구조물 건전성 모니터링을 위한 증강현실 기반 센서 위치인식 및 데이터시각화 기술

Augmented Reality (AR)-Based Sensor Location Recognition and Data Visualization Technique for Structural Health Monitoring

박 웅 기¹⁾   이 창 길²⁾   박 승 희^{3)*}   유 영 준⁴⁾   박 기 태⁵⁾
Park, Woong Ki   Lee, Chang Gil   Park, Seung Hee   You, Young Jun   Park, Ki Tae

Abstract

In recent years, numerous mega-size and complex civil infrastructures have been constructed worldwide. For the more precise construction and maintenance process management of these civil infrastructures, the application of a variety of smart sensor-based structural health monitoring (SHM) systems is required. The efficient management of both sensors and collected databases is also very important. Recently, several kinds of database access technologies using Quick Response (QR) code and Augmented Reality (AR) applications have been developed. These technologies provide software tools incorporated with mobile devices, such as smart phone, tablet PC and smart pad systems, so that databases can be accessed very quickly and easily. In this paper, an AR-based structural health monitoring technique is suggested for sensor management and the efficient access of databases collected from sensor networks that are distributed at target structures. The global positioning system (GPS) in mobile devices simultaneously recognizes the user location and sensor location, and calculates the distance between the two locations. In addition, the processed health monitoring results are sent from a main server to the user's mobile device, via the RSS (really simple syndication) feed format. It can be confirmed that the AR-based structural health monitoring technique is very useful for the real-time construction process management of numerous mega-size and complex civil infrastructures.

Keywords : Augmented reality, Structural health monitoring, Data visualization, Sensor location recognition

1. 서 론

최근 들어 우리나라는 물론 세계 각국마다 경제 산업발전을 위한 사회기반시설의 확충으로 사회 공공핵심 구조물이 늘어나고 있으며 건설의 규모는 계속 대형화 되고 있다. 특히 초장대 교량이나 초고층 건물들의 건설이 활발해지고 있는데, 이러한 대형 구조물의 건설은 막대한 초기건설 투자는 물론 건설 후 유지관리에도 많은 비용이 소요되고 있으며, 현재 시공 중인 동대문 디자인 플라자와 같이 복잡한 시공 기술이 필요한 비정형 건물들은 시공이 진행 되면서 수직, 수평 방향의 변위가 발생하므로 구조물 보다 정밀한 시

공 및 유지관리 모니터링 기술이 필요하다.

또한 구조물이 대형화 되면서 시공 및 유지관리 과정에서 콘크리트의 강도, 외부의 온도 및 습도, 바람, 진동 등 다양한 물성치에 대한 관리가 필요하며, 이를 위해 센서기반 건전성 모니터링 시스템에 대한 연구와 수집된 계측 센서 정보로부터 구조 건전성 평가를 하는 연구가 활발히 이루어져 왔다 (Chen et al., 2012, Bao et al., 2011, Hong and Kim, 2010, Cho et al., 2011).

구조물이 대형화 되면서 다수의 센서를 매립 및 부착하여 다량의 data를 획득하게 된다. 기존의 방법들은 센서를 이용하여 데이터를 계측하여 구조물의 건전성을 평가하지만, 사

1) 학생회원, 성균관대학교 u-city공학과 석사과정
2) 학생회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과 박사과정
3) 정회원, 성균관대학교 사회환경시스템공학과 조교수, 교신저자
4) 정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원
5) 정회원, 한국건설기술연구원 연구위원

* Corresponding author : shparkpc@skku.edu

• 본 논문에 대한 토의를 2013년 4월 30일까지 학회로 보내주시면 2013년 5월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

