

토목시설물에 대한 BIM 기반 가상건설 장비 시뮬레이션 시스템 개발

김성훈^{1*} · 윤영철² · 주철범¹ · 윤동주¹

¹(주)태성에스엔아이, ²명지전문대학 토목과

Development of Virtual Construction Equipment Simulation System Based on BIM for Civil Engineering Project

Sung-Hoon Kim^{1*}, Young-Cheol Yoon², Cheol-Beom Joo¹ and Dong-Ju Yoon¹

¹Taesung SNI, Seoul, 06247, Korea

²Department of Civil Engineering, Myongji College, Seoul, 03656, Korea

Abstract

BIM(building information modeling) has been actively applied to construction industries and to maximize its application through the life cycle of structure, various relevant technologies have been proposed. In particular, 4D sequencing management and 5D cost-related management were introduced as an improved version of the design review and interface control by 3D information design. On the other hand, the virtual construction using virtual construction equipment can sophisticatedly handle capacity, dynamic movement, collision boundaries of actual construction machines but it still stays at a low level in a technical sense. In this study, simulation systems based on BIM involving virtual construction equipment have been developed; then it is applied to the actual construction project to evaluate the safety and efficiency of construction equipments. It was confirmed that the simulation systems can be utilized to construct virtual construction site by using an effective 3D library of construction equipment and can play a key role to secure construction safety and economic feasibility. Specifically, the simulation system are very useful for decision making by construction managers to select the optimum equipment and construction method with a better understanding for safety and cost-saving.

Keywords : BIM, infrastructure, virtual construction, virtual construction equipment, simulation system

1. 서 론

최근 토목시설물에 대한 BIM(building information modeling)의 도입이 활발해지면서 구조물의 전 생애주기에 걸쳐 연속적인 정보의 활용이라는 본래의 목적 이외에 다양한 분야로 그 활용도를 극대화할 수 있는 방안이 연구되고 있다(Kim *et al.*, 2011; 2012). 3D 설계 성과품 검토나 시공간적 문제의 해결 외에도 4D 공정관리 및 5D 기성관리에 대한 활용이 활발하게 진행되고 있으나(Ding, *et al.*, 2014), 주로 시간에 따른 대상 시설물의 스케줄 계획이나 관리, 공사방법의 시각화에 따른 작업자의 이해도 향상에 주로 초점이 맞춰져

있고(Sampaio *et al.*, 2014), 공사중 수시로 움직이는 건설 장비, 작업자 등을 고려한 복합적인 검토 방안에 대한 접근은 아직 부족한 실정이다.

최근 건설 프로젝트가 대형화되고 고도의 기술과 함께 효율적인 사업관리가 필요함에 따라 대형 건설장비에의 의존도가 점차 높아져 가고 있다. 다만, 건설장비가 작업생산성을 높이기 위해 중요한 역할을 수행하는 것은 사실이지만, 건설장비에 대한 작업정보 제공의 부족, 장비 운전자의 부주의 등의 문제점이 오히려 건설 시공 생산성을 저하시키고, 작업 중 안전사고의 위험성을 증가시키고 있다(Jeon *et al.*, 2013). 2016년 국내 산업재해 현황분석에 따르면, 건설기계 관련 사망사고가 전체

* Corresponding author:

Tel: +82-2-554-1020; E-mail: shkim@tssni.com
Received March 8 2017; Revised March 10 2017;
Accepted March 16 2017

© 2017 by Computational Structural Engineering Institute of Korea

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.

산업재해의 27.24%로 가장 높아서 건설현장 내 건설기계와 관련된 사고 예방방안 마련이 현실적으로 시급하다(Ministry of Employment and Labor, 2015).

건설 장비의 효율적이고 안전한 사용계획 및 관리를 위해 최근에 시뮬레이션 및 계획 최적화에 대한 연구가 진행되었으나, 주로 장비들의 최적동선 결정을 위한 알고리즘 개발 (AlBhanassi *et al.*, 2012; Hung *et al.*, 2016)에 관한 내용이거나, 3D 시각화에 따른 안전교육(Park *et al.*, 2013)을 목적으로 한 개발로서 실제 현장의 복합적인 문제를 다루면서 실무에 적용하기에는 부족하다.

본 연구에서는 BIM 기반으로 가상의 건설현장을 구축하고, 컨트롤(control)이 가능한 가상 건설장비 모델을 이용하여 동적 가상건설 시뮬레이션 플랫폼을 구성하였다. 또한, 이를 실제 토목공사에 적용하여 개발된 플랫폼의 효과를 분석하고 그에 따른 활용전략을 제시하고자 한다.

본 고에서 언급하는 개발된 플랫폼 적용 현장은 호남고속철도 1-1, 3-1, 3-3공구, 수도권 고속철도 수서~평택 제 9공구, 싱가포르 지하철 TEL T301 등이다.

