

운전자 교육을 위한 PC 기반의 굴삭기 시뮬레이터의 개발*

Development of a PC-based Excavator Simulator for Operator Training

한경숙** · 황세훈***

Kyungsook Han and Se-Hun Hwang

Abstract

Vehicle simulators provide an effective and safe environment for training operators. Many vehicle simulators have been developed but only a few have reached the stage of widely available tools; these tools are usually expensive and run on workstations only. We have developed a low-cost, PC-based excavator simulator for training operators. Currently the simulator is dedicated to operating the boom, arm, bucket, and driver's cabin for digging by the action of the operator on two joysticks. This paper presents the implementation of the excavator simulator and some implementation results.

Key Words: excavator simulator, operator training, virtual reality

* 본 논문의 제 1저자는 정보통신부 우수시범학교(대학원) 지원사업에 의하여 1999년 인하대학교 교내 연구비의 지원을 받았음.

** 인하대학교 공과대학

*** Virtual Reality Innovation co.

1. 서론

시뮬레이터는 원래의 시스템과 비슷하게 동작하도록 제작되어 사용자에게 실제 시스템을 이용하는 것과 같은 효과를 주는 것으로, 연구용, 훈련용, 오락용 등 그 사용 목적이 다양하다. 가상 현실(virtual reality)에 대한 본격적인 연구가 시작되기 훨씬 이전부터 존재한 시뮬레이터의 효시는 1930년대 중반 미국의 Edwin A. Link가 고안한 비행 시뮬레이터(flight simulator)로서, 미숙한 비행 조종사를 보다 안전한 환경에서 훈련하여 실제 비행에서의 잦은 사고를 줄이려는 시도였다 [1]. 그 후 비행 시뮬레이터는 컴퓨터 그래픽스와 더불어 더욱 발전하여, 모니터에 시각화되는 가상의 비행 공간을 이용하여 조종사를 훈련하는 효율적인 수단으로 사용되고 있다. 이러한 비행 시뮬레이터 기술이 육상 차량에 적용된 최초의 자동차 시뮬레이터는 1984년에 발표된 Daimler-Benz [2]이다. 자동차 시뮬레이터는 승용차를 대상으로 개발된 것이 많은데, 주로 자동차 회사에서 제품 설계와 성능 시험용으로 제작된 것이다. 비교적 최근에 개발된 Iowa Driving Simulator [3]도 주 용도가 제품 설계와 성능 시험을 위한 자동차 시뮬레이터라고 할 수 있다. 이외에 운전자를 위한 연습용 시뮬레이터나 [4] 사고 운전자를 대상으로 하는 교정 교육용 [5] 등 다양한 목적으로 연구, 개발된 바 있다. Carnegie Mellon 연구소에서 개발된 Advanced Multi-Vehicle Simulator(AMVS) [6]는 하나의 motion platform에 여러 종류의 운전석과 차체를 바꾸어서 장착하여 사용할 수 있는 시뮬레이터로서, 빠른 기간에 적은 비용으로 차량 시뮬레이터를 구축하여 실험할 수 있는 환경이다.

한편 야외 환경에서 crane 조작을 보조하는 가상 crane simulator [7]와 같이 건설 중장비에 대한 시뮬레이터가 개발된 바 있으나, 중장비 시뮬레이터에 대한 연구나 개발은 다른 종류의 차량 시뮬레이터에 비하여 상대적으로 미흡하고, 중장비의 역학적 측면을 연구하기 위하여

개발된 것이 대부분이어서 운전자들을 훈련하기 위해 사용하기에는 부적합하다. 최근 국내에서 개발된 굴삭기 시뮬레이터 [8, 9]는 굴삭기의 주요 기능이라 할 수 있는 굴삭 작업이 아니라 주행 과정을 대상으로 한 것이어서, 일반 자동차 시뮬레이터와 특별히 차별되는 점이 없다. University of British Columbia에서 개발한 굴삭기 시뮬레이터 [10]는 굴삭기 제어기의 설계와 성능을 평가하기 위한 것으로서, 워크스테이션과 실시간 시스템을 기반으로 6 자유도의 조이스틱(joystick)을 이용한다. 이러한 시뮬레이터는 고성능 워크스테이션에서만 운용되므로 일반인들이 보편적으로 사용하기에는 제약이 있다. 최근 워크스테이션 대신 PC 기반에서 운용되는 훈련용 가상 현실 시스템이 증가하는 추세인데, 전력 설비 시스템 운용자의 훈련 [11, 12] 또는 비행 시뮬레이션 [13]을 위하여 개발된 것이 주류를 이룬다.

