

건설현장 사전 환경조사를 위한 공간정보의 적용기법*

연상호^{1*}

Application Technique of Geospatial Information for Pre-Environment Survey in Construction Site*

Sang-Ho YEON^{1*}

요 약

건설공사에서 사전 환경조사는 시공 전 현장 조사 서비스뿐만 아니라, 계획 및 설계에서도 매우 중요한 요소이다. USN과 결합된 지형공간정보의 적용은 사전에 건설 현장의 진행 단계마다 조사 및 연구에 매우 경제적인 방법이기 때문에 건설 환경 계획 및 기본 설계의 건설을 위하여 매우 중요한 역할을 수행하여 불필요한 시행착오를 줄일 수 있다. 본 연구에서는 공간위치를 기반으로 환경 센서와 무선통신 기술을 융합하여 건설현장을 디지털 공간정보 환경으로 전환하고, 현장에 설치된 무선의 소형 환경 센서를 이용하여 각 유비쿼터스 센서에서 측정된 환경 데이터를 싱크 센서가 데이터 수집 처리하고 초소형 Tiny OS 기반의 PC 출력 이미지를 전송하는 방식으로 현재 진행되고 있는 건설 현장의 여러 환경정보를 3차원 지형공간에서 실시간으로 그 환경변화를 모니터링 할 수 있도록 하였다.

주요어 : 건설 현장 관리, 지형공간정보, 유비쿼터스, 센서 네트워크, 사전 환경 조사

ABSTRACT

The environmental survey in advance in the construction works is very important for planning and designing as well as the service of field survey before carrying out construction. The topographical application of spatial information coupled with USN is the very economical method for the survey and research every processing stage of construction field in advance. Therefore the execution of very important role for environmental planning and fundamental designing of construction reduces the unnecessary trial and error through the environmental survey in advance. In this

2014년 1월 25일 접수 Received on January 25, 2014 / 2014년 3월 5일 수정 Revised on March 5, 2014 / 2014년 3월 18일 심사완료 Accepted on March 18, 2014

* 본 연구는 세명대학교 2012년 교내학술연구지원에 의해 수행되었음.

1 세명대학교 토목공학과 Department of Civil Engineering, Semyung University

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

research the environment of existent construction field is transformed to that of digital spatial information by fusing the sensor network with wireless technique on the base of spatial position. In addition, the sink sensor cumulates the environmental data measured from each USN sensor using small wireless environmental sensors installed at the construction site and changes of various environmental data at the present constructing site are able to be monitored at 3-D topographical space in real time by using the method for transmitting the image of PC output based on TinyOS.

KEYWORDS : *Construction Site Management, Geospatial Information, Ubiquitous, Sensor Network, Pre-Environment Survey*

서 론

대부분의 건설현장은 도심지뿐만 아니라 인적이 드물거나 차량의 통행이 적은 산천이나 농어촌 등에 대부분 분포되어 있기 마련이다. 짧게는 수백 미터에서 길게는 수만 미터에 이르기까지 그 거리와 함께 여러 종류의 건설공사를 진행하여야 한다. 건설현장의 사전환경조사를 위하여 직접 현장을 방문하여 조사하는 것은 많은 시간과 노력이 수반되는 것뿐만 아니라 균일한 정확도를 얻어내는 것이 현실적으로 불가능하므로 직간접적인 여러 가지 방법을 혼용하여 실시하고 있는 것이다.

대형 건설현장의 공사 진척현황은 3년에서 5년까지의 오랜 공사 진행에 따라 지형의 변화와 더불어 새로운 구조물이 만들면서 지공간의 모습이 크게 변화되므로 지속적인 현장관리가 요구되기도 한다. 건설 현장 공간정보 수집을 위하여 항공 레이저 센서 기술에 의하여 지형 및 구조물을 정밀하게 측정하고 도형화할 수 있을 뿐 아니라 GPS 위성의 수신센서가 위치한 지점의 다양한 자연 환경정보까지도 무선센서노드에 의하여 멀리까지 전송이 가능해지고 있다. 또한 복잡한 도시공간모델은 GIS 기반 개방형 객체모델에 의하여 3차원 공간모델링을 보다 효율적으로 보강하기 위하여 개발하여 사용하고 있다(Gang *et al.*, 2012), 이러한 토목 건설현장의 효율적인 관리를 위해서

