

건설현장 작업자를 위한 3차원 시뮬레이션 바탕의 안전 교육전달 매체 개발

Development of Safety Training Delivery Method Using 3D Simulation Technology for Construction Worker

안 성 진¹

박 영 준²

박 태 환³

김 태 희^{3*}

Ahn, Sungjin¹

Park, Young Jun²

Park, Tae-Hwan³

Kim, Tae-Hui^{3*}

*Engineering School of Sustainable Infrastructure & Environmental, University of Florida Gainesville,
FL 32611, USA ¹*

*Department of Civil Engineering and Environmental Sciences, Korea Military Academy, Nowon-Gu, Seoul,
139-799, Korea ²*

Department of Architectural Engineering, Mokpo National University, Mokpo, Jeollanam-do, 534-729, Korea ³

Abstract

Construction worker safety and safety training continue to be main issues in the construction industry. In order to promote safety awareness among workers, it is imperative to develop a more effective and efficient safety training. This study compared two methods in construction worker safety training: 1) a conventional lecture and 2) 3D simulation through Building Information Modeling. Both training methods included the same contents, a selection of safety standard and guide suggested by Occupational Safety and Health Agency and the Korea Occupational Safety and Health Agency; the contents were then produced into two types of training methods. A survey was conducted targeting on safety managers, in which the managers evaluated lifelikeness, active learning and enjoyment that each of training methods can promote. The results of the survey showed that innovative method using 3D simulation was more effective than conventional lecture method in terms of its lifelikeness, active learning and enjoyment. This study will provide implications that innovative method using the virtual reality is more effective than conventional lecture method.

Keywords : 3dimension simulation, construction worker safety, safety training contents, safety training delivery method

1. 서 론

1.1 연구의 배경

건설 산업의 대형화, 복잡화, 고층화 등의 추세 변화로 건설현장에서의 사고발생 위험은 증대되고 있으며, 사고로 인

한 피해 범위도 단순히 건설현장 내로 국한되는 것이 아니라 대형 공중재해로 발전하고 있다[1]. 건설현장에서의 사고발생요인은 건설업 특성상 타 산업에 비하여 대단히 많고 또한 대부분의 재해가 중대재해에 해당되어 인적 물적으로 많은 손실을 가져온다. 안전사고에 의한 재해는 재해를 당한 본인 은 물론 그 가족들에게 경제적으로 크나큰 손실을 줄 뿐 아니라 금전으로는 환산할 수 없는 정신적 타격을 가져오게 된다[2].

건설 사업자가 합리적이고 효율적인 안전장치, 보호 장비, 표시 및 규정을 준비한 다 할지라도 작업자는 매 작업 순간 스스로의 주관적 행동과 위험에 대한 인식을 통해서만

Received : April 29, 2015

Revision received : May 18, 2015

Accepted : October 1, 2015

* Corresponding author : Kim, Tae-Hui

[Tel: 82-61-450-2459, E-mail: thkim@mokpo.ac.kr]

©2015 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

위험 요소를 인지하고 안전사고의 위험으로부터 스스로를 보호 할 수 있다. 작업자의 이러한 능력은 지속적이고 효율적인 안전교육을 통해서 향상되어질 수 있다.

1.2 연구의 목적, 범위 및 방법

본 연구의 목적은 건설작업자 안전교육 콘텐츠 및 3D 시뮬레이션 기반의 교육 전달매체를 개발하고 전문가들의 설문 조사 분석을 통해 효과적 안전교육 자료로서의 적절성을 가지는가를 평가함에 있다. 이를 위해 안전교육을 위한 콘텐츠로서 다세대 공동주택 건설현장에서 일어나는 공중별 재해유형을 산업안전 보건지침을 통해 선별한다. 이를 바탕으로 건설정보모델링 소프트웨어를 통해 실제 현장 프로젝트의 특성을 반영한 3D의 시뮬레이션 교육전달 매체를 개발한 후 전문가의 평가를 통해 적절성을 분석한다(Figure 1). 본 연구에서 교육자료 내용 매체와 전달 매체 개발의 범위는 아파트 현장 구조물 공사에 한하며 발생 가능 재해유형 중 발생강도와 관리중요도가 높은 유형으로 제한하였다.

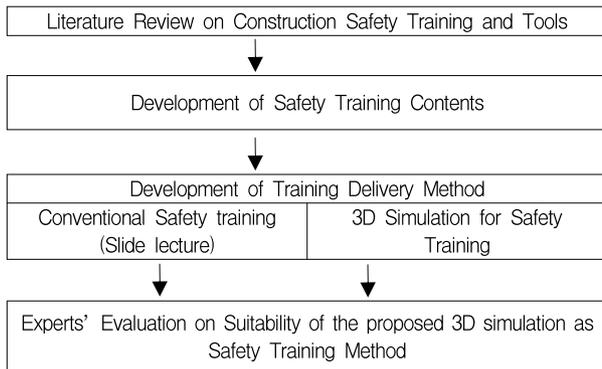


Figure 1. Research flow

2. 기존연구의 고찰

2.1 안전사고 예방교육의 필요성

다양한 안전사고 이론과 연구들이 안전교육의 중요성을 뒷받침하고 있다. 재해 예방을 위해서는 재해의 근본적 원인을 분석할 필요가 있다. 안전사고 예방의 선구적인 연구자 Heinrich의 재해 이론[3]에 따르면 안전 재해의 원인은 크게 간접적 원인과 직접적 원인으로 나뉜다. 간접적 원인은 관리적, 교육적, 기술적 원인을 포함하며 직접적 원인은 불안정한 상태의 물적 원인과 불안정한 행동의 인적 원인을 포함한다. 직접적 원인을 제거하더라도 직접적 원인을 야기 시