용자가 실시간으로 센서의 위치를 파악하고, 계측된 데이터를 효과적으로 access 할 수 없다. Database에 대한 효율적인 access를 위해 다양한 인식기술이 개발되었으며, 처음에는 바코드 기술을 이용하여 제품의 정보나 가격, 재고 관리 등의 간단한 정보를 관리하였다. 하지만 최근 IT기술의 비약적인 발전으로 인해 스마트폰, 태블릿 PC 등 다양한 모바일 디바이스가 보급화 되면서 QR코드, RFID, 증강현실 (AR) 등 원하는 데이터를 보다 쉽고 간편하게 원하는 정보에 접근할 수 있는 기술들이 개발 되었다. 특히 최근 각광받고 있는 인식기술로서 증강현실은 실제와 가상 사이의 영역인 혼합현실의 한 종류로, 현실세계를 바탕으로 가상의 정보 객체를 합성한 것을 말한다. 이는 스마트폰 등의 모바일 디바이스들이 기술적으로 발전 되면서 그 활동 영역을 더욱더 확장시키고 있다. 이에 본 논문에서는 첨단 IT기술을 이용하여 센서 관리 및 계측 데이터의 효율적인 access를 위하여 증강현실 기반으로 센서 위치를 인식하고 센서에서 계측된 데이터를 실시간으로 가시화 하는 기술을 개발하여 언제 어디서나 실시간으로 구조물의 건전성을 모니터링 할 수 있는 Ubiquitous 관리 기술을 제안하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 진동응답 기반 SHM

구조물의 계측시스템의 일부분으로 적용된 구조건전성 모니터링 (Structural Health Monitoring, SHM)은 구조물 관리의 한 분야로 국내외적으로 많은 발전을 이뤄왔다. 특히, 구조계가 지닌 동특성을 이용하여 구조계를 식별하고 나아가 구조계의 상태 및 손상을 감지하는 분야의 연구가 활발히 진행되고 있다 (Park et al., 2006, Lee et al., 2012, Ho et al., 2012).

이 중 호득유이 등은 2012년에 무선 스마트 센서를 이용하여 구조물의 진동기반 구조 건전성 모니터링을 위한 연구를 진행하였다. 스마트 센서노드의 하드웨어는 Fig. 1과 같이 Imote2 센서 플랫폼, SHM-A 센서보드, X-bow 배터리보드, IBB2400 인터페이스 보드, SHM-H 센서보드로 구성되어 있다. 스마트 센서를 교량에 설치하여 교량의 주탑과 케이블, 거더의 진동응답을 계측하였다. 대상 구조물의 유한요소 모델은 SAP2000으로 구축하여 Fig. 2의 (a), (b)와 같이 수치해석과 실험을 통해 모드형상 및 고유진동수 추출하였다 (Ho et al., 2012).

Fig. 1 Smart sensor node hardware

2.2 증강현실 기반 데이터가시화

증강현실은 Ivan Sutherland가 see-through HMD (head mounted display)를 발전시킨 것을 시초로 하여 연구되기 시작하였다. Fig. 3과 같이 가상현실기술은 일반적으로 사용자가 가상의 환경에 몰입하게 하므로 사용자는 실제 환경을 볼 수 없는 반면, 증강현실기술에서는 사용자가 실제 환경을 볼 수 있으며, 실제 환경과 가상의 객체가 혼합된 형태를 띈다. 즉, 가상현실은 현실세계를 대체하여 사용자에게 보여주지만 증강현실은 현실세계에 가상의 물체를 중첩함으로써 현실세계를 보충하여 사용자에게 보여준다는 차별성을 가지며, 가상현실에 비해 사용자에게 보다 나은 현실감을 제공한다는 특징이 있다. 이에 Milgram은 Fig. 4와 같이 AR의 개념을 Reality Virtuality Continuum을 통해 혼합현실과 현실 그리고 가상현실 간의 관계를 설명하였다 (Park, 2005).

