 설치, 이후의 충격으로 인한 센서의 움직임을 제한하기 위해 덮개로 고정 시켰다. 센서 설치 후 현장 사무실의 무선 데이터 로거 및 노트북을 통해 흠막이 거동을 실시간으로 모니터링 하였고 그 결과는 그림 6과 같다.

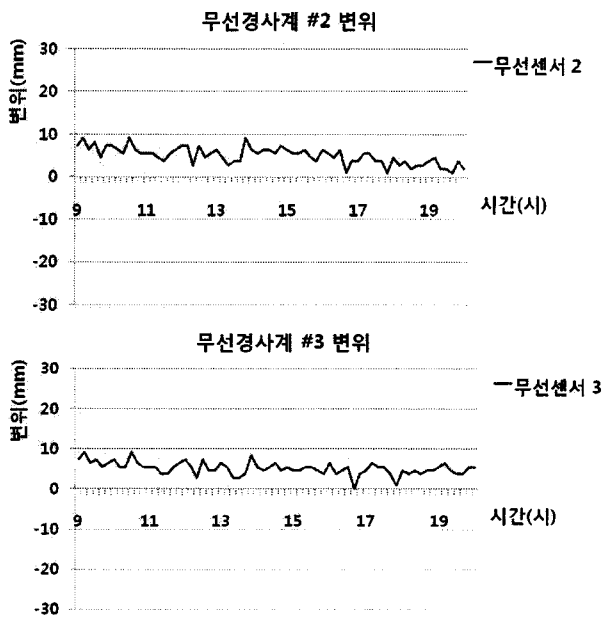


그림 6. 무선경사계 계측 결과

실시간 모니터링을 통해 24시간 흠막이 벽의 거동을 확인할 수 있었으며, 흠막이 벽이 동적으로 거동하고 있음을 확인하였다.

## 5. 결 론

지하 공사 안전 계측에 있어서 기존의 지중 경사계는 측정 당시의 계측값만을 알 수 있고, 계측 보고서의 확인이 지연되는 등의 개선사항을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 흠막이 벽의 동적 움직임을 실시간 모니터링 할 수 있는 방법으로 USN 무선 경사계 시스템을 제시하였다.

실험실 내 구조체에 적용한 무선경사계 센서와 LVDT 값을 분석해 보면, A 위치에서의 측정값이 각각 4.29 mm와 4.77 mm, B 위치에서의 측정값이 2.20 mm와 2.31 mm로 구조체의 거동 파악에 센서의 적용이 유효함을 확인할 수 있다. 또한 현장에 적용한 센서를 통해 흠막이 벽을 24시간 모니터링 했으며, 흠막이 벽이 동적으로 거동하고 있음을 확인 하였다. 실험실에서의 측정값 유효성 분석과 현장 적용을 통한 계측값 확인을 통해 흠막이벽 안전 계측에 있어서 USN 무선경사계 센서 적용은 가능하리라 판단된다.

본 연구에서 제시한 가설 공사 안전관리를 위한 무선 계측 시스템의 적용은 실시간 모니터링, 흠막이 벽의 직접적인 거동 계측, 설치 완료후의 유지관리 간편성 등의 효과가 있을 것으로 판단된다. 향후, 무선 경사계의 다양한 현장 적용을 통한 지속적인 연구가 이루어진다면 좀 더 유효한 무선 계측 시스템을 구축할 수 있으리라 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고, 한국건설교통기술평가원에서 시행한 2006년도 건설기술혁신사업 「공기단축형 복합 구조시스템 건설기술」(과제번호: 05 R&D 건설핵심 D02-01) 연구사업으로부터, 논문 작성에 일부 지원을 받았으며, 이에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. 김민석, 서장우, 박우열, 서덕석, 강경인, 지하토공사에 있어서의 건축공사 계측관리의 개선방안에 관한 연구, 대한건축학회 논문집(구조계), Vol. 17, No. 10, pp.129-135, 2001. 10
2. 김범기, 김동연, 이용균, 한병원, 강경인, 인터넷 및 PDA를 활용한 흠막이 통합계측관리시스템 구축, 대한건축학회 논문집(구조계), Vol. 21, No. 11, pp.183-190, 2005. 11
3. 김재엽, 강경인, 신경망을 이용한 흠막이 굴착공법 선정 모델에 관한 연구, 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집(구조계), Vol. 21, No. 2, pp.559-562, 2001. 10
4. 김재엽, 박우열, 강경인, 건축공사 흠막이벽체 공법의 선정을 위한 신경망시스템 개발 연구, 대한건축학회 논문집(구조계), Vol. 18, No. 10, pp.69-76, 2002. 10
5. 김재엽, 박우열, 김광희, 신경망과 사례기반추론을 이용한 흠막이공법 선정에 관한 연구, 대한건축학회 논문집(구조계), Vol. 22, No. 5, pp. 187-194, 2006. 5
6. 신한우, 김광희, 김용석, 인공신경망 기법을 활용한 굴착공사 흠막이 변위량 예측에 관한 연구, 한국건축사공학회 논문집, Vol. 7, No. 3, pp.131-137, 2007. 9
7. 오정환, 조철현, 흠막이공학, 구미서관, 2004
8. 이용균, 조호규, 김광희, 강경인, 건축공사 흠막이 계측관리를 위한 유비쿼터스 시스템 구축 방안에 관한 연구, 한국건축사공학회 학술.기술논문발표회 논문집, Vol. 4, No. 2, pp.67-70, 2004. 10
9. 장기태, 한희수, 유병선, 광섬유 센서와 지중경사계를 이용한 사면의 거동 분석, 한국지반공학회 논문집, Vol. 19, No. 6, pp.397-406, 2003. 12
10. 한재구, 김군태, USN 기술을 이용한 사면붕괴모니터링 시범시스템 개발, 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, Track 3, pp.316-321, 2007. 11
11. Lynch, J. P, Kenneth J. Loh, "A Summary Review of Wireless Sensors and Sensor Networks for structural Health Monitoring", The Shock and Vibration Digest, Vol. 38, No.2, pp. 91-128, 2006
12. Lynch, J. P., Wang, Y., Law, K. H., Yi, J-H, Lee, C. G., and Yun, C. B., "Validation of a Large Scale Wireless Structural Monitoring System on the Geumdang Bridge", In Proceedings of the International Conference on Safety and Structural Reliability (ICOSSAR), Rome, Italy, 2005.