

건설안전교육 효율성 향상을 위한 기능성게임 적용에 대한 연구

손정욱* · 신승우¹ · 이준성¹

¹이화여자대학교 건축공학과

Application of Serious Games for Effective Construction Safety Training

Son, JeongWook*, Shin, Seung-Woo¹, Yi, June-Seong¹

¹Department of Architectural Engineering, Ewha Womans University

Abstract : Construction safety training has mostly relied on one-way transference of instructors' knowledge to trainees through traditional media such as textbooks and lecture slides. However, safety knowledge could be more effectively acquired in experiential situations. The authors proposed a serious game to provide a comprehensive safety training environment. Trainees who assume the roles of safety inspectors in the game explore a virtual construction site to identify potential hazards and learn from the contents of feedback created by the game as a result of trainees' input. The paper reports details of the game design and development process. The test results indicated that trainees were motivated to refresh their safety knowledge, increased their learning interests, and enjoyed the learning process. In addition, trainees showed positive attitudes towards using the game scoring as a way of evaluating their safety knowledge. The test results encouraged the continuous development of the game.

Keyword : Safety Management, Safety Training, Serious Game, Virtual Reality

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

1.1.1 연구의 배경

건설안전재해는 전체 산업재해 중 큰 비중을 차지하며, 경제적·사회적 피해는 점차 증가하고 있는 추세이다. 안전관리공단에서 발표한 2011년 산업별 사망재해 통계를 살펴보면 우리나라에서 발생한 산업재해지수는 93,292명이었으며, 직간접적 경제적 손실추정액은 18조에 이른다. 이 중에 건설업종에서 발생한 산업재해지수는 전체의 24.2%인 22,782명, 사망자는 621명인 것으로 나타났다. 재해의 빈도와 강도 등을 나타내는 지표인 천인율, 도수율, 강도율을 살펴보면 건설현장에서의 안전재해·사고는 최근 들어 증가하고 있는 추세이다 (Fig. 1).

건설안전재해를 효율적으로 예방하기 위해서는 효율적인 교육이 필요하다. 건설현장에서는 안전재해를 예방하기 위한 다양한 방법의 교육이 실시되고 있다. 건설현장의 관리자와 작업자 모두가 안전관리의 중요성에 대해서는 인식하고 있으나, 작업자들은 작업에 사용되는 도구, 장비, 안전장

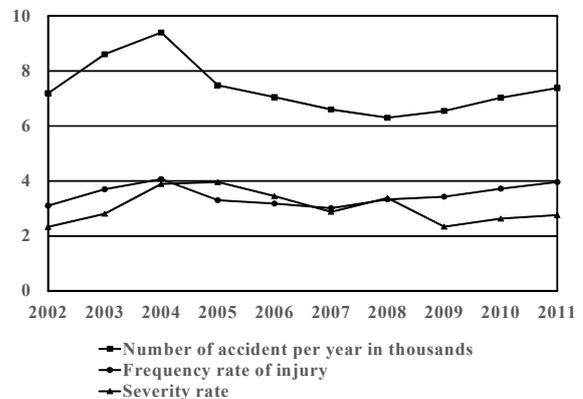


Fig. 1. Construction Site Accident Statistics (KOSHA 2011)

비 등의 특성을 모르는 채 작업을 수행하고 있는 경우가 많다 (홍성욱 외 2005). 작업인력에 대한 의존도가 높은 건설산업의 특성상 안전재해를 예방하기 위해서는 효율적인 안전교육을 통한 작업자의 의식전환 및 지속적인 주의환기를 통해 재해를 예방하고자 하는 노력이 필요하다.

그러나 건설현장에서 실시되는 안전교육은 다양한 직종의 작업자를 동시에 소집하여 진행되는 강의위주로 진행되어 작업자의 관심을 유발하지 못하고 형식적인 교육에 그쳐 재해예방에 실효성이 떨어지고 있다 (정성훈 외 2011). 최

* Corresponding author: Son, JeongWook, Department of Architectural Engineering, Ewha Womans University, Seoul 120-750, Korea
E-mail: jwson@ewha.ac.kr
Received August 13, 2013; revised September 12, 2013
accepted October 14, 2013

근 IT기술을 활용한 다양한 건설안전관리기술 및 교육방법이 개발되었다. 건설안전교육을 위해서는 기존의 문서와 시청각자료를 이용한 이론수업보다 체험위주의 교육과 실무 중심의 교육이 더 효과적이다 (홍성욱 외 2005). 가상현실 환경 등과 같은 IT기술을 활용하여 학습자위주의 체험형 교육기술을 개발하는 것이 필요하다.