키는 간접원인의 요소를 제거하지 않으면 재해의 발생을 근본적으로 차단 할 수가 없다. 이에 간접 원인의 가장 큰 부분을 차지하고 있는 교육적 원인에 핵심을 두어야하며 이러한 안전교육은 안전재해를 줄일 수 있는 안전관리의 핵심이라 할 수 있다.

Tam et al.[4]은 안전사고를 야기 시키는 주된 요소로 작업자의 안전교육 지식 및 안전의식의 부재임을 파악 하였으며 Aksorn et al.[5]의 연구에서 안전관리를 위한 핵심 성공 요인들로 관리 지원(management support)과 더불어 적절한 안전교육 트레이닝이 관리 요소 중 가장 주된 요소임을 정성적 평가를 통해 제시하였다. Choudhry et al.[6]의 연구는 작업자들이 불안정한 행동의 원인 중 하나로 안전 지식 및 안전 인식의 부족을 지적하였으며 작업자의 인터뷰를 통해 실제 작업자들은 안전 교육을 전혀 중요하게 생각하지 않았으며 비효율적이고 현실과 동떨어진 교육이라는 인식을 가지고 있음을 파악하였다. Toole[7]이 제시한 건설안전 재해의 근원적 원인 중 적절하지 못한 안전교육의 부재를 핵심적 요소 중 하나로 보았으며 적절한 교육을 받지 못한 근로자는 자신의 업무와 관련된 잠재적 위험요소를 파악하고 피할 수 없다고 하였다. 작업자는 요구되는 안전 지식을 숙지하여야하고 관리자는 작업자의 안전 지식의 숙지상태를 파악 할 수 있어야한다고 하였다.

이와 같이 다양한 연구들을 통하여 안전교육은 안전사고 감소를 위한 안전관리의 최우선 혹은 주요 요소임을 밝혀낼 수가 있었고 이에 보다 효율과 효과성의 향상을 통한 발전된 안전교육이 필요함을 파악 할 수 있다.

2.2 안전관리를 위한 3D 시각화 활용에 대한 개념 연구

일반적으로 학습은 언어만으로는 부족하고, 관찰 및 경험 혹은 실제 상황에서의 행동 수반이 가능할 때 보다 효과가 높다. 또한 교육에 대한 흥미유발을 통해 교육내용에 대한 집중력 및 기억력을 향상에 기여할 수 있는 것으로 나타났다[8]. 시청각 매체로써의 3차원 시각화는 개인별 혹은 공중별로 간접적이거나 현장 근로자들에게 구체적인 경험 제공이 가능하다. 아울러, 기존의 정형화 및 획일화된 기존의 교육매체와 달리 건설현장 및 과업에 대한 독특한 특성 및 환경을 반영시킬 수 있어 흥미 있고 실질적 교육매체로써 그 활용에 대한 기대가 크다.

건설 산업에 있어서의 안전교육에 대한 변화의 요구와 소프트웨어의 발전에 힘입어 3차원 시각화 환경을 이용한 건

설 안전교육 연구가 활발히 진행되고 있다. 3D 모델링과 시각화를 활용한 교육적 자료의 활용에 관한 개념적 연구들이 제시되었으며 근래에 이르러 모델링 프로그램의 발달을 통해 실제 적용 가능성과 그 적용을 통한 실효성에 관한 연구가 지속적으로 진행되어왔다. Burke et al.[9]에 의하면 기존 안전 교육 및 사고 분석을 통해 수동적(강의, 팸플릿 등) 안전 교육의 방법에서 능동적인 행동학적 모델링(behavioral modeling)에 의한 교육이 될 수록 작업자의 교육에 대한 지식의 획득이 향상되고 사고율의 감소를 보임을 파악하였으며 Kang et al.[10]의 연구에서 실험을 통해 3D 시각화 시뮬레이션으로 부터 획득된 경험적 지식은 이차원적 자료를 사용한 그룹보다 보다 신속하고, 적은 실수 및 적은 양의 의사소통 과정이 소요됨을 확인하였다. Heng et al.[11]의 연구 또한 시각화 안전 평가 시스템의 케이스 스터디 수행을 통해 시각화를 통한 교육이 사고를 유발하는 주요 원인(불안전한 환경, 불안전한 태도, 불안전한 작업의 방법)을 작업자들이 정확히 인지할 수 있음을 찾아내었다. Clevenger et al.[12]의 남미 출신 근로자를 위한 3D 시각화를 이용하는 작업자 교육연구에서 안전사고 예방교육에서 문자표현의 양을 줄임으로써 안전교육의 효과성과 유용성을 증가시키기 위해 3D 시각화를 사용하였으며 공간적, 순차적 정보를 포함하는 3D 시각화 모델링은 작업자, 학생, 건설관리 전문가에게까지 이해도의 수준을 높임으로서 그 교육적 가치가 높음을 제시하고 있다.