는 직접 현장을 방문하여 빈번하게 그 공사 진행사항을 확인하고 미리 짜인 공정일정에 맞게 올바른 구조물이 만들어가고 있는가를 수시로 비교하고 평가하여야 한다. 건설현장 주변의 환경에 관한 정보를 획득하기 위하여 본 연구에서는 유비쿼터스 센서망(USN)을 이용하여 건설현장에서 필요한 다양한 환경정보를 수집하고 현장에서 측정처리 도시할 수 있도록 하였다. 또한 지형공간정보와 GPS 정보 등을 이용하여 체계적인 현장관리를 계획하여 실시할 수 있도록 항공사진과 수치지도를 이용하여 정밀좌표보정 후에 3차원으로 도시하도록 하였다. 따라서 본 연구에서는 건설현장에 무선통신이 가능한 환경 센서를 이용하여 각 노드센서로부터 싱크센서로 측정된 환경 데이터를 송신하면 싱크센서는 이들 데이터를 수집하여 TinyOS 기반 PC가 이를 처리하고 그 결과를 출력 이미지 및 출력 데이터로 나타내는 시스템을 구성하여 3차원 지형공간에서의 건설현장의 변화를 확인할 수 있도록 하는 것을 연구 목적으로 하였다. 따라서 본 연구는 공간정보의 3차원 생성이 가능한 4대강 이포대교 공사현장을 중심으로 3차원 지형공간을 생성하였고 지상의 건설현장 뿐만 아니라 터널 및 동굴과 같은 지하공간에서의 건설 환경정보를 수집하여 다각적인 사전환경조사가 이루어지도록 하여 이것을 공간정보와 결합할 수 있는 방안을 도출하고자 하였다.

연구내용 및 방법

1. 지형공간정보를 이용한 현장 재구성

일반적으로 3차원 지형 환경의 공간영상콘텐츠는 국토계획 및 통신설비계획, 철도건설, 시공, 입체적인 유비쿼터스 도시 구현, 안전 및 방재 등에서 많은 요구와 그 중요성이 크게 부각되고 있다. 현재 지리정보 기반의 2차원적인 지도정보와 시설정보를 3차원의 도시공간으로 재현하기 위하여 기존의 등고선을 이용한 DEM 방식은 많은 한계를 가지고 있으며, 특히, 철도와 같은 노선 폭이 좁고 길이가 길어서 궤적 관리가 어려운 작은 구조물의 경우에는 그 고도모델이 무시되기 쉬우므로, 레이저 측량기술을 이용한 공간 대상물에 대한 높은 정확도 취득이 크게 필요한 실정이다. 최근에는 레이저 측량기술과 GPS를 결합한 고밀도 고정도의 높이 값을 얻을 수 있는 LiDAR 데이터의 이용으로 그러한 한계를 극복하고 있는 추세이다. 3차원의 건설현장을 구성하기 위하여 항공사진 1:5000과 수치지도, 아리랑 위성영상을 이용하였다. 대상지역으로는 현재 4대강 하천 정비 사업이 진행되고 있는 경기도 이포지구와 세명대학교 캠퍼스 중 건물한 곳을 선택하여 현장방문 관측을 할 수 있는 준비를 통하여 현장에서의 공간정보를 취득하여 적용하였다. 우선 항공사진을 정사 보정하여 2차원의 정사사진으로 파일을 재생성하고 수치지도로부터 획득한 등고선으로부터 DEM을 생성한 후에 사진과 표고데이터를 매칭하여 3차원의 건설현장을 재구성하였다(그림 1).

비교적 레이저 측량을 우리 실정에 적합한 3차원 지형분석 및 건설구조물에 적용하여 데이터의 생성기법을 개발하여 3차원 공간에서의 최적의 현장관리가 가능하도록 하였다. 이를 위하여 LiDAR Data를 중심으로 하는 높이 값을 DEM으로 변환하고, 디지털 영상의 매칭 및 정확도 평가 등을 통한 벡터와 래스터의 실시간 통합 및 전환으로 3차원 공간모델의 생성을 통한 변화과정을 추적관리가 가능하도록

하였다.

