

스마트 센서 기반의 교량 시설물 안전 모니터링 기법 연구*

연상호¹ · 김종수² · 연춘흠³

A Study on the Safety Monitoring of Bridge Facilities based on Smart Sensors*

Sang-Ho YEON¹ · Joon-Soo KIM² · Chun-Hum YEON³

요 약

오늘날 수많은 건설 시설물 중에서 항상 시설하여 관리해야하는 다양한 중대형 교량구조물의 안전상황을 점검하기 위하여 여러 가지의 계측장비를 이용하고 있지만 대부분 일정한 주기별로 교량의 변위거동을 측정하고 확인하는 방법을 사용하고 있다. 지속적으로 안전상황을 점검하기 위하여 여러 가지의 계측장비를 이용하고 있지만 대부분 실시간으로는 주요 시설물의 변위와 거동을 측정하고 상시적으로 확인하지 못하고 있는 것이다. 본 연구에서는 대형 교량구조물의 운행에 위험을 사전에 감지할 수 있도록 GNSS 및 환경센서와 드론영상 데이터를 무선 네트워크로 전송하여 사용할 수 있도록 하였다. 그 결과, 실시간으로 교량의 미세변위와 그 상태를 진단함으로써 위험 요소가 예상되는 교량의 구조부에 대한 보강, 수리 및 재해 방지 조치가 가능하도록 하여, 각종 재난과 사고를 사전에 예방하고 방재할 수 있는 새로운 대안을 제시할 수 있었다.

주요어 : 교량, GPS/GNSS, 환경센서, USN, 사물인터넷

ABSTRACT

Today, many smart sensor's measurement instruments are used to check the safety situation of various medium and large bridge structures that should be maintained in the construction facilities, but most of them use the method of measuring and confirming the displacement behavior of the bridge at regular intervals. In order to continuously check the safety situation, various measuring instruments are used, but most of them are not able to measure and measure the displacement and behavior of main construction structures at regular intervals. In this study, GNSS and environment smart sensors and

2019년 03월 15일 접수 Received on March 15, 2019 / 2019년 06월 11일 수정 Revised on June 11, 2019 /
2019년 06월 12일 심사완료 Accepted on June 12, 2019

* 본 연구는 세명대학교 2018년 교내학술연구사업의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

1 세명대학교 대학원 건설공학과 Dept. of Civil Engineering, Semyung University

2 대림산업(주) 토목사업부 Dept. of Civil Eng. Business, Daelim Industry Ltd.

3 ㈜대교건설턴트 기술연구소 Technical Lab. Daekyo Consultant Ltd.

※ Corresponding Author E-mail : yshkgi@hanmail.net

drone' s image data are transmitted to wireless network so that risk of many bridge' s structures can be detected beforehand. As a result, by diagnosing the fine displacement of the bridge in real time and its condition, reinforcement, repair and disaster prevention measures for the structural parts of the bridges, which are expected to be dangerous, and various disasters and accidents can be prevented, and disaster can be prevented could suggest a new alternative.

KEYWORDS : Old Bridge, GPS/GNSS, Environment Sensor, USN, IoT

서 론

대형구조물의 변위를 연속적으로 확인할 수 있는 여러 가지 시도가 이루어져 왔으며, 대부분 가속도계를 구조물의 적당한 곳에 설치하여 그 진동을 감지하여 그 변위를 추적하고 있다. 본 연구는 GNSS/USN을 동시 동시에 관측하기 위하여 실시간 교량 모니터링 시스템을 실제 현장에 설치하여 그 측량자료를 분석하고 그래픽으로 볼 수 있도록 하였다. 새로운 인공 위성 GPS신호를 공간의 위치정보로 변환하는 GNSS 첨단기술을 적용하여 여러 노후화된 시설물의 변위를 실시간으로 모니터링 할 수 있는 응용기술을 적용한 것이다. 또한 낮은 위치에서 접근 가능한 UAV/Drone을 이용하여 동영상을 획득하고 위험요소를 분석함으로써 GNSS에 의한 새로운 적용은 중형의 여러 교량의 변위를 밀리미터(mm) 수준의 고정밀도로 변위 및 거동을 24시간 실시간으로 측정하는 것은 물론 갑자기 발생하는 돌발적인 변위의 예측은 물론 미세한 장기 변위 추세도 연속적으로 측정하고 원격전송이 가능케 하도록 하며 이것을 원하는 곳에서 확인할 수 있는 Web-based service 가능하도록 한 것이다. IoT(Internet of Things, 사물인터넷)은 사물에 센서를 부착해 실시간으로 데이터를 주고받는 기술 및 환경을 의미한다. 그에 비해 IoE(Internet of Everythings)는 IoT를 근간으로 하지만, IoT 이외에도 클라우드, 빅데이터, IPv6 등 다른 기술적 혁신들 역시 포함하는 개념이다. 스마트 도시건설에 있어서 IoT는