2. 가상건설 시뮬레이션의 기본 구성

2.1 가상건설 시뮬레이션 개발 개요

본 장에서는 가상건설 장비를 이용한 가상건설 시뮬레이션의 효과와 그 활용전략을 제시한다. Fig. 1에는 본 연구에서 개발

하여 적용하고자 하는 시뮬레이션의 주요 기능에 대해 설명하기 위해 실제 건설 프로젝트와 가상건설을 비교하였다. 건설 프로젝트의 시공계획을 복합적으로 검토하기 위한 핵심적인 4가지 요소는 시공방법, 공사 스케줄, 적절한 장비의 선정 및 운영 그리고 각 단계에서 작업자의 책임과 역할로 구성된다. 기존에는 이러한 복합적인 검토가 2D 도면과 문서로 된 보고서를 기반으로 경험 많은 기술자가 검토하는 방식으로 이루어져 왔다. 본 연구에서는 이러한 네 가지 요소가 하나의 가상건설 시뮬레이션에서 통합적으로 검토될 수 있도록 시스템을 구축함으로써 기술자가 미처 파악하지 못하거나 판단 오류에 의해 잘못된 결정을 내리는 문제점을 사전에 차단하도록 했다.

이와 같은 시뮬레이션 플랫폼을 개발하고 적용하기 위해 구축 절차와 플랫폼의 프레임워크를 제시하고 실무에서 활용이 가능한 프로그램 형태로 개발하였다. 또한, 구축된 플랫폼의 적용효과를 분석하기 위해 실제 시공 중인 토목건설 프로젝트의 대표적인 공중에 적용하였다. 가상건설 시뮬레이션의 중요 요소인 3D 모델과 공정 연계에 의한 4D 시스템 구성에 대해서는 이미 많은 연구가 진행되었고 또 활발하게 적용되고 있기 때문에 본 연구에서는 생략한다. 한편, 본 연구에 적용된 BIM 작성도구는 Autodesk사의 Revit과 Civil 3D이며, 시뮬레이션 구축을 위한 기본 플랫폼은 상용 게임엔진인 Unity 5.0을 활용하였으며, 프로그래밍 언어는 C#를 사용하였다.

가상건설 시뮬레이션을 위해 실제현장과 같은 형상과 좌표, 거리를 가지는 가상현장이 필요하다. 또한, 컨트롤이 가능하고 장비의 다양한 정보와 실시간 변화되는 성능을 확인할 수 있는

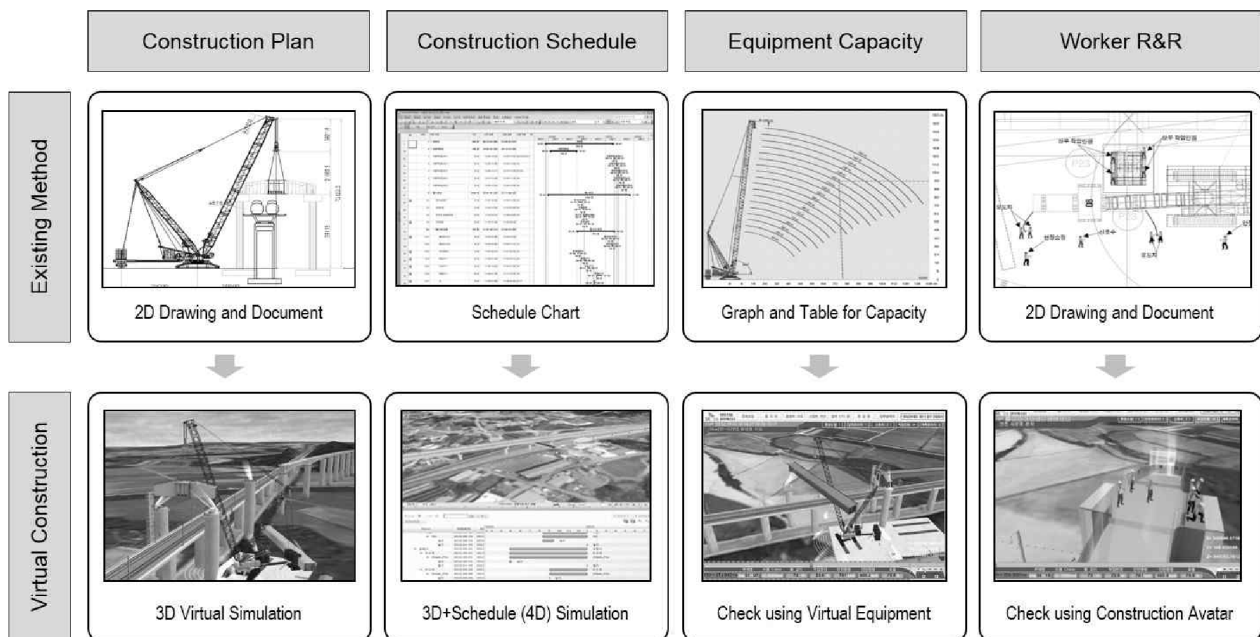


Fig. 1 Comparison of actual(existing) and virtual construction methods (Construction of lot 1-1, Honam high speed railway(KTX), SK E&C)

