

건설 시공현장에서의 USN 활용

Application of Ubiquitous Sensor Network at Construction Sites

문성우*○ 최병영** 지영은*** 서기정****
Moon, Sung-Woo Choi, Byoung-Young Ji, Young-Eun, Seo, Ki-Jeong

요약

콘크리트 타설은 거푸집, 동바리 등 가설 시설물의 구조 하에서 진행된다. 작업 중 복잡한 동선이나 타설 충격, 지반 침하 등으로 인해 하중집중이 발생할 수 있고, 이러한 하중의 집중으로 인한 가설구조의 불안정은 시공 중 붕괴사고의 원인이 된다. 콘크리트 타설 및 양생과정에서 거푸집의 안전성을 높이기 위해서는 콘크리트 타설 프로세스를 지속적으로 모니터링 해야 한다. 본 연구는 부산대학교 건설시스템연구실에서 수행하는 시공 안정성 향상 과제으로써 건설 시공 현장에서 USN (Ubiquitous Sensor Network)을 활용한 시공 모니터링 체계를 제시한다. 본 연구에서는 무선으로 콘크리트 타설시 하중의 변화를 실시간으로 측정하는 USN 기반의 모니터링 기술을 개발하여, 콘크리트 타설에 따르는 하중 변화 데이터를 실시간으로 무선 전송한다. 전송된 데이터는 허용응력 및 처짐과 비교·분석하여 하중이 일정한 허용 범위를 초과하거나 거푸집의 이상변형이 발생할 경우 경고조치를 통해서 작업중단 조치를 취할 수 있다. 현재 USN 기반의 시공 안전 모니터링에 대한 실험을 진행하고 있으며, 검증 결과를 분석하여 시공안전의 향상을 위한 기능을 가져올 것으로 기대된다.

키워드: 가시설물, 시공안전, USN, 시공 모니터링, 데이터 전송

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

콘크리트 타설은 복잡한 구조계산 하에 거푸집, 동바리 등의 가설 시설물을 설치하면서 시작된다. 가설 시설물은 일시적으로 설치되며 재사용이 가능하므로 반복 사용 시 내구성 저하의 가능성이 있다. 가설 시설물의 불안정은 구조물의 시공의 안전에 영향을 미치게 된다.

또한 각종 가설 시설물의 안전성이 이론적으로 검증되었다고 하더라도 복잡한 동선과 콘크리트 타설 시의 각종 변수에 의한 하중의 변화를 완벽히 제어할 수는 없다. 시공하중의 변화나 가설 시설물의 노화 등으로 인해 발생하는 가설 시설물의 변형은 구조적인 불안정으로 연결되고, 결과적으로 붕괴사고의 위험성을 내포하고 있다.

이런 위험성을 배제하고 만일의 사고에 대비하기 위해서는 모니터링 시스템이 도움이 될 것이다. 시공 관리의 효율성과 안전성을 높이기 위해서는 시공 상황에 대한 실시간 정보수집 능력이 필요하다(전진구 외, 2005). 기존 방식은

사람이 직접 확인하거나, 스트레인 게이지 등을 사용하여 계측하고 사람이 확인하는 방식으로 이루어졌다. 이는 즉각적인 위험대처를 위한 방법으로는 부족하다.

건설규모가 대형화 및 복잡해지는 추세에서 전체공정을 신속·정확하게 파악하기 위한 USN의 도입은 보다 효과적이다. 그리고 정보화의 발전에 따라서 발전하고 있는 유비쿼터스 환경의 도입을 통해서 시공관리에 대한 과학화와 기술 역량을 높일 수 있을 것이다.

USN은 유비쿼터스 IT 사회를 건설할 때 필수적인 기술이다. BCN(Broadband Convergence Network)¹⁾ 등의 인터넷 백본(backbone)²⁾ 망을 정맥, 동맥에 비유할 때, USN (Ubiquitous Sensor Network)은 우리 몸의 구석구석에 혈액을 공급하는 실핏줄로 비유할 수 있다. USN 망이 잘 정비되고 USN망과 BCN을 통하여 유용한 데이터들이 실시간으로 교환될 때 지속가능한 쾌적한 사회의 건설이 가능해 질 것이다(남상엽 외, 2005).

