

웹 3D 기술을 사용한 수소충전소 가상체험교육시스템 제작

윤종철

권지용

이인권

연세대학교 컴퓨터과학과

{media19, mage}@cs.yonsei.ac.kr iklee@yonsei.ac.kr

Development of Web3D-based Virtual Reality System for Hydrogen Station

Jong-Chul Yoon

Jiyong Kwon

In-Kwon Lee

Dept. of Computer Science, Yonsei University

요약

본 논문에선 수소 경제의 핵심 인프라 시설이며, 차세대 동력원인 수소에너지 관리 시설의 관리자들의 안전교육 및 훈련을 위한 가상체험모듈을 제안한다. 우리의 시스템은 이벤트 기반의 웹 3D기술을 사용하여, 일반적인 사용자가 손쉽게 사이트에 접속하여 실제 모델별 수소충전소를 가상으로 경험 하며, 내부적으로 위치한 안전장치에 대한 가상 경험을 제공한다. 사용자는, 가상현실 환경 내에서 다양한 이벤트를 통해 안전사고시 대처상황을 습득할 수 있으며, 추가적으로 동영상과 음성 등의 멀티미디어 콘텐츠로 보다 나은 교육환경을 제시한다. 본 시스템을 사용하여, 실제 수소충전소의 관리자들의 교육기능을 향상시킬 수 있으며, 향후 수소충전소의 홍보수단으로도 사용이 가능하다.

Abstract

In this paper, we present the web3D-based virtual reality(VR) system for the safety education of the hydrogen station. Currently, hydrogen is considered the next generation energy, and hydrogen station is a part of core infrastructure in hydrogen industry. However, the experience of safety equipment in the hydrogen station is limited to the non-experts, because it is a restricted area in general industry. Therefore, using the event driven method, we develop the VR system to transfer the information of hydrogen station to the non-experts. Using our system, user experiences the safety concerns in the hydrogen station, and also learn the informations of hydrogen energy.

키워드: 웹3D, 가상현실, 수소충전소, 교육용 가상현실 콘텐츠

Keywords: Web3D, virtual reality, hydrogen station, virtual reality contents for education

1. 서론

가상현실 기술이 확장 및 보편화에 따라 다양한 콘텐츠들이 일방향적인 전달이 아닌 가상현실에 기반을 둔 인터랙션 기반으로 이동이 되고 있다. 이러한 경향을 따라, 다양한 교육 콘텐츠들이 가상현실에 기반을 둔 사용자 상호작용 방식으로 효율성을 높이고 있다 [1, 2, 3]. 이러한 가상현실기반의 콘텐츠중, 가장 사용자에게 손쉽게 다가갈 수 있는 방법은 웹 기반의 접근으로, VRML 또는 X3D와 같은 다양한 태플릿을 사용한 Web3D 기반의 가상현실 콘텐츠가 확장되고 있는 추세이다. 이러한 웹 기반의 접근은, 사용자가 별도의 프로그램을

구입해서 설치 할 필요가 없이, ActiveX기반의 웹 플러그인의 설치만으로 손쉽게 접근이 가능하다는 장점을 가지며, 이러한 장점은 비전문적인 사용자를 대상으로 한 교육콘텐츠로써의 가상현실기법의 사용을 촉진시키는 이유 중 하나이다.

본 논문에선 이러한 웹기반의 가상현실기법의 강점을 바탕으로, 수소충전소의 안전운영을 위한 교육콘텐츠를 가상체험하는 교육시스템을 제작하는 방법을 제안한다. 화석 연료를 대체 할 에너지원으로 태양광, 풍력, 수소 등 친환경적이고 재생 가능한 에너지가 전 세계적으로 연구 검토 되고 있는 가운데 수소 에너지는 고효율, 무한, 청정 등의 에너지원으로서

갖추어야 필수 조건을 만족하고 있어 차세대 동력원으로 가장 각광받고 있다. 현재 국내에서도 시범적으로 6기 정도의 수소충전소가 설치되어 운영 계획에 있지만, 사고 발생 시 수소의 폭발 특성상 중대 사고로 이어질 가능성을 배제할 수 없어 인허가를 받는 과정에 많은 어려움을 받고 있다[4]. 수소에너지의 보편화를 위해선 이러한 인허가 과정을 위한 교육과정이 필요하지만, 실제 체험할 수 있는 수소충전소가 제한적이기 때문에 효율적인 교육과정이 부족한 현실이다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 우리는 웹 기반 수소충전소 가상현실 교육 콘텐츠를 제안하고자 한다.

