

USN 초음파 센서를 활용한 흙막이 안전관리

Safety Management of the Retaining Wall Using USN Sonar Sensors

문 성 우*
Moon, Sungwoo

최 은 기**
Ch'oi, Eun-gi

현 지 훈***
Hyun Ji-hun

Abstract

In the construction operation, foundation work should be done in advance for the building structure to be installed. This foundation work include a number of activities such as excavation, ground water prevention, piling, wale installation, etc. Caution should be taken in the operation because the dynamics of earth movement can cause a significant failure in the temporary structure. The temporary structure, therefore, should be constantly monitored to understand its behavior. This paper introduces the USN-based monitoring system to automatically identify the behavior of the temporary structure in addition to visual inspection. The autonomous capability of the monitoring system can increase the safety in the construction operation by providing the detailed structural changes of temporary structures.

Keywords : temporary structure, monitoring, construction safety, USN, data transmission

1. 서론

1.1 배경

흙막이 공법은 일시적인 사용을 목적으로 하는 가설 시설물이라는 점에서 시공 후 준공 처리되는 본 공사 시설물에 비하여 소홀히 계획되는 경우가 있다. 뿐만 아니라 일시적으로 설치되는 가설물은 반복적으로 재사용되기 때문에 시공시 내구성이 저하될 수 있다. 또한 가설 시설물의 안전성이 이론적으로 검증되었다고 하더라도 흙막이 공사는 현장여건에 종속되며, 언제나 예측하지 못하는 변수가 생길 수 있다.

갑작스러운 시공하중의 변화나 반복된 사용에 의한 가설 시설물의 노화 등으로 인해 발생하는 가설 시설물의 변형은 구조적인 불안정으로 연결된다. 결과적으로 가설 시설물의 불안정은

구조물 시공시 다양한 분야에서의 안전에 영향을 미치게 되며, 인명사고를 동반한 붕괴사고의 위험성을 초래하게 된다.

시공시 흙막이 공사의 안전성을 높이기 위해서는 흙막이 가설 시설물의 변형을 지속적으로 관찰해야 한다. 변위를 관찰함으로써 붕괴위험을 사전에 인지하고 보강보수, 작업자 대피 등 필요한 조치를 신속하게 처리할 수 있다. 또한 원격으로 감시함으로써 위기상황에 신속하게 대응할 수 있어야 한다.

흙막이 공사에 대한 시공관리 안전성을 높이기 위하여서는 시공 상황에 대한 실시간 정보수집 능력이 필요하다 (전진구 외, 2005). USN (Ubiquitous Sensor Network) 기술은 현장 모니터링을 위한 새로운 기반을 제공한다. USN 기술을 초음파와 스트레인 게이지 등 센서와 접목시킴으로써 흙막이 벽체의 변위를 측정하고 실시간으로 모니터링할 수 있다. 기존 방식은 사람이 직접 계측장비를 사용하여 확인하거나 스트레인 게이지 등을 사

* 종신회원, 부산대학교 사회환경시스템공학부 부교수, sngmoon@pusan.ac.kr

** 일반회원, 부산대학교 사회환경시스템공학과 토목공학전공 석사과정, ceungi@gmail.com

*** 일반회원, 부산대학교 사회환경시스템공학과 토목공학전공 박사과정, civilman1@naver.com

용하여 계측하고 사람이 확인하는 방식으로 이뤄졌다. USN 기술을 접목시킴으로써 즉각적인 위험상황 발생에 대비할 수 있으며, 시공안전성을 향상시킨다.

건설시공 작업 중 발생하는 각종 문제점들을 보완하기 위하여 본 논문에서는 USN 초음파 센서를 활용한 흠막이 안전관리 방법을 제시한다. USN 기술은 신속하게 현장 데이터를 수집함으로써 원격제어가 가능하며, 다양한 센서와 접목하여 구조물의 안전성을 확보함으로써 흠막이 가시설물의 시공관리를 효과적으로 처리할 수 있다.

1.2 연구목적

본 논문에서는 USN 기술과 센서를 접목시킴으로써 흠막이 가시설의 변위를 측정하고, 현장 모니터링을 통하여 안전성을 높이는 것을 목적으로 한다 (그림 1). USN 기술을 기반으로 원격 모니터링을 함으로써 시공단계에서 안전성을 확보하고, 다양한 센서를 사용하여 변위를 계측함으로써 효과적인 가시설 관리가 가능하도록 지원한다.

또한 USN 초음파 센서를 활용한 흠막이 모니터링 시스템은 구조물의 변위를 정밀하게 계측하고, 계측된 데이터가 데이터베이스에 저장되기 때문에 처짐, 변형률 등 다양한 계측요소를 복합적으로 활용하여 유지관리 할 수 있다. 본 연구에서는 USN 초음파 센서를 활용한 흠막이 안전관리 시스템을 구축하기 위하여 초음파 센서 (Ultrasonic Sensor)와 스트레인 게이지 (Strain Gage) 등 2가지 종류 센서를 테스트 베드에 부착하고, USN을 응용한 무선 네트워크를 통하여 계측 데이터를 실시간으로 모니터링 한다.