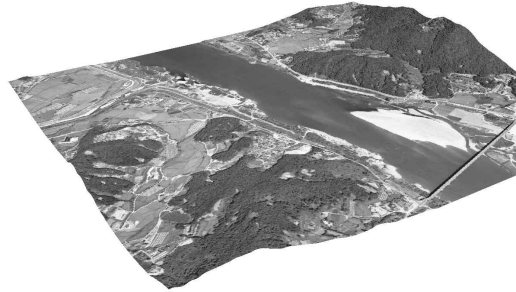


FIGURE 1. 3-D spatial perspective photos for construction site

광대한 건설현장 중에서 일부구간을 선정하여 집중적으로 현장을 투시도로 조감할 수 있는 환경으로 만들고 구조물이 시공되고 있는 지역에 건설이 진행되고 있는 지점에서의 사전 환경조사를 진행할 수 있도록 유비쿼터스 센서를 이용하여 환경정보를 수집할 수 있는 기반을 조성하도록 하였다. 주로 현장의 온도, 습도, 조도, 적외선 상태를 기본으로 하여 CO₂량을 측정할 수 있는 센서노드를 마련하여 시스템을 구성하였다. 그리고 지형의 기복과 분포를 확인하기 위하여 DEM을 이용한 RGB 위성영상을 작성하여 지형의 기복을 한눈으로 확인할 수 있도록 그림 2와 같이 생성 하였다.

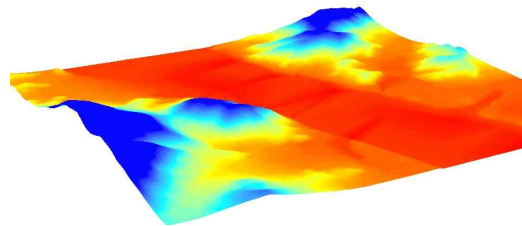


FIGURE 2. 3-D spatial perspective RGB image for construction site

그리하여 공간영상콘텐츠를 이용한 다양한 시설물 관리에 기존에 존재하는 많은 3차원 프로그램은 많은 양의 그래픽 정보를 짧은 시

간 안에 렌더링을 해야 되기 때문에 고속의 시스템이 필수적이다. 이런 단점을 보완하기 위해서 낮은 사양의 하드웨어에서도 높은 그래픽 정밀도와 빠른 렌더링 그리고 지리정보의 특징을 살릴 수 있는 실시간 3차원 전용 뷰어를 이용하기도 한다. 이것은 빠른 렌더링 속도를 내기 위해서 여러 장으로 나누어진 그래픽정보 데이터베이스에서 실시간으로 그래픽 정보를 보여주며, 이를 통해서 보다 빠른 렌더링이 가능하게 되었다. 또한 기존에 존재하는 CAD와 GIS 데이터를 이용해서 3차원데이터를 보여줄 수 있도록 하였다. DEM 의한 표고 데이터로 여러 가지 표고모델을 다양하게 표현하기 위하여 지상측량 방식보다는 항공기 및 인공위성에 의한 디지털 공간모형을 공간정보와 3차원 레이저측량으로 일시적으로 위치좌표로 매칭하여 건설현장의 변화와 형상이 어떻게 이동되어가는 것으로 지속적으로 모니터링 할 수 있도록 하였다.



FIGURE 3. Perspective view regeneration of construction site

2. 건설현장 지역의 공간 단면 생성 및 산출

건설공사 현장 주변 환경과 현장의 공간정보의 정사투영에 의한 항공사진을 우선 생성하여야 한다. 공간에서의 경도, 위도의 수평좌표 위에 일대일 대응 값으로 수직 변환된 DEM의 표고 값을 연결하여, 3차원 지형공간을 생성하

여 실험대상지역의 항공사진과 DEM 매칭 후의 투시조감도를 각 방향에서 자유롭게 투영할 수 있도록 하였다. 그 다음에 실험대상지역의 3차원 지형분석을 위하여 가시권분석, 투시조감도, 토공량 산정을 산출할 수 있는 중형 단면도를 지상 레이저 스캐닝에 의한 표고데이터를 이용하여 항공사진으로부터 계획단면도를 생성하도록 하였다. 정사투영의 항공사진에서의 경도, 위도의 수평좌표 위에 일대일 대응 값으로 수직 변환된 그림4의 DEM의 표고 값을 연결하여 3차원 지형공간을 생성하여 실험대상지역의 항공사진과 DEM 매칭 후의 투시조감도를 각 방향에서 자유롭게 투영할 수 있도록 하였다. 그 다음에 그림 5에 그 결과를 실험대상지역의 3차원 지형분석을 위하여 가시권분석, 투시조감도, 토공량 산정을 산출할 수 있는 중형 단면도를 레이저 스캐닝에 의한 표고데이터를 이용하여 항공사진으로부터 계획 단면도를 생성하도록 하였다.