이러한 문헌 분석을 통하여, 3차원의 시각정보에 추가하여 이미 다양한 정보를 추가적으로 활용할 수 있어 다양한 현장의 특성, 개별/공종별 작업 특성 등에 대한 반영이 용이함을 시사한다. 실제적인 강력한 시청각 교육매체인 3차원 바탕의 안전교육 시뮬레이션은 피교육자로 하여금 실제로 작업을 하는 공간을 간접 체험함으로써 강한 흥미를 유발하여 교육효과를 극대화시킬 수 있음을 제시한다.

현재 3D 시뮬레이션 및 가상현실에 기반을 둔 안전교육 방법의 개발과 연구는 교육 대상자에게 간접 체험을 제공하는 방법에 중점을 두고 있으며 개요는 Table 1에 요약하였다[11,13,14,15,16].

3D 시뮬레이션 도구를 이용하여 건설현장 바탕의 가상 업무시나리오 체험을 통해 위험요소의 인지와 안전한 작업과정을 숙지 할 수 있고 이 체험적 작업 시나리오는 상호 작용성, 안전 요구에 따른 교육 콘텐츠 적용의 유연성, 취급용이성의 특성을 가지고 있다. 하지만 이 경우 작업자의 능동적

참여는 이루어지나 피교육자 즉, 해당 작업자의 선택적 요소만을 안전교육 지식으로 획득 할 수 있기에 모든 작업 안전 핵심요소를 파악하는데 제한이 있다. 또한 실제 현장에서의 시간적 및 공간적 제한으로 인하여 실질적 안전교육으로 도입하기에는 일반 건설현장의 현실적인 환경조건이 더 고려되어 저야한다. 즉, 타 연구에서 사용 되는 시뮬레이션 기술, 도구 및 장비는 보다 직접적인 참여와 가상현실을 바탕의 안전교육의 효과를 볼 수 있으나 실제 현 건설 현장의 안전교육장의 시설 및 환경을 고려하여 볼 때 보편적 적용이 용이치 않다.

Table 1. Studies of safety training using 3D simulation tool

Author	Approach	Technology	Assessment
Sacks et al. [13]	Safety training assessment using immersive virtual reality	3D Immersive VR power wall	Non-workers /Students
Dickinson et al. [14]	Development game-based trench safety education	Gaming engine-MS XNA studio	Non-workers /Students
Li et al. [11]	4D interactive safety assessment	Gaming Engine-Unity 3D	Construction workers, & Engineers
Li et al. [15]	Multuser virtual safety training system	Gaming Engine-Torque 3D	Tower crane workers
Lin et al. [16]	3D game environmental for construction safety education	Gaming Engine-Torque 3D	Non-workers /Students

3. 건설 안전교육 내용 매체의 선정

3.1 공종별 재해사고 유형 도출

3D 시뮬레이션 안전교육의 콘텐츠로 활용 될 효율적인 안전교육 자료의 선택을 위해 안전보건 기술 지침(KOSHA CODE 및 GUIDE)과 미 산업안전보건청(OSHA)의 건설산업 안전규정 (Construction Industry Standard, 29CFR1926)의 안전관련 항목을 중심으로 건설현장에서의 산업 재해 유형을 파악하였다. 재해 유형 도출은 다세대 공동주택 건설의 공종별 작업 항목을 중심으로 하였으며, 관리자의 관점이 아닌 현장 근로자 측면에서의 기준으로 하였다. KOSHA CODE 및 GUIDE 가운데 공동주택 건설과 관련이 없는 항목은 포함하지 않았으며, KOSHA CODE 및 GUIDE에는 제시되지 않았으나 OSHA에서는 다루고 있는 공동주택 현장에서의 항목은 재해 유형에 추가적으로 포함하였다.

3.2 공종별 재해유형의 발생강도, 관리중요도 도출

건설현장 공종별 재해 유형에 대한 발생강도 및 관리중요도를 도출하기 위하여 가설공사, 토공사, 기초공사, 구조물공사, 조적공사, 미장공사, 방수공사, 지붕공사, 창호공사, 도장 공사, 전기/기계/설비공사의 세부 공종별 재해유형의 발생강도 및 관리중요도, 기타 요구사항에 대한 설문을 시행하였다. 본 연구에서 발생강도(Occurrence Severity)는 공종별로 발생하는 재해유형별 기준치로써 실제 발생하는 안전사고의 위험한 정도를 의미하며 관리중요도(Management Importance)는 건설현장에 발생하는 안전사고에 있어 관리 측면에서 그 필요성이 요구되는 정도로 정의된다.