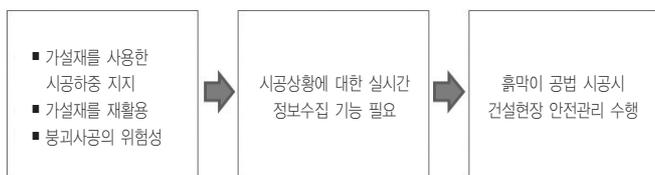


그림 1. 흠막이 안전 모니터링 시스템의 구축목표

1.3 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 USN을 이용하여 흠막이 가시설의 거동을 모니터링하고, 무선으로 데이터를 수신하는 네트워크의 프로토타입을 구축하여 거동변이 데이터를 수집한다. 본 연구 개발된 프로토타입은 USN을 이용하여 무선으로 데이터의 전송과 수신을 자유롭게 하며, 수집된 데이터를 데이터베이스에 저장하여 분석할 수 있다.

시스템 구축을 위하여 USN 보드에 초음파센서와 스트레인 게이지를 접목시켰다. 흠막이 벽체의 상단 중앙부에 초음파 센서를 설치하여 벽체변위를 파악하고, 흠막이 벽체에 스트레인 게이지를 설치하여 벽체의 움직임을 분석하였다. 각 센서에 USN 보드를 설치하여 무선 데이터 전송이 가능하도록 하였다. 무선전송을 위하여 PC에 연결하는 메인모듈과 시리얼 인터페이스를 사용했다. 프로그래밍은 시리얼 포트 인터페이스 프로그램과 시리얼 포트에서 오는 데이터를 데이터베이스에 저장하는 프로그램 모듈을 작성하였다.

2. 기존연구 및 동향

2.1 기존연구

인치훈 (2009) 외는 지하 공사 안전계측에 있어 기존의 지중 경사계는 측정 당시의 계측값 만을 알 수 있고 계측 보고서의 확인이 지연되는 등 문제점을 지적했다. 이러한 문제를 개선하기 위해서 당 연구자들은 흠막이 벽의 동적 움직임을 실시간 모니터링하기 위해서 USN 무선 경사계 시스템을 제시하였으며, 가설 공사 안전관리를 위한 무선 계측 시스템의 적용이 실시간 모니터링, 흠막이 벽의 직접적인 거동 계측, 설치 완료 후의 유지관리 간편성 등 관점에서 효과가 있음을 보여줬다. 지속적인 현장 어플리케이션은 유용한 무선 계측 시스템을 구축하는 데 적용할 수 있을 것이다.

김균태 (2009)는 건축공사현장 안전관리에 USN 기술의 접목 가능성을 검토하고, 안전관리 모니터링을 위한 USN기술 적용 방안을 도출하였다. 기존 건설공사현장의 안전관리와 관련한 재해율을 분석하고, 건설공사현장의 재해특성을 파악하여 건설현장 안전관리 모니터링의 중점관리요소와 차순위 관리요소들을 도출하였다. 결론적으로 당 연구자는 USN기술을 적용한 건축공사현장 안전관리 모니터링 시스템의 구성과 모니터링 시스템의 흐름을 제시하였다.

정승우 (2011) 외는 건설현장에서 계측관리를 대상으로 USN 기술을 적용하기 위해 현장에서 계측업무를 수행 시 어떠한 요소들을 고려하는지 경제성, 시공성, 안정성 등 3가지 기준을 설정하여 각 기준별로 어떠한 요소들을 고려하는지 AHP분석 방법을 활용하여 각 요소들의 중요도 산정을 통해 정량적인 지표를 도출하고 각 요소의 우선순위를 평가하였다. 향후 건설현장의 계측관리 업무에 USN기술을 도입하기 위한 전략을 수립하는데 있어 USN기술을 어느 부위에 먼저 도입을 해야 하고, 경제성, 시공성, 안정성을 기준으로 어떠한 요소를 먼저 고려해야 하는지 판단의 기준을 제시하였다.

류정필 (2007) 등은 인식거리를 보다 길게 하는 900MHz 대역의 RFID 시스템과 인식된 데이터를 무선 통신(Zigbee)을 사용하여 전달하는 RFID/USN 연동시스템 개발과 그 활용 방안을 제안하였다. RFID/USN 연동 시스템을 건설현장의 자재관리에 시험적으로 적용, 실증 테스트를 수행함으로써 첨단 센싱 기술 및 전파식별 기술에 대한 현장 활용 가능 여부, 실증 테스트 시 발생하는 기술적 애로 사항 및 다양한 활용 방안을 도출하였다. 또한, 원격지에 있는 현장 관리자를 위하여 기존 인프라네트워크를 이용하여 실시간 자재 및 장비의 위치 데이터를 관리자가 원할 경우 언제 어디서든 실시간으로 전달 가능하도록 이동통신망(CDMA: Code Division Multiple Access)과의 연동 시스템을 현장에서 적용하였다.

2.2 동향

흙막이 공사의 안정성을 위하여 여러 계측기기가 사용되고 있다. 현재는 인터넷 및 PDA를 활용하여 다양한 계측기기의 계측값을 통합하여 관리하는 계측시스템이 제시되고 있고, 흙막이 변위량 예측에 인공지능망 기법을 활용하는 등 흙막이 안전관리를 위한 많은 연구가 진행 중이다.