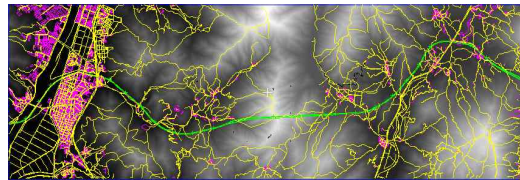


FIGURE 4. Topographic DEM of the express way

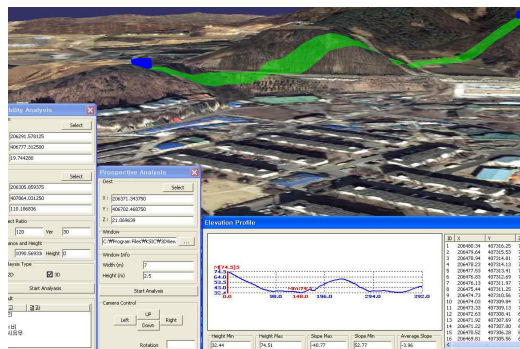


FIGURE 5. Construction site DEM of the express way

3. 건설현장의 입체적인 시설물 정보 연계

1) 교량 및 건축 구조물에 대한 3차원 모델구성

본 연구를 위하여 사용된 지상 라이더 측량은 항공레이저측량의 원리와 동일하지만 레이저 스캐너가 항공기 대신 지상에 위치한 장비에 고정되어 있어 관성항법장치(INS)의 도움이 필요 없다는 특징을 갖는다. 지상에 고정된 기준점에서 대상물에 레이저 펄스를 발사하여 반사된 레이저 펄스의 도달 시간을 측정하고, 측정된 도달시간을 측량장비와 대상 지표면 또는 시설물 사이의 거리로 환산함으로써 해당 시설물이나 지표면에 대한 3차원 위치정보를 정확하게 측정할 수 있다. 지상 라이더 측량을 이용한 3차원 도시 공간 정보 구축 방법은 수 mm 정도의 매우 정확한 고정밀의 3차원 공간 정보를 획득할 수 있으므로 특정한 영역을 대상으로 정밀한 자료의 구축에 유용하게 사용할 수 있다. 획득된 데이터는 일종의 점의 집합체로 시스템에 입력되며 이들을 폴리곤으로 변환하고 메쉬를 생성함으로써 3차원 모델을 구성하였다.

본 연구에서는 20012년 건설당시에 건설현장을 방문하여 TOPCON DLS 1000장비를 사용하여 측량하였다. 측정값을 영상처리하여 입체적인 건설구조물의 위치정보를 공간영상으로 생성하였다(그림 6, 7 참조).

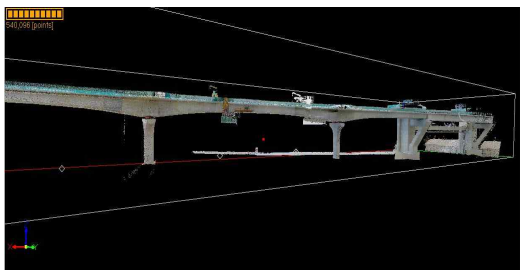


FIGURE 6. I-Po bridge's laser scanning image of construction site

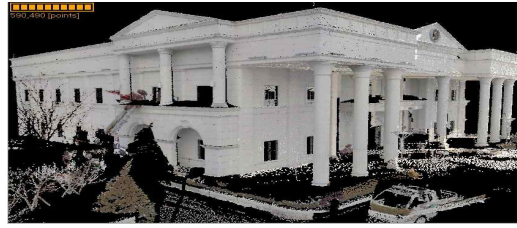


FIGURE 7. Stereo scanning result for Semyung memorial building

2) 공간영상과의 철도의 궤도선로 매칭작업 지형에 대한 DEM은 지형도 또는 수치지도, 현장에서의 고저차 측량, 입체사진측량에 의한 사진영상의 중첩 및 해석 등으로부터 얻어진 등고선을 대상지역에 대한 표고분포를 수치적으로 표현한 것이므로 본 연구대상지역은 제천에서 단양에 이르는 중앙선 복선 경로에 대한 DEM을 생성하여 중앙선과 영월에 이르는 태백선의 복선 궤도를 영상위에 매칭시켜 표현하였다. 그리고 고해상도 위성영상을 정사보정하여 정위치 편집 후에 DEM을 매칭하여 계획된 철도노선을 중첩하여 최적노선 선정 및 궤도추적을 위한 3차원 모델을 생성하여 시뮬레이션하였다(그림 8, 9, 10, 11 참조)