공동주택 건설현장관리 유경험자 및 관련 학자들로부터 5점 척도법을 통해 재해발생강도 및 관리중요도에 관한 설문조사를 수행하였으며 도출된 재해항목의 발생강도 및 관리중요도의 값은 설문 응답자로부터 얻은 각각의 재해유형별 평균 점수이다. 설문조사자의 범위로는 현재 건설현장에서 안전관리 업무를 담당하는 관리인으로 한정하였으며, 9개의 건설회사의 각 건설현장의 담당자를 상대로 설문을 실시하였다. 그 결과 설문조사자의 연령은 만 43.2세이며, 건설현장의 직책에 대한 내용으로 안전관리 책임자는 총 63명이 설문에 응하였으며, 안전관리담당자는 102명이 설문에 응하였다. 총 165명의 설문에 대한 현장경력은 평균 10.2년이다. 안전 관리자가 평가한 안전관리 교육콘텐츠로 활용될 발생강도 및 관리중요도에 대한 응답은 평균 3.0전후의 '보통'이라는 응답결과가 나왔다. 설문조사 결과 공종별 발생강도 및 관리중요도의 평균값은 Table 2 과 같다.

Table 2. Average of occurrence severity and management importance by work type

Work Type	occurrence Severity	Management Importance
Temporary	2.97	3.68
Earth	2.76	3.42
Foundation	2.69	3.30
Structure	2.89	3.45
Masonry	2.75	3.28
Plaster	2.89	3.61
Water proofing	2.89	3.52
Roofing	3.19	3.90
Window/Door	2.81	3.50
Painting	3.00	3.77
Electric/Mech.	3.00	3.71

다음 Table 3 은 구조물 공사의 세부 공종별 재해유형 예로써 나타내고 있다. 세부작업에 따른 재해유형이 제시되었으며 각 재해유형에 따른 발생강도와 관리 중요도를 포함하고 있다. 본 연구에서 안전 교육 콘텐츠로 활용 할 재해유형은 구조물 공사로 제한하였으며 발생강도와 관리중요도가 높은 항목(3.0 이상)을 선별하였다.

Table 3. Occurrence severity and management importance of structural work

Work Type	Details	Safety Accident types	Occurrence Severity	Management Importance
Preparation		Falling objects by while lifting material	2.867	3.648
		Collapse by unstable stack	2.806	3.309
		Falling material by single wire while carrying materials	3.073	3.715
		Collision with worker when reversing truck without signal person	2.939	3.394
Form fabrication		Slipping while applying grease on gang form surface	2.697	3.061
		Collapse of assembled gang form by loading without support beam	2.818	3.352
		Fall by excessive working while operating on gang form frame	2.909	3.430
Structure Work	Form Installation (Gang form installation)	Fall by non-installation of safe guard rails on work platform for form installation	3.345	3.921
		Fall by non-installation of opening cover when installation of form	3.370	3.982
		Falling objects by rope or hook rupture when lifting gang form	3.055	3.697
		Fall tools and materials from work plate of gang form	3.218	3.685
		Fall by non-installation of safe guardrails on corner part of Gang form	3.127	3.721
			Collapse of loaded rebar by ground subsidence	2.273
Rebar Assembly		Falling rebar by bumping into nearby structures while unloading rebar	2.352	2.848
		Collision with worker while reversing construction equipment	2.697	3.218
		Getting stabbed by rebar while working without wearing PPE	3.012	3.497
		Falling rebar by rupture of wire rope for lifting rebar	2.921	3.612

Work Type	Details	Safety Accident types	Occurrence Severity	Management Importance
		Collision with worker by non-installation of safe fence at rebar bending site	2.467	2.903
		Fall by non-installation of safe guardrails on movable scaffolding	3.236	3.836
		Collapse of assembled wall and column rebar by poor preventive measure	2.812	3.352
		Collision with shore while not wearing PPE	3.024	3.521
Shore installation		Fall while working on the top of shore without safety rope	3.473	4.073
		Collapse of shore by poor fixing and strength	3.133	3.776
		Collision with worker while reversing ready-mix truck	2.697	3.261
		Fall from top of ready-mix truck	2.188	2.624
		Collision while working without wearing PPE	2.588	3.073
Concrete Pour		Collapse of shore while pouring concrete	3.261	4.097
		Fall by boom's rupture while pouring concrete	2.673	3.303
		Electric shock by contacting high-voltage lines while rotating boom	2.558	3.309
		Suffocation due to entering concrete curing site without wearing respirators	2.394	3.030
Concrete Curing		Fall due to non-installation of safety equipment for openings concrete curing site	2.824	3.436
		Falling form on the worker when removing	3.303	3.764
Form Removal		Fall by placing excessive strength while removing form	3.248	3.685

4. 3D 시뮬레이션 안전교육 전달 매체 개발

4.1 재래식 교육자료

본 연구에서 기존의 재래식 교육 자료를 분석하기 위하여 5개 건설회사의 현장에서 안전교육 시 사용되는 교육 자료를 수집하였다. 5개 회사 모두 KOSHA에서 제작한 교육 자료를 활용하여 자체 제작한 사내교육 자료를 통하여 강의형식의 안전교육을 실시하고 있으며 교육방법으로는 사고발생 빈도가 높은 재해유형별로 실제사례를 사진과 그림 등을 통하여 근로자들의 이해를 도우며 재해사례를 바탕으로 재해 개요와 원인을 근로자에게 인지시키고 대책원인에 대하여

교육하는 방법으로 안전교육을 실시하고 있다. 본 연구에서 앞서 도출된 재해유형을 사진과 텍스트로 구성된 슬라이드 형식으로 제작하여 기존 재래식 교육의 자료로 활용하였다.