표 1. 안전계측기기

종류	용도
지중경사계	인접지반 수평 변위량 측정
층별침하계	인접지층의 각 지층별 침하량 파악
지하수위계	지하수위 변화 측정
지표침하계	지표면의 침하량 변화 측정
토압계	토압 변화를 측정하여 부재의 안정상태 분석
하중계	스트럿, 어스앵커 등의 하중 변화 상태 측정
변형률계	구조물의 부재와 인근 구조물의 응력 측정

기존의 안전계측기기들은 주로 흙막이 벽의 직접적인 변위를 측정하기보다는 인접한 지역의 변위를 간접적으로 측정하는 방식으로 흙막이 벽의 거동을 예측하고 있다. 이는 측정의 번거로움과 함께 인력 측정으로 인한 오차발생의 우려가 크다. 그리고 초기설치비용은 저렴하나 장기적으로 인건비에 대한 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 안전관리에 있어서 유용한 측정 방법이 될 것이다.

3. 흙막이 사고사례

흙막이 공사는 지하철, 빌딩, 교량 등 구조물의 작업공간을 제공하기 위해서 시공되며, 지하수에 의한 수압, 지반교란 등으로 사고가 발생되기 쉽다 (그림 2).

흙막이 배면 배수로 정비작업 중 발생한 흙막이 지보공 붕괴 사고는 흙막이 벽체 상단부에서 공동부 채움 및 배수로 정비사업 중 흙막이 벽체가 배면토압의 하중을 견디지 못하고 붕괴되면서 피해자 1명은 토사에 매몰되어 사망하고, 1명은 토사 위에서 미끄러지면서 부상당한 재해이다.

터파기 현장에서 일어난 흙막이 벽체 붕괴사고는 지하 5층까지 1,000m²가량의 터파기를 진행하던 중 4개 면의 H-Beam들이 한꺼번에 넘어지며 흙더미가 바닥으로 쏟아지면서 굴삭기 기사가 매몰되어 사망했다. 사고원인으로는 강우로 인한 지반약화와 부실공사로 인하여 H-Beam이 하중을 이기지 못한 것이다. 공사 시작 후 도로가 주저앉거나 갈라지는 등 여러 징후가 나타났으나 이에 대한 적절한 조치를 취하지 않았다.

흙막이 벽체 붕괴사고는 22m 깊이의 지반 굴착공사를 진행하던 중 어스앵커 지지형식의 흙막이 벽체가 붕괴되면서, 인근에 설치된 철골작업대가 붕괴되어 철골작업대 상·하부에서 작업중이던 근로자 3명이 사망하고 13명이 부상한 재해이다.

사고 원인으로는 상수도관의 파열과 강우에 의한 지반토의 토압 가중, 그리고 복공판과 H-Beam의 연결로 인하여 상차작업이나 중기의 이동시 발생하는 진동이 인장력을 확보하고 있는 H-Beam이나 피장에 영향을 가져 왔다. 이 사고 역시 사전에 이상한 소음으로 인하여 붕괴조짐을 보이고 있었고, 시공사 측에서도 이와 관련하여 사고 발생 3일전 경사도 계측 작업을 시행하였으나 별 문제가 없다가 사고 발생 당일 아침 재해가 발생한 사례이다.



그림 2. 지반굴착공사 중 흙막이 벽체 붕괴

4. 센서모듈 개발

4.1 USN 구성

USN은 센서를 네트워크 형태로 구성한 것을 의미한다. USN은 어느 곳에나 부착된 태그와 센서노드로부터 사물 및 환경 정보를 감지, 저장, 가공, 통합하고 상황인식 정보 및 지식 콘텐츠 생성을 통하여 언제, 어디서, 누구나 원하는 맞춤형 지식 서비스를 자유로이 이용할 수 있는 첨단 지능형 사회의 기반 인프라이다. 사람의 접근이 어려운 취약지구나 위험지역에 설치된 여러 개의 센서 노드를 이용하여 현재 상황의 모니터링을 하는 기술을 제공하며, 사람이 접근하기 어려운 지역의 상황을 효과적으로 감시할 수 있도록 한다. USN 기술을 적용하여 감시가 필요한 곳에 센서를 부착함으로써 감시대상의 온도, 압력, 오염, 균열 등 각종 환경정보를 수집할 수 있다. 그리고 수집된 데이터는 데이터베이스에 저장하여 데이터 비교 및 분석을 통하여 효과적으로 활용할 수 있다 (그림 3).