우리가 제안하는 시스템은, EON studio [5]를 기반으로하여 미리 제작된 3D 모델과 웹상에서의 사용자 인터랙션을 구현한다. 타입별 수소충전소의 모델링을 위해선 3D Studio Max를 사용하였으며, 웹 기반의 사용자 인터랙션을 위해 Java script 형태의 명령어를 EON 객체로 전달하는 방식으로 시스템을 구성하였다. 가상현실 내부의 이벤트 처리를 위해 트리기반의 이벤트 처리기를 정의하였으며, 효율적인 정보전달을 위해, 가상현실상의 각 객체와 인터랙션 하는 텍스트, 음성, 동영상 콘텐츠를 제공한다.

가상현실에 기반을 둔 본 시스템의 장점은 다음과 같다: 첫째, 실제 환경에서 접하기 힘든 수소충전소를 가상현실로 경험함으로써, 사고대책에 대한 교육을 효율적으로 제공할 수 있다. 둘째, 비전문가도 손쉽게 웹을 통해 콘텐츠를 경험 할 수 있으므로, 수소충전소의 홍보에 도움이 된다. 마지막으로, 사용자와의 인터랙션에 의한 다양한 사고의 경험으로, 실제 안전장치에 대한 경험을 얻을 수 있으며, 동영상 및 음성의 제공으로 교육의 효율성을 높일 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 우리가 제안하는 수소충전소 가상현실 교육시스의 전체적인 구성방식을 설명하고, 3장에서는 각 구성별로 구현내용을 설명하겠다. 4장에서는 실제 테스트되고 있는 가상현실 시뮬레이션의 대모를 보이겠고, 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 계획을 밝히도록 하겠다.

2. 가상현실 시스템 구성

본 논문에서 제안하는 수소충전소 가상교육 시스템의 구성도는 크게 3가지 모듈로 구성된다. EON Studio로 제작된 가상현실 모듈에선, 제작자에 의해 미리 정의된 3차원 수소충전소 모델을 읽어들이고, 이것을 사용자에게 보여주는 역할을 담당한다. 이벤트 처리기 모듈에선, 가상현실 내부적인 이벤트를 처리하는 내부 이벤트 트리와, 사용자에 의해 입력되는 웹 이벤트를 처리하는 외부 이벤트 트리로 구성되며, 입력된 이벤트에 대한 명령 노드를 가상현실 모듈과 멀티미디어 콘텐츠 처리 모듈로 전달한다. 마지막으로 멀티미디어 콘텐츠 처리 모듈에선, 이벤트 처리기 모듈에서 들어오는 명령 노드를 바탕으로 사용자에게 텍스트, 음성 및 동영상의 콘텐츠를 보여

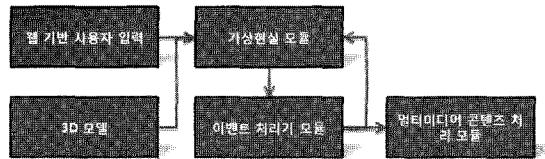


그림 1: 수소충전소 가상교육시스템의 구성도

준다. 각각의 모듈은 명령을 전달하는 입력 및 출력 노드를 통해 연결이 되며, 최종적으로 웹상에서 구동되는 EON Viewer를 사용하여 사용자에게 렌더링 된 결과를 제공한다. 본 시스템의 구성도는 그림 1에 나타나 있다.