건설시공 작업 중 발생하는 각종 문제점들을 보완하기 위해 도입된 것이 본 연구에서 추진하고 있는 USN 기반의 모니터링 체계이다. 본 논문에서는 콘크리트 타설 공정에서 생성되는 하중 및 처짐량의 변화 데이터를 무선을 통해서 실시간으로 확인하는 건설 시공현장의 모니터링 시스템의 효과를 검증하고자 한다.

* 종신회원, 부산대학교 토목공학과 부교수, 공학박사
sngwmoon@pusan.ac.kr

** 일반회원, 부산대학교 토목공학과 석사과정
choiby77@nate.com

*** 일반회원, 부산대학교 전자전기공학과 석사과정
indian3158@hanmail.net

**** 일반회원, 한국토지공사
skj2000@nate.com

1) BCN은 통신·방송·인터넷 등의 통합 광대역 멀티미디어 서비스를 안전하게 제공하는 통합 네트워크를 말한다.

2) Backbone은 랜에서 광역통신망(WAN)으로 연결하기 위한 하나의 회선 또는 여러 회선의 모음을 말한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 콘크리트 타설과정 중 거푸집의 거동을 모니터링하기 위해 USN을 이용하여 무선으로 데이터를 수신하는 네트워크의 프로토타입을 구축하며, 구축된 프로토타입을 사용하여 시공 데이터를 수집한다. 본 연구 개발된 프로토타입은 USN을 이용하여 무선으로 데이터를 수신하는 네트워크를 구축하여 데이터의 전송과 수신을 자유롭게 하며, 이를 데이터베이스에 저장하여 분석할 수 있다.

시스템 구축을 위해서 센서와 계측기, USN 기기를 적용했다. 장비로는 스트레인 게이지를 장착한 하중계 (재원: 0.3X0.3X0.014(cm)/40kg)를 자체 제작하였고, 내부에 스트레인 게이지를 장착한 하중계를 동바리와 거푸집 사이에 설치하였다. 스트레인 게이지는 가설물의 처짐에 따라서 생기는 응력변화를 측정하며, 모듈을 20m이하의 거리로 설치하여 처짐 등의 데이터 전송이 가능하도록 하였다. 무선 전송 모듈로는 메인모듈, 소나센서 모듈 (4개), 스트레인 게이지 모듈 (2개), 시리얼포트 인터페이스 모듈을 사용한다.

프로그래밍은 시리얼 포트 인터페이스 프로그램 및 시리얼 포트에서 오는 데이터를 데이터베이스에 저장하는 프로그램을 작성하였다.

2. 건설시공 사고사례

용인시 아파트 신축공사에서 일어난 거푸집 붕괴사고는 지하주차장 슬라브 콘크리트 타설 작업 중 거푸집 동바리가 붕괴된 사고로 지하주차장 기계실 상부 슬라브 콘크리트 타설 작업을 하던 중 하부에 설치한 거푸집 동바리가 타설 중인 콘크리트의 하중을 이기지 못하고 붕괴되면서 매몰되어 발생한 재해이다.

사고원인으로는 거푸집동바리 설치 시 작성된 조립도를 준수하지 않고 조립하였고, 층고가 7m이나 수평연결재를 각재 등을 이용하여 1단만 일부 설치하였으며, 파이프 써포트 연결방법이 불안전하고, 상·하부 고정을 하지 않는 등 거푸집동바리의 안전조치를 실시하지 않은 것이 원인이었다.

용인시 초등학교 신축공사 거푸집 붕괴사고는 콘크리트 타설 중 거푸집 동바리 붕괴사고로 교사동 옥상층의 장식탑 상부에서 장식탑 상부슬라브 콘크리트를 타설하던 중 하부에 설치한 거푸집 동바리가 하중을 견디지 못하고 붕괴되면서 타설 작업 중인 피해자가 붕괴되는 콘크리트 더미와 함께 약 20m 아래로 추락하여 사망한 재해이다.