물리적 객체와 디바이스를 네트워크 연결하는 것을 의미한다. IoT가 네트워크 연결되기 시작하면 IoT는 수집 데이터부터 통신망 품질까지, 빅데이터 분석부터 제곱디바이스까지 원활한 정보 유통의 근간이 되어가고 있다. 따라서 본 연구에서는 GNSS와 USN/IoT의 통합방식을 이용하여 건설구조물에 대한 초정밀측위를 측정하고 그 주변에 대한 지상의 환경상황을 결합한 구체적인 실험 연구를 통하여 새로운 교량구조물의 사전 방제관리기법을 적용함으로써 건설구조물 관리의 실시간 모니터링에 있어 스마트센서의 활용성에 대하여 실제로 적용할 수 있는 모델을 개발하는 것을 연구목적으로 하였다.

연구방법 및 내용

1. 연구방법

본 연구에서는 수년전에 개통되어 운행하는 방화대교를 대상으로 변위가 예상되는 지점을 선정하여 GNSS가 가능하도록 시스템을 설치하고 그 데이터를 실시간으로 수신하여 무선 전송이 가능한 방식으로 세명대학교의 측량연구실에서 데이터 처리가 가능한 연구를 진행함으로써 새로운 방식의 교량 및 대형구조물의 미세변위측정과 분석처리가 가능하도록 하였다. 유비쿼터스 센서 네트워크에서 측정 센서 노드들과 한 개의 싱크 센서 노드는 무선통신으로, 측정 센서 노드들로부터 싱크 센서 노드로 데이터가 전송되고 그 이후는 직렬통신의 방법으로 싱크 센서 노드로부터 PC로 데이터 전송이 이루어지며 TCP/IP에 의한 통신이 이루어진다. 무선 센서로 부터 실시간으로 획득한 온도, 습

도, 조도, GPS, CO₂ 등의 환경데이터는 TinyOS 기반에서 처리되어 PC 화면상에 실시간으로 나타나게 되고 XML 프로그래밍에 의해 스마트폰 등으로 전송되어 관련 담당자의 PC 나 스마트폰 등으로 확인할 수 있다. 본 연구에서도 USN으로 수집된 여러 위치에서의 환경데이터를 스마트폰으로 전송하여 어디에 있던지 측정시점의 환경정보를 손안에서 볼 수 있도록 하였다.

2. 현장측량 및 분석

3차원의 교량 구조물을 구성하기 위하여 항공사진 1:5000과 수치지도, 아리랑 위성영상을 이용하였다. 대상지역으로는 현재 4대강 수중보가 있는 경기도 이포지구를 선택하여 수차례에

걸친 현장방문 관측을 함께 시행하였다. 우선 항공사진을 정사보정하여 2차원의 정사사진으로 파일을 재생성하고 수치지도로부터 획득한 등고선으로부터 DEM을 생성한 후에 사진과 표고데이터를 매칭하여 3차원의 건설현장을 재구성하였다. 광대한 건설현장 중에서 일부구간을 선정하여 집중적으로 현장을 투시조감할 수 있는 환경으로 만들고 구조물이 시공되고 있는 지역에 건설환경조사를 진행할 수 있도록 유비쿼터스 기반을 조성하여야 한다. 이를 위하여 주로 현장의 온도, 습도, 조도, 적외선상태를 기본으로 하여 CO₂ 량을 측정할 수 있는 센서노드를 설치하도록 하여, 이곳에서 USN측정을 통하여 간단하게 수중보의 환경인자를 wifi환경으로 송신처리하는 방법을 실시하였다. 이를 위