1.1.2 연구의 목적, 범위 및 방법

본 연구는 가상현실환경을 구현할 수 있는 3D엔진을 사용하여 건설현장 및 학교에서 안전교육용으로 사용할 수 있는 기능성게임을 개발하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 문헌조사를 통하여 건설현장에서 수행되고 있는 안전교육과 교육용 기능성게임에 대해서 알아본다. 이를 바탕으로 기능성게임을 구현하는 데 필요한 요소와 제한사항을 파악하고, 기능성게임의 구성요소를 설계한다. 설계된 구성요소들은 컴퓨터그래픽 소프트웨어를 통해 제작되며, 3D엔진을 사용하여 가상현실환경 속에 구현된다. 완성된 게임은 학습자들을 대상으로 테스트한다. 위에서 설명된 연구수행절차는 Fig. 2에 제시되었다.

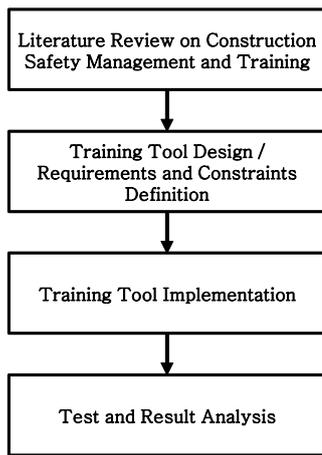


Fig. 2. Research Flow Diagram

2. 문헌조사

2.1 건설안전교육

건설현장에서의 안전교육은 산업안전보건법에서 정한 바에 따라 신규채용시교육, 작업내용변경시교육, 특별안전교육, 근로자정기교육, 관리감독자정기교육과 직무교육이 실시되고 있다. 건설기업들은 한국산업안전보건공단에서 제작한 교육자료를 바탕으로 제작한 교육자료를 활용하여 안전교육을 실시하고 있다. 발생빈도가 높은 재해유형별로 실제 사례를 사진과 그림 등을 통하여 이해를 도모하며, 사례를 바탕으로 재해개요와 원인을 작업자에게 인지시키고 대책에 대하여 교육하는 방법으로 안전교육을 실시하고 있다 (박태환 외 2013).

하지만 건설현장에서 형식적으로 이루어지는 안전교육은

내용과 방법에 있어 효율적이지 못하다. 안태우 외 (2010)에 의하면 건설안전재해의 주요원인은 관리감독자의 무리한 작업지시, 작업자의 안전의식 부족, 안전교육미흡, 안전시설 미비 등으로 나타났다. 안전교육은 현장안전관리자에 의해 문서와 시청각자료를 이용한 안전관련규정 및 안전재해사례의 설명 등으로 구성되어 진행하는데, 작업과 상관없는 교육내용과 계층별·직종별 등 개인적 특성을 무시한 일괄교육, 강의식 위주의 교육방법은 작업자의 적극적인 참여를 유도하지 못하고 있다 (김은정 2012). 안전교육의 내용과 방법 뿐만 아니라 안전의식 향상을 위한 태도교육의 강화가 필요하다 (김만장 2003).

최근 IT기술의 발전에 힘입어 IT기술을 건설안전교육에 활용하려는 시도가 활발히 이루어지고 있다. 건순호 외 (2009)는 BIM기반의 3D모델을 증강현실과 연계하여 비계설치·해체 작업 중 발생하는 재해유발요인에 대해 예방교육하기 위한 시스템을 제안하였다. 박문서 외 (2013)은 스마트 모바일과의 연계를 통해 보다 효율적인 현장 안전관리를 지원할 수 있는 프레임워크를 구현하였다. 권일 (2012)은 안전관리자의 교육용 콘텐츠 및 근로자의 자기주도형 안전교육용으로 사용할 수 있는 교육용 키오스크시스템을 제안하였다.

2.2 교육용 기능성게임

기능성게임은 현실세계에 존재하는 시스템과 현상 등을 모의해서 만든 게임형식의 모형을 뜻한다. 교육용 기능성게임은 학습자들이 게임의 실행을 통해 재미 이외에 의도된 교육 또는 훈련의 개발목적을 가진다. 기능성게임의 아이디어는 1970년에 Clark Abt에 의해서 제기되었다. "(기능성) 게임은 둘 이상의 독립적인 의사결정자가 정해진 환경 속에서 자신의 목적을 달성하기 위한 행위를 하게 된다. 이러한 측면이 기능성게임이 단순 재미의 목적 뿐 아니라 명확하고 사전에 치밀하게 계획된 교육적 목적을 달성할 수 있게 해준다는 면에 관심을 기울일 필요가 있다." (Abt 1970). 1990년대 이후 컴퓨터기술의 발전과 더불어 기능성게임에 대한 연구가 다양한 분야에서 진행되고 있다.

