Journal of the Korean Society of Civil Engineers
Vol. 35, No. 3: 707-714/ June, 2015
DOI: http://dx.doi.org/10.12652/Ksce.2015.35.3.0707

ISSN 1015-6348 (Print)
ISSN 2287-934X (Online)
www.kscejournal.or.kr

Construction Management **시공관리**

건설현장 굴착작업을 위한 토공 BIM 프로토타입 개발

문성우* · 손지홍** · 홍순헌***
Moon, Sungwoo*, Son, Jihong**, Hong, Soonheon***

Development of a Prototype for an Earthwork BIM Environment

ABSTRACT

The national government is pushing hard the adoption of the BIM (Building Information Modeling) technology in the construction industry. The BIM application provides a visualized environment where the construction manager can inspect the structure of buidling structures. The application also provides information on activity progresses as well as earned values. However, BIM is mostly applied to visualize a structural object with definite forms. The BIM technology needs to be extended to include an object with non-definite forms such as earthwork operations. The objective of this study is to present a prototype of earthwork BIM in the construction operation. The prototype has been built on the attributes of geological information, construction equipment and positioning. The prototype of earthwork BIM shows a 3D graphic simulation of construction equipment moving around for digging and loading.

Key words : BIM, Earthwork, Earthwork BIM, Excavator, Earthwork attribute

초 록

현재 정부에서는 설계기술발전을 위해서 BIM을 적극적으로 장려하고 있다. BIM 환경에서 건설관리자는 시각적인 정보뿐만 아니라 비용과 시간을 접목시켜서 건설공사의 진행사항과 이와 관련된 비용집행현황과 공정 스케줄을 검토할 수 있다. 그러나 BIM은 건물, 교량 등 고정된 구조물 설계와 시공에 대부분 적용되고 있는 것이 현실이다. BIM은 그 기능을 확장시켜서 고정된 구조물뿐만 아니라 환경변화가 지속적으로 발생되는 토공작업에도 적용할 수 있다. 본 논문에서는 BIM 기법을 토공현장에 적용시키기 위한 프로토타입 개발과 적용을 연구목적으로 한다. 토공 BIM 프로토타입은 굴삭기와 같은 건설장비와 연동하여 변화되는 지형에 대한 3차원적 데이터를 제공하여 토공작업의 현황정보를 제공한다. 본 연구과정에서는 BIM을 동적인 토공작업에 적용하기 위해서 필요한 속성정보를 찾고, 이를 바탕으로 토공 BIM의 사용자 화면을 제시한다.

검색어 : BIM, 토공작업, 토공 BIM, 굴삭기, 토공작업 속성정보

1. 서 론

1.1 배경

BIM (Building Information Modelling)은 구조물에 대한 3D 모델을 통하여 설계정보를 관리하는 시도이다. BIM은 건설사업에 활용되어서 건설산업의 생애주기에서 발생하는 데이터를 시각화하여 관리하고, 설계기술뿐만 아니라 시공기술의 획기적인 발전을 가져오고 있다. BIM을 기반으로 하는 설계정보관리 기술은 데이터베이스와 연계하여 건축, 토목 그리고 플랜트 등 건설공사 설계에서 정보관리를 위한 필수적인 기법으로 자리를 잡고 있으며, 4D 모델 등으로 확대하여 발전하고 있다.

* 정회원 · 부산대학교 사회환경시스템공학과 교수, 공학박사 (Pusan National University · sngwmoon@pusan.ac.kr)
** 부산대학교 사회환경시스템공학과, 석사과정 (Pusan National University · op2802@naver.com)
*** 정회원 · 교신저자 · 부산대학교 사회환경시스템공학과 교수, 공학박사 (**Corresponding Author** · Pusan National University · hsh1963@pusan.ac.kr)

Received March 19, 2015/ **revised** March 25, 2015/ **accepted** March 26, 2015

Copyright ⓒ 2015 by the Korean Society of Civil Engineers
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

현재 BIM 기술이 발전함에 따라서 현재 정부는 건설산업의 설계기술을 발전시키기 위해서 BIM 적극적으로 장려하고 있다. 조달청은 2012년부터 500억 이상 공공시설물 설계에 있어서 BIM을 의무적으로 적용하도록 계획하고 있고(Kim and Lee, 2014), 2016년부터는 100억 이상인 공공시설물은 의무적으로 BIM을 적용하도록 계획하고 있다.

정부와 건설산업계에서 BIM 적용에 관심을 가지는 이유는 BIM이 제공하는 다양한 효과 때문이다. 구조물을 대상으로 하는 BIM은 구조물을 3D 형상으로 구현하여 그래픽 시뮬레이션으로 검토할 수 있는 기능을 가진다. BIM 환경에서 건설관리자는 시각적으로 정보를 관리할 뿐만 아니라 3D 모델을 바탕으로 구조물 설계에 대한 정보를 데이터베이스화하고 간섭을 체크하는 등 다양한 용도로 BIM을 활용할 수 있다. BIM은 4D BIM으로 확대하여 활용할 수 있으며, 이 경우 비용과 시간을 접목시켜서 건설공사의 진행사항을 검토하고, 공정진행과 관련된 비용집행현황과 공정 스케줄을 관리할 수 있다. 이와 같인 BIM은 설계와 시공단계에 있어서 설계기술을 향상시키고, 건설관리기법과 연계하여 다양한 용도로 적용된다.