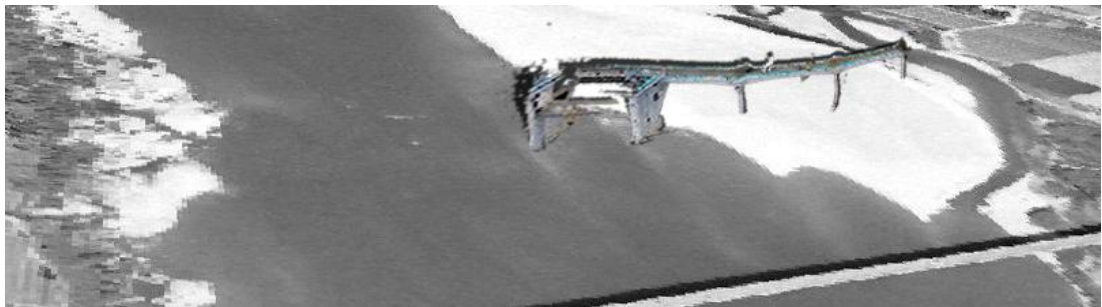








FIGURE 1. Result of Image Matching on the Aerial photo with New Submarine-Dam Structure (Ippo Aerea)

TABLE 1. The result of Analysis of Environment Site by USN

USV Survey and Data Analysis							
Site Photos	Data Out	Tempera.	Humid.	light Density	GPS	CO2	Date
		23℃	18%	630	N4595236.457 E29785356.236	300 ppm	2016.11.26
		24℃	17%	640	N4595236.550 E29785356.250	290 ppm	2017.02.20
		22℃	19%	640	N4595236.250 E29785356.330	285 ppm	2017.03.19

하여 국립지리원에서 보유하고 있는 항공사진과 수치지형도를 이용하였으며, 그 결과는 아래 사진과 같다(그림 1),

그리고 표 1은 새롭게 신축되고 있는 신축 교량공사 현장부근에서의 임의로 3개 지점을 선정하여 USN의 무선센서로 온도, 습도, 조도, CO, GPS 값을 실시간으로 수집하여 정리하고 스마트폰으로 전송하여 확인할 수 있도록 한 것이다. GNSS 기선길이의 변위에 추적에 의한 정밀측정과 모니터링을 미세변위에 영향을 줄 수 있는 환경인자를 USN/IoT방식으로 연계할 수 있는 새로운 방법을 시도하였다. 이렇게 얻어진 실험결과를 언제든지 원하는 장소에서 확인할 수 있도록 간단한 XML작성하여 처리하였다.

3. 교량에서의 USN/IoT 측정결과

청풍호수에 설치되어 있는 30년 이상된 청풍 구교 위에서 2개 지점을 선택하여 진동상황을 측정 비교하였다. 이를 위하여 과거에 USN 방식으로 측정하였던 유사한 지점에서 사진과 같이 시험용으로 제작한 IoT 다양한 환경센서를 결합하여 작동이 가능한 오브젝트 프로그램을

개발하여 간단하게 현장에서의 측정데이터를 수집할 수 있도록 하였다. USN 방식에 비하여 유선방식이므로 현재로서는 인위적인 개입이 불가피하지만 점차로 개선하여 무선통신방식으로 대체되어 갈 수 있을 것으로 기대된다. 구청 풍대교 아래로 관광유람선이 운행되고 있으므로 평상시와 유람선이 지날 경우의 진동변화를 추적하고, IoT상에 나타나는 진동(Vibration) 상태를 진단하기 위하여 IoT기반의 센서를 설치하여 측정을 실시하였다. 그 결과는 그림 3과 같다.

1) USN 데이터 획득

무선통신용 유비쿼터스 센서들(측정용 센서 노드)로부터 획득한 데이터는 싱크센서 노드에서 수집된 후 C 코드로 처리되어 컴파일링 후 실행하게 된다. 데이터 처리 결과는 TinyOS 기반으로 동작하는 PC에 그래프 등으로 나타나게 된다. 아래 그림은 데이터 처리 결과 예를 보여주고 있다.