이 사고의 원인 역시 거푸집 동바리의 조립도를 무시하고 작업자 임의로 작업한 것으로 수평연결재 일부를 각재를 사용하였으며, 거푸집 동바리 파이프 받침에 전용철물을 사용하지 않은 상태로 이어서 일체화가 되지 못하는 등 거푸집 동바리 설치 자체가 불량하여 사고가 발생한 사례이다(한국산업안전공단, 2006).

3. USN기반 모니터링 체계

3.1 유비쿼터스(USN) 기술

유비쿼터스 센서 네트워크(USN)는 각종 센서에서 수집한 정보를 무선으로 수집할 수 있도록 구성된 네트워크를 말한다. 사람의 접근이 불가능한 취약지구에 수백 개의 센서네트워크 노드를 설치, 사람이 감시하는 것과 마찬가지로 역할을 한다. WPAN (Wireless Personal Area Network) 기술 및 초소형 네트워크 디바이스 기술 등이 발전함에 따라 센서 네트워크 기술이 매우 활성화되고 있다.

미국에서는 이 기술을 홈 오토메이션·생태 모니터링 등에 시험적으로 적용하고 있다. 특히 미국 버클리대학에서는 USN을 이용하여 구조물 및 교량에 대해 유비쿼터스 기술을 적용하기 위한 센서 설치 및 위험 모니터링 연구를 수행하고 있다(버클리 대학 토목공학과, 2006).

USN기술은 앞으로 사회기반시설 안전 감시, 산불 감시, 산업시설 감시, 국방 등의 분야에서 널리 활용될 전망이다. USN에서 가장 중요한 기술은 정확한 정보를 빠르게 전달하는 신뢰성이다. 또 전력 소모도 매우 중요하다. 현재 건전지 하나로 몇 년 동안 쓸 수 있는 USN 기술이 국내에서 개발된 바 있다.