이러한 다양한 용도에도 불구하고 BIM은 건물, 교량 등 고정된 구조물 설계와 시공에 대부분 적용되고 있는 것이 현실이다. BIM은 그 기능을 확장시켜서 고정된 구조물뿐만 아니라 환경변화가 지속적으로 발생되는 토공작업에도 적용할 수 있는 토공 BIM으로 발전해야 한다. 토공 BIM은 BIM의 기능을 토공작업에 적용한 3D 그래픽 모델의 환경을 의미한다. 토공 BIM은 토공작업을 3D 환경에서 모델링함으로써 시공과정에서 토공작업의 효과를 높인다.

토공 BIM은 설계에서 계획하는 구조물을 표현하는 일반 BIM과 비교하여 동적으로 표현해야 하는 차이점이 있다. 즉, 토공 BIM은 실시간으로 변화하는 지형과 장비의 형상을 표현해야 한다는 어려운 문제를 가지고 있다. 다시 설명하면, 토공 BIM은 무정형으로 진행되는 토공작업을 그래픽 시뮬레이션으로 보여줘야 한다는 어려운 점을 가진다.

1.2 연구목적 및 방법

본 논문에서는 BIM 기법을 토공현장에 적용시키기 위한 프로토타입 개발과 적용을 연구목적으로 한다. 토공 BIM 프로토타입은 굴삭기와 같은 건설장비와 연동하여 변화되는 지형에 대한 3차원적 데이터를 제공하여, 또한 토공작업의 진도현황에 대한 정보를 제공할 수 있다.

본 연구과정에서는 BIM을 동적인 토공작업에 적용하기 위해서 필요한 속성정보를 찾고, 이를 바탕으로 토공 BIM의 프로토타입 화면을 제시한다. 본 연구는 1) BIM 적용현황 및 요구사항 분석, 2) 3D 지형정보 준비, 3) 굴삭기 형상정보 분석, 4) 속성정보 분석 및 모델링, 그리고 5) 3D 모델링의 5단계로 구성됐다(Fig. 1).

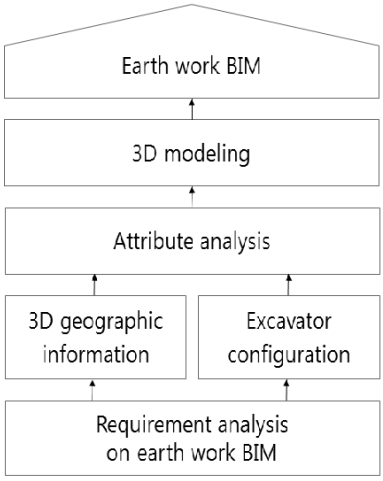


Fig. 1. Research Procedure

첫째, BIM 적용현황 및 요구사항 분석에서는 현재 건설분야에서 BIM 적용현황을 분석하고 토공 BIM의 필요성을 검토했다. 둘째, 3D 지형정보 준비에서는 토공 BIM에 적용하기 위한 지형정보처리 방안을 제시했다. 셋째, 굴삭기 형상정보 분석에서는 토공 BIM 모델에서 필요한 굴삭기의 형상정보를 분석했다. 넷째, 속성정보 분석 및 모델링에서는 지형정보와 굴삭기 속성정보를 모델링했다. 그리고, 다섯째, 3D 모델링에서는 정리된 속성정보를 바탕으로 토공 BIM을 위한 3D 모델을 작성했다.

2. 관련연구

정부에서는 BIM을 국내 설계기술발전의 근간으로만들기 위해서 발주지침을 제시하고 있다. 국토교통부에서는 건축분야 BIM 적용가이드를 제시하여 발주자, 건설사, 설계사 등이 BIM을 사업에 적용하기 위한 요건과 절차를 따르도록 하고 있다(Ministry of Land, Infrastructure and Transportation, 2010). 본 가이드는 건축분야에 한정되지만 BIM 업무가이드와 기술가이드, 그리고 관리가이드를 제공하여 공공공사 추진시 BIM 적용업무에 참고하도록 하고 있다. 조달청에서는 시설사업 BIM 적용 지침서를 발간하여 조달청 시설사업의 계획설계단계, 중간설계단계 및 실시설계 단계에 BIM 기술을 적용하도록 유도하고 있다(Public Procurement Service, 2013). 본 지침서는 사업단계별 관리대상, BIM 데이터 작성과 활용 등에 대한 내용을 포함하고 있다.

현재 BIM은 건축분야에서 활성화되어 있다. 그 이유는 건축분야는 시설물 위주로 사업이 추진되기 때문에 시설물에 대한 BIM을 적용함으로써 기대하는 효과를 충분히 얻을 수 있기 때문이다. BIM 관련 연구를 살펴보면 Park et al.(2012)은 국내 BIM 활용이

실제화 되고 있으나 실제 BIM 활용은 기존 설계 프로세스를 기반으로 BIM 엔지니어가 추가 투입되는 형태로 운영되고 있는 점을 인지했다. 이에 따라서 연구자들은 BIM 설계 프로세스를 분석을 위한 방법론을 활용하여 정보의 흐름을 최적화하는 BIM 설계 프로세스를 제시했다.

Lee et al.(2014)은 BIM과 빌딩 에너지 모델 사이의 상호 운용에 따르는 잠재적인 효용성을 인지하고, IFC 데이터의 이용에 있어서 데이터 중심의 매핑기법을 보여줬으며, 데이터 전환에 있어서 전문가의 지식과 경험으로 보완할 수 있는 프로세스 중심의 인터페이스 개발을 제안했다.