그 결과 측정지점의 온도는 27도, 조도치 931, 습도37%, 적외선 130 와 그 측정지점의

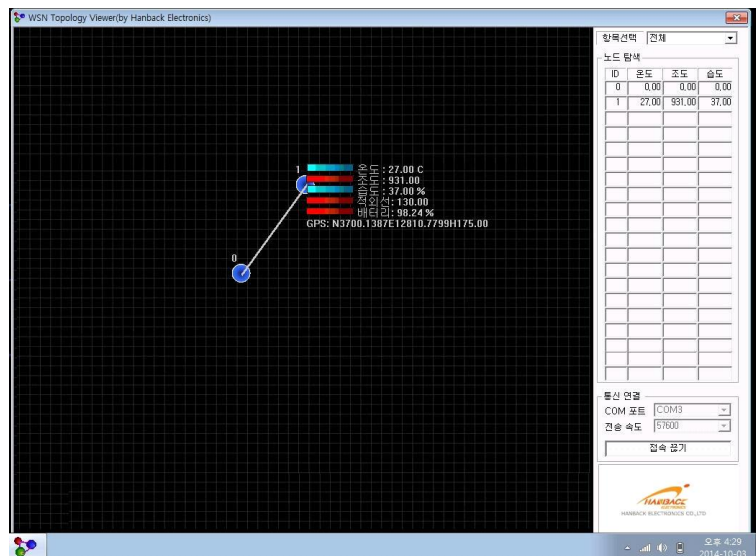


FIGURE 2. Ddata Processing from Ubiquitius Sensors (CheongPyung Bridge Section-B, 2017.5.30. 15:35)

위치를 알려주는 GPS의 3차원 위치값을 보여 주고 있다.

(1) 청풍호반 구청풍대교 진동/온도 측정값 (IoT)

그림 2는 IoT의 온도센서값의 변화는 29~

30도이고, 그림 3의 IoT 진동 센서에서는 결과 치는 유람선이 지나면서 0의 값이 4까지 올라 가고 있음을 확인하였다.

(2) 오래된 철도교량에서의 IoT/USN 측정

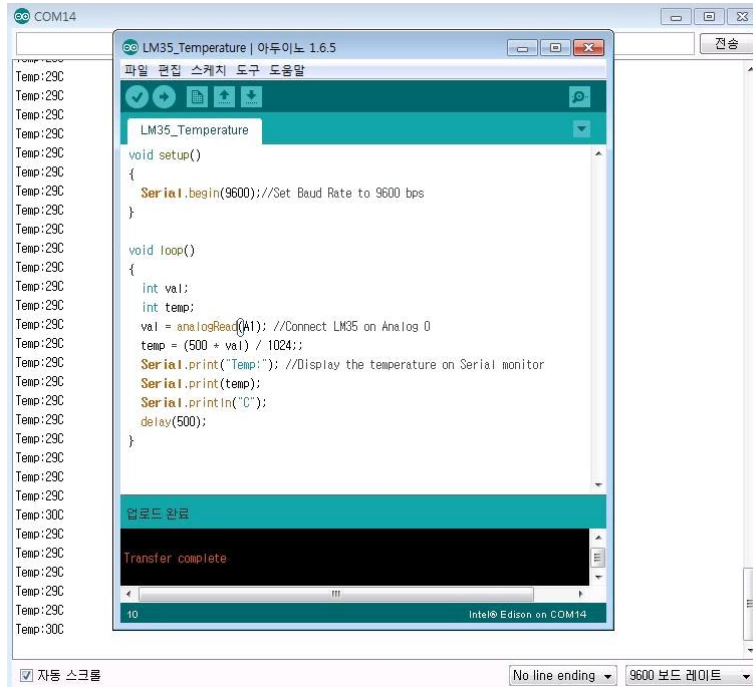


FIGURE 3. Measuring Ddata from IoT Sensors (Cheong-Pyung Bridge Section-B, 2018.5.30.)

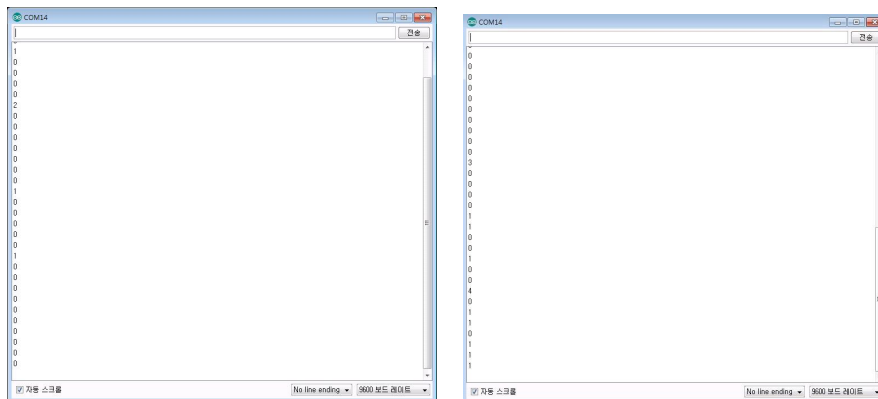


FIGURE 4. Compare Ddata of IoT Vibration Sensors at the Cheong Pyung Bridgee as Ture Boat Passing