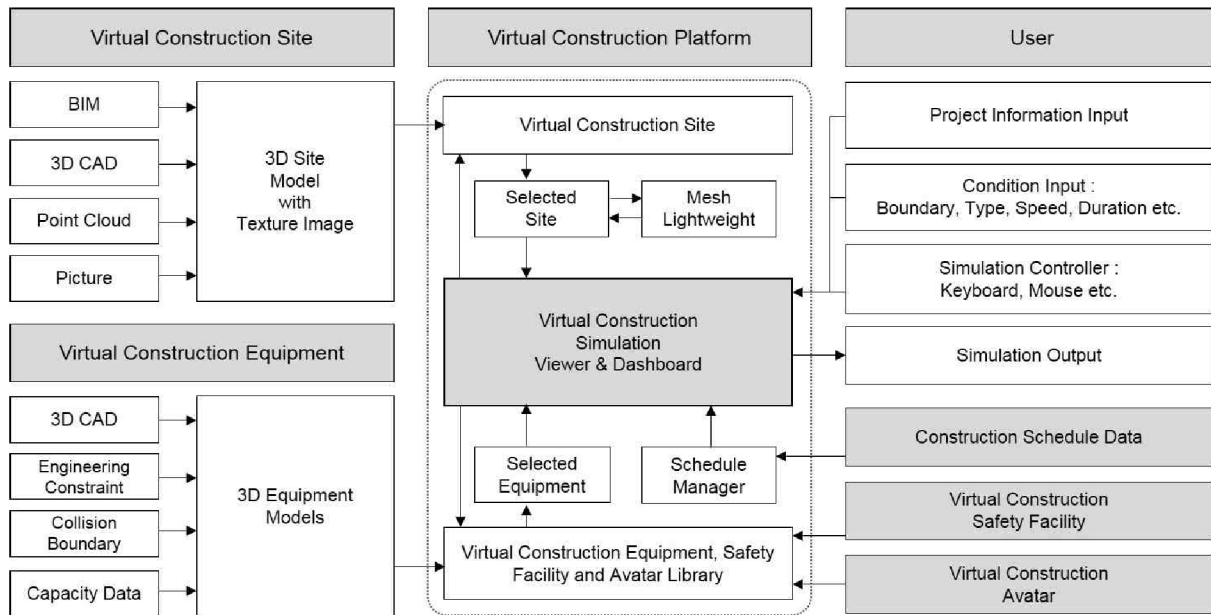


Fig. 2 Framework of virtual construction site simulation platform

가상 건설장비 모델이 필요하다. Fig. 2는 가상건설 시뮬레이션 플랫폼의 각 구성 요소 및 체계를 정리한 것이다. 본 연구에서는 각각의 구성요소를 연결하고 3D 형상을 보여주는 뷰어(viewer)에서 사용자의 컨트롤에 따라 다양한 동작을 만들기 위해 상용화된 게임엔진을 기반으로 개발하였다. 가상건설 장비와 건설 아바타(avatar) 그리고 시공안전을 위한 다양한 가상 안전 시설물을 관리하고 호출하기 위하여 별도의 DB서버를 구축하여 연계하였다. 한편, 가상건설 구성요소들의 다양한 동적 컨트롤과 뷰잉(viewing)을 위한 소프트웨어가 개발되어 적용될 수 있으나, 다양한 웹, 모바일 환경에서 이용하기 위해서는 이미 많은 개발이 이루어진 상용 게임개발 플랫폼을 활용하는 것이 보다 효율적이다.

2.2 BIM 기반의 가상건설 현장 구축

가상건설 시뮬레이션을 위한 가상현장 구축은 설계단계나 시공단계에서 작성되어 활용되는 BIM을 기반으로 한다. 그러나 현장에서 활용되는 BIM 데이터는 사용목적이나 활용도를 고려하여 주로 영구 구조물이나 주요 가시설 등에 국한되어 구축되는 경우가 대부분이다. 따라서 대상 현장의 일시적인 지형변화나 임시시설물, 그리고 도면 등의 정보가 제대로 제공되지 않는 지장물에 대해서는 추가 보완이 필요하다. 본 연구에서는 설계도만으로 표현하기 어려운 대상현장의 3D 정보를 역설계하는 방안으로 레이저 스캐닝을 통한 Point Cloud 데이터를 이용하였다. 레이저 스캐닝은 주로 복잡한 플랜트 시설물의 역설계나 넓은 범위의 항공측량을 위해 많이 활용되었



(a) Point cloud by 3D laser scanner



(b) 3D model based on point cloud

Fig. 3 Construction of virtual site by 3D laser scanner (Construction of lot 9, Suseo Pyeongtaek high speed railway(SRT), GS E&C)

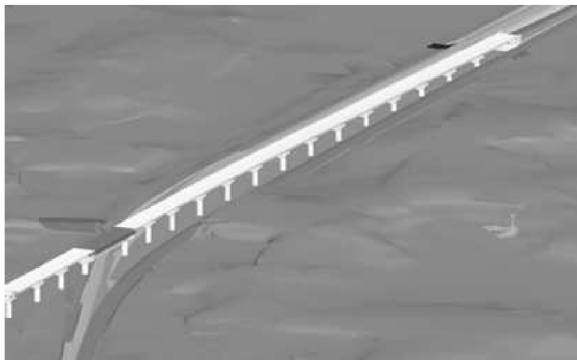
으나, 최근에는 그 활용범위가 BIM의 정확성을 검증하거나 토공사에 의한 지형의 변화를 효율적으로 측량하기 위해 사용되고 있다(Wu *et al.*, 2010).