이러한 BIM은 단순한 3D 모델링을 넘어서 공정관리, 원가관리 등과 접목하여 발전하고 있다. BIM과 건설관리기법의 연계를 통한 BIM 개발 예를 살펴보면, Lee et al.(2012)은 BIM 환경의 공정 리스크 관리를 위해서 리스크관리 시스템과 4D CAD의 데이터베이스 연계를 시도했다.

Kim et al.(2013)은 BIM 활용에 대한 연구가 증가함에 따라서 개방형 BIM 기반으로 물량산출 및 견적시스템을 개발했다. 본 연구자들은 물량산출 및 견적시스템 개발을 위해서 데이터 속성을 분류하고 속성정보를 이용하기 위한 데이터 모델과 인터페이스를 시도했다. 또한 개발된 시스템을 가상의 프로젝트에 적용하여 BIM 환경에서 데이터 인터페이스의 유용함을 보여줬다.

토목분야에서 BIM은 교량과 같은 구조물 중심으로 적용되고 있다. Seo et al.(2013)은 토목사업에서 BIM발주가 늘어남에 따라서 도로공사를 대상으로 BIM 환경을 개발하여 B2D 도면의 대체효과에 대한 분석을 실시했다. 분석결과 연구자들은 BIM모델만으로는 2D도면을 일부 대체하지 못하는 문제점을 확인하고, BIM 기반의 성과품과 2D 도면의 이중작업을 방지하는 것이 필요하다는 것을 논했다.

Shim et al.(2011)은 특히 토목분야에 BIM을 적용하기 위해서 3차원 설계 프로세스를 연구하고, BIM 모델링을 위한 3차원 모델 연동방안을 제시했다. Cho et al.(2011)은 토목공사 현장에 시공준비단계와 시공단계에 BIM을 적용하여 건설 프로젝트의 통합관리에 이용하였다. 본 연구자들은 협업을 위한 기준으로 BIM을 이용하여 각종 민원 및 공기지연을 사전에 예방하고, 공정관리 시스템과 연계한 가상현장 시뮬레이션을 통해서 안전 및 환경 대책을 세우기 위한 자료로 활용하였다. 이러한 시도는 BIM을 활용하면 준공단계에도 준공도서와 현장의 여러 정보를 통합한 데이터베이스로 활용될 수 있다는 것을 보여주며, 또한 시설물 유지관리에 활용될 수 있다는 것을 증명했다.

이 밖에 토목분야에서도 공정관리, 원가관리 등과 연계하여 BIM을 적용하고자 하는 연구가 시도되고 있다 (Kim et al., 2014; Shin et al., 2011). Lee et al.(2012)은 BIM을 기반으로 탄소배출계수 환산체계와 BIM 속성정보에 환산체계를 활용한 라이브러리를 개발하고, 이를 통해서 이산화탄소의 배출량을 측정했다. 이러한 연구는 BIM은 확장되어서 다양한 용도로 활용될 수 있다는 것을 보여준다.

이와 같은 연구는 건축 또는 토목분야에서 구조물을 대상으로 3D 모델을 생성하는 것으로서, 동적으로 변하는 대상에 대한 3D BIM은 새롭게 연구되어야할 분야이다. 본 연구에서 제시하는 3D 토공 BIM은 토공작업에 대한 3D 그래픽 모델환경을 제공함으로써 토공작업 수행에 대한 효과를 높이도록 지원한다.

3. 토공 BIM 개념과 기술요소

3.1 토공 BIM 개념

일반 BIM은 구조물을 중심으로 3D 모델링을 수행한다. BIM 개발 과정에서는 빌딩, 아파트와 같은 건축 구조물과 교량과 같은 토목 구조물의 부재를 3D 모델로 형상화하고, 이를 속성정보를 가지는 블록으로 그룹화하여 3D 그래픽 시뮬레이션 모델을 개발하게 된다. BIM은 확장하여 스케줄과 연동할 수 있으며, 시간에 따라서 변화하는 모습을 보여줄 수 있다.

그러나 토공 BIM은 일반 BIM과 다르게 건설현장의 지형정보를 바탕으로 장비형상과 지형형상을 동시에 표현해야 한다. 건설현장에서 토공작업이라는 대상은 무정형으로 발생되며, 이를 정형화된 3D 모델로 형상화하여 저장하기는 쉽지 않다. 토공작업시 성토와 절토에 대한 계획고는 설계상에서 목표로 하는 최종 지형형상을 나타내며, 이를 구현하기 위해서 실시하는 토공작업은 굴삭장비 조종원의 판단에 따라서 진행되게 된다.

토공 BIM을 작성하기 위해서는 지형정보를 바탕으로 하는 3D 모델뿐만 아니라 굴삭기 형상정보, 그리고 위치정보 등이 필요하다. 이를 구현하기 위해서는 소프트웨어와 하드웨어의 결합이 필요하며, 센서가 생성하는 데이터를 실시간으로 3D BIM 모델에 적용해야 한다. 센서개발은 본 연구범위 밖에 있지만 본 연구에서 수행하는 프로토타입을 실제로 현장에 적용하기 위해서는 센서를 제작해야 한다.

Fig. 2는 토공 BIM의 구성을 보여주고 있다. 토공 BIM을 개발하기 위해서는 1) 지형정보를 나타내는 수치지도가 필요하며, 2) 장비의 작업형상을 모델링하기 위한 센서를 개발해야 하고, 그리고 3) 장비의 이동위치를 추적하기 위한 GPS를 결합시켜야 한다. 이와 같은 기술요소로 개발되는 토공 BIM 장비조종원을 위해서 실시간으로 활용된다.