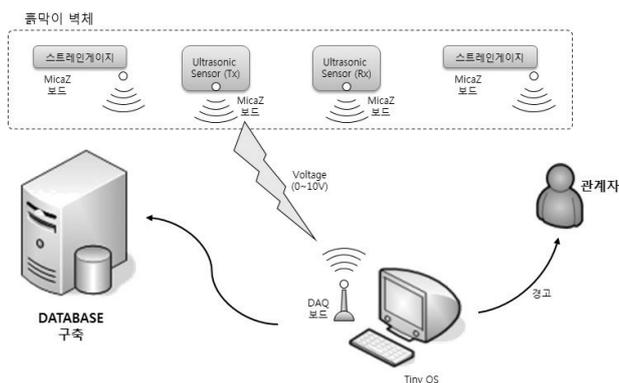


그림 3. USN 구성도

USN 기술은 센서 등을 통하여 얻은 사물 및 공간정보를 다양한 통신 및 네트워킹 기술들에 의하여 효율적으로 관리하고, 광대역 통합망 (BcN)을 기반으로 USN 미들웨어 플랫폼으로 제공한다. USN의 구성요소는 첫째, 주변 환경의 물리적 현상을 정량적으로 측정하는 소자인 센서, 둘째, 센싱정보 또는 이벤트를 무선통신기술 기반으로 전송하거나 컴퓨팅을 수행하는 장치인 센서 노드 (센서, 프로세서, 무선통신소자, 초소형 OS, 전원), 셋째, 센싱정보를 취합하거나 게이트웨이와 연동하여 USN 외부로 전달하는 장치인 싱크노드, 그리고 넷째 IP 기반의 네트워크를 통하여 USN 서비스를 제공할 수 있도록 센서 네트워크를 연동하는 장치인 USN 게이트웨이로 구성된다. 그리고 센서 네트워크를 형성하는 다수의 센서 노드들과 네트워킹 기술, 미들웨어 기술을 포함한다.

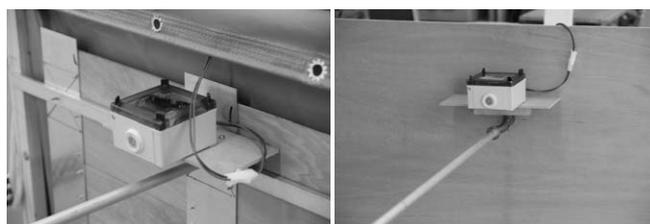
테스트 베드에 설치된 각각의 센서에서 측정된 데이터는 센서 보드를 통하여 데이터 수집보드에 무선으로 전송한다. 수집된 데이터는 TinyOS로 업로드된 시리얼 포트 인터페이스 프로그램을 통하여 사용자 화면에 출력되고, 각 센서별로 계측된 데이터를 저장하여 활용한다.

4.2 초음파 센서 (Ultrasonic Sensor)

4.2.1 초음파 센서 모듈

초음파 센서는 대표적인 레인지 파인더용 센서로서 기본적으로 송신부와 수신부가 같이 존재하는 형태이다. 압전 소자를 사용한 송파기의 진동자로부터 발진된 초음파의 에코가 대상에 반사되어 수파기에 도달할 때까지 소요시간으로 거리를 측정한다. 본 연구에서 적용한 초음파 센서는 송수신 일체형 초음파 센서에서 발생할 수 있는 계측값 오류를 보완하고 측정거리 한계를 확장하기 위하여 송신부와 수신부를 별도로 하는 분리형(대향형)으로 개조했다.

초음파 센서는 수신부 측 모듈에서 펄스를 카운팅한 횟수이기 때문에 Wheatstone Bridge 등 트랜스듀서 (Transducer)를 이용하여 타 종류의 값으로 변환해 줄 필요가 없으며, 초음파 센서로부터 측정된 데이터는 실시간으로 인터페이스 보드 (Interface Board)를 거쳐서 센서보드를 통하여 무선으로 전송되어 데이터베이스에 저장된다. 본 연구에서 거리측정에 사용한 초음파 센서는 송신부에서 송신한 음파가 수신부에 돌아올 때까지의 시간을 측정하여 그 시간에 음파의 시간당 이동 거리를 곱하여 거리를 산정했다.



(a) 송파기 (Transmitter)

(b) 수파기 (Receiver)

그림 4. 분리형 초음파 센서

4.2.2 초음파 센서 변위 측정

초음파 센서는 공기 중 음파를 이용하여 거리를 검출한다. 공기 중의 진동을 이용하여 장애물을 검출하고 거리를 계속하므로 비가 오는 경우에도 동작 성능에 영향을 거의 받지 않고, 안개가 끼어 있는 경우와 먼지가 많이 발생하는 환경에서도 안정적으로 거리검출이 가능하다. 또한 시속 40km/h이하 바람에서는 영향

을 거의 받지 않으므로 환경에 대하여 매우 안정적이다.

초음파 센서는 송신부와 수신부의 위치와 방향에 따라 다양한 오차가 생길 수 있다. 초음파 센서가 데이터를 수신할 수 있는 방사각은 약 60°이며, 이 방사각은 송신부와 수신부의 거리가 증가할수록 방사각에 의한 초음파 센서의 수신범위는 증가한다. 그리고 송신부의 위치를 포함한 모든 방사각 범위 안에 있는 요소들이 오차의 원인이 될 수 있다. 본 연구에서는 초음파 센서의 정확한 변위 측정 오차를 구하기 위하여 레이저 거리측정기를 이용하여 미리 측정된 거리를 초음파 센서를 이용하여 측정했다(그림 5).



그림 5. 초음파 센서 변위 측정 검증

실제 거리와 초음파 센서를 이용하여 측정된 거리는 1% 미만의 오차를 가지고 있다(표 2). 이와 같은 측정오차는 User Interface 자체에 포함시킨 Off-Set 기능을 통하여 보정이 가능한 범위이다.