4.2 3D시뮬레이션 안전 교육자료

빌딩 정보 모델링(BIM) 바탕의 설계는 현장 프로젝트의 특성을 그대로 반영하여 3D의 시뮬레이션을 제시함으로써 공사의 진행 시점, 이동 경로 및 작업위치에 따른 안전교육을 제공할 수 있다. 해당 작업자의 업무에 따라 이동 경로 및 작업 위치를 변경해 감으로서 작업자에게 실제 작업의 공간감, 환경 요소 및 특수성을 시각적으로 제공할 수 있다. 본 연구에서는 국내 건설 진행 중인 1300세대 다세대공동주택의 2D 도면을 바탕으로 Auto Desk 社의 Revit Architecture 2013를 이용하여 2개 동을 디자인 하였으며 동일 사의 Navisworks 2013 프로그램을 이용하여 디자인된 빌딩에서 재래식 교육에서 사용된 동일한 재해유형 및 교육내용을 탐사기능을 통하여 애니메이션으로 제작하는 과정을 거쳤다. 애니메이션의 제작과정은 안전교육 진행의 용이성과 재래식 교육과 비교를 위해 제한된 교육시간 위한 과정이며 이전 단계에서 탐사 지점을 이동해가며 교육에 필요한 요소들을 포함 시킬 수 있어 적용의 유연성을 가진다. Figure 2는 3D 시뮬레이션 안전교육 자료 제작의 과정을 도식적으로 표현하였다.

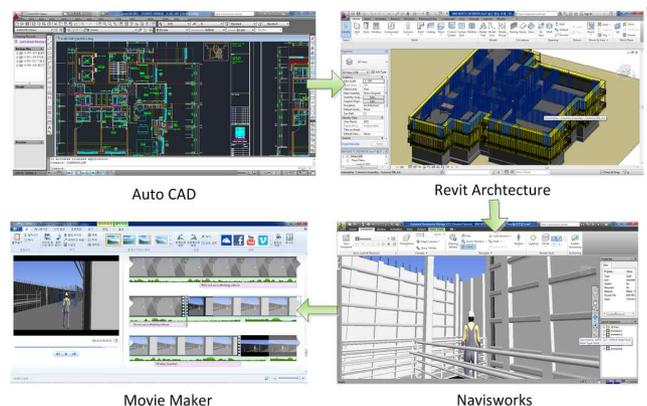


Figure 2. Different steps in creating animated 3D simulation safety training

4.3 3D시뮬레이션 안전교육 시스템 구현

교육 자료는 실제 근로자가 작업을 진행하는 순서에 의하여 구성하였으며 작업 시 또는 이동 시 일어날 수 있는 재해

유형 및 안전대책이 제시되었으며 본 장에서 주요 실례를 제시한다.

Figure 3은 본 연구에 선정된 실제 건설 현장의 2개 동의 전경이며 Figure 4는 3차원 모델링 된 현장의 외부를 모습을 나타낸다. 현장의 특수성 및 현실성을 살리기 위하여 현장의 모습을 현실감 있게 구현하였다.



Figure 3. Real apartment project under construction



Figure 4. 3D desined construction site view

다음 Figure 5는 현장에 설치되어 있는 낙하 방지망의 설치기준의 적용을 나타낸다. 낙하 비산물에 의한 안전사고를 예방하기 위하여 매 10m마다 낙하 방지망을 설치하여야 한다는 기준을 제시한다.

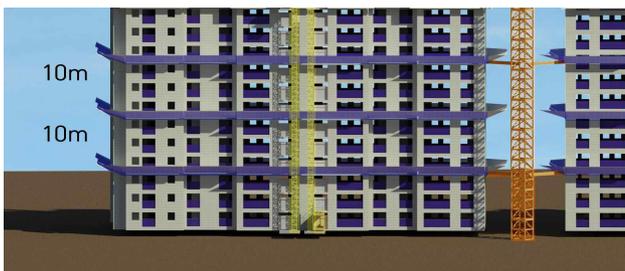


Figure 5. Safety net criteria

작업자의 호이스트 탑승 후 작업 층에서 내릴 때 호이스트와 작업층간의 사이가 벌어져 있어 추락의 위험에 대비하여

호이스트에서 내릴 때 안전발판을 사용하여 이동해야 한다는 교육내용을 나타낸다(Figure 6, 7).