즉, 장비조종원은 토공 BIM에서 제공하는 그래픽 정보를 활용하여 현장작업시 발생하는 시각문제를 해결할 수 있다. 또한 장비조종원은 토공작업의 결과 현재 절토량과 성토량은 토공정보를 활용함

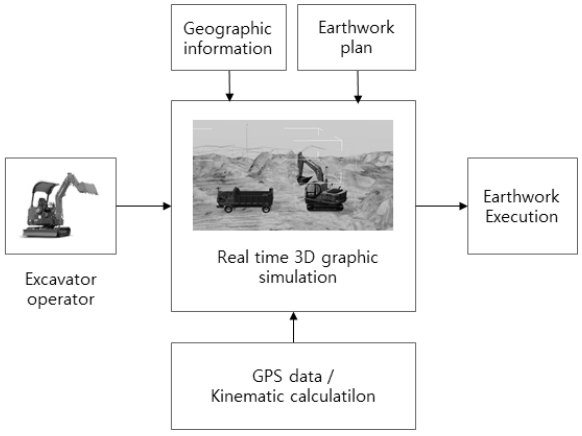


Fig. 2. Overview of Earthwork BIM

으로써 작업 생산성을 향상시킬 수 있다.

3.2 기술요소

토공 BIM을 구현하기 위해서는 지형정보, 굴삭기 형상정보, 굴삭기 위치정보, 그리고 3D 모델링 등 복합적인 기술을 개발해야 한다. 지형정보를 위해서는 토공현장의 지형을 모델링해야 하며, 굴삭기 형상정보는 굴삭기 작업을 표현하기 위해서 필요하고, 굴삭기 위치정보는 GPS 데이터를 활용해야 하며, 그리고 3D 모델링에서는 지형정보와 굴삭기를 3D 환경에서 시뮬레이션 해야 한다.

지형정보과 굴삭기 형상정보, 그리고 굴삭기 위치정보 등 각 기술요소에 대한 세부내용은 다음과 같다.

3.2.1 지형정보

토공작업은 설계단계에서 계획되어야 하며, 이러한 계획수립시에는 지형정보와 현장정보에 근거하여 공간 및 지역특성을 분석하고, 이를 바탕으로 토량배분, 사토장, 토취장, 그리고 운반경로를 선정해야 한다(Park, 2008). 특히, 계획수립 시 토공작업에 필요한 건설장비계획이 병행되어야 한다.

3D 지형정보는 공간 및 지역특성 분석에 필요한 정보를 제공하며, 토공 BIM을 위해서 기본적인 환경을 제공한다. 지형정보에 대한 3D 모델은 지형정보를 기반으로 적용되며, 수치지도에 표시된 토공 계획고를 반영하여 작성된다.

3D 지형정보를 위해서 수치지형정보를 바탕으로 가상지형을 구축하고, 현장의 사토장, 토취장 및 운반경로 등 현황과 최적경로를 분석할 수 있다. 토공 계획고는 토공작업시 계획단계에서 작성되며, 설계도의 일환으로 준비된다. 토공 BIM에서는 운반경로와 토공과정을 사전에 시뮬레이션을 실시하여 최적의 토공계획을 수립한다.

지형정보는 현지측량 및 원격탐사를 통해서 구하거나, 또는 기존 수치지형 데이터베이스를 통하여 얻는다. 지형정보를 구할 수 없는 경우에는 직접 측량을 실시하여 구하여야 하지만, 일반적인 설계단계에서는 그동안 구축된 지형공간 데이터베이스를 활용할 수 있다. 이러한 데이터베이스는 다양한 형태로 지형정보를 제공하기 때문에 토공 BIM에서 필요로 하는 지형정보를 얻는다.

3차원 지형모델링을 구축하는 대표적인 방법에는 은 수치지형모델(DTM: Digital Terrain Model)을 이용하는 것이다. 수치지형모델링은 수치지형데이터를 취득하고, 취득한 데이터를 GIS에서 사용할 수 있도록 하기 위한 데이터 처리과정과 이를 바탕으로 하는 다양한 분석 및 응용을 포함하는 일련의 과정이다. 수치지형모델은 지표면에 일정한 간격으로 분포된 지점의 높이를 수치화하며, 이러한 정보를 전산화하여 다양하나 목적으로 활용할 수 있다. Lee and Shim(2013)이 논한 바와 같이 수치지형모델은 3차원 지형표현과 경관분석 및 설계, 그리고 절토 및 성토와 토목공사의 공학적 프로젝트 등 건설공사 수행시 다양한 목적으로 사용되고 있다.

수치지형모델의 대표적인 유형에는 1) 래스터 데이터 기반의 수치표고모델(DEM, Digital Elevation Model)과 2) 벡터데이터 기반의 부정형삼각네트워크(TIN, Triangulated Irregular Network) 모델이 있다. 먼저, DEM은 규칙적인 간격의 표본지점이 추출된 래티스 형태의 데이터 모델로 블록, 단면, 표고점의 세 가지 요소에 의해 나타내진다. 다른 래스터 데이터와 마찬가지로 아스킬 형태로 저장되며, 데이터를 처리하고 다양한 분석을 수행하기에 용이하다. 그러나 규칙적인 간격의 표본지점의 배열로 인해 복잡한 지형을 표현하는데 부적합하다.