증강현실은 사용자의 위치와 주변 환경의 정보를 이용하여 원하는 정보를 검색 할 수 있다. 검색된 결과는 사용자가 원하는 정보를 배열하고, 모바일 디바이스를 통해 가시화 하는 과정을 진행하게 된다. 내용을 검색하는 과정에서 사용자

(a) Modal properties of numerical analysis

(b) Modal properties of experiment

Fig. 2 Natural frequency of numerical analysis and experiment

(a) Real Environment

(b) Augmented Reality

(c) Virtual Reality

Fig. 3 Reality–Virtuality Continuum of Milgram

Fig. 4 Reality–Virtuality Continuum of Milgram

의 현재 위치와 응시하고 있는 방향 등을 통해 사용자가 원하는 정보를 실시간으로 검색한다. 실시간으로 검색한 내용은 현실세계의 정보와 가상의 정보를 결합하여 배열하게 된다. 마지막으로 입력, 처리된 정보는 사용자가 이용하는 모바일 디바이스를 통해 현실세계의 정보와 가상의 정보를 결합하여 가시화 하게 된다. 현재 증강현실은 다양한 분야에서 이용되고 있으며, 건축분야에서의 AR 기술 응용 사례는 국

외에서는 대학기관의 건축과 또는 컴퓨터 그래픽스 학과 등에서 연구가 활발히 진행되고 있다.

2.2.1 Tinmith-Metro

South Australia 대학교의 Tinmith project팀에서 개발한 시스템으로, 건설 분야에서 Fig. 5와 같이 AR을 응용하여 현실 세계의 도시 및 객체를 finger interface를 이용하여 가상의 3차원 모델로 변환시킨다. 여기서는 웨어러블 컴퓨터를 이용하여 현실 세계의 도시를 3차원 가상의 모델로 만들 수 있다 (Wayne et al., 2001).

2.2.2 The Architectural Anatomy

The Architectural Anatomy도 콜롬비아 대학교에서 이루

Fig. 5 System interface of Tinmith-Metro

Fig. 6 Demonstration of the Architectural Anatomy

Fig. 7 Virtual Redlining for Civil Engineering

어진 연구로서, AR과 가상현실 그리고 인공지능이라는 세 가지 개념을 응용하여 구조물과 그 공간을 이루는 구조적인 시스템과의 관계에 대한 연구를 진행하였다. 이 연구에서는 HMD를 이용하여 건물의 구조 체계를 그래픽으로 재현하여 해당 공간에서 사용자가 HMD를 통해서 볼 수 있도록 하였다. Fig. 6처럼 중첩된 가상현실을 통해 콘크리트 보, 기둥 등 강화 철근과 같이 공간을 지지하는 구조체에 관한 정보를 AR을 통해 얻을 수 있다 (Webster et al., 1996).

2.2.3 Virtual Redlining for Civil Engineering in Real Environments

토목에서 도심에 매설되어 보이지 않는 물, 전기, 가스등의 배관을 기존의 2D 지도 정보와 비교하여 기록하는 작업을 개선하기 위한 연구가 진행되었다. 증강현실과 GIS, GPS를 활용하여 Fig. 7과 같이 직접 현장에서 배관의 정보를 확인할 수 있다. 작업자는 현장에서 배관 정보를 실제 환경에 3D 모델을 겹쳐 보여줌으로써 매설된 배관의 위치와 깊이의 정보를 쉽게 알 수 있다. 이 기술을 이용하여 경험이 적은 작업자도 보다 효과적이고 정확하게 작업이 가능한 기술이다 (Schall et al., 2008).

Fig. 8 Constitution of structural health monitoring system

Fig. 9 Wireless MEMS Acceleration sensor

Table 1 Specification of MEMS acceleration sensor

	Min	Typ	Max	Units
Weight		65		g
Size		64×50×18		mm
Operating Temperature Range	0		40	℃
Sampling rate	60		1200	SPS
Internal flash		2		MB
Range		±1.7		g
Resolution		1		mg at 60Hz
RMS Noise		1		mg
Sensitivity	960	1000	1040	mV/g

3. Example Study : 2층 전단빌딩의 증강현실 기반 SHM

3.1 실험준비

가속도를 이용한 구조물의 건전성 모니터링을 위해 Fig. 8과 같은 시스템을 구성하였다. 시스템은 크게 3가지 부분으로 구성 되어 있다. 첫 번째로는 Fig. 9와 같은 무선 MEMS 가속도 센서이다. 가속도 센서는 대상 구조물에 부착하여 실시간으로 구조물의 가속도 응답을 계속하게 된다. 무선 MEMS 가속도 센서의 사양은 Table 1과 같다. 센서에서 측정된 데이터는 무선 통신을 통해 위치정보 서버로 전송된다. 두 번째는 위치정보 서버이다. 위치정보 서버에서는 센서에서 측정된 가속도 데이터와 각 센서의 위치좌표를 저장하게 된다. 서버에서는 RSS 통신 방식을 이용하여 Augmented