교육용 기능성게임은 기존에 개발된 컴퓨터기반 교육용 도구 (Educational computer-aided instruments)와는 다른 차이점을 제공한다. 컴퓨터기반 교육용도구는 교육자의 교육내용과 방법을 컴퓨터로 재현하여 전달하는데 초점을 맞춘 반면, 교육용 기능성게임은 그와 더불어 학습자가 스스로 학습을 위해 어떻게 컴퓨터기술을 활용하는지에 관심을 둔다. 다시 말해서 교육용 기능성게임은 학습에 필요한 내용 전달 뿐 아니라 학습의 과정에 초점을 맞추어 학습의 실효성을 높이고자 한다 (Muir 2007). 예를 들면, 최근 인터넷기반으로 많이 개발되고 있는 교육용자료들은 대부분 교육자를 대신해 정보를 전달하는 형식을 취하는 반면, 기능성게

성과를 평가하는데 사용할 수 있도록 한다.

3.1 개요

학습자는 게임 내에서 안전관리자의 역할을 수행하게 된다. 가상공간 내의 건설현장을 돌아다니며 정해진 시간동안 모든 잠재적인 안전재해 발생요인을 발견해야 한다. 학습자는 현장작업에 관한 도면, 공정표, 작업일람표 등에 대한 정보를 바탕으로 잠재적인 안전재해 발생요인을 찾게 된다. 학습자가 발생요인을 발견하게 되면 요인과 관련된 규정, 부가적인 설명, 사례 등이 제시되어 학습에 도움을 주며, 해당하는 포인트를 획득하게 된다. 부가적인 설명은 재해요인의 특성에 따라 텍스트, 사진, 동영상 등의 다양한 형태로 제공되며, 포인트는 발생요인의 난이도에 따라 차등적으로 부여된다. 학습자는 안전지식의 수준에 따라 다른 레벨에서 게임을 진행할 수 있다. 게임이 끝나면 학습자는 획득한 포인트를 바탕으로 성과를 평가하게 된다.

3.2 설계

3.2.1 안전규정

게임 내에 안전재해 발생요인으로 구현된 안전규정들이 Table 1에 제시되었다. 안전규정들은 미국 워싱턴주 노동산업부의 안전교육지침 (L&I 2012)을 바탕으로 구성되었다. 안전규정들은 인지하는데 필요한 안전관련 지식의 단계에 따라 세 단계(낮음, 중간, 높음)로 구분되었다. 낮은 단계의 안전규정을 발견하기 위해서는 일반적인 수준의 안전관련 지식만을 요구하며, 높은 단계의 안전규정을 발견하기 위해서는 건설작업에 전문화된 높은 수준의 지식이 요구된다.

하위레벨의 게임에서는 인지하기 쉬운 낮은 단계의 재해요인 (예, 안전모 미착용)들이 포함되어 있으며, 상위레벨로 갈수록 높은 단계의 재해요인들 (예, 트랜치작업 시 출구설치여부)이 포함되어 있다 (Fig. 4).



Fig. 4. Example of General and Construction-Specific Safety Violations

3.2.2 피드백 · 학습평가 시스템

학습자들의 학습을 돕기 위해 피드백시스템과 포인트시스템이 사용되었다. 피드백시스템은 학습자의 학습효과를 높이기 위해 사용된다. 안전재해 발생요인의 발견 시에는 관련규정, 부가설명, 사례 등의 추가적인 학생내용을 제공하며, 반대의 경우에는 추가진행을 독려하는 메시지를 제공한다. 포인트시스템은 학습의 성과를 평가하기 위해서 사용된다. 안전재해 발생요인의 난이도에 따라 포인트가 주어지며, 반대로 학습자가 재해발생요인을 잘못 지적하는