본 논문은 산학 협동으로 추진되어 최근 1차 개발이 완료된 굴삭기 시뮬레이터에 관한 것이다. 자동차 운전과 마찬가지로 건설 중장비의 운전 또한 오랜 연습과 훈련이 필요하며, 운전 조작의 섬세함 때문에 일반 자동차보다 더 많은 시간의 연습이 필요하다. 그러나 중장비 자체의 비싼 가격 때문에 중장비 운전 전문 학원에서도 실제 연습용 차량을 충분히 구비해 놓은 곳은 드물다. 따라서 수강생들이 실제 중장비를 이용하기 위하여 장시간 기다려야 하고, 또한 시험 전에 실제 운전석에 앉아서 연습하는 시간이 절대적으로 부족하다. 본 논문에서 소개하는 굴삭기 시뮬레이터의 1차 개발 목적은, 굴삭기 시뮬레이터 구성을 위한 최소한의 장비라고 할 수 있는 PC와 운전 조작 레버를 이용하여, 초보 운전자가 운전 면허 시험을 대비하여 연습하기 위한 상업용 가상 현실 시스템이다. 향후 Head Mounted Display(HMD)와 Tracker를 추가하여 보다 현실감 있는 훈련 시뮬레이터를 개발할 예정이다. 이 굴삭기 시뮬레이터는 국내에서는 처음으로 운전자 훈련을 위하여 개발된 가상 굴삭기 시뮬레이터이며, 본 논문에서 기술하는 시뮬레이터의 테

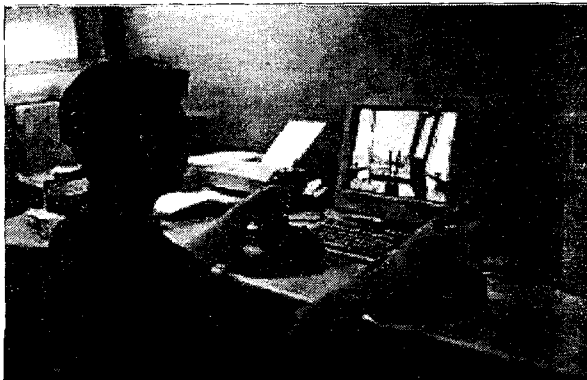
모 프로그램은 <http://www.jeestar.com>에서 수행할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절은 본 굴삭기 시뮬레이터 개발의 목적과 사용한 개발 도구, 굴삭기 및 굴삭 작업의 모델링을 중심으로 한 개발 방법을 소개한다. 3절은 굴삭기 시뮬레이터를 수행할 때 설정해야 하는 파라미터, 화면 구성, 음향 효과 등을 기술한다. 마지막으로 4절에서는 굴삭기 시뮬레이터 1차 개발의 장단점과 향후 연구 방향을 논한다.