다음으로 TIN은 연속적인 표면을 표현하는 또 다른 방법으로써 부정형 삼각 네트워크를 사용한다. TIN의 표면은 표본추출된 표고점들을 선택적으로 연결하여 형성된 겹치지 않는 부정형의 삼각형으로 이루어진 모자이크 식으로 표현된다. TIN에서 변은 선형의 형상을 나타내며, 지형을 특성을 고려하여 불규칙적으로 표본지점을 추출하였기 때문에 경사가 급한 곳은 조밀하게 삼각형으로 둘러싸여 나타난다. TIN은 DEM과 달리 추출된 표본점들은 x, y, z값을 가지고 있고, 벡터 데이터 모델의 특징인 위상구조를 가지고 있다. 본 연구에서 제시된 토공 BIM은 TIN을 사용한 지형의 3차원 모델을 작성했다.

3.2.2 굴삭기 형상정보

건설장비 형상정보는 장비의 작업형태를 토공 BIM에 반영하기 위해서 필요하다. 굴삭장비 중 굴삭기는 붐(Boom), 암(Arm), 그리고 버켓(Bucket)으로 구성된다. 이러한 굴삭기의 형상을 그래픽으로 구현하기 위해서는 각 부재별 길이와 각도 같은 형상정보를 필요로 한다. 부재의 길이는 굴삭기 장비에 따라서 다르므로 굴삭기 제작사가 제공하는 장비사양을 검토하여 적용해야 한다.

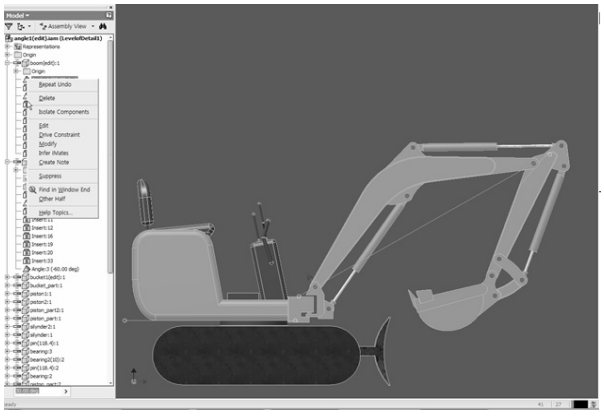


Fig. 3. Configuration of Excavator in 3D Graphic Simulation

굴삭기와 같은 경우 굴삭기 형상정보를 현장에서 구하기 위해서는 센서를 이용하여 굴착시 생성되는 궤적을 추적할 수 있다. 붐, 암, 그리고 버켓은 작업중 작업형태에 따라서 변화하므로 각도를 얻기 위해서 센서를 장착해야 한다. 센서로부터 센서값을 얻으면, 센서값을 사용하여 굴삭기 부재의 위치를 kinematic 계산식을 사용하여 실시간으로 추적할 수 있다. 이러한 굴삭기 궤적의 형상정보를 데이터 값으로 처리하여 토공 BIM에 반영할 수 있다.

Fig. 3은 굴삭기의 형상정보를 나타내는 3D 그래픽 시뮬레이션 화면을 보여준다. 버켓 끝단의 위치를 지정하면 3D 그래픽 시뮬레이션 모듈은 kinematic 계산식을 사용하여 자동으로 장비형상을 실제 굴삭기가 이동하듯이 시뮬레이션 하게 된다. 장비조종원은 3D 그래픽 시뮬레이션을 활용하여 굴삭기 작업을 사전에 시뮬레이션 한다.

3.2.3 굴삭기 위치정보

장비의 위치정보는 토공 BIM 모델상에서 굴삭기의 위치를 알려준다. 굴삭기 형상을 나타내는 3D 그래픽 모델상에서 사실적으로 묘사하고, 또한 굴삭기 조종원이 필요로 하는 의미있는 정보를 표현하기 위해서는 위치정보가 중요한 기능을 한다. 특히 덤프트럭의 경우 빠르게 이동함으로 위치정보를 실시간으로 처리할 수 있어야 한다.

건설장비의 위치정보는 GPS(Global Positioning System)를 사용하여 적용한다. GPS는 지구상공에 위치하는 24개 GPS 위성에서 보내오는 정보를 바탕으로 지상의 경도, 위도, 고도 등 위치를 계산하는 시스템이다. GNSS에서는 지상에서 관측할 수 있는 4개 이상의 위성에서 시각신호를 송신하고, 지상에서는 수신기를 이용하여 거리정보를 산출하고 X, Y, Z의 3차원 좌표를 계산한다(National Geographic Information Institute GNSS Data Service, 2015).

GPS는 국가 인프라 건설에 필요한 지형정보를 제공하며, 건설에

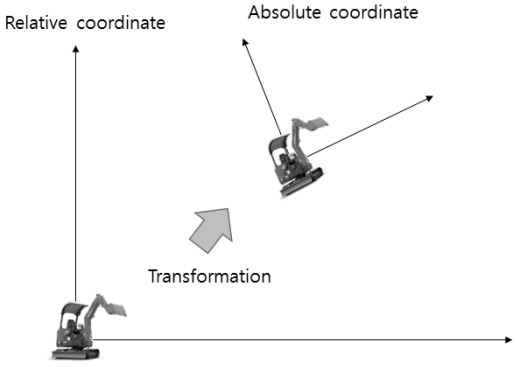


Fig. 4. Coordinate Transformation

도 도입되어서 활용되고 있다. 건설현장에서 장비관리를 위해서 중요한 기술로 적용성이 인식되고 있다(Kim, 2000). 최근 건설장비자동화의 중요성이 인식되어 감에 따라서 GPS 기술을 건설장비 자동화를 위한 위치추적시스템으로 적용하는 노력이 시도되고 있다(Construction Economy News, 2012). 또한 국토지리정보원에서는 GPS 위치정보를 제공하여 건설공사시 필요한 위치추적시스템을 활용하도록 지원하고 있다(Electronic News, 2012).