Table 1. List of Safety Violations

Level	List of Safety Violations	
Low	<ul style="list-style-type: none"> Holes on the floors without covers Hammer rests on the edge of the scaffold Uncap rebar Trench - over 4' deep with no protection systems in place No perimeter cables along the perimeter steel columns Scaffold missing guard rails and toe boards Worker on the ladder reaching too far No guardrails around stairwell Missing hardhat when standing underneath scaffolds 	<ul style="list-style-type: none"> Carrying a tool by the cord Carrying lumber w/o gloves Missing safety glasses when using nail guns Electrical - distance between the crane and the power line is < 10' Personnel inside the swing radius of a crane Cement truck backing onto a worker Worker standing underneath the (moving) hoisted loads Worker climbing scaffold bracings
Medium	<ul style="list-style-type: none"> Nails remaining on lumber Material storage - lumber stacking too high Ladder not properly secured or set up Scaffold platform not fully planked Scaffold base plate sits on shaky objects instead of on firm foundation Rusting or damaged shoring posts Electrical tools not in use are plugged in Crane outrigger on unstable bases 	<ul style="list-style-type: none"> Workers on aerial lifts without fall protection Trench-spoil pile too close to the trench, no means of egress/access, equip working right at the edge, working outside the trench box Using bump hat (instead of hardhat) Workers wearing athlete shoes Man using jackhammer w/o hearing protection More than one person on a ladder at one time Elevated concrete pouring bucket on top of employees
High	<ul style="list-style-type: none"> Ladder not set at a 4-to-1 angle Using the stepladder to gain access to upper levels Step ladders on top of scaffolds Material storage - stacking pipes in racks facing main aisles Material storage - inside buildings under construction shall not be placed within 6' of any hoist way or 10' of an exterior wall 	<ul style="list-style-type: none"> Steel columns w/ only 2 anchor bolts on the bottom Workers standing on buckets to reach for high objects Workers on walkways exposed to opening with extreme hazardous conditions w/o guardrails Trench - means of egress/access over 25' of reach, ladder not extending 3' above the trench box, trench box too low

경우 포인트를 잃게 된다. Fig. 5는 학습자가 이동식크레인의 작업반경과 전기배입선이 겹치는 안전재해 발생요인을 발견했을 경우 제공되는 피드백과 획득한 총포인트를 보여주고 있다.



Fig. 5. Feedback and Point System

3.2.3 실행순서

게임의 실행순서는 학습자들의 편의를 위해 여타 3D게임들과 유사하게 설계되었다 (Fig. 6). 정해진 레벨의 게임이 초기화되면 학습자는 가상공간 내의 아바타(안전관리자의 역할을 하는 캐릭터)의 시선을 따라 현장을 돌아다니며 점

검한다. 점검과정에서 잠재적인 안전재해 발생요인이 발견하게 되면, 마우스 포인터를 이용해 해당 요인에 해당하는 구성요소를 클릭한다. 구성요소가 안전재해 발생요인을 포함하고 있으면, 피드백 정보가 제공되며 설정된 포인트를 획득하게 된다. 학습자에 의해 현장 내의 모든 안전재해 발생요인이 찾아지거나, 정해진 시간이 초과되면 현재의 레벨은 종료된다. 학습자는 현재의 레벨에서 다시 게임을 실행하거나, 더 높은 레벨로 진행할 수 있다.

3.3 구현

게임은 Torque SDK (Software Development Kit)를 사용하여 Torque 3D Game Engine을 사용하여 제작되었다. Torque 3D Game Engine은 GarageGames (www.garagegames.com)가 개발한 C++ 기반으로 작성된 3D 게임엔진이다. Torque 3D Game Engine은 웹퍼블리싱, 소스코드수정, 다양한 정보제공 등의 강력한 기능을 제공하고, 다른 3D기반의 게임엔진에 비해 상대적으로 개발비용이 낮은 장점을 가지고 있다. Torque 3D Game Engine은 본 게임을 구현하는데 요구되는 3D렌더링, 피직스 물리엔진, 애니메이션 등의 대부분의 기능을 제공한다. Torque 3D Game Engine을 사용한 개발작업은 Torque SDK내의 부지편집기, 형상편집기, 재료편집기 등의 용도별 작업대화상자를 통해 이루어진다. 상세한 개발과정은 아래에 상술되었다.