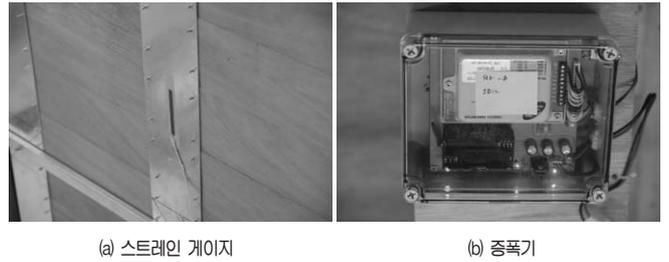
표 2. 초음파 센서 변위 측정 오차율

실거리 (mm)	Ultrasonic Sensor(mm)	오차율(%)
501	505.2	0.83
991.5	1000.8	0.93
1493	1501.2	0.55
2013	2000.9	-0.6
2497	2501.3	0.17

4.3 스트레인 게이지 (Strain Gage)

4.3.1 스트레인 게이지 센서 모듈

스트레인 게이지 센서는 압력 센서, 부하 셀, 토크 센서, 위치 센서 등과 같은 다양한 종류의 센서에서 요구되는 필수적인 센싱 요소이다. 스트레인 게이지 센서의 데이터 측정 원리는 스트레인 게이지의 길이와 저항과의 관계를 응용한다(그림 6).



(a) 스트레인 게이지

(b) 증폭기

그림 6. USN 모듈 및 증폭기

5. 흠막이 변위분석

5.1 테스트 베드 구축

국토해양부 제정 “구조물 기초설계기준”에서는 설계시 고려하지 못한 불확실성과 제한사항 및 시공 시 발생하는 변화 등 원인에서 발생하는 변동사항을 파악하여 가시철의 안정성을 확인하도록 하고 있으며, 이를 달성하기 위하여 적절한 계측 및 분석 계획을 수립하여야 한다고 명시되어 있다.

본 테스트 베드 적용 실험에서는 시공시 발생 가능한 흠막이 벽체의 거동상태를 가정하여 테스트 베드에 센서를 설치하고 측압을 가하여 변위를 계측하였다. 설치된 센서를 통하여 흠막이 벽체에 전달된 측압으로 인한 벽체의 변위와 변형률 등 구조물의 변위를 계측하여 모니터링 함으로써 USN 기반의 흠막이 변위분석의 적용성을 검토하였다.

5.1.1 테스트 베드 모형 제작

테스트 베드는 USN 기반의 초음파 센서를 활용한 흠막이 변위분석을 하기 위하여 흠막이 벽체를 단순화한 모형으로 설계하였다. 흠막이 벽체 배면의 침하나 토사유출로 인한 변위에 대한 요인은 무시하고, 배면에 가해지는 측압만을 고려하여 적용하였다. 배면에 가해지는 측압은 수조를 이용하여 수압으로 대체하



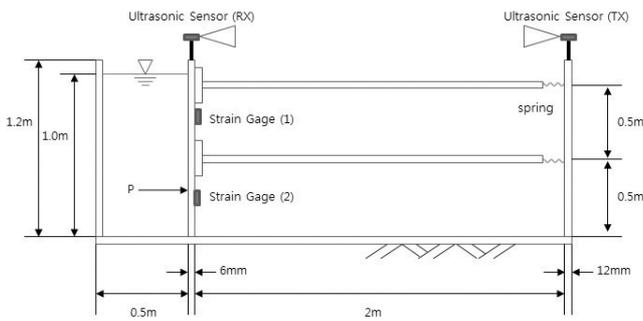
그림 7. 테스트 베드 모형 제작

였다. 배면의 수조는 높이 1,200mm, 너비 1,000mm, 폭 500mm로 두께 12mm의 합판으로 제작하고, 수조 내부는 방수포를 이용하여 처리했다 (그림 7).

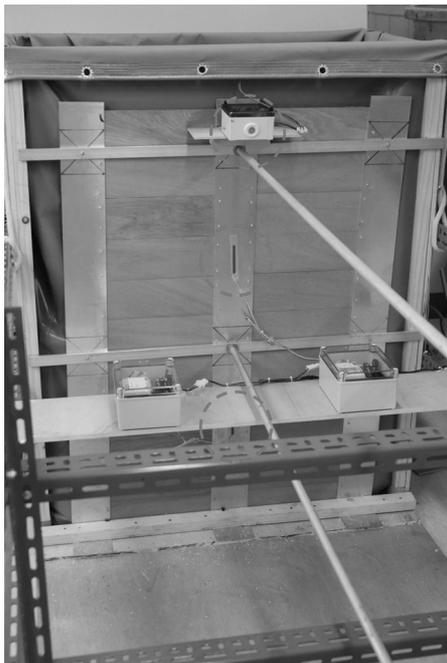
엄지말뚝은 수평 하중이 가해졌을 때 변위를 충분히 나타내기 위하여 알루미늄 판재 (1,100mm×100mm×2mm)를 사용하여 제작하였다. 토류판은 합판 (100mm×300mm×6mm)을 사용하여 제작하였으며, 피장은 알루미늄 각재 (10mm×25mm×1,000mm)를 사용하였다. 버팀보는 엄지말뚝의 변위가 생성되지 않을 경우를 고려하여 알루미늄 봉재 (16mm Φ ×1,800mm)와 끝단에 용수철을 사용하여 제작하였다.

5.1.2 계측데이터 획득을 위한 센서 설치

각 센서는 시공현장에서 발생하는 구조물의 붕괴사고를 분석하여 흙막이 벽체의 변위가 가장 쉽게 발생 될 것으로 예상되는 위치를 결정하여 설치하였다 (그림 8).