3. 모듈별 시스템 구현 기법

본 장에서는 가상현실 시스템을 구성하기 위한 각 모듈을 구현하는 방법에 대해 설명하도록 하겠다.

3.1 유형별 3D 모델 구성

수소충전소는 수소의 생산방식에 따라 다양한 방식으로 설계된다. 이러한 수소충전소 중 우리는 국내외 대표적인 형식으로 총 8개의 생산방식을 가진 수소충전소를 다음과 같이 선택하였다: 천연가스 수증기 개질방식, LPG 수증기 개질방식, Naptha 수증기 개질 방식, 압축가스 수소 수송 방식, 전기분해방식, Kerosene 수증기 개질 방식, Hybrid 방식, 액체 수소 수송방식. 각각의 방식에 대한 설명은 [6]에 설명되어 있다.

총 8개의 방식에 대해, 실제 원형을 바탕으로하여 3D Studio Max를 사용하여 수소충전소를 모델링 하였으며, 수소충전소 내부의 주요 객체를 보다 자세히 보기 위해 세부묘사가 추가된 주요 객체를 독립적으로 모델링 하였다. 웹상에서 구동된다는 한계점이 있기 때문에 각각의 모델은 3만개 이하의 폴리곤으로 구성되었다. 수소충전소의構成을 위해 디자인된 객체는 탈황기, 개질기, 수성가스전환기, 수소흡착분리기, 전기분해장치, 압축기, 저장기 등이며 충전소 내부의 안전장치는 긴급차단장치, 방출관, 방호벽, 수소누출 감지기 등 총

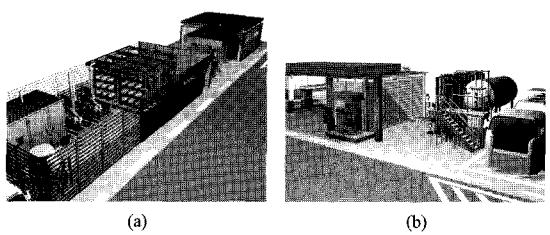


그림 2: 유형별 수소충전소 모델 디자인: (a) Hybrid방식의 수소충전소; (b) 액체 수소 수송 방식의 수소충전소.

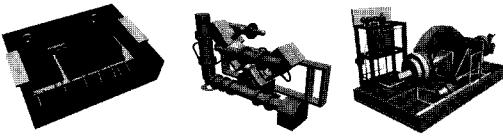


그림 3: 수소충전소 내부의 주요 객체들: (왼쪽부터) 접지기, 에어펌프, 암축기.

12개의 안전기를 배치하였다. 그림 2는 디자인된 수소충전소의 예를 보여주며, 그림 3은 부가적으로 제작된 수소충전소를 구성하는 주요 객체를 보여준다.

3.2 가상현실 내부 이벤트 구성

제작된 3D모델을 바탕으로 하여, 우리는 EON Studio를 사용하여 웹 3D 모듈을 구성한다. 최초로 제작된 3D모델을 EON Studio를 사용하여 웹 버전의 모델로 변형한 뒤 이를 사용자에게 웹 3D 뷰어를 사용하여 보여주게 된다. 단순한 모델의 나열만으로는 수소충전소내부의 안전장치 및 안전사고 처리 방법에 대한 교육이 힘들기 때문에, 사용자 인터랙션을 사용하여 보다 효율적인 교육 콘텐츠를 구성하고자 한다.