Figure 6. Riding lift car



Figure 7. Using Safety plate

갱폼 내에서 작업 시 일어날 수 있는 안전사고에서 갱폼 내에서 작업 시 상부 낙하물에 의한 사고가 일어날 수 있으므로 작업 시 안전모 상시 착용 및 하며 추락의 위험을 방지하기 위하여 반드시 안전벨트를 착용의 내용을 나타낸다(Figure 8, 9).



Figure 8. Falling materials in gangform work



Figure 9. Using safety belt during gangform work

옥상 층으로 이동 시 협소한 계단실 내 돌출 철근 및 핀에 찰림 위험을 작업자에게 알리고 개인 안전보호구 및 철근 캡 사용과 주의를 나타낸다. 실제 선정된 건설 현장에서의 계단실의 실제 거푸집 핀 및 철근의 위치를 표현함으로써 이동시 작업자의 주의를 나타낸다(Figure 10).



Figure 10. Protruding rebar and metal pin

옥상 층 자재 반출입 개구부와 엘리베이터 실 개구부로의 추락의 위험에 대하여 작업 시 개구부에 추락주의와 안전덮

개와 안전표지판 설치 의무화를 나타낸다. 실제 선정된 건설 현장의 개구부의 정확한 위치와 크기를 반영함으로써 작업 근로자의 실제현장의 위험 위치와 주의사항을 제시한다 (Figure 11, 12).



Figure 11. Opening on top slab for an elevator room

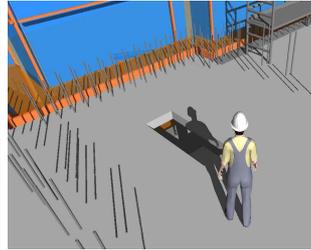


Figure 12. Opening on top slab for bringing materials

거푸집 설치 및 철근 조립 작업 중 2m이상 고소 작업 시 표준 안전난간 설치 후 작업을 진행해야 하며 안전난간 상부 작업 시 추락에 의한 사고를 예방하기 위하여 안전벨트를 착용 의무화를 나타낸다(Figure 13, 14).



Figure 13. Using standard safety scaffolding

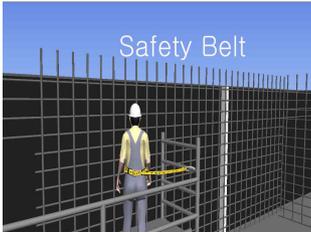


Figure 14. Wearing safety belt during scaffolding work

옥상 층에서 작업 시 크레인 하부에서 작업을 금지하고 크레인으로 자재 인양 시 반드시 두 줄 걸이를 하여 자재를 인양해야 함을 나타낸다. 실제 현장의 타원크레인의 이동 반경을 모델링에 적용하고 작업자의 반경 내 주의 범위 및 주의 사항을 나타낸다(Figure 15, 16).



Figure 15. Prohibiting work under crane lifting area

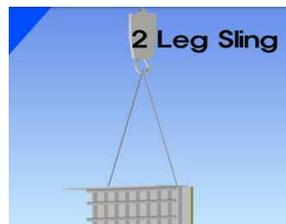


Figure 16. Using double leg sling

5. 교육자료의 적절성 평가

5.1 적절성 평가요소

Sherif and Mekkawi[17] 은 건설공학의 의사 결정을 위한 교육에 있어 컴퓨터 기반의 틀은 현실성, 능동성, 상호작용, 불확실성 및 참신성, 수행 평가, 인터페이스, 창조성, 즐거움, 안전한 학습 환경의 요소를 갖추어야 함을 제시하였다. 이를 바탕으로 3D 가상현실 바탕의 안전교육 자료가 실제 건설현장에서 실시되는 안전교육 자료로의 적절성을 평가하기 위하여 본 연구에서 제시된 평가요소는 다음과 같다.

1) V1. 현실성 : 교육 자료가 실제 현장을 현실성 있게 반영되었는가?

안전사고의 특성은 인간의 직접적 피해와 연관이 되기에 실제 체험을 통하여 학습 할 수 없으며 간접적 경험을 통하여 가능하다. 이 간접적 경험의 핵심은 실제 환경요소 조합이 얼마만큼 현실감 있게 구성되었는가에 있다. 컴퓨터 소프트웨어의 발달로 인하여 보다 정밀하고 현실성 있는 실제 환경 표현과 구체적 경험의 제공이 가능하다. 따라 개발된 3차원의 특성과 환경요소가 현실성에 부합 하는지를 판단한다.

2) V2. 현장교육의 적합성 : 안전교육의 내용이 현장안전 교육에 적합한가?

안전 작업 교육 내용은 작업자가 이해해야할 필수적 교육내용의 포두 포함하고 있으며 교육 이수자에게 적합한 수준의 내용으로 구성되고 있어야한다. 또한 안전교육의 전달은 작업 현장 및 현장 교육장에서 이루어지기 적합하여야 한다. 이에 따라 실제 건설 현장 안전교육장의 환경을 고려하여 교육자 및 환경여건을 바탕으로 적합성을 판단한다.