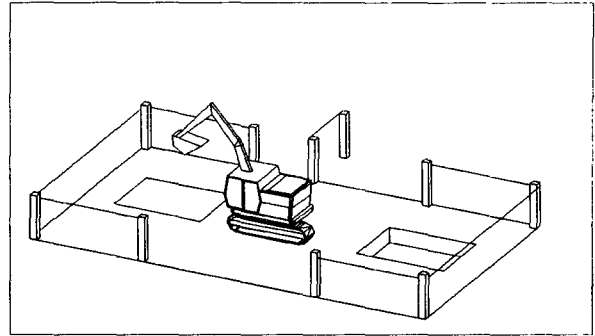
2. 굴삭기 시뮬레이터 설계

2.1 굴삭기 시뮬레이터 구성 및 용도

굴삭기는 일반 차량과 같이 주행하기도 하지만 작업 현장에서의 굴삭 작업이 주요 목적으로 일반 운전 시뮬레이터와는 차별성을 가진다. 개발 기간과 비용의 단축을 위하여, 1차 개발에서는 주행을 제외하고 굴삭 작업에 필요한 레버 조작을 우선적으로 구현하였다. 굴삭기 레버 조작의 연습은 조이스틱을 이용하는데, 시뮬레이터에 사용된 조이스틱은 아날로그 방식보다 안정성이 우수한 디지털 방식의 조이스틱이며, 이 조이스틱은 PC의 USB 포트에 연결된다. 개발된 시뮬레이터는 그림 1에서 보이는 것과 같이 PC와 2개의 조이스틱으로 구성된다.



<그림 1> 조이스틱과 PC로 구성된 시뮬레이터



<그림 2> 굴삭기 운전면허시험(굴삭작업 부분)

앞에서 언급한 바와 같이, 본 시뮬레이터는 국내 면허 시험을 대비하여 굴삭 작업을 연습하기 위한 시스템이기 때문에 면허 시험 상황을 시뮬레이션의 시나리오로 설정하였다. 국내 굴삭기 운전 면허 시험은 주행과 굴삭 작업의 두 가지 과정으로 이루어져 있는데, 그 중에서 굴삭 작업이 본 시뮬레이터의 구현 대상이다. 그림 2에서 보듯이, 굴삭 작업에 관한 시험 과정은 4분내에 버킷의 폭×70cm 깊이로 굴삭하여 장애물을 넘어 반대편의 구덩이를 매우고 평탄하게 하게 되면 합격으로 인정된다.

2.2 개발 환경

굴삭기 시뮬레이터의 구성은 일반인들이 보편적인 PC 환경에서 사용할 수 있도록 하는데 초점을 맞추었다. 프레임 디스플레이 속도를 고려하여 16MB 비디오 메모리를 기준으로 구현 작업이 진행되었으나, 8MB 비디오 메모리가 있는 PC에서도 어느 정도 사용이 가능하다.

비디오 카드에 대해 여러 가지 모델을 시험해 본 결과 Matrox G400이 디스플레이 속도와 이미지의 질에서 가장 안정성을 보이며, RIVA TNT2 그래픽 칩은 속도는 우수하지만 모델링의 면과 조명에 대해 문제점이 있어 적합하지 않은 것으로 판단된다.

<표 1> 개발 시스템 및 시뮬레이터 운용 환경

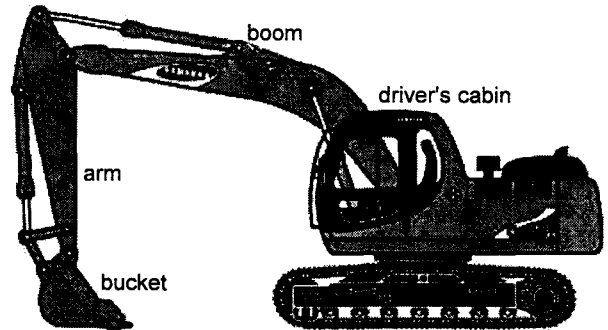
	개발 시스템	최소 사양	권장 사양
CPU	Celeron 300 Mhz	Celeron 300 Mhz	Pentium II
RAM	32MB	16MB	32MB
Video Memory	AGP 16MB	AGP 8MB	AGP 32MB
USB Port	✓	✓	✓
Sound Card	Sound Blaster 32	Sound Blaster 16	Sound Blaster 32

개발을 위하여 사용한 소프트웨어는 가상 현실 전문 저작 도구인 Superscape VRT이다. Superscape VRT는 두 개의 조이스틱을 지원하기 때문에 별도의 드라이버를 제작할 필요가 없다. 자체의 모델링 기능을 이용해 굴삭기 모델과 프로그램을 삽입함으로써 각 객체와 디바이스의 상호 작용이 연동되도록 구현하였다. Superscape VRT가 제공하는 7개의 에디터 중에서 네 개의 에디터(3D 모델을 생성하는 Shape Editor, 생성한 3D 모델의 공간 배치와 속성 부여의 작업이 가능한 World Editor, 이미지 파일 작업을 하는 Image Editor와, 화면 구성을 지원하는 Layout Editor)를 각 단계에서 사용하였다. 또한 시뮬레이터 설계 단계에서, 향후 HMD, Position Tracker 등의 디바이스를 동시에 사용하여 사용자의 몰입감을 높이도록 하는 2차 개발 계획을 반영하였다.