Reality Application과 데이터를 송·수신 하게 된다. 마지막으로 증강현실 애플리케이션이다. Fig. 10은 증강현실 애플리케이션의 Flow Chart 이다. 증강현실 애플리케이션은 크게 2가지의 기능으로 나눌 수 있다. 하나는 센서의 위치를 인식하는 기능과 다른 하나는 계측된 데이터를 가시화 하는 기술이다. 센서의 위치인식은 사용자가 모바일 디바이스를 이용하여 애플리케이션을 실행하게 되면 모바일 디바이스 내부의 GPS를 통해 사용자의 위치 좌표가 임시적으로 애플리케이션에 저장된다. 그리고 기존에 위치정보 서버에 저장된 센서의 위치 좌표는 Wifi 또는 3G 등을 통하여 모바일 디바이스로 전송 된다. 사용자와 센서의 좌표가 모바일 디바이스에 저장되면 애플리케이션에서 사용자와 센서 사이의 거리를 계산하고, 센서의 위치를 아이콘으로 표시하게 된다. 이때 모바일 디바이스가 해당 지역의 모든 데이터를 저장 할 수 없기 때문에 데이터의 저장을 위하여 필요하게 된다. 데이터의 가시화는 센서 및 해당 지역의 정보를 위치정보 서버에 저장하고 이를 모바일 디바이스로 전송하여 애플리케이션을 통해 디스플레이 하는 기능이다. 위치정보 서버에는 다양한 정보를 모두 저장하게 된다. 사용자가 모바일 디바이스를 통해 애플리케이션을 실행하게 되면 위치정보 서버에서는 해당 지역의 데이터를 모바일 디바이스로 송신하게 된다.

Fig. 10 Flow chart of AR application

이때 모바일 디바이스는 송신된 데이터 중 파싱을 통해 해당 지역의 데이터 중에 사용자가 원하는 데이터를 추출하고 각 센서의 정보를 갱신하여 가시화 한다.

진동대를 이용하여 구조물의 가속도 데이터를 계측하기 위해 Fig. 11과 같이 2층 전단빌딩 모델을 구성하였다. 바닥면의 진동대와 구조물의 1층과 2층에 각각 1GHz에 Sensitivity는 1000mv/g인 무선 MEMS 가속도 센서를 1개씩 총 3개의 센서를 부착하였다. Frame은 4092개, Sampling Rate는 150Hz로 계측하였다. 실험을 위해 입력신호는 sine sweep 신호를 이용하였다. sine sweep 신호는 1~15Hz 범위로 생성 되었으며, 저주파에서는 진동대의 이동량이 크더라도 속도가 느리기 때문에 가속도 진폭 값이 작고, 고주파에서는 진동대의 이동량이 작더라도 속도가 빠르기 때문에 진폭 값이 커지게 되므로 신호의 진폭인 가속도 값이 Fig. 12와 같은 형태로 표현이 된다.