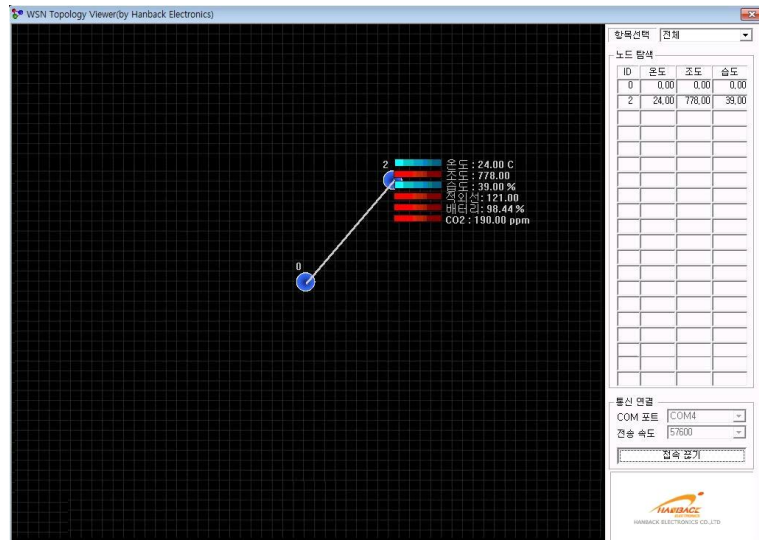


FIGURE 7. Measurers Data from USN Sensors on the Railway

상시에는 그 수치가 0 이지만 기차통과시에 먼거리부터 가까이 다가옴에 따라 진동수치가 크게 증가함을 확인할 수 있다.

(3) 대형교량에서의 미세변위 추적

GNSS 방식으로 좀더 긴 장대교량에서의 실측을 위하여 서울의 방화대교 중간지점에서

서 국내 GPS 기준망인 VRS와의 연결을 통하여 기선을 작성하여 X 방향과 Y방향의 위치의 변위와 더불어 고저차와의 Z 방향의 변위를 하여 추적하여 mm이내의 오차변위까지 변위를 분석하였다.