Fig. 3은 현장내 지장물의 정확한 형상과 복잡한 가설현황을 가상현장에 3D로 구성하기 위해 레이저스캐닝을 적용한 사례이다. 인접 교각 상단을 포함한 3점 이상의 위치에서 쟁점 부위를 레이저 스캐닝하여 Fig. 3(a)와 같이 대상체의 Point Cloud를 획득하고, BIM 또는 3D CAD 툴을 이용해 Fig. 3(b)와 같이 3D 모델을 구축할 수 있다.

한편, 임시 가설구조물 등에 대해 다양한 정보구성체계를 가지고 있는 BIM을 모두 구성하는 것은 비효율적이기 때문에 일시적으로 필요한 3D 형상에 대해서는 3D CAD 소프트웨어를 통해 단순 형상만 구현하였다. Table 1은 본 연구에서 구축된

Table 1 Authoring method of virtual site elements

Items	Authoring Tools	due to
Permanent structures	- BIM: Autodesk Revit	Optimized for structural BIM
Planned earth works	- BIM: Autodesk Civil 3D	Optimized for earthwork BIM
Temporary structures	- 3D CAD tools: Autodesk 3D Max, Bentley M/station	BIM informations are not essential for temporary structures
Obstacles	- 3D laser scanner + BIM/3D CAD tools	irregular object



(a) Original BIM and 3D models



(b) Virtual construction site with digital image

Fig. 4 Construction of virtual site by combining BIM model and digital image
(Construction of lot 3-1, Honam high speed railway(KTX), Dongbu corporation)

가상현장의 구성요소별 작성방법을 정리한 것이다.

Fig. 4(a)와 같이 BIM과 3D 모델로 구성된 가상현장은 이미 정확한 형상과 좌표, 거리를 포함하고 있으나, 시공에 대한 다양한 계획과 분석을 위해 현장상황이 잘 반영된 이미지를 결합한다. Fig. 4(b)와 같이 현장 항공사진이나 위성사진을 결합하여 가상현장 구축을 완성하며, 필요시 주요 주변 시설물들에 대한 개략적인 3D 모델을 추가한다.

2.3 가상 안전 시설물과 아바타 모델 구축

가상건설 검토의 주요 목적 중에 하나인 안전검토를 위해 시공 대상 시설물이나 주변 지형이외에 다양한 안전 시설물의 반영이 필요하다. Fig. 5는 가상현장에 추가적으로 적용된 주요 안전 시설물들을 나타낸다. 본 연구에서는 건설현장에서 대표적으로 적용되는 안전 시설물들을 조사하고 이를 라이브러리화 하여 필요시 적용할 수 있도록 구성하였다. 한편, 가상건설 아바타는 실제 작업자대신 가상현장에 배치할 수 있는 작업자를 모델화한 것으로서 신호수, 작업자 등 그 업무 역할에 맞는 다양한 안전장구 및 기구를 갖도록 구축하였다. 아바타는 사용자의 컨트롤에 따라 동작이 가능할 뿐만 아니라, 건설 작업자의 시선에서의 검토가 필요하기 때문에 시점을 1인칭 또는 3인칭으로 변경할 수 있다. Fig. 6은 본 연구에서 적용된 건설 아바타 예시를 나타낸다.

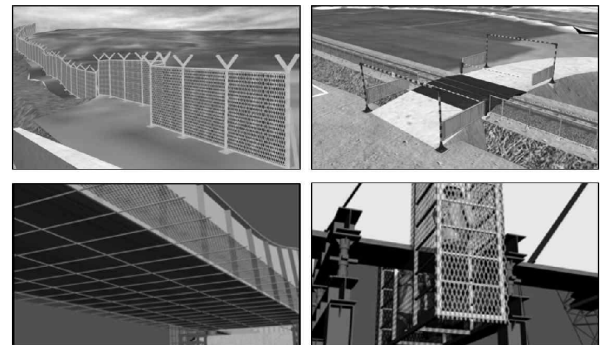


Fig. 5 Safety facility models in virtual construction
(Construction of lot 3-3, Honam high speed railway(KTX), Daelim)



Fig. 6 Avatars in virtual construction

2.4 가상장비 모델 구축

기존에는 건설장비의 적정 위치나 작업 중 간섭문제를 검토하기 위해 주로 단순한 3D 형상 모델을 해당구역에 위치시켜 공간검토를 정적인 수준에서 하거나 주요 동작별로 애니메이션 효과를 부여하는 방법을 사용하였다. 본 연구에서는 실제와 같이 장비를 조작하면서 발생할 수 있는 다양한 상황별 문제점을 검토하기 위해 게임엔진을 이용하였으며, 장비별 3D 형상과 정보를