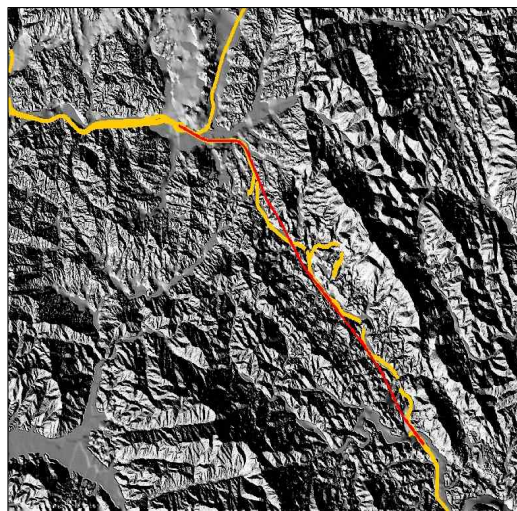


FIGURE 8. DEM and double traction in Jecheon

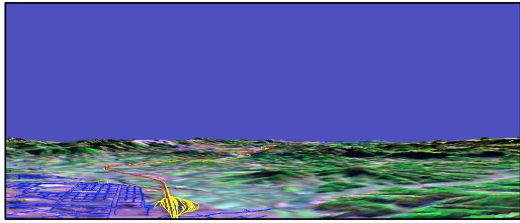


FIGURE 9. 3-D perspective image and multi-railway for overlay (central line-railway)

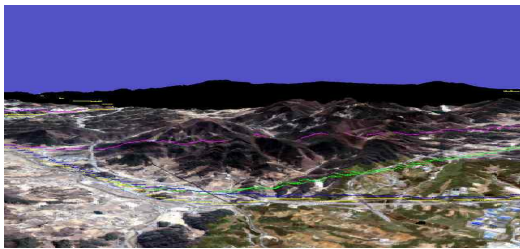


FIGURE 10. 3-D perspective image and multi-railway for overlay (Taeback line-railway)

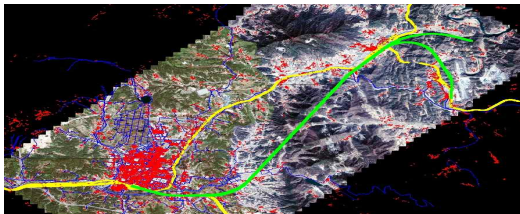


FIGURE 11. Optimum route overlapped with satellite image and alternated railways

사전 환경 데이터의 획득 및 처리

1. USN 시스템 구성

무선통신이 가능한 USN 환경 센서들은 프로그램 다운로더용 Adaptor를 통해 TinyOS 기반 윈도우시스템의 노트북 또는 휴대용 컴퓨터에 직접 인터페이스 되어 각 노드센서로부터 측정된 데이터를 처리하도록 구성하였다. 측정된 데이터들은 이미지 또는 적절한 단위의 데이터들로 출력결과 및 변화를 보여준다. 다음

그림 12는 환경데이터 측정용 USN 시스템의 구성을 보여주고 있으며 그림 13은 건설현장에서 수집한 환경 데이터의 그래프와 그 결과를 보여주고 있다.

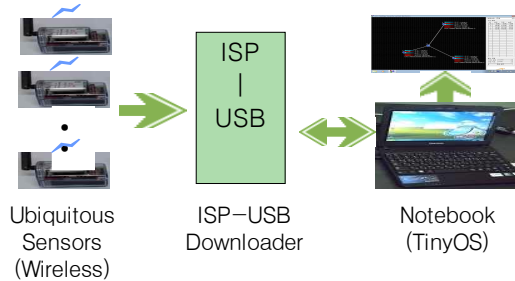


FIGURE 12. USN and data collection and graphic process

즉, 건설현장을 공간정보 기반으로 재구성하고 나서 USN 시스템으로 구성된 u-노드센서로부터 온도, 습도, 조도, GPS위치정보 및 CO₂ 가스 농도 등에 관한 측정 데이터는 함께 처리하여 볼 수 있도록 하여 토목공사 및 건축 등의 건설현장의 환경변화를 사전에 분석 하였다.