그러나 일반적인 GPS 시스템은 측정오차에 있어서 토공 BIM에서 요구하는 수준을 벗어난다. 측정오차를 줄이기 위해서는 고가의 GPS 수신기를 구입해야 하므로 경제성이 떨어지게 된다. 따라서 GPS의 정확성을 확보하기 위해서 본 연구에서는 GPS-RTK(Real Time Kinematic) 기술을 적용하고 있다. 이와 같이 GPS-RTK 기술을 적용하면 cm 단위의 정확성을 확보할 수 있다.

건설장비의 위치정보는 GPS를 기준으로 하는 위치정보 뿐만 아니라 오리엔테이션 정보가 필요하다. 장비의 오리엔테이션 정보는 토공 BIM 모델상에서 굴삭기가 향하는 방향을 알려준다. GPS-RTK 기술을 적용하기 위해서는 굴삭장비에 2대의 안테나가 필요하며, 각각의 안테나에서 수신되는 위치정보를 추적하여 굴삭기가 향하는 방향을 계산할 수 있다.

이때 Fig. 4가 보여주는 바와 같이 상대좌표로 표시된 방향을 절대좌표로 변환해야 한다. 즉 상대좌표계를 절대좌표로 변환시켜서 굴삭기가 향하는 방향을 토공 BIM의 3D 그래픽 시뮬레이션 상에서 일치시킬 수 있게 된다.

4. 토공 BIM 프로토타입 개발

4.1 토공 BIM 속성정보

토공 BIM을 개발하기 위해서는 토공 BIM과 관련한 다양한 속성정보를 분석해야 하고, 이를 데이터베이스화해야 한다. 토공 BIM을 효과적으로 개발하고 사용하기 위해서는 속성항목을 파악하고, 속성항목의 내용을 분석해야 하며, 이를 어떻게 적용할 것인가

가 중요하다. 토공 BIM은 3D 환경 속에서 이뤄지는 가상 시뮬레이션으로써 이를 표현하기 위해서는 실제 토공현장에서 발생되는 속성 데이터를 분석하고 처리해야 한다.

속성항목은 크게 위치정보, 지형정보, 그리고 굴삭기 형상정보로 구분했다. 첫째, 위치정보는 굴삭기 또는 덤프와 같은 건설장비가 위치하는 X, Y, Z 좌표 값으로 표시된다. 건설장비의 위치정보는 고정된 값이 아니라 토공작업 중 이동에 따라서 변화하게 되며, 토공 BIM에서는 이러한 이동 좌표값을 실시간으로 확인해야 한다. 또한 건설장비는 오리엔테이션 값을 가지고 있어야 한다. 오리엔테이션은 건설장비의 방향을 나타내기 위해서 필요하다. GPS를 사용하여 오리엔테이션을 나타내기 위해서는 2대의 GPS 수신기가 있어야 하며, 2개의 좌표값을 사용하여 방향을 계산했다.

둘째, 지형정보는 토공작업이 진행되는 지반정보, 토공면적, 지반고, 계획고, 절토량, 성토량, 차인토량, 그리고 누가토량 등이 필요하다. 이중 지반정보, 토공면적, 지반고, 계획고는 토공 BIM을 개발하기 위해서 기초적으로 필요한 정보이며, 설계단계에서 토공지역에 대한 조사를 통해서 계획한다. 이외에 절토량, 성토량, 차인토량, 그리고 누가토량은 토공 BIM의 결과로 발생되는 내용이며, 향후 개발이 필요한 부분이다.

셋째, 굴삭기 형상정보는 붐각도, 암각도, 버킷각도, 동체각도 등으로 구성했다. 굴삭기 형상정보는 붐, 암, 버킷, 그리고 동체에 부착된 센서로부터 얻을 수 있다. 셋째, 위치정보는 굴삭기가 가지는 X, Y, Z GPS 값을 나타내며, 또한 오리엔테이션 각도를 가져야 한다. 위치정보를 얻기 위해서는 굴삭기에 부착된 GPS를 사용해야 한다. 특히 토공 BIM의 정확성을 높이기 위해서는 GPS 인공위성에서 직접 수신하는 GPS가 아니라 토공현장에 설치된 GPS에서 위치정보를 수신해야 한다.

4.2 데이터베이스 설계 및 개발

토공 BIM에서 굴삭기의 위치를 추적하기 위해서는 굴삭기 속성정보를 데이터베이스화하여 관리해야 한다. 굴삭기의 형상과 위치정보를 지형정보와 연계하여 저장, 조회함으로서 굴삭기 수행과정을 토공작업후에 시뮬레이션 할 수 있다. 토공 BIM의 속성값을 저장하는 이유는 속성별로 저장된 값을 활용하여 굴삭기 작업에 대한 궤적을 추적할 수 있으며, 필요시 이를 재생하여 3D 시뮬레이션으로 구현할 수 있기 때문이다.