3) V3. 학습의 능동성 : 교육 자료가 학습자의 능동적 태도에 도움이 되는가?

안전교육의 주체는 업무를 수행하는 작업자이다. 안전교육은 작업자 중심의 교육이 되어야 하며 교육자가 피교육자에게로의 일방적인 지식전달이 아니라 안전위험요소에 대한 지식의 획득에 대하여 작업자가 능동적인 교육태도로 참여하여야 함에 따라 3D 시뮬레이션 바탕의 교육이 기존 재래식 안전교육에 비하여 학습자의 능동성의 정도를 판단한다.

4) V4. 흥미 유발성 : 교육 자료가 학습자의 흥미유발에 도움이 되는가?

안전교육 자료는 모든 교육 요소가 재해예방과 관련되는 필수요소이기에 안전교육의 전 과정에 있어 작업자들의 관심과 흥미를 유발하여 집중력이 유지될 수 있도록 개발되었

는지를 재래식 자료와 비교하여 판단한다.

5.2 적절성 평가분석

각 적절성 평가요소는 3D 시뮬레이션 바탕의 안전교육(A)과 재래식 강의교육(B)으로 구분되어 현실성(V1), 현장교육의 적합성(V2), 학습의 능동성(V3), 흥미 유발성(V4)에 대하여 정성적 평가를 수행하였다. 설문 의 개요는 3D 시뮬레이션 교육과 재래식 교육 자료를 검토한 후, 1번 ‘전혀 그렇지 않다’ 부터 7번 ‘매우 그렇다’ 까지의 7점 척도를 이용하여 평가 하였다. 설문 조사대상의 범위로는 현재 건설 현장에서 안전관리 업무를 담당하는 관리인으로 한정하였으며, 5개의 건설회사의 각 건설현장의 담당 및 책임자 51명을 대상으로 설문을 실시하였다. 설문조사자의 연령은 만 40.8세이며, 현장경력력은 평균 13년이다. 안전 관리자가 평가한 안전 교육 자료의 적절성에 대한 각 항목의 응답의 평균은 Table 4에 나타내었다.

Table 4. Descriptive statistics by the experimental group

Variables	Group	Mean	N	Std. Deviation
V1	A	5.22	51	1.28
	B	4.82	51	1.26
V2	A	5.45	51	1.02
	B	5.49	51	0.96
V3	A	5.43	51	1.47
	B	4.90	51	1.22
V4	A	5.82	51	1.41
	B	3.60	51	1.15

다음 Table 5는 재래식 안전교육과 3D 시각화 안전교육 자료의 적절성 평가의 차이의 95% 유의도 수준의 통계적 유의미성을 나타낸다.

Table 5. T-test for the significant between the conventional training and 3D simulation training

	Paired differences		t stat	df	sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation			
V1	0.39	0.02	3.492	50	0.000
V2	-0.04	0.06	-0.813	50	0.209
V3	0.53	0.25	4.538	50	0.000
V4	2.21	0.13	13.707	50	0.000

설문조사에 따른 안전 관리자들의 의견으로 현장 적합성(V2)부분은 두 교육자료 간에 통계적 유의미성 차이 없이 ($p>0.05$) ‘적절하다’ 의 의견을 보였으며 현실성(V1), 학습 능동성(V3), 흥미 유발성(V4)의 항목에 관하여는 3D 시각화 안전교육 자료가 더 적절하다는 의견은 통계적 유의미성을 가진다($p<0.05$). 특히 다른 항목과 비교하여 작업자의 흥미 유발(V4) 측면에서는 3D 시각화 안전교육이 기존재래식 교육의 ‘보통이하(=3.71)’에 비하여 ‘상당히 그렇다(=5.82)’에 가까운 큰 차이를 보였다($p<0.05$).

6. 결 론

최근 교육환경의 급격한 변화에도 불구하고, 교육현장에서의 공학교육 및 건설교육은 전통적인 교육방법에서 크게 벗어나지 못하고 있다. 본 연구에서는 재해를 당한 근로자 대부분이 작업미숙과 안전의식이 부족한 데서 비롯되며 교육을 통해 학습내용을 실제 작업에 적용하여 건설재해를 줄이기에는 부족한 실정이라는 부분에 초점을 두고 보다 효과적인 안전교육을 위하여 3D시뮬레이션 바탕의 안전교육 매체를 개발하였다. 먼저, 건설현장에서 일어날 수 있는 재해 사고 유형도출을 위하여 KOSHA와 OSHA 기준에 의하여 세부 작업유형을 도출하였다. 도출된 유형 중에 실제 현장에서 근무하는 안전 관리 및 책임자를 대상으로 설문조사를 통하여 발생강도와 관리중요도가 높은 재해유형을 도출하였다. 도출된 안전교육 콘텐츠를 바탕으로 실제 건설현장을 선정하여 가상현실 환경과 시나리오를 구축하고 현장에서 일어날 수 있는 안전사고 유형을 체험할 수 있는 형태로 제작 하였다. 현장 안전관리 및 책임자의 안전교육의 적절성 평가에서 현실성, 학습 능동성, 흥미유발성의 측면에서 기존의 재래식 교육 자료보다 효과적임을 파악 할 수 있었다. 향후 연구에서는 본 연구에서 제시된 3D 시뮬레이션바탕 안전교육 콘텐츠 및 전달 매체를 바탕으로 실제 현장 작업자들을 대상으로 안전교육 및 이해도 평가를 실시하여 그 효과성을 입증하고자한다.