Table 2 Analysis of virtual construction equipment model

Items	Contents
3D shape	- 3D shape of the equipment with a level of detail to be considered
Engineering constraint	- Moving points and boundary conditions considering the action of equipments
Collision boundaries	- Boundary box of equipment for collision detection
Capacity data	- Unique capacity information according to equipment action

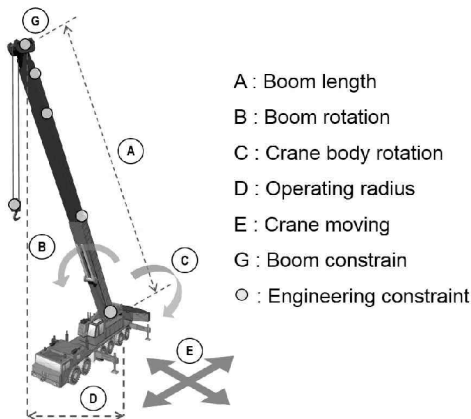


Fig. 7 Engineering constraint conditions of virtual equipment model for mobile crane

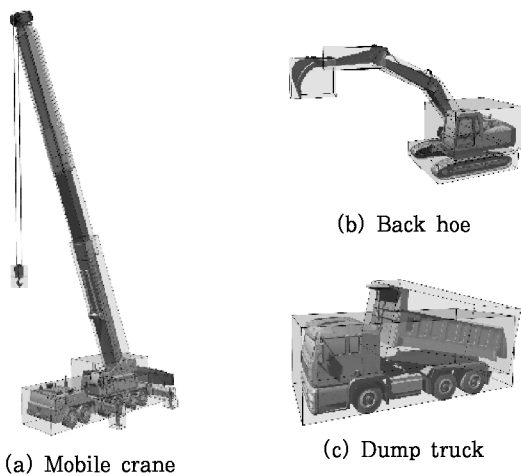


Fig. 8 Virtual equipments model with collision boundaries box

라이브리화 하여 사용자가 즉각적으로 대상 장비를 교체하거나 추가할 수 있도록 하였다. 다양한 장비 모델을 구축하기 위해서는 각 장비의 특성을 묘사해야 하는데, 특히, (1)장비의 정확한 3D 형상, (2)장비의 움직임을 나타내기 위해 각 동작 자유도 지정, (3)장비의 물리적 충돌을 감지하기 위한 충돌 박스, (4)장비의 용량 산정을 위한 해당 DB 구성이 중요하며, 관련 내용을 Table 2에 정리하였다.

건설장비의 정확한 3D 모델 구성시 너무 상세한 모델은 메모리 용량을 필요이상으로 증대시켜 시뮬레이션 과정에서 원활한 동작을 어렵게 할 수 있기 때문에 검토에 적절한 수준의 상세도를 결정해야 한다. 또한, 장비의 동작을 구현하기 위해 각 부재별 연결과 이동조건을 분석해야 한다. Fig. 7은 대표적인 250톤 이동식 크레인(Demag, 2016)에 대한 모델로서 각 부재별 움직임과 주요 변수를 보여준다. 부재간의 각 절점은 수직, 수평 변형과 회전에 대한 구속조건이 부여되며, 이동시에는 각각의 제한값이 적용되도록 하였다.

가상현장 내의 타 요소와의 충돌을 감지하기 위해 충돌 경계 박스를 추가로 구성하였다. 충돌 경계박스 활용시 안전성을 평가하기 위한 최소 허용 이격거리에 대한 별도기준이 없기

70.2 t		8.40 m x 8.86 m		360°		150	
m	t	t	t	t	t	t	t
3	250.0	-	-	-	-	-	-
4	130.0	130.0	130.0	119.5	-	-	-
5	119.5	112.0	113.0	113.0	111.5	91.8	72.4
6	105.0	99.1	99.8	99.8	99.3	89.8	72.0
7	92.8	88.5	89.2	89.3	88.9	85.0	71.6
8	80.7	79.8	80.5	80.6	80.2	79.8	71.0
9	67.0	67.0	73.3	73.3	72.9	73.5	69.1
10	33.9	33.9	65.8	65.7	65.3	66.0	65.2
11	-	-	54.1	54.0	54.9	54.3	53.5
12	-	-	37.1	45.0	45.8	45.2	45.1
13	-	-	-	39.3	39.1	38.5	39.2
14	-	-	-	27.5	33.9	34.6	34.0
15	-	-	-	-	29.8	30.4	29.9
16	-	-	-	-	23.1	26.8	26.2
17	-	-	-	-	-	23.0	20.7
18	-	-	-	-	-	20.2	19.1
19	-	-	-	-	-	18.3	17.3
20	-	-	-	-	-	16.7	16.0
21	-	-	-	-	-	15.4	14.6
22	-	-	-	-	-	14.1	13.2
23	-	-	-	-	-	12.7	12.4
24	-	-	-	-	-	11.3	11.0
25	-	-	-	-	-	10.0	9.7
26	-	-	-	-	-	8.7	8.6
27	-	-	-	-	-	7.6	7.2
28	-	-	-	-	-	6.4	6.0
29	-	-	-	-	-	5.3	4.9
30	-	-	-	-	-	4.0	2.8
31	-	-	-	-	-	2.8	2.3
32	-	-	-	-	-	1.9	1.6