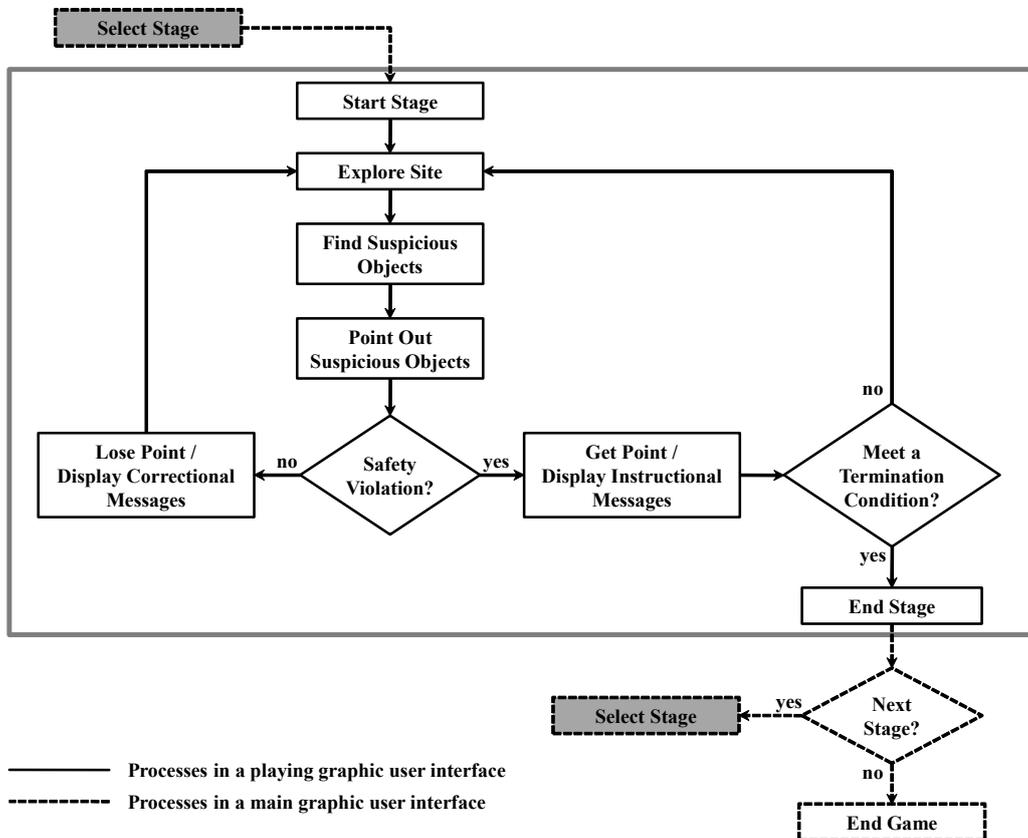


Fig. 6. Game Logic

3.3.1 부지모델링

가상공간 내의 건설현장을 재현하기 위해 부지가 생성되었다. 부지는 기본적으로 제공되는 부지모형과 재질을 부지편집기를 사용해 수정하는 방식으로 제작되었다. 다양한 공종과 공사단계를 포함시키기 위해 터파기, 골조공사 단계의 건물, 마감공사 단계의 건물, 현장사무실 등을 위한 부지가 생성되었으며, 현장주변의 건물과 도로를 모델링하기 위한 부지도 함께 만들어졌다.

3.3.2 3D형상 제작

게임구성요소를 만들기 위한 3D형상들이 제작되었다. 현실감있는 가상건설현장을 만들기 위해 필요한 모든 요소(아바타, 작업자캐릭터, 건설장비, 트럭, 자동차, 작업 중인 건물, 작업 도구, 자재, 가설시설, 안전시설, 건물을 포함한 주변환경)에 대한 3D형상들이 만들어졌다. 3D형상은 Autodesk사의 3ds Max 2009와 ChUmbaLum sOft사의 MilkShape 3D를 사용해서 제작되었다.

많은 수의 3D형상을 동시에 렌더링해야 하는 3D게임을 위한 형상제작은 디자인을 위한 3D모델링과는 다른 방법으로 제작된다. 많은 수의 점과 선을 가지는 복잡한 형상은 엔진의 과도한 부하를 유도하므로, 게임의 성능과 현실성 간의 균형을 맞추는 것이 필요했다. 또한, 구성요소 간의 충돌감지 메커니즘을 구현하기 위해서 3D형상의 데이터구조에 충돌영역을 포함시켰다. Fig. 7은 3ds Max내에서 굴삭기의 모델링하는 과정을 보여주고 있다.

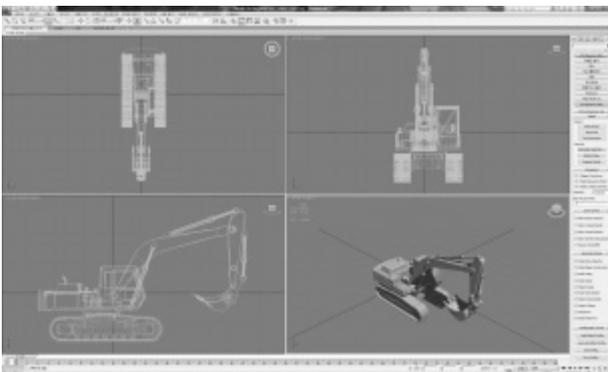


Fig. 7. 3D Object Modeling in 3ds Max

3.3.3 게임구성요소 변환

완성된 3D형상은 Torque 3D Game Engine에서 구성요소로서 사용가능한 DTS (Dynamix Threespace Shape) 또는 DIF (Dynamix Interior Format)의 형식으로 변환되었다. 건물형상들은 Autodesk 3ds Max에서 제작된 형상을 Torque Constructor에서 DIF의 형식으로 변환하였다. 건물을 제외한 캐릭터, 건설장비, 작업도구 등의 형상은 Autodesk 3ds Max내에서 DTS변환기(Fig. 8)를 사용하여 DTS형식으로 변환하였다.