아래 그림 9에서 보는바와 같이 방화대교 중간지점과 기지점을 VRS 방식으로 연결하여

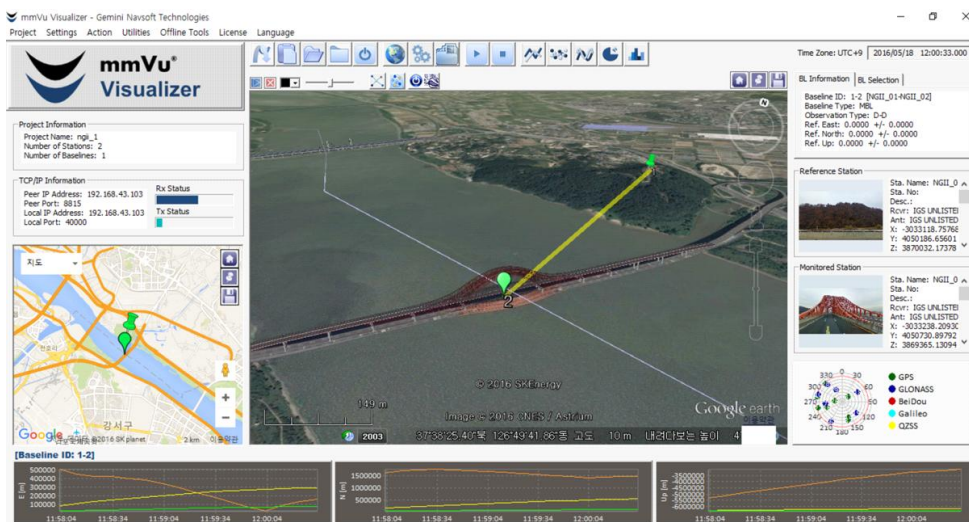


FIGURE 8. GNSS Survey on the Bangwha Bridge

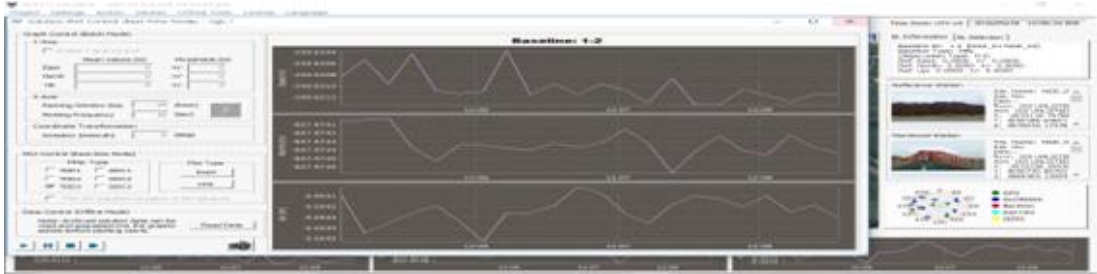


FIGURE 9. GNSS Displacement on the Bangwha Brid.

mmVu 프로그램으로 실시간 분석하여 1~2기선의 X방향(E)으로 최저 0.4mm~최고 0.12mm사이의 변위를 추적하고 있음을 확인할 수 있고, Y방향(N)으로 최저 0.1mm~최고 0.6mm사이의 변위를 추적하고 있으며, Z방향(up&down)으로 최저 0.1mm~최고 0.5mm 사이의 변위를 추적하고 있음을 확인할 수 있었다.

결론 및 제언

본 연구를 통하여 스마트 센서의 활용은 이제 교량구조물의 상태를 상시적으로 진단하고 그 변위를 추적하는데 있어서 필수적인 요소가 되어가고 있음을 확인할 수 있었다. 교량에서의 구조물의 안전에 영향을 미칠 수 있는 역학적인 힘의 작용과 더불어 자연 환경인자의 수집과 분석은 USN/IoT의 동시측정과 분석으로 측정점시점의 온도, 습도, 조도, 적외선, 질소, 이산화탄소, 진동값을 손쉽게 설치하고 무선으로 그 수치를 디지털 통신하여 가까운 참조점 등에서 확인 처리할 수 있었다. 대형 교량구조물이 되는 한강의 방화대교 중간지점과 기지점을 VRS 방식으로 연결하여 분석 프로그램으로 실시간 분석하여 모니터링의 결과, 1~2기선의 X방향(E)으로 최저 0.4mm~최고 0.12mm 사이의 변위를 추적하고 있음을 확인할 수 있고, Y방향(N)으로 최저 0.1mm~최고 0.6mm 사이의 변위를 추적하고 있으며, Z방향(up&down)으로 최저 0.1mm~최고 0.5mm 사이의 변위를 추적하고 있음을 확인할 수 있었다.

초정밀측위를 위한 GNSS현장에서의 시범적

용을 위하여 오래된 구교량과 철도교량을 대상으로 측정분석하였고, 비교적 GNSS 설치와 작업이 용이한 대형교량에서의 분석은 VRS와의 연계에 의한 오차조정이 필수적임을 확인하였다. 따라서 우리나라에서는 정부가 예산을 들여 전국적으로 GPS 위성 신호를 국가 기준점으로 언제나 수신할 수 있도록 약 80여군데 GPS 상시기준점을 설치하였고, 이것을 기준으로 가상기준점을 설치할 수 있도록 되어 있어 본 연구에서도 이것을 이용하였다.

공간영상지도는 아리하위성에서 원격탐지된 고해상도의 영상을 쉽게 이용할 수 있게 되었으나 아직 서비스가 원활하지 않아 구글어스에서 제공하는 google map의 TM좌표계의 지도 좌표를 사용하여 본 시범시스템의 GNSS 수신망에 연결하도록 하였다. GNSS방식의 초정밀의 위치기반으로 하여 교량 구조물의 변위값을 확인할 수 있을 뿐 아니라 이에 영향을 줄 수 있는 환경인자인 온도, 습도, 조도, 이산화탄소, 질소, 함수비, 소음진동 등은 무선 USN 및 사물인터넷에 의하여 실시간으로 동시에 수집하여 통합적으로 분석 적용하여 실용적인 응용기술을 융합하도록 하여 그 측정값을 공유하도록 하였다.