3.2 시스템 구성

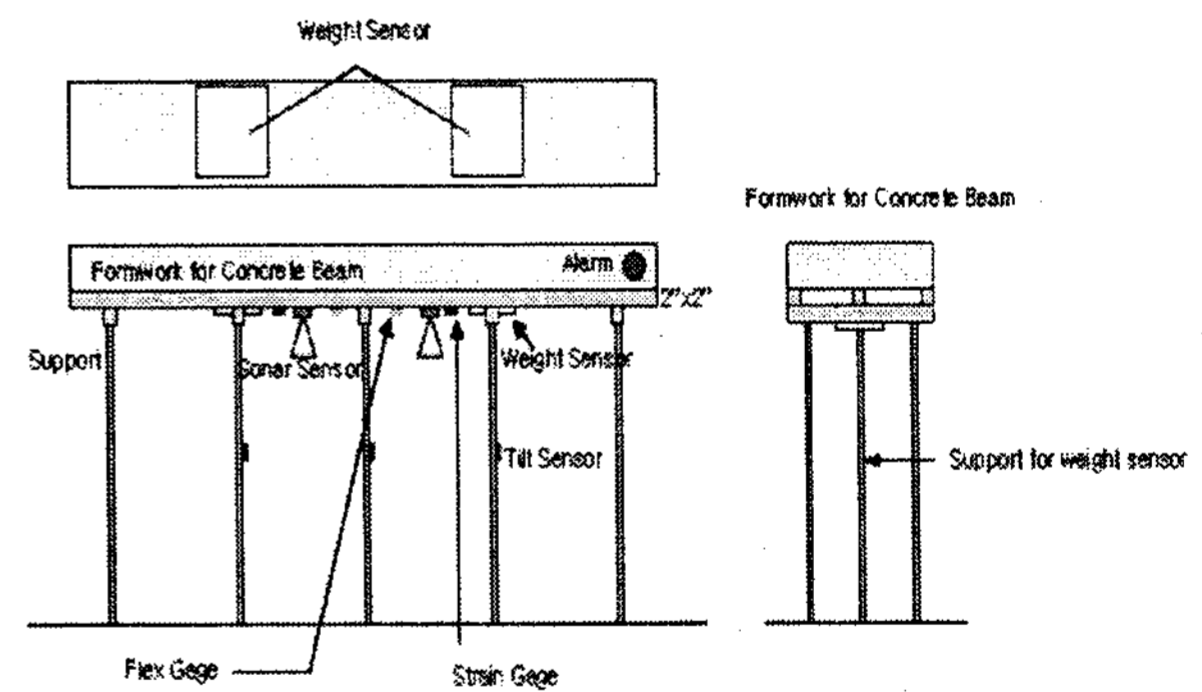


그림 1. 시공 모니터링 시스템의 구성

실험을 위해 제작한 장비(하중계)는 강재로 제작된 직사각형 모양의 판 아래 스트레인 게이지를 부착하여 실시간 변하는 하중을 알아낼 수 있는 장치이다. 소나센서는 초음파를 이용하여 거리를 측정하는 장치로 거푸집의 하단에 부착하여 거푸집과 기준면(실험에서는 지면에 해당)과의 거리측정으로 처짐량을 구할 수 있다. 위에서 얻어진 하중 및 처짐 등의 데이터는 MicaZ 보드를 통하여 무선으로 약 2~30m 거리에 떨어져 있는 곳으로 정보 전달을 하는데 이 데이터를 토대로 타설 시의 하중이 위험수위에 도달하면 즉각 위험신호를 전달할 수 있도록 모니터링 체계를 구축하였다.

저항 변화량으로부터 변형률을 바로 구해 낼 수 있다.

3.3 데이터 처리

- 각종 센서를 세팅한 후 TinyOS와 DAQ보드를 통해 프로그램 전송과정을 설정한다(TinyOS Korea, 2006).
- 각 센서(소나센서, 로드셀 센서, 스트레인 게이지)의 값들이 Hooke's law에 따라 선형으로 나오는 값들을 Voltage값(0~10V)으로 환산한다. 여기서 10볼트는 각 센서 능력치의 최대값이며 0볼트의 값은 최소한계치로 세팅되어있다.
- 컴퓨터에 TinyOS 프로그램을 설치하고 실험을 위해 미리 작성된 프로그램을 TinyOS에 적용시킨다.
- 컴퓨터의 시리얼포트에 DAQ보드를 연결하고 실험에 이용될 MicaZ 보드에 프로그램을 다운로드 한다(남상엽 외, 2006).
- MicaZ 보드를 이용하여 무선으로 각각의 데이터들을 Voltage 값으로 받아들인다.
- 여기서 받아들인 Voltage값들은 TinyOS를 통한 프로그래밍과정에서 각각의 센서에 알맞은 단위로 자동 환산된다. (ex : 소나센서는 m단위, load cell 센서는 kg단위, 스트레인 게이지는 무차원)
- 각각의 데이터들은 텍스트로 저장되어 지정된 시간간격으로 데이터베이스로 전송된다.