토공 BIM의 속성정보를 데이터베이스화하기 위해서는 ERD (Entity Relation Diagram)을 작성하고, 상호연관관계를 정의함으로써 데이터베이스의 저장과 조회가 신속하게 이뤄진다(Fig. 5). ERD는 데이터베이스 테이블의 연관관계를 주키(primary key)를 사용하여 나타낸다. 주키를 사용하여 데이블의 연관관계를 나나냄으로써 데이터베이스를 경량화시키고, 신속하게 데이터를 처리하게 한다. 이러한 ERD는 상용 데이터베이스인 SQL에 저장되어서 프로토타입에서 구현됐다.

4.3 프로토타입 구성

본 연구에서 제시된 토공 BIM은 수치지도를 바탕으로 하는 지형정보를 기본으로 한다. 수치지도는 토공작업 이전 토공지역에 대한 현황정보를 보여준다. 계획고는 토공작업시 절토 또는 성토의 목표인 계획고를 나타낸다. 현황 지형정보와 계획고의 차이는 절토

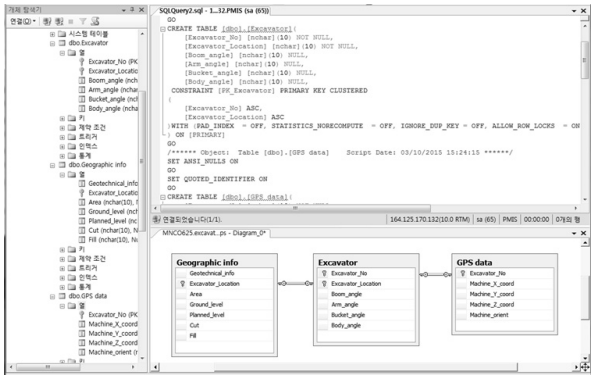
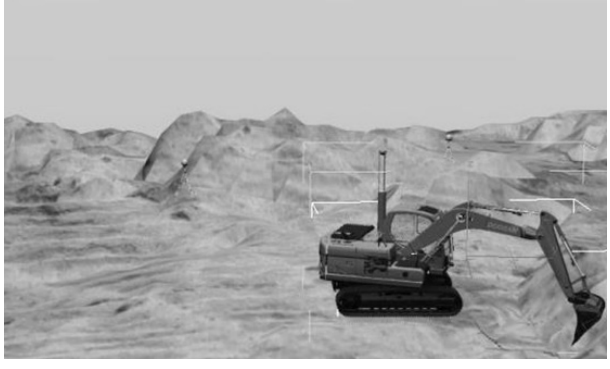
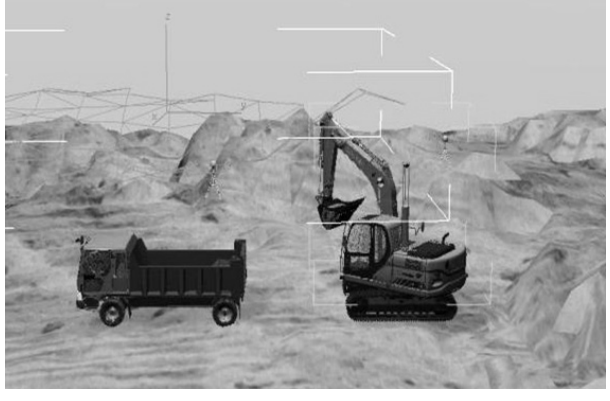


Fig. 5. ERD Diagram for Database



(a) Excavating



(b) Loading

Fig. 6. Prototype Image of Earthwork BIM

량과 성토량으로 계산되어 진다.

Fig. 6은 토공 BIM을 위해서 개발된 3D 그래픽 시뮬레이션 환경을 보여준다. 본 프로토타입 개발에서는 센서의 값을 임의로 지정하여 백호가 작동되도록 테스트했다. 토공 BIM의 화면은 굴삭기 단독으로 작동되는 동작과 덤프트럭과 연동하여 작동되는 동작 2가지로 구분하여 표현했다. 첫째, 굴삭기 단독으로 작동되는 동작에서는 센서값을 바탕으로 kinematic 계산을 하며, 이러한 계산과정을 통해서 장비형상을 실시간으로 표현했다. 둘째, 덤프트럭과 연동하여 작동되는 동작에서는 덤프트럭의 적절한 위치를 지정하고, 굴착된 토량을 산정하여 목표대비 작업현황을 분석할 수 있게 한다.

토공 BIM은 장비조종과 토공작업관리라는 두 가지 측면에서 기대효과를 가진다. 첫째, 장비조종 측면에서는 굴착작업 시 실제현장에서 발생되는 시야확보문제 등을 해결하기 위한 정보를 제공할 수 있다. 특히, 토공 BIM 정보를 활용하여 AR(Augmented Reality) 기술을 접목시켜서 굴삭기 조종원을 가이드하는 기능을 제공할 수 있다. 둘째, 토공작업관리 측면에서는 굴삭기와 덤프트럭 간 커뮤니케이션을 향상시키고, 장비활용의 효과를 높인다.

5. 결 론

건설공사의 자동화 및 고도화는 건설시장에서 새로운 융합기술의 중요성을 요구하고 있다. 본 건설장비 관제센터 기반 스마트 토공기술 사업단에서 개발하는 첨단 토공기술은 국내뿐만 아니라 해외공사 수주 및 수행시 경쟁력을 확보할 수 있도록 지원하며, 향상된 경쟁력을 통해서 해외수주의 확대와 국가경제발전에 기여할 것이다. 이와 같은 토공작업을 관리하기 위한 3D 그래픽 시뮬레이션 기반의 토공 BIM은 대규모 단지개발 등 사업에서 유용하게 적용될 수 있다.