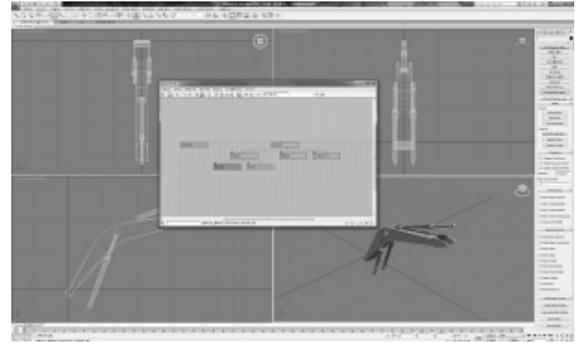


Fig. 8. 3D Object Export Using Max2DTSexporter

3.3.4 가상환경구성

Torque 3D SDK에서 변환된 게임구성요소들을 불러들여 가상건설현장을 구성하였다. 건물 구성요소들이 사전에 계획된 비에 따라 작성된 부지에 배치되었고, 타워크레인, 이동식 크레인, 비계 등과 같은 대형 구성요소들이 정해진 위치에 설치되었다. 굴삭기, 트럭, 불도저 등의 장비와 작업자 캐릭터들은 해당 작업이 이루어지는 위치에 놓였다 (Fig. 9). 작업자캐릭터들은 필요에 따라 작업에 필요한 도구(예, 망치, 드랩)와 부속품(예, 안전모, 안전화)이 마운트 되었다. 마지막으로 현장주변의 현장사무실, 자동차, 가설울타리, 전기인입선, 교통신호관, 안전표지판, 주변건물, 도로 등이 현장주변의 여건에 맞게 설치되었다.



Fig. 9. Element Import in Torque3D

3.3.5 코드최적화

설계과정에서 정의하였던 구성요소들의 요구사항, 동적인 움직임, 반응행위 등을 구현하기 위해서 게임엔진의 최적화 작업이 이루어졌다. 코드최적화는 주로 엔진 내의 데이터블록이라는 객체를 수정하는 방식으로 수행되었다. 작업자캐릭터와 건설장비들의 이동과 행위를 구현하기 위해서 엔진 내의 AiPlayer라는 데이터블록을 필요에 따라 수정하였다. 충돌감지 메커니즘을 구현하기 위해서 엔진 내의 충돌감지와 관련된 데이터블록을 최적화하였다.

3.3.6 그래픽 사용자인터페이스

학습자가 게임의 레벨을 선택하고 시작할 수 있는 초기

사용자인터페이스와 실행 중에 피드백과 포인트 정보를 보여주는 실행 사용자인터페이스를 구현하였다.

4. 검증: 결과 및 분석

개발된 안전교육용 기능성게임의 기능성 및 적용성을 검증하기 위해 테스트를 실시했다. 건설관리와 건축공학 전공 학생 10명을 대상으로 게임을 실행하도록 하였다. 테스트를 실시하기 전에 학생들에게 연구의 목적, 개발과정, 실행방법 등에 대한 안내과정이 진행되었다. 이후 낮은 수준의 레벨의 게임을 10분 동안 실행하도록 하고 설문조사를 실시하였다. 설문지 내용은 학생들의 기본적인 정보와 아래의 질문을 포함하였다. 설문은 7점 리커트 척도와 예/아니오의 단답형 질문으로 구성되었다. 설문지 내용과 결과는 Table 2에 제시되었다.

게임은 시각적, 기능적인 측면에서 설계과정에서 요구된 사항을 대체로 만족한 것으로 나타났다. 시각적인 측면에서는 문항 1,2의 결과에서 보는 것처럼 응답자의 90%가 구성요소가 시각적으로 잘 표현되었으며, 70%가 가상건설현장이 실제와 유사하다고 응답했다. 게임의 기능적인 측면에서는 설계과정에서 의도된 바와 같이 응답자의 80%가 실행과정에서 어려움이 없었다고 응답하였다 (문항 3). 그러나 70%의 응답자가 안전재해 발생요인을 발견하는 것이 어렵다고 응답하였다 (문항 4). 사후인터뷰에서 응답자들은 이에 대한 이유로 자신의 안전관련 지식 부족, 시간제한으로 인한 빠른 진행속도, 규정에 대한 정확한 확인의 어려움 등을 이유로 들었다.