(a) 센서 설치 위치 결정



(b) USN 센서 설치

그림 8. 테스트 베드의 센서 설치

테스트 베드에 설치된 각 센서 위치와 기능은 다음과 같다. 첫째 초음파 센서는 시공현장의 계측위치를 고려하여 엄지말뚝 최상단에 부착하여, 흙막이 벽체의 거동을 실시간으로 측정한다. 둘째 스트레인 게이지는 엄지말뚝의 바닥으로부터 각각 330mm와 670mm에 설치하여 측압이 가해지는 경우 엄지말뚝의 변형률을 측정한다.

5.2 수평 하중에 따른 변위측정

테스트 베드는 수평하중만 받는 것으로 가정했으며, 수평 하중으로 인한 엄지말뚝과 토류판의 변위가 잘 나타나도록 설계하였다. 수압을 이용하여 수평하중을 가하였으며, 수평하중으로 인한 변위를 초음파 센서와 스트레인 게이지를 이용하여 측정하였다. 수평 하중은 수조에 물을 채워가면서 하중을 가하였고, 벽체의 변위가 충분히 나타날 때까지 하중을 늘렸다 (그림 9).



그림 9. 하중 재하 실험

5.2.1 계측 데이터 처리방법

테스트 베드 실험에서 센싱을 통한 계측값들은 사용자 화면을 통하여 출력되며, 출력된 계측값으로 테스트 베드의 변위에 대한 모니터링이 가능하도록 했다. 본 연구에 적용한 사용자 화면은 저장된 계측데이터를 읽어 들이는 주기를 조정하여 데이터의 전송주기를 설정하며, 출력되는 데이터가 갱신되는 시각을 조회하여 데이터가 갱신되지 않으면 센서 노드의 연결이 끊겼음을 나타내도록 하였다.

테스트 베드 실험에서 3개의 센서는 전압 (voltage) 값으로 변위를 계측하여 데이터 수집보드로 전송한다. 사용자 화면에서는 전압값을 각 센서별로 적용된 계산방법에 의해 계측단위로 환산하여 출력한다. 사용자 화면을 통하여 저장되는 데이터는 무빙 에버리지 (moving average)를 적용하여 계측값의 신뢰성을 향상시켰다.

5.3 모니터링 환경

흙막이 벽체의 모니터링은 테스트 베드에 수평하중을 가하기 전에 센서를 설치하여 수평 하중을 가하고 난 후 수평하중을 제거할 때까지 약 40분간 진행하였다. 계측 데이터는 테스트 베드와 같은 실내공간에서 사용자 화면을 통하여 실시간으로 전송받아서 모니터링 하였다. 실험 종료 후 저장된 데이터는 재검토하여 센서의 작동 상태 및 이상 유무를 점검 하였다 (그림 10).

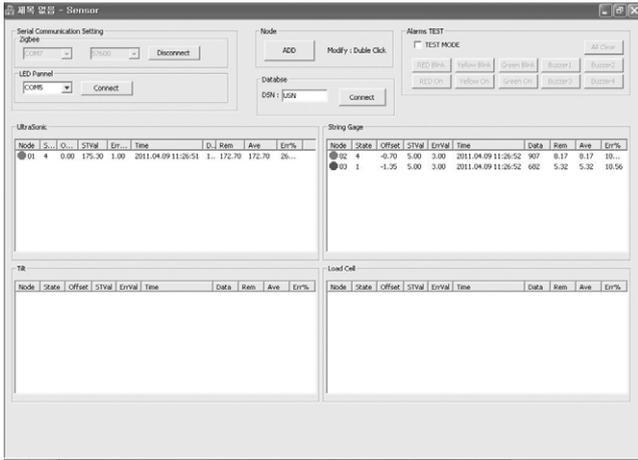


그림 10. 데이터 모니터링 User Interface

5.4 테스트 베드 실험결과 및 데이터 분석

본 연구에서는 USN 기반 초음파 센서를 활용한 흙막이 분석을 위하여 테스트 베드에서 실험을 실시하고, 실험결과를 분석하여 데이터의 신뢰성을 검증한다. 테스트 베드에 적용한 센서 한 개의 수신범위는 온도 및 분진 등 현장 상태에 따라 약 15~20m이고, 센서와 센서 간 장애물이 있을 경우에는 약 6m 정도이기 때문에 단일 센서를 사용하면 대규모 지역의 계측은 불가능하다.

따라서 테스트 베드 실험의 데이터 수집범위는 장애물이 없는 환경으로 구성하고 반경 10m 이내에 모든 센서가 포함되도록 계획하였다 (그림 11). 그리고 데이터의 공백 및 센서의 오류를 방지하기 위하여 멀티 홉 기능을 적용하여 실험을 진행하였다. 테스트 베드의 실험 결과를 보면 데이터 수집보드를 통한 데이터의 수집정도는 공백 없이 매우 양호했으며, 실험 중 센서 작동 불량으로 인한 데이터 오류는 발생하지 않았다.