본 연구에서는 3D 그래픽 시뮬레이션 기반의 토공 BIM에 대한 프로토타이핑 과정을 통해서 토공 BIM의 적용성을 검토했다. 구조물 중심의 BIM과 다르게 토공 BIM은 3D 그래픽 시뮬레이션의 소프트웨어 개발과 장비의 실시간 정보를 파악하기 위한 센서설치 등 하드웨어 개발이 병행되어야 하는 복합적인 기술을 필요로 한다.

현재 건설산업의 발전에 비하여 건설 숙련공이 감소하는 추세라는 점을 고려했을 때 건설장비 조종원에 대한 기술지원체계가 필요하다. 본 건설장비 관제센터 기반 스마트 토공기술 사업단에서 개발하는 첨단 토공기술은 숙련 장비 조종원뿐 만 아니라 미숙련 장비조종원까지도 효과적으로 사용할 수 있는 실시간 토공정보체계를 제공하며, 시각적 그리고 데이터적 정보를 바탕으로 장비조종의 생산성을 향상시키는 역할을 제공할 것이다.

향후 연구에서는 굴삭기, 덤프트럭, 도저 등 건설장비에 대한 모델링과 토공과 함께 변화하는 3D 지반모델을 실시간으로 표현하는 과제를 해결해야 한다. 현재 진행상태는 프로토타입으로 실내실험 수준이지만 향후 지속적인 연구개발로 실제현장에 적용하여 실적용성을 높일 수 있어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 건설기술연구사업의 연구비지원(14SCIP-B079690-01)에 의하여 수행되었습니다.

References

Cho, H., Cho, Y. R. and Kim, H. S. (2011). “Application of construction management integrated system based on BIM in civil engineering project.” *Journal of the Korean Society of Civil Engineering*, Vol. 59, No. 2, pp. 36-42.

Construction Economy News (2012). “Automating construction equipment using GPS.” (Newspaper 2012.8.17).

Electronic News (2012). “GPS information can be used for SOC projects.” (Newspaper 2012.10.31).

Kim, B. H. (2000). “Comprehensive management of construction equipment using GPS.” *Construction Technology Information*, No. 9, pp. 5-10.

Kim, H. J., Choi, J. S., Kim, H. S. and Kim, I. H. (2013). “The development of data model for open BIM-Based schematic estimates - Focused on construction type for actual cost of public projects.” *Architectural Research*, Vol. 29, No. 3, pp. 61-70.

Kim, M. J., Lee, K. H., Kwon, S. H., Park, S. I. and Lee, S. C. (2014). “BIM application case study of civil infrastructure Industry.” *Proceedings of the Korean Society for Railway*, pp. 1119-1124.

Kim, T. H. and Lee, C. S. (2014). “A survey of Building Information modeling in domestic public construction on actual case.” *Proceedings of Korean Institute of Construction Engineering*, pp. 247-251.

Lee, B. H., Hong, S. W. and Shin, S. W. (2012). “The development of BIM library for building life cycle CO_2 assessment.” *Journal of the Korean Digital Architecture Interior Association*, Vol. 12, No. 2, pp. 67-76.

Lee, G. H., Kim, J. H. and Kim, J. J. (2012). “BIM utilization plan for schedule risk management.” *Proceedings of Korea Institute of Building Construction*, Vol. 12, No. 1, pp. 143-144.

Lee, H. Y. and Shim, J. H. (2013). *GIS Geographic information theory and practice*, Beopmoonsa, Seoul, Korea.

Lee, S. Y., Park, C. S. and Kim, I. H. (2014). “Issues and prospects of BIM-to-BEM (Building Energy Model).” *Architectural Research*, Vol. 30, No. 4, pp. 199-206.

National Geographic Information Institute (2015). GNSS Data

Service, Available at: http://gnss.ngi.go.kr/ (Accessed: March 15, 2015).

Park, J. B. (2008). *A study on GIS and simulation based process model for earthmoving planning*, Master's Thesis, Hanyang University.

Park, M. S., Cho, J. Y., Lee, H. S., Kwon, S. K. and Ahn, S. J. (2012). "BIM design management process using the dependency structure matrix at the introduction phase." *Architectural Research*, Vol. 28, No. 1, pp. 37-45.

Public Procurement Service (2013). *A Guideline for applying BIM to facility projects*, Daejeon, Korea.

Seo, M. B., Joo, G. B. and Kim, N. G. (2013). "Analysis of substitutability of 2D electronic drawing using the BIM model - focusing on the electronic delivery system in road field." *Journal of the Korea Contents Association*, Vol. 13, No. 11, pp. 441-450.

Shim, C. H., Lee, K. M., Kang, I. S., Kim, Y. H. and Hwang, K. H. (2011). *BIM guideline for civil engineering*, Virtual Construction Research Group, Ministry of Land, Infrastructure and Transportation, Sejong, Korea

Shin, J. C., Back, Y. I. and Park, W. T. (2011). "Technical note : Analysis of Errors in Tunnel Quantity Estimation with 3D-BIM Compared with Routine Method Based 2D." *Journal of the Korean Geotechnical Society*, Vol. 27, No. 8, pp. 63-71.