가상현실 내부 이벤트는 크게 내비게이션 이벤트, 객체 선택 이벤트, 애니메이션 이벤트 등의 가상현실 내부 이벤트와, Java Script와 연동되어 전달되는 웹 명령어 기반의 외부 이벤트로 분리된다. 각각의 이벤트에 대한 세부적인 설명은 다음과 같다:

- 네비게이션 이벤트:** 사용자가 3D로 제작된 수소충전소를 자유롭게 이동하기 위한 이벤트로, 기본적으로 마우스의 클릭에 이은 드래그 형식 1인칭 시점의 자유이동 방식과 구성 객체를 세부적으로 보기 위한 트랙볼(track ball) 방식을 선택해서 사용한다. 비전문가의 사용을 대비하여 별도의 충돌체크는 고려하지 않았다.
- 객체 선택 이벤트:** 수소충전소 내부의 주요 객체 및 안전장치에 대한 선택을 위한 객체의 마우스 선택 이벤트를 구성한다. 단, 비전문가의 경우 가상현실 상에서 어떤 것이 주요 객체인지 찾기 힘들 수도 있기 때문에 주요 객체의 선택을 위한 선택 아이콘을 가상현실내부에 위치시키고, 이를 벨보드형태로 회전 시켜 항상 사용자가 손쉽게 선택할 수 있도록 디자인 한다.
- 애니메이션 이벤트:** 가상현실의 사용자가 특정한 조건을 실행시켰을 때, 각각의 객체에 할당된 애니메이션을 실행하여 객체에 대해 보다 높은 이해도를 가져오게 한다. 본 시스템에서는, 객체 내부탐색을 위한 문 열림이나, 벨브등에 숨겨진 객체를 표현하기 위해 애니메이션 이벤트를 삽입하였다.

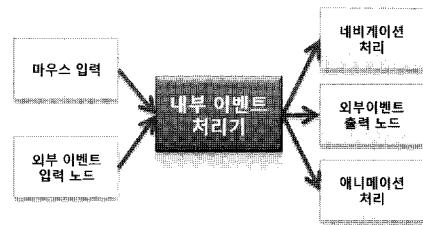


그림 4: 이벤트 처리기의 구성

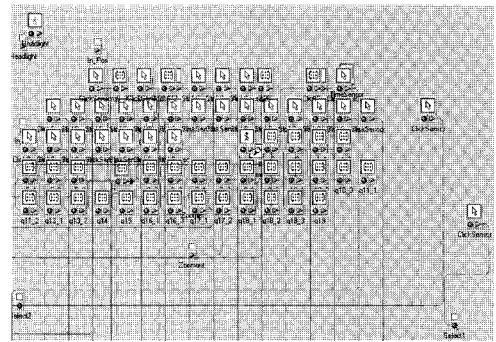


그림 5: EON Studio를 사용한 이벤트처리 트리의 VPL 기반의 구현.

• **웹 기반 외부 이벤트:** 웹 3D 기반의 가상현실 시뮬레이터는 기본적으로 웹페이지 위에서 구동되기 때문에, 사용자 편의성을 위한 다양한 기능을 웹상에 버튼 등으로 구성할 수 있다. 본 시스템에선 비전문적 사용자를 위한 객체별 자동이동 버튼과, 그림자에 의해 가려지는 부분을 자세히 보기위한 헤드라이트 기능 등을 웹 버튼으로 할당하여, 사용자 입력 시 Java script를 사용하여 가상현실 모듈로 이벤트를 전달하는 방식을 사용하였다.

각각의 이벤트의 구성을 위해, 우리는 EON Studio에서 제공하는 VPL(Visual Programming Language)를 사용하여 이벤트 처리기를 디자인하였다. 사용자로부터 마우스를 통해 입력된 명령과, 웹에서 입력된 외부 이벤트 신호를 내부 이벤트 처리기를 사용하여 분석을 하며, 분석된 결과를 바탕으로 내비게이션 처리 또는 애니메이션 처리 명령을 내려주며, 추가적으로 외부 멀티미디어 컨텐츠를 실행하기 위한 외부 이벤트 출력 신호를 생성해 준다(그림 4 참조). 이벤트 처리를 위한 VPL의 구현은 그림 5와 같이 이벤트 별 트리형태로 구성된다.