Fig. 11 Shear building structure

Fig. 12 Sine sweep signal

3.2 증강현실 기반 정보가시화

2층 전단빌딩의 가속도 데이터 계측을 위해 각 케이스 당 3회 데이터를 계측하였다. 센서에서는 실시간으로 구조물의 가속도 데이터를 계측하게 된다. 계측된 가속도 데이터는 실시간으로 위치정보시스템 서버에 저장되어 database화 하게 된다. 사용자가 모바일 디바이스를 통해 애플리케이션을 실행하면 내장된 GPS의 유효성을 점검하고, 좌표를 수신하여 사용자의 현 위치를 파악하게 된다. 최초 실행 시, 또는 GPS 신호 미 수신시 임의의 고정된 위치를 지정하여 현 위치로 사용하도록 하였다. 계측된 데이터는 실시간으로 서버에 저장되게 된다. 모바일 디바이스는 서버에 접속하여 센서의 데이터를 수신하고 수신된 정보를 갱신한다. 서버와 RSS 방식으로 데이터를 수신하며, 수신된 데이터를 파싱하여 각 센서의 정보를 갱신한다. 증강현실 애플리케이션은 모바일 디바이스의 카메라 기능과 Gyro 센서 기능을 통합하여 구현한다. 사용자의 현 위치와 센서의 위치 정보를 사용하고, 사용자 위치를 중심으로 센서의 상대위치를 판단하고 카메라 뷰 위에 센서의 정보를 표현한다. 거리별 필터링을 통하여 해당 거리 내의 센서만 화면에 표현하도록 하였다. 최종적으로 사용자는 모바일 디바이스를 통해 센서 관리와 계측 데이터 가시화를 통해 실시간으로 구조물의 상태를 모니터링 할 수 있다.

본 실험에서는 증강현실 애플리케이션을 통한 구조물 건전성 모니터링을 위해 센서 위치인식과 계측된 가속도 데이터, 실험체의 모드형상을 가시화 하였다. Fig. 13은 실험실에서 모바일 디바이스를 이용하여 애플리케이션을 실행시킨 후 2층 전단빌딩을 카메라로 비춘 화면이다. 실내에서 GPS 신호가 모바일 디바이스로 수신되지 않아 실험실의 위치를 임의의 고정된 위치로 지정하여 현 위치로 사용하도록 하였

다. Fig. 13과 같이 위치를 중심으로 현재 센서들의 상대 위치를 파악하고, 카메라 뷰와 연동하여 센서의 위치를 표현한다. 오른쪽의 줌 기능을 통하여 최대 2km까지 거리를 조절할 수 있으며, 거리별 센서 정보가 필터링 되어져 보이게 된다. 센서 아이콘은 센서 명칭을 나타내며, 누적된 센서의 경우 제일 먼저 수신된 센서의 정보를 최상으로 보이게 된다. Fig. 13에서 보이는 센서 아이콘을 화면에서 터치하게 되면 Fig. 14와 같이 선택한 센서의 상세 정보가 나타나게 된다. 센서의 상세정보는 현재 센서와 사용자 간의 거리, 센서의 명칭, 센서의 위치, 현재의 시간과 날짜 등이 표시된다. 센서의 상세정보를 통해 원하는 센서의 정보를 얻을 수 있게 된다. 센서의 상세정보 창에서 왼쪽에 표시된 아이콘을 통해 계측된 시간 영역과 주파수 영역에 대한 데이터, 2단 전단빌딩의 모드형상을 확인 할 수 있게 된다. 각각의 데이터와 모드형상은 서버에서 Matlab S/W를 통해 그려진 그래프를 모바일 디바이스에서 가시화하게 된다. Fig. 15의 (a), (b)는 sensor 2의 시간 영역에 대한 데이터와 주파수 영역에 대해 모바일 디바이스에 가시화 된 화면을 캡처 하였다. 주파수 영역의 그래프는 시간 영역 데이터를 이용하여 Power Spectral Density를 도출 하였다. 증강현실 애플리케이션을 통해 sensor2와 sensor3에 대한 구조물 동적 특성의 변화에 따른 주파수 응답의 변화를 확인할 수 있다. 가속도 센서에서 계측된 데이터의 Imaginary Part 데이터를 통해 2층 전단빌딩의 모드형상을 Matlab S/W를 통해 Fig. 16과 같이 전단빌딩의 모드형상을 그래프화 하여 모바일 디바이스로 가시화 하였다. 2층 전단빌딩 구조물의 1차 모드는 3.516Hz, 2차 모드는 8.899Hz에서 구하였다.