이제 스마트 센서의 다양한 방식으로의 복합적으로 이용할 수 있게 되어 교량구조물의 정밀한 변위 관측을 위하여 현재의 레이건변위계 및 경사계와 더불어 GNSS 초정밀변위측위에서의 실험적인 적용을 통하여 국토의 건설구조물의 안전진단 및 재난 방재를 필요로 하는 분야에서 다방면으로의 활용할 것으로 기대된다. **KAGIS**

REFERENCES

- Arora, R, 2005. "Road networking using remote sensing and GIS technologies" . Geoscience and Remote Sensing Symposium. IGARSS apos:05. Proceedings. 2005 IEEE International, Vol. 3, Issue, 25–29 2005, 1522–1525 (2005).
- Hanbaec Electronics Research Lab, 2015, "u-sensor network system using ZigbeX" , ISBN 978-89-90758-12-5
- Boulis, C. Han, and M.B. Srivastava, 2003, "Design and Implementation of a Framework for Programmable and Efficient Sensor Networks", In the First international Conference on Mobile Systems, Applications and Services (MobiSys), San Francisco, CA.
- C.Shen, C.Srisathapornphat C.Jaieko, 2001, "Sensor Information Networking Architecture and Applications," IEEE Personal Communications, 8(4):52–59.
- S.Yeon, J.Kim, 2018. "GIS/GNSS and USN/IoT Application for Construction Deformation Prevention" International Symposium on Remote Sensing, Processing material GNSS-Positioning (GP), pp.29 (건설변위방재를 위한 GIS/GNSS와 USN/IoT 적용)
- S.H. Yeon, 2016. "Construction Disaster Prevention by use of Spatial Image and GNSS and IoT" , ICC2016 ISSN 223-201X Vol.14. No2
- Paul. Mather, 1987. "Computer Processing of Remotely-Sensed Image" , John Wiley Sons pp.189–202,
- F. Rottensteiner and Ch. Briese, 2003. "Automatic Generation of Building Models from LiDAR data and the Integration of aerial images" , ISPRS, Vol. XXXIV, Dresden.
- S. Yeon, Seungkuk Choi, 2013. "A Technique on the 3-D Terrain Analysis Modeling for Optimum Site Selection and development of Stereo Tourism in the Future" KoCon 2013 Fall Conference Proceeding.
- S.Yeon, 2017. "Development for Precision Positioning and Fine Displacement Monitoring Based on GNSS" JIIBC Vol. 17, No. 3, pp.145–152, Jun. 30, ISSN 2289-0238
- J. Hightower and G. Borriell, 2001. "Location Systems for Ubiquitous Computing", IEEE Computer, 34(8):57–66,
- E. Steinle, F.H. Oliveira, 2015. "Assessment of Laser Scanning Technology for Change Detection in Buildings" University of Karlsruhe Institute for Photogrammetry and Remote Sensing."
- S.Yeon, 2008. "Application technology of 3D spatial information by integration of aerial photo and laser data" The Korea contents Association, ICC2008, 6(2): 193–197
- IEEE 2010. "Terrain Modeling from Lidar Range Data in Natural landscapes: A Predictive and Bayesian Framework. Large-Scale Physics-Based Terrain Editing Using Adaptive Tiles on the GPU" IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing. Mar. 2010 Part2, 48(3):568–578.
- S. Oh, 2009. "Design of a Fault-Tolerant

- Routing Protocol for USN” , JIBC 9(2): 51–57
- IEEE 2004. “Compression of Large–Scale Terrain Data for Real–Time Visualization Using a Tiled Quad Tree” . Computer Graphics Forum. Volans4(3):741–759.
- IEEE 2011. “Merging GPS and Atmospherically Corrected InSAR Data to Map 3–D Terrain Displacement Velocity” IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing. 9(6): 2354–2360
- IEEE, 2013. “The Influence of Terrain Scattering on Radio Links in Hilly Mountainous Regions” . IEEE Transactions on Antennas & Propagation. 61(3):1385–1395
- Arches, 2009. “a Framework for Modeling Complex Terrains. Computer Graphics Forum” . 28(2):457–467
- Hanbaek, 2013. “Ubiquitous Sensor Network System Using Zigbe X” , Hanbaek Electronix Tecnology Institute, ISBN 978–89–90758–12–5
- S. Yeon, Y. Lee, 2008. 3D Spatial Image City Models Generation and Applications for Ubiquitous–City, JIIBC 8(1):47~52
- S. Yeon, Y. Lee, 2013. “Implementation of Ubiquitous based Construction Site Management” , JIIBC, 13(2):240~244