요 약

건설 산업에 있어 작업자 안전은 지속적으로 중요시 되고 있다. 안전교육의 수준제고를 안전교육 내용매체 개선을 통

한 효율성 증진과 전달 매체 수준 향상에 의한 효과성 증진을 통해 이루어 질 수 있다. 본 연구에서는 선별된 공중별 안전 재해유형 내용을 바탕으로 건설현장의 3차원 시뮬레이션의 안전교육 자료를 개발하였다. 안전교육 내용매체는 안전보건 기술 지침과 미 산업안전보건청의 건설 산업 안전규정을 토대로 재해유형을 선별하였으며 교육 전달 매체로 3차원 시뮬레이션 기술을 이용하여 제공하였다. 제시된 교육 자료의 적절성을 평가하기 위해 건설현장의 안전관리 전문가의 설문조사를 토대로 교육내용의 적절성을 확인하였으며 이를 바탕으로 한 3차원 시뮬레이션 바탕의 안전교육 방법을 현실성, 적합성, 능동성 및 흥미유발성에 대한 설문을 통하여 기존 재래식 안전교육보다 효과성이 있음을 확인하였다.

키워드 : 3차원 시뮬레이션, 건설 작업자 안전, 안전교육 내용매체, 안전교육 전달매체

Acknowledgement

This research was supported by a grant (NRF-2012R1A2A2A01010882) from the National Research Foundation of Korea by Ministry of Science, ICT and Future Planning.

This research was supported by a grant from 2014 long-term overseas training of the Mokpo National University.

References

1. Jung YM, A Study on the Safety Education for Accident Prevention for the Construction Site [master's thesis]. [Seoul (Korea)]: Inha university; 2005. 87 p.
2. Kim MJ, Improvement plan of construction safety education for accident prevention in construction site [master's thesis]. [Seoul (Korea)]: Dongguk University; 2003. 82 p.
3. Kim EJ, Kim KR, Shin DW, A Model for Safety Education Fit for Individual Personality of Construction Worker. Korea Journal of Construction Engineering and Management. 2008 Oct;9(5):116-26.
4. Tam CM, Zeng SX, Deng ZM, Identifying elements of poor construction safety management in China. Safety Science. 2004 Aug;42(7):569-86.
5. Aksorn T, Hadikusumo B, Critical success factors influencing

- safety program performance in Thai construction projects. Safety Science. 2008 Apr;46(4): 709-27.
6. Choudhry RM, Fang D. Why operatives engage in unsafe work behavior: Investigating factors on construction sites. Safety Science. 2008 Apr;46(4):566-84.
7. Toole T. Construction Site Safety Roles. Journal of Construction Engineering and Management. 2002 May; 128(3):203-10.
8. Dale E. Audio-visual methods in teaching. 3rd ed, New York: Holt Rinehart & Winston; 1969. 108 p.
9. Burke MJ, Sarpy SA, Smith-Crowe K, Chan-Serafin S, Salvador RO, Islam G. The relative effectiveness of worker safety and health training methods. American Journal of Public Health. 2006 Feb;96(2):315-24.
10. Kang J, Anderson S, Clayton M, Empirical Study on the Merit of Web-Based 4D Visualization in Collaborative Construction Planning and Scheduling. Journal of Construction Engineering and Management. 2007 Jun;133(6):447-61.
11. Li H, Chan G, Skitmore M, Visualizing safety assessment by integrating the use of game technology. Automation in Construction. 2012 Mar;22:498-505.
12. Clevenger C, Ozbek M, Glick S, Porter D. Integrating BIM into construction management education. EcoBuild Conference Proceedings, EcoBuild 2010 BIM Academic Forum; 2010; Washington, DC.
13. Sacks R, Perlman A, Barak R, Construction safety training using immersive virtual reality. Construction Management Economics. 2013 Sep;31(9):1005-17.
14. Dickinson JK, Woodard P, Canas R, Ahamed S, Lockston D. Game-based trench safety education: development and lessons learned. Journal of Information Technology in Construction. 2011 Jan;16(Special Issue) :118-32.
15. Li H, Chan G, Skitmore M, Multiuser Virtual Safety Training System for Tower Crane Dismantlement. Journal of Computing in Civil Engineering. 2012 Sep;26(5):638-47.
16. Lin KY, Son JW, Rojas EM, A pilot study of a 3D game environment for construction safety education. Journal of Information Technology in Construction. 2011 Jan;16(Special Issue):69-83.
17. Sherif A, Mekkawi H, Developing a computer aided learning tool for teaching construction engineering decision making. The joint international conference on computing and decision making in civil and building engineering; 2006 Jun 14-16; p.3986-95.