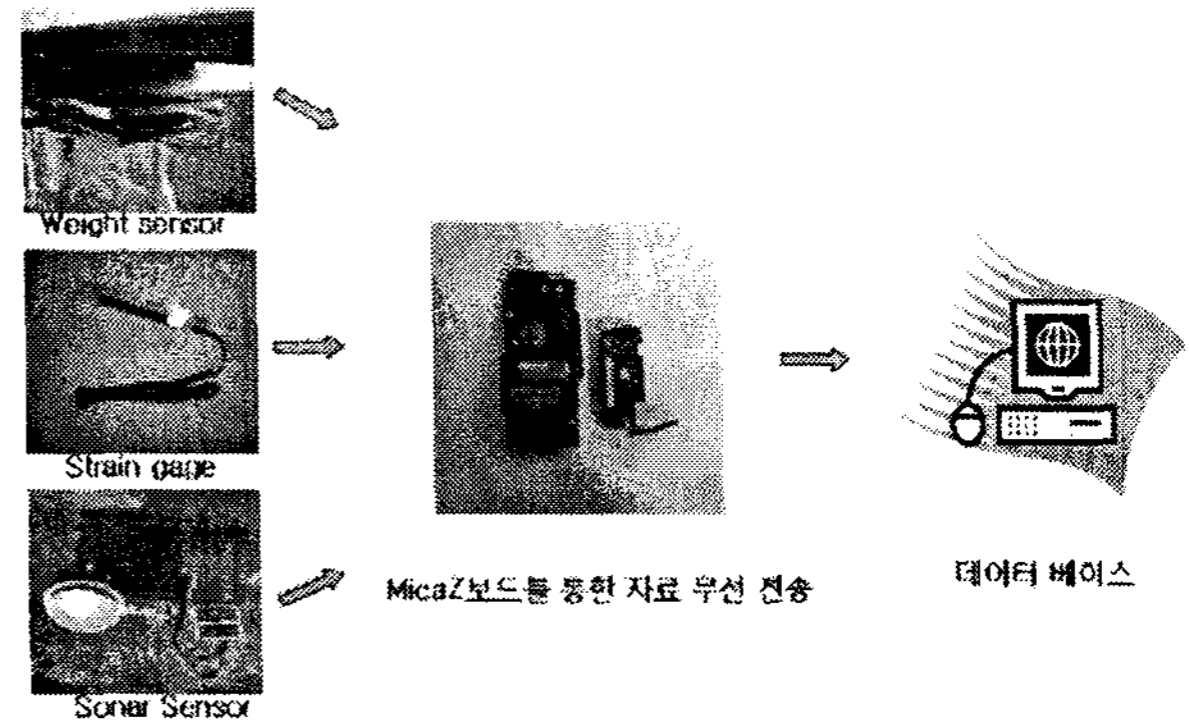


그림 3. MicaZ 보드를 통한 자료 무선 전송

하중 센서 및 스트레인 게이지의 경우 측정 데이터가 Voltage값으로 변환되어 그 자료가 MicaZ 보드를 통해 무선으로 전송된다. 반면 소나 센서의 경우는 측정 데이터가 바로 MicaZ 보드를 통해서 무선으로 전송되어 서버의 데이터베이스에 저장된다.

4. U-시공 모니터링 체계 모형실험

4.1 센서 부착

구조계산 및 콘크리트 타설시 발생하는 동바리 붕괴 사고의 예들을 분석하여 센서의 위치를 결정하였다. 본 실험에서 사용된 센서는 모두 4 가지로 강관동바리 사이 보에 단경간, 장경간으로 두 개의 스트레인 게이지를 부착, 타설시 부재의 휨응력으로 인한 변형률을 측정한다. 또한 경간 중앙에 소나 센서를 부착, 동바리의 처짐을 실시간으로 측정하여 허용처짐량으로 부터 안전한 지 확인한다. 하중 센서는 동바리의 지지력을 측정하기 위하여 설치된 것으로 허용하중 (본 실험에서 시방서 규정: 2000kgf)를 초과하는 지를 확인한다.