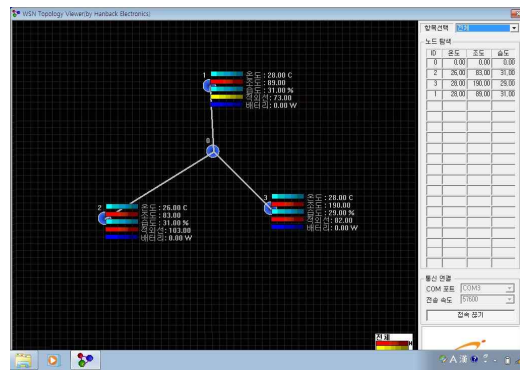


FIGURE 13. USN results at the IPO bridge's construction site

2. USN 관련 프로그램의 개발 프로세스

USN 관련 프로그램의 TinyOS 기반에서 USN 센서에 적합한 NesC(C 언어와 유사)

언어로 프로그래밍 하고 C 언어 소스코드로 컴파일링 하면, 크로스 컴파일에 의하여 기계어 코드(*.hex) 파일로 변환된다. 이 파일은 ISP-USB 프로그램 다운로드를 거쳐 해당 센서(모트)로 다운로드 되고 각 무선통신용 노드 센서들로부터 측정이 가능하게 된다. USN 관련 프로그램의 개발 프로세스에 의하여 각 측정용 무선 노드센서들이 데이터를 획득할 수 있게 되면, 데이터가 측정되기 시작하고 획득한 데이터는 싱크센서(데이터 수집센서)에서 수집되고 처리되어 노트북 또는 PC 화면에 이미지와 적절한 데이터로 출력되어 나타난다. 각 데이터 값은 평균치이며 GPS 정보는 1개의 값을 취하여 나타내었다.

처리 결과 및 분석

1. 데이터 획득 결과

무선통신용 유비쿼터스 센서들(측정용 센서 노드)로부터 획득한 데이터는 싱크 센서노드에서 수집된 후 LM3S8962 마이크로프로세서(미 TI사)에 전송되고 마이크로프로세서는 이를 그래픽 기반의 LabView를 사용하여 C 코드를 생성하고 컴파일링하여 실행하게 된다. 데이터 처리 결과는 TinyOS 기반으로 동작하는 PC에 그래프 등으로 나타나게 된다. 그림 15는 데이터 처리 결과를 나타내고 있으며 만족할 만한 결과를 보여주고 있다.



FIGURE 14. USN and mote for data collection

2. 닫힌 공간의 USN에 의한 측정분석

터널내부에서 건설공사를 수행하기 위해서

는 건설 환경 데이터를 수시로 확인하여 적합한 공법을 채택하여야 하며 사전에 온도, 습도, 조도량, 일산화탄소량을 수시로 각 지점에서 확인할 수 있어야 한다. 외부와는 모든 여건이 불리함으로 본 연구에서는 USN을 20m 마다 설치하여 각 지점에서의 서로 다른 데이터의 변화를 모니터링 하였다. 또한 동굴에서의 입구와 출구 및 중앙부에서의 온도 및 습도, 이산화탄소, 일산화탄소 등을 감지할 수 있는 센서를 연결하여 그 정도를 비교하여 Tiny OS 기반에서 처리 할 수 있도록 하였다. 또한 동굴이나 공사가 진행되고 있는 터널 현장을 선정하여 USN 환경계측을 실시하여 동굴에서의 환경저해 요인이 되고 있는 일산화탄소에 대한 측정치를 비교하여 검토하였으며, 건설 환경이 열악한 고속도로 현장의 터널공사 지역을 방문하여 다양한 공간정보와 USN에 의한 환경 공간정보를 측정하였다. 그림 15는 고수동굴에서의 온도, 습도, 조도, 이산화탄소의 측정결과를 나타낸 결과이며, 그림 16은 천동동굴에서의 온도, 습도, 조도, 이산화탄소의 측정결과를 나타낸 결과이다. 그림 17은 터널내의 지점 A의 센서에 의한 먼지량을 측정한 결과이고 그림 18은 터널내의 지점 B의 센서에 의한 먼지량을 측정한 결과이다. 그림 19는 건설현장에서의 USN 설치로 사전환경정보를 수집하여 처리한 최종결과를 그래픽과 수치로 도표화 하여 작성한 것이다.