학습적인 측면에서는 응답자들의 만족도가 높게 나타났다. 응답자들은 게임을 통한 학습이 스스로 참여하는 상호작용적이었던 과정으로 평가하였다 (문항 5). 이는 문항 6의 결과에서도 나타났는데, 응답자들은 게임을 통해 사전에 알고 있던 안전관련 지식을 실제와 유사한 가상환경에서 경험하고 안전의식을 상기할 수 있었다. 또한 응답자들은 게임을 통한 학습과정을 통해 학습주제에 대한 흥미를 가지게 되었다. 모든 응답자들이 게임을 통한 학습방법이 기존의 강의식 학습방법과 비교해 재미있다고 응답하였으며

(문항 7), 70%가 이를 통해 안전교육에 대한 흥미가 생겼다고 답하였다 (문항 8).

응답자들은 게임을 통해 학습수준을 평가하는 것에 대해 긍정적으로 평가했다. 응답자들의 80%가 게임실행의 결과가 현재 자신의 안전관련 지식수준을 제대로 반영한다고 답했으며 (문항 9), 90%가 이를 안전교육에서 평가방법의 일환으로 사용되어도 좋을 것 같다고 생각했다 (문항 10).

전체적으로 기능성 게임을 통한 안전교육은 설계과정에서 계획된 효과들을 이룬 것으로 나타났으며, 피학습자들에게 긍정적인 효과를 나타내 것으로 평가되었다.

5. 결론 및 향후 연구 방향

건설현장에서 발생하는 안전재해를 예방하는 것은 인적·경제적 피해를 줄이는 것은 물론 건설산업의 발전에 중요한 요인이다. 이를 위해 다양한 방법의 노력과 더불어 안전교육을 통한 작업자의 의식전환이 필요하다. 이러한 노력의 일환으로 본 연구에서는 가상현실기술을 사용하여 건설현장 및 학교에서 안전교육용으로 사용할 수 있는 기능성 게임을 개발하였다. 이어진 검증과정에서 응답자들은 게임의 기술적인 측면, 학습적인 측면, 평가도구로서의 모든 측면에서 대체로 긍정적인 평가를 내렸다.

본 연구가 건설현장에서 실질적인 교육도구로 사용되기 위해서는 향후 다음을 포함한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

(1) 본 연구의 결과물은 안전교육을 위한 주방법으로 사용하기에는 기능적인 한계가 있으며, 현재로서는 교육을 위한 보조 또는 평가방법으로 사용이 가능하다. 웹기반시스템이나 스마트기기 등을 통한 교육방법과 연계하여 향후 종합적인 안전교육 콘텐츠로 발전할 수 있을 것이다.

(2) 가상현실환경 내에 건설현장의 모든 구성요소를 사실적으로 구현하는 방법에 대한 연구가 필요하다. 안전재해 발생요인에는 육안으로 확인이 가능한 명시적인 형태와 상황 이외에도 3D형상만으로는 구현이 어려운 요인들이 있다. 안전규정에 따른 규격이나 치수 등은 가상현실 내에서는 확인이 어려우며, 작업자나 장비들의 동적인 움직임에서 만

Table 2. Survey Result

Question	Response
1 How realistic does the game reflect the everyday construction operations? (1-7)	70% (5 or above)
2 Is the game visually appealing to you? (Yes or No)	90% (Yes)
3 Is the game user-friendly and easy to operate for you? (Yes or No)	80% (Yes)
4 How challenging is it for you to identify the violations in the game? (1-7)	70% (4 or below)
5 Is the learning experience facilitated by the game interactive? (Yes or No)	100% (Yes)
6 Does the game motivate you to refresh your knowledge on some of the safety topics? (Yes or No)	100% (Yes)
7 Is the experience enjoyable compared to the traditional learning experience? (Yes or No)	100% (Yes)
8 How much does the game intrigue your learning interests? (1-7)	80% (5 or above)
9 How much does your game performance reflect your safety knowledge? (1-7)	80% (5 or above)
10 Do you think that the game scoring can be one way to measure your safety knowledge? (Yes or No)	90% (Yes)

들어지는 안전재해 상황들은 구현이 어렵다.