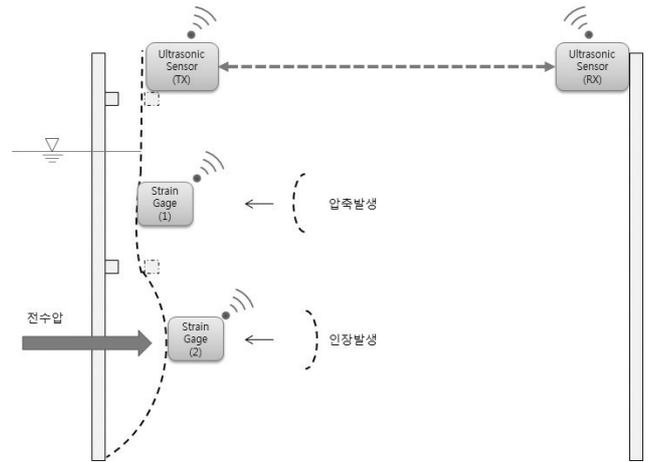


그림 11. 테스트 베드의 변위 발생

5.4.1 하중-변위 변화

시간에 따라 수위를 조절하여 수평 하중을 변화시켰다. 수평 하중의 증가에 따라 엄지말뚝의 변위가 충분히 발생하는 것을 확인할 수 있다. 수평 하중의 크기가 0.305t/m²이 되었을 때 엄지말뚝 상단의 최대 변위는 -34mm를 나타냈다. 엄지말뚝의 변위를 충분히 확보하기 위하여 알루미늄 판재를 사용하였고, 이는 충분한 변위로 나타나는 것을 확인 할 수 있다.

테스트 베드에 의한 실제 데이터 계측의 결과는 레이저 거리 측정기를 통하여 실제 측정된 결과와 비교하여 측정 값의 신뢰도를 확인하였다. 수평 하중의 변위에 따른 실제 변위와 초음파 센서의 변위의 값은 표 3과 같다.

표 3. 하중-변위 변화

수평 하중(Ton/m ²)	레이저 거리측정기(mm)	Ultrasonic Sensor(mm)	오차율(%)
0.075	1753	1752.8	-0.01
0.1	1753	1753.2	+0.01
0.15	1753	1751.7	-0.07
0.2	1750	1753.9	+0.22
0.25	1745	1747.3	+0.13
0.305	1720	1718.4	-0.09
0.075	1751	1750.6	-0.02

5.4.2 하중-변형률 변화

수평 하중의 증가에 따라 변형률이 증가했으며, 수평하중의 크기에 비례하게 변형률이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 바닥으로부터 670mm에 위치한 1번 스트레인 게이지는 수평하중의 증가에 따라 초반 압축이 발생하다가 다시 인장이 발생하는 것

을 확인할 수 있다. 수평하중을 가장 많이 받게 되는 바닥으로부터 330mm에 위치한 2번 스트레인 게이지는 수평하중에 비례하게 변형률이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 수평하중에 따른 변형률의 변화는 표 4와 같다.

표 4. 하중-변형률 변화

수평 하중(Ton/m ²)	Strain Gage (1)	Strain Gage (2)	비고
0.075	0.00	0.00	
0.100	-0.02	+0.02	
0.150	-0.01	+0.40	
0.200	+0.11	+1.35	
0.250	+0.28	+2.36	
0.305	+0.32	+3.25	
0.075	-0.07	0.03	

5.5 실시간 모니터링을 통한 안전관리

현재 가설 구조물의 시공 및 사용 중에 일어나는 붕괴사고에 대비하여, 설계 시 안전을 개념의 도입으로 작업자 및 사용자를 위협으로부터 보호하고 있다. 하지만 안전율이나 현장 안전관리로도 예측하기 어려운 사고로부터 작업자의 안전을 도모하기 위하여 USN 기반의 모니터링 체계를 구축하였다 (그림 12).

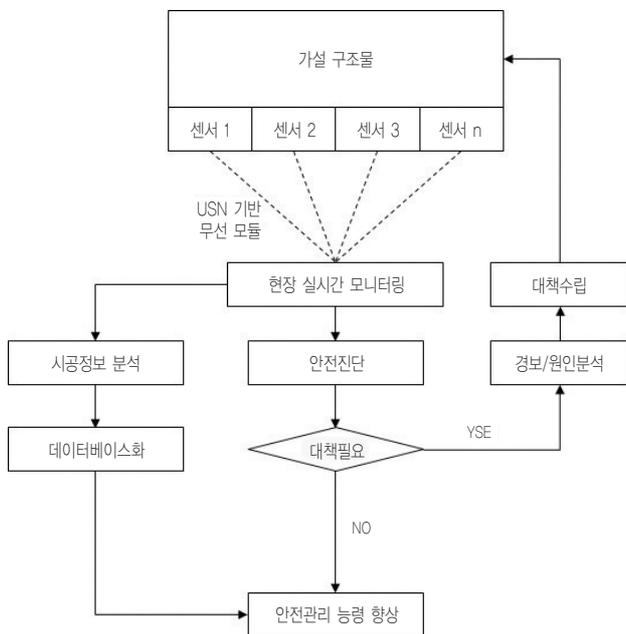


그림 12. 안전관리 절차

6. 결론

본 논문에서는 USN 기반 초음파 센서를 활용한 흠막이 변위 분석을 위한 센서를 개발하고 테스트 베드에 적용하여 센서를 통한 계측값의 정확성과 신뢰성을 검증하였다. 테스트 베드는 흠막이 벽체에 가해지는 수평 하중에 따라서 발생하는 정확한 데이터를 수집하기 위하여 큰 변화가 발생할 수 있도록 제작하였다. 테스트 베드 실험에서 센서를 통하여 계측된 변위를 각 센서에 부착된 Zigbee를 통하여 무선으로 데이터를 전송받았다.