현장에서의 적용성 검증을 위하여 실험실에서 200m정도 떨어진 야외에서 증강현실 애플리케이션을 실행하였다. 최대

Fig. 13 Sensor location recognition using AR application

Fig. 14 Sensor detailed information

(a) Capture of time domain data in sensor 2

(b) Capture of frequency domain in sensor 2

Fig. 15 Measurement data of sensor2

(a) First mode shape of shear building structure

(b) Secondary mode shape of shear building structure

Fig. 16 Mode shape of shear building structure

Fig. 17 Sensor location recognition in campus

Fig. 18 Sensor list view using AR application

적용 가능 거리 2km내에서 있으므로 Fig. 17과 같이 모바일 디바이스에서 센서 아이콘을 확인 할 수 있다. 센서 아이콘이 누적되어 제일 먼저 수신된 센서의 아이콘 정보가 제일 먼저 가시화 된다. 모바일 디바이스에서 센서의 아이콘을 터치하면 Fig. 18과 같이 누적된 센서의 정보들이 가시화 되게 된다. 가시화 된 아이콘을 터치하면 앞서 설명한 데이터들이 모바일 디바이스로 가시화 되게 된다. 증강현실 애플리케이션을

이용하여 장소에 상관없이 구조물의 건전성 모니터링을 할 수 있지만 현재의 모바일 디바이스에서 저장 가능한 데이터의 용량이 있기 때문에 10초 간격으로 서버와 통신하여 센서의 데이터를 갱신하였다. 향후 모바일 디바이스의 성능 개선과 계속 데이터의 전송 기술 향상으로 시간과 장소에 대한 제약 없이 구조물의 건전성을 모니터링 할 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구에서는 증강현실을 이용하여 구조물의 센서위치 인식 및 계측 데이터를 가시화하는 기술을 제안하였다. 모바일 디바이스에 내장된 GPS를 통해 센서와 사용자 사이의 거리를 파악하고, 사용자가 원하는 위치의 센서를 쉽게 파악하여 센서의 위치를 찾는데 시간을 줄일 수 있다. 센서로부터 계측된 데이터는 위치정보시스템 서버에 실시간으로 저장되게 된다. 저장된 데이터는 Matlab S/W를 이용하여 그래프로 표현하였다. 모바일 디바이스와 서버간의 데이터 송수신을 위해 RSS방식을 사용하였으며, 수신된 데이터를 파싱하여 각 센서의 정보를 갱신하였다. 이를 통해 사용자는 보다 쉽고 편리하게 원하는 센서의 위치를 파악하고, 센서의 상태를 관리 할 수 있다. 뿐만 아니라 수신된 데이터를 통해 사용자는 모바일 디바이스로 데이터를 가시화 하여 구조물의 건전성을 모니터링 할 수 있다. 이 기술은 응용분야 다양하고 사용방법이 간편하여 건설현장에서 널리 사용 될 것으로 예상된다. 특히, 최근 구조물의 건전성 모니터링을 위하여 다양한 센서를 매립 및 부착하고 있다. 설계자는 센서의 위치정보를 서버에 데이터베이스화 하고, 모바일 디바이스의 증강현실 애플리케이션과 연동하면 관리자는 현장에서도 설치된 센서들의 위치 및 상태를 쉽게 확인 할 수 있다. 또한, 관리자가 현장에서 설치된 많은 센서들 중 이상이 있는 센서의 위치를 파악하는 시간을 줄여 신속하게 센서의 교체 및 점검을 할 수 있게 된다. 추후 연구에서는 가속도를 이용한 구조물의 건전성 모니터링 뿐 만 아니라 건설 시공 현장에 다양한 스마트 센서를 매립하여 시공 및 양생 단계에 중요한 항목들에 대한 data를 획득 할 예정이다. 다양한 센서의 관리와 계측 데이터의 효율적인 access를 통해 사용자가 언제, 어디서나 쉽게 구조물의 건전성을 모니터링 할 수 있도록 시스템을 발전시킬 계획이다.