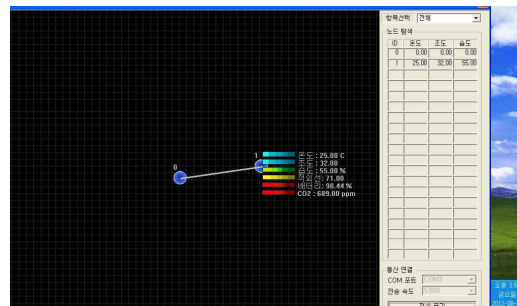


FIGURE 15. USN information of gosu's cave

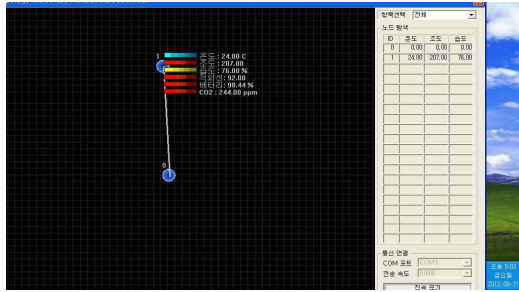


FIGURE 16. USN information of Cheondong's cave

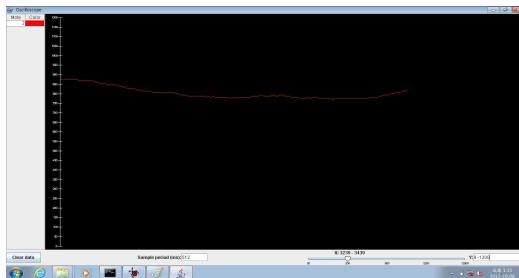


FIGURE 17. Dust-1 on the road A

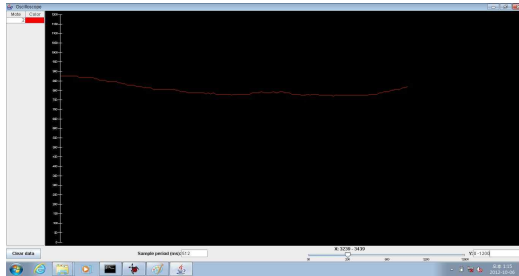


FIGURE 18. CO₂(2) on the road A

환경 데이터 관리						
원장 영상	2D 영상	3D 영상	데이터 출력	온도	습도	GPS
				7°C	17%	620
				23°C	25%	953
				22°C	20%	920

FIGURE 19. Environment data management of construction site

결론

본 연구결과에서 나타난 대로 공간정보를 이용하여 건설현장의 지형과 구조물에 대하여 3차원 공간에서 공사현장의 사진영상을 재생성하여 활용할 수 있는 결과를 얻어냈으며, 지속적으로 건설현장의 변화과정을 추적하기 위한 디지털 영상의 공간자료의 활용이 다양한 센서네트워크와의 융합에 의하여 매우 용이해짐에 따라 점차 고해상도의 사진 영상의 3차원 시각화와 모델링이 GIS와 GPS 및 USN을 통합하여 동시에 적용하여 결과를 도출하였다.

본 연구대상지역의 건설현장의 사전에 환경조건을 수시로 확인하여 공사 진행을 위한 중요한 의견결정 자료로 항상 이용할 수 있도록 하기 위해서는 2010년부터 동일한 지점에서의 변화과정을 지속적으로 2012까지 주기적인 혹은 실시간 관측이 이루어져야 할 것이지만 연구기간과 그 관측의 제한이 있으므로 많은 부분이 누락될 수 밖에 없을 것이므로 이에 대한 대책을 마련해야 할 것으로 사료된다.

최근에는 고밀도 높이값을 얻어낼 수 있는 전용 항공기를 이용한 레이저 측량방식으로 이루어지고 있어 도로 및 철도의 최적 노선 선정과 더불어 도로 및 철도건설과 주변 시설물과의 종합적인 공간 정보수집과 관리가 용이해졌다. 또한 이동하는 교통시설을 4차원 공간에서 실시간으로 영상 변환하여 활용할 수 있게 되어 이동하는 다양한 교통수단과의 연계를 통하여 평면이 아닌 입체공간에서의 실제적인 건설공사의 설계와 시공을 과학적으로 진행하며 관리 할 수 있게 되었다. 따라서 현재의 건설현장에서의 효율적인 공간정보 구축을 위하여 자동차가 도로 위를 주행하며 외부요소와 결합하듯이 도로 및 철도선로라는 이미 그려진 노선에서 이동하는 차량의 경우에도 보다 안정적이고 정확한 공간정보와의 연계에 의하여 그 활용도를 높여갈 수 있는 많은 연구가 이루어져야 할 것이다. 또한 다양한 유비쿼터스 기반의 여러 종류의 환경 센서가 개발되고 있어 새로운 방법의 원격관리가 가능한 건설현장이 등장