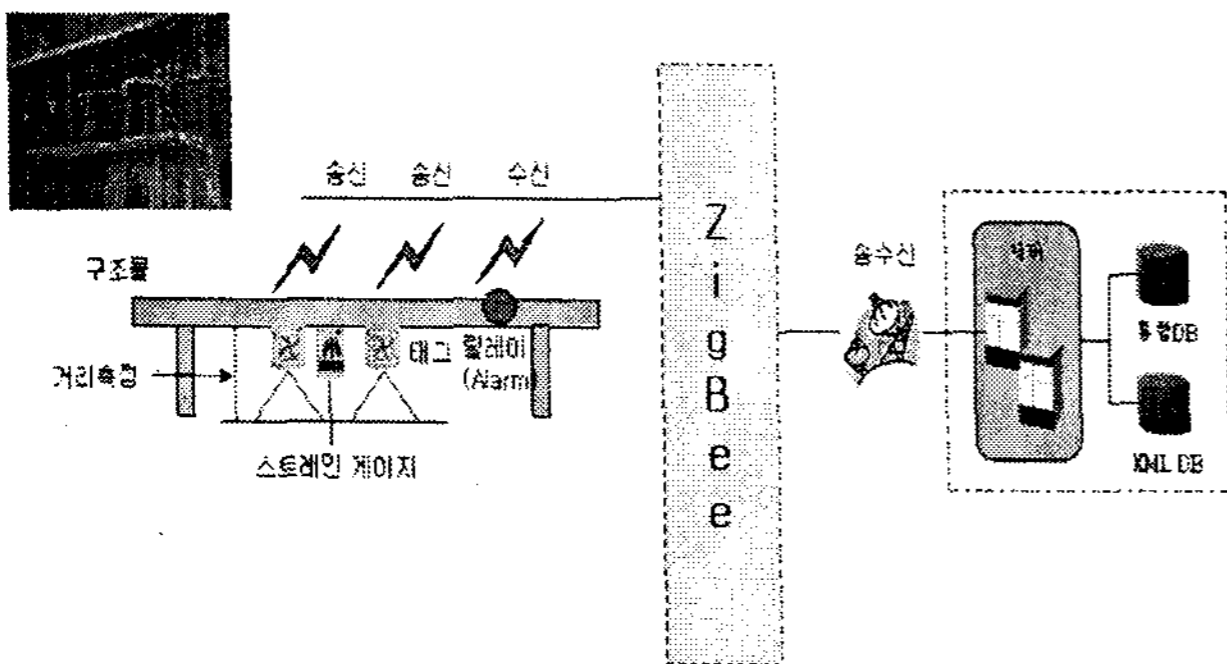


그림 2. 데이터 처리

3.4 센서 구성

소나센서 (ultrasonic sensor: 초음파 센서)는 압전 소자를 사용한 진동자의 송파기로부터 발진된 초음파의 에코가 수파기에 도달할 때까지의 소요시간으로 거리를 검출하는 것이다. 즉, 초음파를 일정 시간 발생시킨 뒤 벽에 반사되어 돌아오는 신호를 검출하여 그 시간차로 거리를 측정한다.

스트레인 게이지의 원리는 저항을 응용한 것이다. 저항 소자는 길이 변화율(변형률)과 저항의 변화율이 비례하는 특성을 갖는데 스트레인 게이지는 바로 이 특성을 응용한 것이다. 그리고 이 변형률과 저항 변화율의 비를 게이지 팩터(Gauge Factor; GF)라고 하며 스트레인 게이지 제작사에서 제공되는 값을 사용한다. 측정된 스트레인은 브리지 회로(Transducer)의 출력 전압으로 나타나지만 실제로는 저항의 변화를 측정하는 것이므로 게이지 팩터를 이용해