감사의 글

이 논문은 한국산업기술평가관리원의 연구과제 (10040911)의 지원 및 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원 (KETEP)의 연구과제 (2011T100200161)의 지원과 국토해양부의 u-city 석·박사 과정 지원 사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

1. Bao, Y., Beck, J. L., Li, H., "Compressive sampling for accelerometer signals in structural health monitoring", *Structural Health Monitoring*, vol. 10, No. 3, 2011, pp.235-246.
2. Chen, W. H., Lu, Z. R., Chen, S. H., Ni, Y. Q., Liao, W. Y., "Monitoring dynamic characteristics of Canton Tower under different excitations", *Journal of Vibration and Shock*, vol. 31, No. 3, 2012, pp.49-54.
3. Cho, S. J., Yun, C. B., Jung, H. J., "Structural Health Monitoring System of Cable-stayed Bridge Using Wireless Smart Sensors: Issues and Solutions", *Journal of Earthquake Engineering Society of Korea*, vol. 15, No. 2, 2011, pp.12-22. (in Korean)
4. Ho, D. D., Lee, P. Y., Lee, S. Y., Kim, J. T., "Vibration-based Structural Health Monitoring of Full-Scale Cable-Stayed Bridges Using Wireless Smart Sensors", *Journal of KOSHAM*, vol. 12, No. 1, 2012, pp.75-81. (in Korean)
5. Hong, D. S., Kim, J. T., "Structural Health Monitoring of Full-Scale Concrete Girder Bridge Using Acceleration Response", *Journal of the Korea institute for structural maintenance inspection*, vol. 14, No. 1, 2010, pp.165-174. (in Korean)
6. Lee, S. -Y., Lee, S. -R., Kim, J. -T., "Vibration-based structural health monitoring for harbor caisson structural using autoregressive model", *Advanced science letters*, vol. 13, 2012, pp.675-679.
7. Park, J. C., Park, C. M., Kim, B. H., Lee, I. K., Jo, B. W., "Dynamic Characteristics of Seohae Cable-stayed Bridge Based on Long-term Measurements", *Journal of Earthquake Engineering Society of Korea*, vol. 10, No. 6, 2006, pp.115-12. (in Korean)
8. Park, S. Y., "A study on integrated building information management system on augmented reality", *Yonsei university*, vol. 99, 2005. (in Korean)
9. Schall, G., Mendez, E., Schmalstieg, D., "Virtual redlining for civil engineering in real environments", *Proceedings - 7th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, 2008, pp.95-98.
10. Wayne, P., Bruce, H., "Tinmith-Metro: New Outdoor Techniques for Creating City Models with an Augmented Reality Wearable Computer", *ISWC '01 Proceedings of the 5th IEEE International Symposium on Wearable Computers*, 2001, pp.31-38.
11. Webster, A., Feiner, S., Macintyre, B., Massie, W., Krueger, T., "Augmented reality in architectural construction, inspection and renovation", *Computing in Civil Engineering*, 1996, pp.913-919.

Received : 10/30/2012

Revised : 12/28/2012

Accepted : 12/31/2012

요 지

최근 초고층 및 초장대화 같은 대형 구조물들이 시공되고 있으며, 이에 대한 구조물 건전성 모니터링 기술들이 연구되고 있다. 하지만 기존의 기술들은 계측 센서의 관리와 센서로부터 계측된 데이터에 효율적으로 access하지 못하고 있다. 본 논문에서는 구조물 건전성 모니터링을 위한 증강현실 기반 센서 위치인식 및 데이터 시각화 기술을 소개한다. 모바일 디바이스에 내장된 GPS를 통하여 센서와 사용자 간의 거리를 파악하게 된다. 뿐만 아니라, 센서로부터 계측된 데이터는 위치정보시스템 서버에 저장되며, RSS방식을 통해 전송되어 사용자가 모바일 디바이스를 통해 쉽게 계측 데이터를 가시화 할 수 있게 된다. 이 기술을 이용하여 사용자는 센서의 위치인식을 통해 계측센서를 관리하고, 계측 데이터를 시각화하여 시간과 공간에 제약 없이 구조물의 건전성을 모니터링 할 수 있게 된다.

핵심 용어 : 증강현실, 구조물 건전성 모니터링, 데이터 가시화, 센서 위치 인식