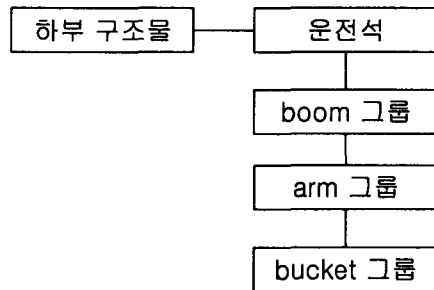
2.3 굴삭기 모델링

구현된 시뮬레이터의 모델은 그림 3에서 보이는 삼성 중공업의 130LC 휠 굴삭기이다. 굴삭기의 구조물들은 그룹의 개념을 가지는 계층적 종속 관계로 정의되며, 이 관계를 그림 4가 보인다. 굴삭기의 운전석과 운전석 아래의 하부 구조물이 각각 하나의 그룹으로 정의되는데, 운

전석 그룹과 하부 구조물 그룹이 계층 구조에서 동일한 레벨에 존재하며, 운전석 그룹의 하위 그룹으로 boom 그룹, boom 그룹의 하위 그룹으로 arm 그룹, arm 그룹의 하위 그룹으로 bucket 그룹이 지정된다. 계층 구조의 하위 레벨에 있는 그룹의 위치와 방향은 그 상위 그룹에 의하여 제한을 받는다.



<그림 3> 굴삭기 모델



<그림 4> 굴삭기 그룹의 계층 구조

Superscape VRT의 에디터를 이용한 굴삭기 모델링 작업은 다음과 같이 진행되었다. 먼저 Shape Editor에서 Geometric Point와 Relative Point들을 설정하고, 이 점들을 연결하여 면을 생성하였다. 은면 제거가 효율적으로 이루어지도록 하기 위하여 바깥쪽과 안쪽의 면으로 분할하여 면을 구성하였다. Shape 생성시 최소한의 점과 면으로 가능한 자세하게 물체를 표현하였는데, 그 이유는 너무 자세한 모델에 중점을 두

면 시스템의 성능이 상대적으로 떨어지고 구현 시스템의 사양을 그만큼 높여야 하는 문제가 발생하기 때문이다. 또한 굴삭기의 부품 중에서 엔진 등 외부에서 보이지 않는 부품의 표현은 생략하고, Level of Detail(LOD) 방식을 이용하여 시스템의 성능을 높일 수 있도록 하였다.

Shape Editor에서 나누어 생성한 객체들을 World Editor에서 그룹으로 결합하고 각 그룹의 방향성과 특성을 지정하였다. 그룹내의 객체들 간에는 parent와 child의 개념으로 다른 객체의 움직임을 제어할 수 있도록 하였다.

2.4 굴삭 작업 및 굴삭 영역 모델링

굴삭 작업은 <표 2>에 요약되어 있는 것처럼, 운전자가 왼쪽과 오른쪽 레버를 조작하여 boom, arm, bucket을 적절히 움직여서 수행되는데, 운전석이 회전을 하면 boom, arm, bucket도 같이 이동하게 된다.

<표 2> 조이스틱의 이동과 굴삭기의 움직임

	좌측 조이스틱	우측 조이스틱
x축 이동	운전석의 회전	bucket의 열림과 닫힘
y축 이동	arm의 펼침과 오그림	boom의 상승과 하강

이를 위하여 각 그룹의 움직임을 지정하여 굴삭기의 운전 레버 역할을 하는 조이스틱과 연결해야 한다. 2개의 운전 레버는 각각 x축 이동과 y축 이동으로 제어하며, x축 이동과 y축 이동은 동시에 발생할 수 있다. 각 레버의 x축 및 y축의 이동은 각 부분의 움직임과 맞물려 있다. 왼쪽 레버의 x축 방향의 이동은 운전석이 회전하도록 하며 y축 방향의 이동은 arm을 펼치고 오그리는 운동을 하도록 한다. 오른쪽 레버의 x축 이동으로 bucket의 펼침과 오그림을 제어하고 y축 이동으로 boom의 상승과 하강을 주도한다 (표 2 참조). 이 동작들은 모두 회전 운동으

로서, 각 회전 운동의 회전 중심과 회전 반경은 서로 다르다. 시뮬레이터에서 사용한 조이스틱의 x축, y축 방향의 이동이 이러한 회전 운동을 제어한다.