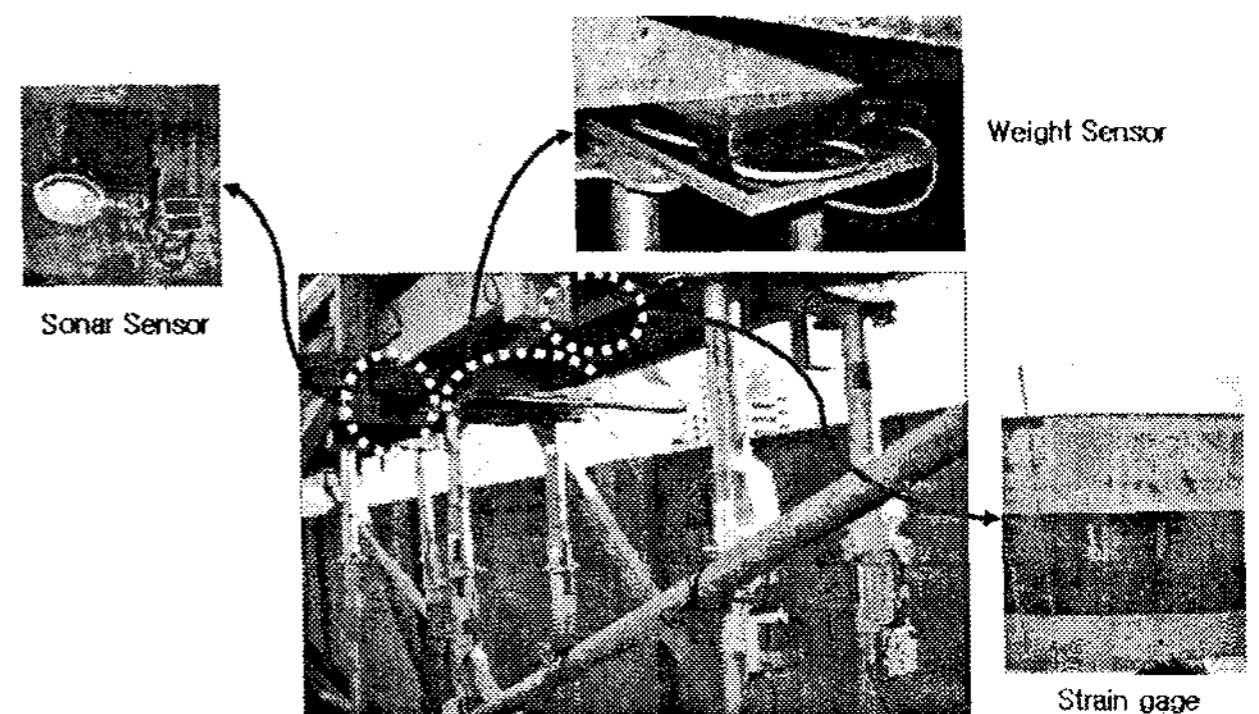


그림 4. 센서 부착 사진

4.2 하중 재하

본 실험에서는 각 센서의 작동 유무 및 MicaZ 보드를 통한 자료의 무선 송·수신 여부를 체크하기 위하여 콘크리트 대신 모래를 사용하여 거푸집에 하중을 재하하였다.



그림 5. 하중재하 사진

4.3 자료 수신

각 센서에서의 측정값들이 무선으로 전송되어 컴퓨터에 저장되는 과정이다. 하중값은 그 값이 정확하게 측정되어 무선전송 되었으나 스트레인 값은 그 값이 너무 미미하여 증폭기의 사용 없이는 값이 정확하게 전송되지 않았다.



그림 6. 자료 수신 사진

5. 결론

현재 구조물을 설계할 때 안전을 개념을 활용하여 구조물 시공 및 사용 시 예상치 못한 요인에 의한 위험으로부터 시공자 및 사용자를 보호하고 있다. 하지만 안전을이라는 장치로도 방지하지 못하는 예기치 못한 위험으로부터 시공자의 안전을 도모하기 위하여 USN 기반의 모니터링 체계를 구축하였다.

USN 기반의 모니터링 체계를 이용하여 콘크리트 타설 시 위험요소를 실시간으로 모니터링 할 수 있고, 동바리 시공정보를 데이터베이스화하여 설계 시 붕괴 혹은 부실시공을 추정할 수 있다. 또한 동바리 공사 시 과도한 안전 설계로 인해서 발생하는 재료 및 인건비 부담을 저감시키는 효과도 기대할 수 있다.

이 시스템의 효율성을 높이기 위해서는 센서의 전파 송신부와 수신부를 따로 두는, 대향형 센서를 사용하여 정확성을 높이는 것이 필요하다. 스트레인 게이지의 경우 출력 데이터를 증폭하면 정확한 휨과 변형량의 획득이 가능하다. 지속적인 MicaZ 보드 기술을 개발하면 보다 향상된 무선 전송능력으로 데이터 송수신을 가능하게 할 것이다.

참고문헌

1. 전진구, 박종혁, 김병수, 김운성, 김우영, "건설시공학", 2005, 구미서관
2. 남상엽, 송병훈, "무선 센서 네트워크의 활용", 2005, 상학당, pp. 80-82, 234-276, 285-320
3. 미국 버클리 대학 토목공학과, 2006, <http://www.ce.berkeley.edu/sys/research/research.html>
4. 한국산업안전공단, 2006, <http://www.kosha.or.kr>
5. TinyOS Korea, 2006, <http://www.tinyos.re.kr>

Abstract

Concrete placement work is executed using temporary structures such as formwork, support, etc. The temporary structures could collapse when they are not properly supported, and need to be monitored for structural safety. This paper introduces a USN (Ubiquitous Sensor Network)-based monitoring system that are being tested at the Pusan National University for increasing structural safety. The system takes advantage of ubiquitous technologies together with a variety of sensors, which allows for wireless transmission of construction monitoring data. The temporary structures are constantly monitored to find out whether the structures are being supported in a stable condition. A field test is being conducted to acquire data, and use them for evaluating the safety condition of the construction operation.

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