3.3 멀티미디어 콘텐츠 구성

보다 효과적인 가상교육 체험을 위해, 우리는 웹 3D에 추가적으로 텍스트, 음성, 동영상등의 콘텐츠를 별도로 제작하고, 가상현실 모듈에서 발생하는 외부 이벤트 출력을 분석하여, 각

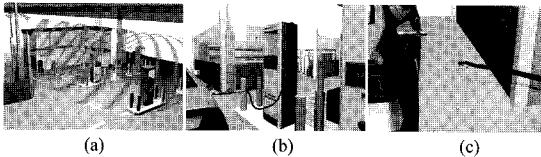


그림 6: 수소충전소 안전교육을 위한 동영상 콘텐츠: (a) 수소 누출시 가스 정보 체계를 보여주기 위한 영상; (b) 실제 수소 자동차의 수소 충전 과정을 보여주기 위한 영상; (c) 가스를 충전하는 dispenser에 부착된 안전장치를 보여주기 위한 영상.

각의 이벤트에 맞는 설명을 보여준다. 텍스트 및 음성은, 기존의 수소 충전소 전문서적을 바탕으로 제작하였으며, 동영상은, 웹 3D 기반의 가상현실상에서 표현하기 힘든 애니메이션들을 따로 제작하여 이벤트와 연결하였다. 본 시스템에서 지원하는 동영상들의 예제는 그림 6에 나타나 있다.

4. 가상현실 시스템 결과

4.1 가상현실 시스템 데모

지금까지의 구현사항을 바탕으로, 실제 구성된 가상현실 시스템의 기능 및 결과를 보이도록 하겠다. 가상현실을 체험을 위한 뷰는 크게 두가지로 구성이 되어있다. 일반적인 수소충전소 탐험을 위한 네비게이션 화면은 그림 7과 같이 구성되어 있다. 가상현실을 처리하기 위한 가상현실 창에선 실제 마우스 이벤트를 통한 네비게이션이 이루어지는 3D 창과 네비게이션에 도움을 주기 위한 확대 축소, 최초위치로가기, 전체화면 등의 기능을 가지는 네비게이션 버튼으로 이루어진다. 바로가기창에 있는 버튼들은 수소충전소를 구성하는 주요 객체로 자동으로 이동하는 기능을 제공하며, 안전장치 창에서는 수소충전소에 설치된 안전장치들로 바로 이동하는 기능을 제공한다. 이러한 버튼 기반의 이동방식은 3차원 네비게이션이 익숙치 않은 비전문가를 위한 장치들이다.

수소충전소 내부의 주요장치로 이동하였을 경우, 기존의 충전소 네비게이션 화면이 아닌 세부 객체를 자세히 보기 위한 그림 8와 같은 화면을 보여준다. 세부객체보기 화면에서는, 각각의 객체를 세부적으로 보기위한 트랙볼 모드를 지원하며, 내부에 위치한 객체를 보기위해, 기존의 실사 렌더링 기법 외에도 투명 렌더링 모드와 와이어 프레임 모드를 지원한다.

사용자는 객체의 선택 이벤트에 따라 전체 네비게이션 모드와 세부객체 보기 모드를 자유롭게 이동할 수 있으며, 각각의 이벤트에 따른 설명이 텍스트 및 음성으로 제공된다.

본 논문의 최종 결과인 수소충전소 가상현실 교육시스템은 한국가스안정공사에서 제작한 수소충전소 교육 페이지 (<http://www.kgsh2.or.kr/>)를 사용하여 공개 하였으며, 이를 실

행해본 전문가 집단 및 비 전문가 집단의 피드백을 받아서 수정되었다. 전문가 집단의 테스트에 의해, 교육을 위한 설명 콘텐츠의 수정이 이루어 졌으며, 비전문가 집단의 테스트에 의해 다양한 바로가기 버튼의 추가가 이루어졌다. 또한 사용자 평가에 의해, 조금은 느린 속도의 움직임과, 충돌처리를 제외하는 것이 오히려 비 전문적인 사용자에게는 도움이 된다는 점을 지적받았으며, 이를 그대로 반영하여 시스템을 개발하였다.