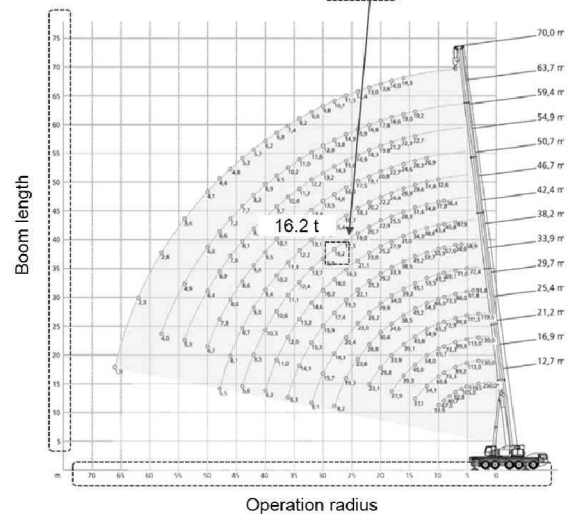


Fig. 9 Load chart and graphical DB for virtual equipment

때문에 사용자가 직접 값을 입력하고 변경할 수 있도록 구성하였다. Fig. 8은 본 연구에서 적용된 주요 장비인 이동식 크레인과 백호우, 덤프트럭의 3D 형상에 충돌박스가 추가 적용된 모델을 나타낸다.

다음으로 장비별로 제조사에서 제공하는 고유의 허용용량에 대한 데이터를 입력하고 장비의 동작에 따른 용량 관련 수치를 실시간으로 확인할 수 있도록 하였다. Fig. 9는 이동식 크레인의 인양하중 산정표와 그래프를 나타낸 것으로서 크레인 붐대의 길이와 반경에 따라 인양허용 중량이 변하는 것을 확인할 수 있다. 모든 조건에 대한 허용인양 중량값이 제공되지 않기 때문에 해당 범위 내에서 가장 작은 값을 선택하는 기준에 현장에서 사용하는 용량산정 방식을 적용하였다. 예를 들어 크레인 붐 길이가 44m고, 반경이 27m로 동작하는 경우 해당 구간의 최소값인 16.2 ton이 선택되며, 이때, 실제 인양중량을 고려하여 안전율을 표시하도록 모델을 구축하였다.

2.5 가상건설 시뮬레이션 플랫폼

앞서 기술한 가상건설의 각 구성 요소들이 준비되면 Fig. 10과 같이 본 연구에서 개발된 플랫폼 내에서 통합될 수 있다. 가상건설 시뮬레이션 플랫폼은 크게 3D 모델을 확인할 수 있는

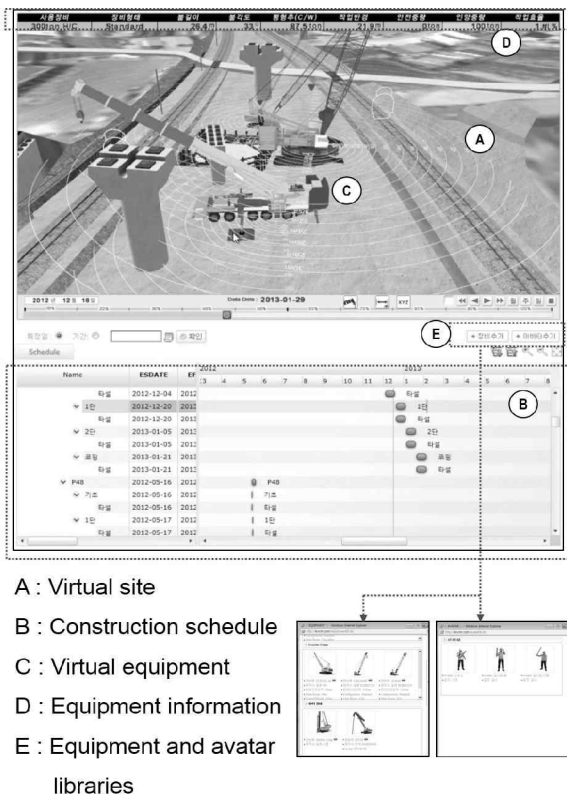


Fig. 10 Composition of virtual construction system (Construction of lot 3-1, Honam high speed railway(KTX), Dongbu corporation)

뷰어와 공사 스케줄을 확인할 수 있는 창으로 나눌 수 있으며, 건설장비와 아바타, 안전 시설물들을 라이브러리 DB 서버에서 호출하여 컨트롤 할 수 있는 기능을 갖는다.

플랫폼 내의 뷰어는 게임엔진인 Unity의 뷰잉 엔진을 이용하며, BIM의 공통 표준 포맷인 IFC 포맷을 인식할 수 있도록 추가적으로 개발하였다. 그 외에도 FBX 포맷과 Collada의 DAE파일 등 다양한 형식의 파일을 인식할 수 있도록 하였다. 가상현장의 범위가 너무 넓은 경우에는 뷰어에 로딩되는 현장 모델의 크기 문제로 컨트롤이 원활하지 못할 수 있으므로 앞서 설명한 바와 같이 모델의 메쉬를 경량화하는 과정이 필요하다.