(3) 학습효과를 높이기 위해서는 학습자의 향후 작업환경을 가상공간 내에 구현하는 것이 필요하다. 그러나 주기가 짧고 이동이 많은 건설작업의 특성상 잦은 변경작업은 많은 비용과 시간이 발생하게 된다. 효율적인 방법으로 가상 건설현장을 제작하는 방법에 대한 연구가 필요하다.

감사의 글

이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (No. NRF-2013R1A1A1010562)

References

- Abt, C. C. (1970). *Serious games*, Viking Press.
- Ahn, T., Park, N., Seo, H., Kim, H., Lee, Y., and Kang, I. (2010). "Alysis research on the safety educational system for construction projects." *Proc., Korean Society of Civil Engineers Conference*, pp. 2032-2035.
- Geon, S., and Ok, J. (2009). "Research of safety education contents for construction site for the basis of augmented reality " *Proc., Korea Institute of Construction Engineering and Management Conference, KICEM*, pp. 726-729.
- Hong, S., Bae, K., and Ahn, Y. (2005). "A survey of actual condition and improvement plan about safety education in construction sites." *Journal of Architectural Institute of Korea*, 7(1), pp. 75-83.
- Jaafari, A., Manivong, K. K., and Chaaya, M. (2001). "Vircon: Interactive system for teaching construction management." *Journal of Construction Engineering and Management*, 127(1), pp. 66-75.
- Jung, S., Kim, T., Joo, Y., Lee, Y., and Kang, K. (2011). "Introduction to occupational safety and health training scheme for construction works." *Journal of Korea Safety Management and Science*, 13(2), pp. 9-18.
- Kim, E. (2012). "Development of safety education system fits for individual characteristics of construction worker." *Journal of Architectural Institute of Korea*, 14(3), pp. 287-294.
- Kim, M. (2003). "The improvement plan of construction safety education for accident prevention in construction site." *Master Thesis, DongGuk University*.
- KOSHA (2011). "Industry accident anlysis." *Korea Occupational Safety and Health Agency*.
- Ku, K., and Gaikwat, Y. (2009). "Construction education in second life." *Proc., Construction Research Congress, ASCE*, pp. 1378-1387.
- Kwon, I. (2012). "A study of development contents for the construction safety education by kiosk system." *Master Thesis, InCheon National University*.
- L&I (2011). "Safety standards for construction work ", *Washington State Department of Labor and Industries*.
- Martin, A. (2000). "A simulation engine for custom project management education." *International Journal of Project Management*, 18(3), pp. 201-213.
- Muir, M. (2007). "Research summary: Technology and pedagogy." *National Middle School Association*.
- Nassar, K. (2002). "Simulation gaming in construction: Er, the equipment replacement game." *Construction Education*, 7(1), pp. 16-30.
- Park, M., Kim, E., Lee, H., Lee, K., and Suh, S. (2013). "Real time safety management framework at construction site based on smart mobile." *Journal of Korea Institute of Construction Engineering and Management, KICEM*, 14(4), pp. 3-14.
- Park, T., Park, Y., and Kim, T. (2013). "An analyzing safety education contents in domestic construction sites." *Proc., Korea Institute of Building Construction Conference*, pp. 197-198.
- Sherif, A., and Mekkawi, H. (2010). "Excavation game: Computer-aided-learning tool for teaching construction engineering decision making." *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 136(4), pp. 188-196.

요약: 효과적인 건설안전교육을 위해서는 기존의 문서와 시청각자료에 의존한 이론적인 수업방법에서 벗어나, 체험위주의 교육과 실 무중심의 교육이 필요하다. 본 연구에서는 가상현실환경을 구현할 수 있는 3D엔진을 사용하여 건설현장 및 학교에서 안전교육용으로 사용할 수 있는 기능성게임을 개발하였다. 학습자는 게임 내에서 가상공간 내의 건설현장을 돌아다니며 잠재적인 안전재해 발생요인을 발견하는 안전관리자의 역할을 수행하게 된다. 이러한 시행착오 과정을 통해 안전에 관련된 지식을 학습자 스스로 익히 게 된다. 또한 게임과정에서 학습과정을 돕기 위해 피드백이 제공되며, 획득한 포인트를 바탕으로 성과를 평가하게 된다. 학생들을 대상으로 한 평가에서 기능성 게임을 통한 안전교육은 설계과정에서 계획된 효과들을 이룬 것으로 나타났으며, 학습자들에게 긍정적인 효과를 나타내 것으로 평가되었다.

키워드 : 안전관리, 안전교육, 기능성게임, 가상현실