본 시스템의 유용성을 판단하기 위해 우리는 시스템 사용성 평가(SUS) 기법 [7]을 사용하여, 기존의 이미지와 텍스트 기반의 교육시스템과 가상현실 기반의 교육시스템의 사용자 편의성을 분석하였다. 시스템 사용성 평가(SUS)는 그림 9와 같이, 총 10문항으로 이루어져 있으며 각 문항의 응답은 Likert척도를 사용하여 강한 부정, 부정, 보통, 긍정, 강한 긍정을 의미하는 1에서 5까지의 5개의 답 중 하나를 선택하도록 하였다. 각 문항에 따른 점수 환산 방법은 긍정적인 문항의 경우 해당 점수에서 -1을 하고 부정적인 문항의 경우 5에서 해당 점수를 감산한다. 그리고 계산된 10문항의 점수를 모두 더해 2.5를 곱하는 방법을 이용해 0에서 100 사이의 점수로 환산할 수 있다. 그림 10은 총 8명에 의해 수행된 평가 결과를 나타낸다. 모든 사용자가, 우리가 제안한 시스템이 기존의 텍스트 및 이미지 기반의 교육교재보다 사용성이 뛰어나다는 평가를 내렸음을 알 수 있다(그림 10(a)). 문항별 만족도를 고려했을 경우, 우리의 시스템은 10개의 문항중 선지식 요구 문항을 제외한 모든 문항에서 높은 평가를 받았다(그림 10(b)). 분석결과에 의해, 어느정도의 컴퓨터 선지식이 있다면, 상호작용 가능한 가상현실 기반의 교육시스템이 보다 높은 효용성을 가짐을 증명할 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서, 우리는 수소충전소 내부 객체 및 안전설비의 교육을 위한 가상현실 기반의 시스템을 소개하였다. 웹이 가지는 장점을 극대화 하여, 일반적인 사용자도 별도의 추가 장비 없이 손쉽게 가상현실상의 수소충전소를 경험할 수 있었으며, 이를 통해 교육적 목적을 달성하였다. 또한 실제 웹상에서 구동하면서, 본 시스템의 유용성을 증명할 수 있었다. 비록 기존에 개발된 그래픽스 기술들을 융합하여 만든 시스템이긴 하나, 본 시스템의 유용성에 의해, 기존에 시도되지 않았던 융합형 어플리케이션의 개발이 요구됨을 알 수 있었다.

5.1 가상현실 시스템 사용자 테스트

본 시스템이 가지는 단점은, 모델 및 음성의 다운로드를 위한 딜레이 시간이 요구된다는 점이다. 가상현실의 구성에 필요한 3D 모델의 폴리곤을 최소화 하였으나, 실제 충전소를 구성하는 객체의 숫자가 많기 때문에, 고성능의 네트워크의 사