3. 가상건설 시뮬레이션의 적용

본 장에서는 가상건설 시뮬레이션 플랫폼을 대표적인 토목 공종이 수행되고 있는 실제 현장에 적용한 후 그 효과를 분석하였다. Table 3에 정리한 바와 같이 가상건설 시뮬레이션을 통해 얻을 수 있는 효과는 (1)장비의 운영계획 검토, (2)복잡한 장비조합 검토, (3)대안공법 검토, (4)공법의 이해도 증진, (5)안전 관리를 들 수 있다.

Fig. 11은 토목 시설물 공사 중 대표적 공종인 교량현장에서 가상 크레인 장비에 의해 교량 거더의 거치 과정을 시뮬레이션 한 사례를 나타낸다. Fig. 12는 기존에 운행 중인 철도에 인접하여 교량기초를 시공하는 경우를 보여주며, Fig. 13은 대규모 토공사 현장에서 덤프트럭과 백호우에 의한 가상건설 시뮬레이션을 수행한 사례이다. Fig. 11의 크레인 가설 시뮬레이션의

Table 3 Effects of virtual construction simulation

Type	Effects
Planning of equipment operation	- Checking limitation of equipment work range - Checking accessibility of equipment and intrusion of temporary facilities
Review of complicated equipment input plan	- Checking plan to use huge equipment in narrow space - Checking correct placement of equipment and facilities in narrow space
Review of alternative construction method	- Analyzing problems of schedule process - Checking validity of scheduled process
Better understanding of construction method	- Simulating construction process step by step to find potential problems at pre-construction stage - Checking validity of scheduled process
Safety management	- Inspection of worker's location and equipment location according to schedule process - Each worker's confirmation of their role and responsibility on construction site



Fig. 11 Virtual election simulation of bridge beam (Construction of lot 3-1, Honam high speed railway(KTX), Dongbu corporation)



Fig. 12 Virtual excavation simulation in the vicinity of the existing rail road (Construction of lot 3-3, Honam high speed railway(KTX), Daelim)

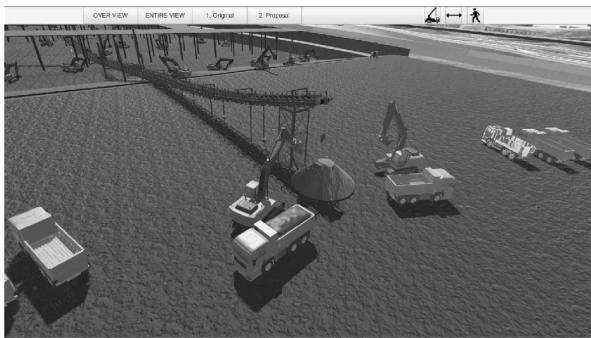


Fig. 13 Virtual earth work for large scale footing (Construction of T301, tel, Singapore metro, GS E&C)

경우, 크레인의 작업 높이와 반경에 따른 허용 인양중량을 동적 시뮬레이션에 적용하여 검토하고, 실제 인양중량을 고려하여 안전율을 확인함으로써 장비 선정의 적정성을 검토할 수 있다. Fig. 12의 경우, 위험한 기존 철도시설물 인근의 좁은 공간에서 다양한 장비조합으로 공사시, 작업을 위한 공간이나 주변 시설물과의 공사시 저촉사항을 확인하면서 시공계획의 적정성과 장비운영의 안전성을 검토할 수 있다. Fig. 13은 효율적인 토공작업을 위해 백호우와 덤프트럭의 작업시간, 운행속도를 고려한 시뮬레이션을 통해 공기 내에 작업을 완료하기 위한 최적의 장비투입 시기와 그 조합을 선정할 수 있음을 보여준다.

본 장에서 제시된 세 가지 사례는 공통적으로 3D 가상현장 구현과 공사방법에 대한 동적 시뮬레이션을 통해 공사관계자의 시공방법에 대한 이해도를 증진시키고, 건설장비와 안전시설물 라이브러리를 활용하여 대안공법을 검토하고 상세한 안전대책 수립하는 데에 효과적으로 활용되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 BIM 기반으로 구축한 가상현장 내에서 동적 시뮬레이션이 가능한 가상장비 모델을 이용하여 공사단계에서 평가해야 하는 장비운용의 안전성, 효율성을 검토할 수 있는 시뮬레이션 시스템을 개발하고, 개발된 시스템을 대표적인 토목 공사에 적용하고 그 효율성을 분석하였다. 본 연구에서 도출된 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 대상 토목공사의 가상현장을 효과적으로 활용하기 위한 구성요소를 정립하고 구축방안을 구체적으로 제시하였으며, 개발된 시뮬레이션 시스템은 건설장비에 대한 효과적인 3D 라이브러리를 구축하므로써 공사 관리자가 최적의 장비를 선정하고 경제적인 공사를 실현하기 위한 계획수립을 지원할 수 있다. 또한, 개발 시스템을 통해 시공자는 공사 안전성을 확보하기 위한 다각도의 분석을 할 수 있다.
- 2) 건설장비 시뮬레이션을 위해 장비별로 3D 형상, 동작에 대한 구속조건, 충돌 감지를 위한 경계조건, 장비 고유의 용량 데이터를 파악하고 모델을 구축하여 시뮬레이션 시스템에 반영해야 한다.
- 3) 가상건설 시뮬레이션 적용결과, 건설장비의 3D 간섭 검토, 배치공간 검토, 장비 라이브러리를 활용한 대안 검토, 공법에 대한 신속하고 직관적인 이해, 안전시설물 및 건설 아바타와 연계한 안전 검토가 가능하다는 것을 확인하였다.