할 것으로 예상된다. 최근 들어 2차원 평면의 지도 및 영상을 3차원 이상의 입체적 공간으로 전환하여 활용할 수 있는 공간정보와의 결합에 의한 건설현장의 시각적인 복원 및 생성과 그 흐름을 추적할 수 있는 유비쿼터스 기반의 환경 센서가 포함된 4차원 건설현장의 공간정보 모니터링 기법의 지속적인 연구가 이루어진다면 다양한 솔루션이 통합될 수 있는 가능성을 시사해주고 있다. **KAGIS**

REFERENCES

- Choi, B.M. 2013. Study the urban planning information system under the paradigm shift of urban planning. Journal of the Korean Association Geographic Information Studies 5(3):45-54 (최봉문. 2013. 도시계획분야의 환경변화에 적응하는 도시계획정보 체계의 발전방향에 관한 연구. 한국지리정보학회지 5(3):45-54).
- Gang, J.A., T.H. Kim, M.N. Bae, J.Y. Ma and C.H. Hong. 2013. An USN test bed construction for real time monitoring of road environment information. Journal of the Korean Association Geographic Information Studies 16(3):180-192 (강진아, 김태훈, 배명남, 나준엽, 홍창희. 2013. 실시간 도로환경정보 모니터링을 위한 USN 테스트베드 구축. 한국지리정보학회지 16(3):18-192).
- Gang, T.W., C.H. Hong, J.R. Hwang and H.S. Choi. 2012. The external BIM reference model suggestion for interoperability between BIM and GIS. Journal of Korea Spatial Information Society 20(5):91-97 (강태욱, 홍창희, 황정래, 최현상. 2012 BIM과 GIS간 정보 상호 운용을 위한 외부BIM 참조 모델 제안. 한국공간정보학회지 20(5):91-97).
- Hu, Y. 2003. Automated extraction of digital terrain models, roads and buildings using airborne lidar data. geomatics engineering. UCGE Reports Number 20187.
- Morgan, M. and A. Habib. 2001. 3D TIN for automatic building extraction from airborne laser scanning data. Proceedings of ASPRS Annual Conference, St Louis, Missouri, April 23-27, 2001.
- Park, S.K., J. Kim, K.J. Lee and M.H. Jo. 2013. Analysis of land use change within four major areas using high resolution aerial photos : the case of the Nakdong river basin. Journal of Korean Association of Geographic Information Studies 16(4):171-188 (박수국, 김진, 이길재, 조명희. 2013. 고해상도 항공사진을 이용한 4대강 하천구역 내 토지이용변화 분석- 낙동강 유역을 사례로. 한국지리정보학회지 16(4):171-188).
- Rottensteiner, F. and Ch. Briese. 2003. Automatic generation of building models from LiDAR data and the integration of aerial images. ISPRS, Vol. XXXIV, Parts3/w13.
- Steinle, E. and F.H. Oliveira. 2008. Assessment of Laser Scanning Technology for Change Detection in Buildings. University of Karlsruhe Institute for Photogrammetry and Remote Sensing.
- Yeon, S.H. 2010. A study on the application technique of 3-D spatial information by integration of aerial photos and laser data. Journal of Korea Society for Surveying and Photogrammetry

- 28(3):385-392 (연상호, 2010. 항공사진과 레이저 데이터의 통합에 의한 3차원 공간정보의 응용기법 연구. 한국측량학회지 28(3):385-392).
- Yeon, S.H., M.H. Cho and J.D.Lee. 2002. Introduction of Remote Sensing. Kumi Book Publishing (연상호, 조명희, 이진덕, 2002. 원격탐사입문. 구미서적).
- Yeon, S.H. and Y.W. Lee. 2013. Implementation of ubiquitous-based construction site management system. IIBC 13(2):239-244 (연상호, 이영욱, 2013. 유비쿼터스 기반 건설현장관리시스템 구현. 인터넷방송통신학회지 13(2):239-244).
- <http://www.csc.noaa.gov/products/nchaz/html/intro.htm>.
- <http://www.lidar.co.uk>.
- <http://www.optech.on.ca/aboutlaser.htm#hydro>.
- <http://www.ordsvy.gov.uk/productpages/lidar/home.htm>. 