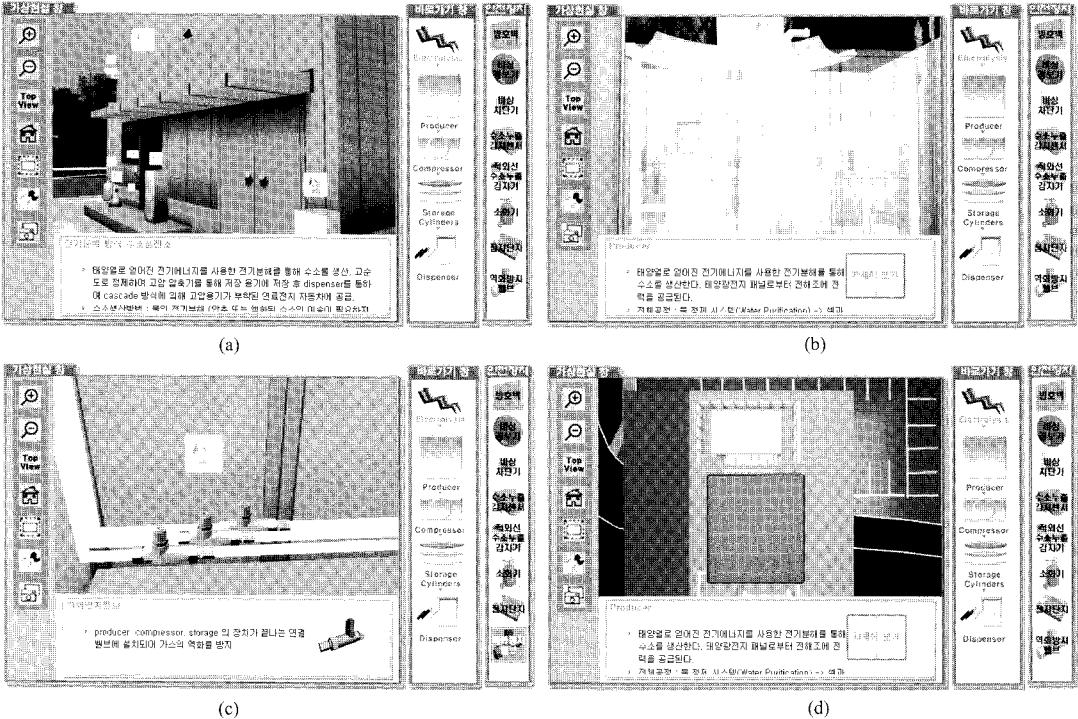


그림 7: 수소충전소 가상체험을 위한 네비게이션 창: (a) 최초의 시작단계; (b) 가상현실 내부 이벤트(개질기 선택) 실행시 결과 화면; (c) 가상현실 외부 이벤트(안전장치 바로가기) 실행시 결과화면; (d) 네비게이션 도움버튼(위에서 보기) 실행시 결과화면.

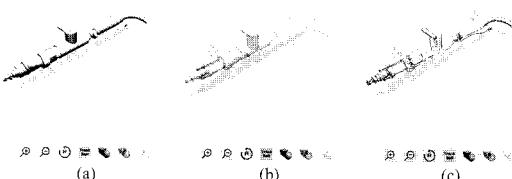


그림 8: 객체 자세히 보기에서 지원하는 3가지 렌더링 모듈: (a) 실사 렌더링; (b) 투명 렌더링; (c) 와이어 프레임 렌더링.

용자가 아니면, 처음 시작할때 데이터를 다운받기 위한 시간이 요구된다. 또한 이벤트 처리기 및 외부 입력에 대한 처리를 위해 복잡한 수준의 스크립트가 사용되므로, 낮은 수준의 하드웨어에서는 명령 실행에 대한 딜레이 또한 생길 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 수소충전소를 위해 사용된 모델들을 최적화 하는 과정이 요구되며, 지금의 Java Script 기반의 명령이 아닌, 보다 하이레벨의 언어를 사용한 구현이 요구된다.

본 논문에 제안하는 시스템을 보다 발전시키기 위해서,

	Strongly Disagree	Disagree	Agree	Strongly Agree
1. 나는 이 어플리케이션을 자주 사용할 것이다.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. 나는 이 어플리케이션이 불필요하게 복잡하다고 생각한다.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. 나는 이 어플리케이션이 사용하기 쉽다고 생각한다.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. 나는 이 어플리케이션을 사용하기 위해서는 전문가의 도움이 필요하다고 생각한다.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. 나는 이 어플리케이션의 다양한 기능이 조직적으로 잘 결합되어 있다고 생각한다.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. 나는 이 어플리케이션이 너무 불안정 한 것 같다. 생각한다.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. 나는 많은 사람들이 이 어플리케이션의 사용법을 빠르게 익힐 것이라고 생각한다.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. 나는 이 어플리케이션이 큰 방해가 된다고 생각한다.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. 나는 이 어플리케이션을 사용하는 데에 큰 자부심을 느낄 것이다.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. 나는 이 어플리케이션을 계속 사용하기 위해서 많은 것들을 배워야 한다고 생각한다.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

그림 9: 시스템 사용성 평가(SUS)를 위한 10가지 평가항목.