토목공사는 공종이 다양할 뿐만 아니라 주변 상황과 사용되는 장비가 매우 다양하기 때문에 본 연구에서 개발된 통합 플랫폼에 향후 다양한 장비 라이브러리를 추가하여 적용 범위를 보다 폭 넓게 확장할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음(R7117-16-0036, 국제표준 BIM 포맷기반의 동적 4D 가상건설시뮬레이션 시스템 개발).

References

- Park, C.-S., Kim, H.-J.** (2013) A Framework for Construction Safety Management and Visualization System, *Autom. Constr.*, 33, pp.95~103.
- Demag** (2016) *AC 250-5 - All Terrain Crane 250T Capacity Class Brochure*, Demag.
- Ding, L., Zhou, Y., Akinci, G.** (2014) Building Information Modeling (BIM) Application Framework: The Process of Expanding from 3D to Computable nD, *Autom. Constr.*, 46, pp.82~93.
- AlBahnassi, H., Hammad, A.** (2012) Near Real-Time Motion Planning and Simulation of Cranes in Construction: Framework and System Architecture, *J. Comput. Civ. Eng.*, 26, pp.54~63.
- Jeon, H.W., Jung, I.S., Lee, C.S.** (2013) Risk Assessment for Reduction Safety Accident caused by Construction Machinery, *J. Korean Soc. Saf.*, 28(6), pp.64~72.
- Kim, S.H., Lee, S.H., Nam, S.H., Sun, O.Y.** (2011) A Study on the Construction Management Method based on BIM for Civil Engineering Project, *J. Comput. Struct. Eng. Inst. Korea*, 24(4), pp.463~469.
- Kim, H.S., Moon, H.S., Choi, G.Y., Kim, C.H., Kang, L.S.** (2012) Development of BIM Functions and System for Construction Project Through Project Life Cycle - Focusing on Bridge Construction Project, *Korean J. Constr. Eng. & Manag.*, 13(2), pp.11~24.
- Ministry of Employment and Labor** (2016) The Analysis of Industrial Accident.
- Moon, H., Dawood, N., Kang, L.** (2014) Development of Workspace Conflict Visualization System using 4D Object of Work Schedule, *Adv. Eng. Inform.*, 28, pp.50~65.
- Sampaio, A.Z., Martins, O.P.** (2014) The Application of Virtual Reality Technology in the Construction of Bridge : The Cantilever and Incremental Launching Methods. *Autom. Constr.*, 37, pp.58~67.
- Tantisevi, K., Akinci, B.** (2007) Automated Generation of Workspace Requirements of Mobile Crane Operation to Support Conflict Detection, *Autom. Constr.*, 16(3), pp.262~276.
- Hung, W.-H., Liu, C.-W., Liang, C.-J. Kang, S.-C.** (2016) Strategies to Accelerate the Computation of Erection Path for Construction Cranes, *Autom. Constr.*, 62, pp.1~13.
- Wu, Y., Kim, H., Kim, C., Han, S.** (2010) Object Recognition in Construction-Site Images Using 3D CAD-Based Filtering *J. Comput. Civil Eng.*, pp.56~64.

요 지

토목시설물 건설사업에 BIM(building information modeling)이 적극적으로 도입되면서 시설물의 생애주기 동안의 활용도를 극대화할 수 있는 방안이 모색되고 있으며, 그 중, 시설물 공사 중 건설장비의 동적 거동을 반영한 검토 사례는 드물고 관련 기술 수준도 낮은 상황이다. 본 연구에서는 BIM 기반으로 구성된 가상현장 내에서 동적인 가상건설 장비 모델을 이용하여 공사단계에서 발생하는 장비운용의 안전성과 효율성을 검토할 수 있는 시뮬레이션 시스템을 개발하고 이를 실제 토목현장에 적용하여 그 효율성을 분석하였다. 개발된 시뮬레이션 시스템이 건설장비에 대한 효과적인 3D 라이브러리 구축을 통해 공사관리자가 최적의 장비를 선정하고 경제적인 공사를 실현하기 위한 계획수립을 지원할 뿐 아니라 안전한 공사가 수행되도록 다각도의 분석을 가능케 해준다는 것을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 토목시설물, BIM, 가상건설, 가상건설장비, 시뮬레이션 시스템