USN 기반의 흠막이 변위분석은 시공현장의 작업환경에서 센서를 정확한 위치에 설치하고, 센서보드에 의하여 수집한 데이터의 오차를 줄이고 변위를 정확하게 계측할 수 있다는 것을 보여준다. USN 기반 초음파 센서를 활용한 변위분석은 가설 구조물 공사 시 위험요소를 실시간으로 모니터링 할 수 있고, 설치된 센서를 통하여 시공정보를 분석하여 데이터베이스화함으로써 공사 시 구조물의 붕괴를 예측하고 시공 안전성을 향상시킬 수 있다.

본 논문에서는 실내에서 실시한 모형실험을 통해 USN 기반의 안전관리 시스템의 적용가능성을 확인하였다. 현재 USN 기술은 지속적으로 발전되고 있으며 향후 저비용, 낮은 전력소모, 높은 신뢰성을 가지는 센서의 적용과 네트워크 기술 개발을 통한 무선 전송능력의 향상으로 일반 도심지의 건설시공 현장뿐만 아니라 산지나 해양과 같은 넓은 범위의 건설현장에서의 안전사고 또한 효과적으로 대비할 수 있을 것이다.

참고문헌

국토해양부 (2008). 구조물 기초설계기준
 김군태 (2009). 건축공사현장의 안전관리모니터링을 위한 USN 기술적용에 관한 연구, 한국건축시공학회 논문집 제9권 4호,
 김범기, 김동언, 이웅균, 한병원, 강경인(2005), 인터넷 및 PDA를 활용한 흠막이 통합계측관리시스템 구축, 대한건축학회 논문집(구조계), Vol. 21, No. 11, pp.183~190,
 김성호(2000). 초음파 센서를 이용한 굴삭기용 장애물 인식 시스템에 관한 연구, 울산대학교 대학원 석사학위논문
 남상엽, 송병훈 (2005). 무선 센서 네트워크의 활용, 상학당, pp. 80~82, 234~276, 285~320
 류정필, 김형관, 김창윤, 김창완, 한승헌, 김문겸 (2007).

RFID/USN 연동 시스템을 활용한 건설자원 실시간 모니터링 시스템, 한국건설관리학회 정기학술대회 논문집, 한국건설관리학회, pp. 90~94

문성우, 최병영, 양병수, 성현진 (2009). 건설현장 모니터링을 위한 USN 응용, 한국건설관리학회 학술발표대회

양병수(2011). USN 기반의 실시간 모니터링 시스템을 적용한 건설시공 안전관리, 부산대학교 박사학위 논문

이용균, 조호규, 김광희, 강경인 (2004). 건축공사 흠막이 계측 관리를 위한 유비쿼터스 시스템 구축 방안에 관한 연구, 한국건축시공학회, 학술.기술논문발표회 논문집, Vol. 4, No. 2, pp.67~70

인지훈, 임홍철, 이근우 (2009). 가설공사 안전관리를 위한 무선 계측 시스템 적용, 한국건축시공학회, 제9권 1호

전진구, 박종혁, 김병수, 김운성, 김우영 (2005). 건설시공학, 구미서관

정승우, 김예상, 진상윤, 권순옥 (2011). 건설현장에서 효율적인 USN(Ubiquitous Swnsor Network)기술 활용을 위한 토공사 계측 관련 고려요소 분석 및 우선순위 도출, 대한건축학회논문집 : 구조계, 대한건축학회, pp. 133~140

미국 버클리 대학 토목공학과 (2011).
<http://www.ce.berkeley.edu/research> (2011.07.15)
 TinyOS Korea (2011). <http://www.tinyos.re.kr> (2011.03.15)

논문제출일: 2011.04.26
 논문심사일: 2011.04.29
 심사완료일: 2011.08.05

요 약

건설현장에서 구조물 시공시 흠막이는 터파기 기초보호와 작업공간을 제공하는 역할을 한다. 흠막이 공사는 지반 굴착, 지하수 처리, 파일링, 버팀보 설치 등 복잡한 토공사 공정을 가진다. 토공사의 성격상 지반 여건 등 주위 환경의 변화에 따라서 다양한 응력변화가 발생되고, 이러한 변화가 주어진 설계한도를 벗어나면 인명사고를 동반한 붕괴사고로 이어질 수 있다. 이와 같은 이유로 구조물 기초공사에서 붕괴사고는 건설공사시 가장 주의해야 할 분야 중 하나이다. 본 논문은 흠막이 시공시 안전을 향상시키기 위한 USN (Ubiquitous Sensor Network) 기반의 데이터 획득 시스템을 제시한다. USN 기반의 데이터 획득 시스템은 초음파 센서를 활용하여 흠막이에 대한 변위를 분석하고, USN 기술이 제공하는 실시간 데이터 송수신 기능을 활용하여 원격으로 흠막이 벽체의 안정 상태를 지속적으로 관찰하고, 필요시 적절하게 대응하도록 지원한다. 연구효과를 검증하기 위하여 센서와 USN 기술을 접합하여 흠막이 벽체의 변위실험을 진행했으며, 검증결과 USN 기반 데이터 획득 시스템은 변위 데이터를 측정하여 흠막이 시공시 안전성을 향상시킬 수 있다는 것을 보여준다.

키워드 : 가시설물, 흠막이, 시공안전, USN, 초음파 센서, 데이터 전송