우리는 현재 8개의 타입만 구현되어 있는 수소충전서 유형을 보다 확장시킬 것이며, 마우스가 아닌 햅틱등의 다양한 인터페이스와의 결합으로 보다 몰입감을 높이는 가상현실 환경을 구성할 것이다.

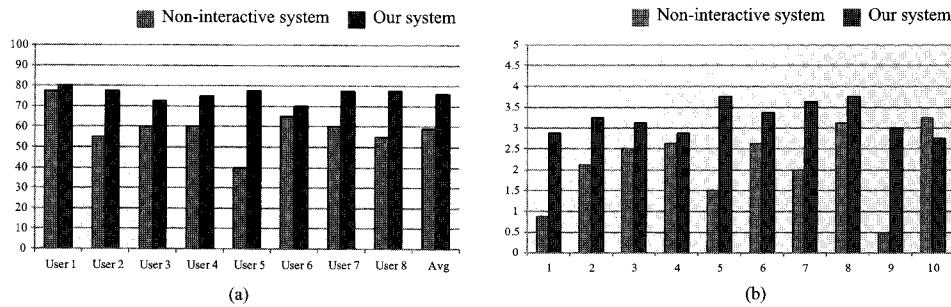


그림 10: 시스템 사용성 평가 결과: (a) 사용자별 평균 만족도 비교 결과; (b) 문항별 만족도 비교 결과.

감사의 글

본 논문은 지식경제부 신재생에너지기술개발사업의 일환(2006-N-HY12-P-01)으로 가스안전공사의 지원으로 수행한 수소충전소 가상교육 페이지 개발사업을 통해 연구되었음.

참고 문헌

- [1] J. T. Bell and H. S. Fogler, "Virtual reality in chemical engineering education," in *Proceedings of the 1998 ASEE North Central Section Meeting*, 1998.
- [2] R. M. Felder and L. K. Silverman, "Learning and teaching styles in engineering education," *Journal of Engineering Education*, vol. 78, no. 7, pp. 674-681, 1988.
- [3] B. Mohnsen, "Virtual reality applications in physical education," *JOPERD-The Journal of Physical Education, Recreation and Dance*, vol. 74, 2003.
- [4] 김종수 and 이광원, "수소안전기술의 동향," in 수소에너지 정보 제 2호, 2004.
- [5] I. Eon Reality, "Eon studio professional." [Online]. Available: <http://www.eonreality.com/>
- [6] 서동주 and 윤왕래, "수소충전소," *설비저널*, vol. 36, no. 9, pp. 36-41, 2007.
- [7] J. Booke, "Sus : A quick and dirty usability scale," *Usability Evaluation in Industry*, pp. 189-194, 1996.

〈저자 소개〉

윤종철

- 2003년 2월 아주대학교 미디어학과(학사)
- 2005년 2월 아주대학교 미디어학과 석사)
- 2005년 3월~현재 연세대학교 컴퓨터과학과 (박사과정)
- <관심분야> 이미지 및 비디오 프로세싱, 난수기반 렌더링 등



권지용

- 2005년 2월 연세대학교 컴퓨터과학과 (학사)
- 2005년 3월~현재 연세대학교 컴퓨터과학과(석박사 통합과정)
- <관심분야> 컴퓨터 애니메이션, 기하 모델링 등



이인권

- 1989년 2월 연세대학교 컴퓨터과학과(학사)
- 1992년 2월 포항공과대학교 컴퓨터공학과(석사)
- 1997년 2월 포항공과대학교 컴퓨터공학과(박사)
- 1997년 9월~1999년 2월 오스트리아 Vienna University of Technology 박사후연구원
- 1999년 3월~2001년 2월 포항공과대학교 정보통신연구소 선임연구원
- 2001년 3월~2003년 8월 아주대학교 미디어학부 조교수
- 2003년 8월~현재 연세대학교 컴퓨터과학과 부교수
- <관심분야> 컴퓨터 애니메이션, 기하 모델링, 컴퓨터 음악 등