개발에 사용된 Superscape VRT는 move와 rotation을 지원한다. 굴삭기의 중요 움직임은 회전이므로, rotation 속성만을 각 그룹에 부여하여 실제 굴삭기와 같이 동작하도록 하였다. 운전석 그룹을 비롯하여 boom, arm, bucket 등의 하부 그룹의 회전 운동의 중심축을 지정하고 각 그룹의 회전 반경을 반영하여 그 한계 내에서 조이스틱으로부터 입력된 값으로 움직이도록 하였다. 2개 이상의 축이 동시에 움직이는 경우는 따로 지정하지 않아도 x축과 y축의 중간 값에 해당하는 움직임으로 제어하게 하였다.

굴삭 과정은 흙을 파는 동작과 흙이 쌓이는 동작으로 나누어 구현하였다. 흙을 파는 동작은 11단계로 구분되는데, 구덩이를 메우는 과정은 최대 18단계에 걸쳐서 수행할 수 있으며 11번째 단계가 되면 주위의 지면과 평탄해지도록 하였다. 굴삭할 때의 bucket의 각도나 bucket이 땅에 삽입된 깊이에 따라 흙이 bucket에 담기는 정도를 3단계로 구분하였다. 굴삭 작업이 진행됨을 나타내기 위하여 지면의 변화는 morphing 기법을 사용하여 표현하였고, 현실감 있게 나타내기 위해 굴삭기의 bucket의 각도나 위치에 따라 morphing의 정도에 차이를 두었다.

실제 굴삭기 운전 연습에서는 전체의 커다란 영역을 정하고 그 영역 안에서는 아무 곳이나 땅을 팔 수 있으나 시뮬레이션에서는 굴삭 작업을 할 수 있는 영역을 한 곳으로 한정하였다. 굴삭이 가능한 영역을 반투명의 판으로 표현하여 사용자가 쉽게 알아보게 하였고, 그 영역은 많이 파일수록 크게 표현되고 11번째 단계에서는 사라지도록 하였다.

굴삭기 운전 면허 시험을 대비하여 연습하는 것을 시뮬레이션의 시나리오로 채택하였기 때문에, 면허 시험장에 있는 장애물도 구현 대상이 되었다. 운전석이 회전할 때 장애물과 충돌하면 더 이상의 진행을 못하게 하였다. 시뮬레이터의

주행 환경은 고려되지 않았으나 대신 간단한 주변의 환경을 포함하였으며 LOD 기법으로 처리하여 이미지의 질과 시뮬레이터의 속도를 향상시켰다.

3. 굴삭기 시뮬레이터 수행

3.1 시뮬레이터 제어와 화면 구성

시뮬레이터의 시각적 효과는 사용자를 가상의 상황에 몰입하게 하는 중요한 수단이기 때문에, 시뮬레이터에서 시각적 효과가 차지하는 비중은 상당히 크다. 본 시뮬레이터에서 시각적 효과를 위한 작업은 굴삭기 자체와 굴삭 작업의 모델링, 사용자 인터페이스 부분으로 나뉘어 진행되었다.

시뮬레이터는 Superscape사의 plug-in 프로그램이 설치된 익스플로러 브라우저를 사용하는 데, 사용자의 편의를 위해 하나의 윈도우 내에서 시뮬레이션 과정에 필요한 기능을 조절하거나 정보들을 볼 수 있게 하였다. 본 절은 시뮬레이터를 수행할 때 사용자 입력 파라미터와 시뮬레이터의 화면의 구성을 소개한다.

사용자 관찰 시점

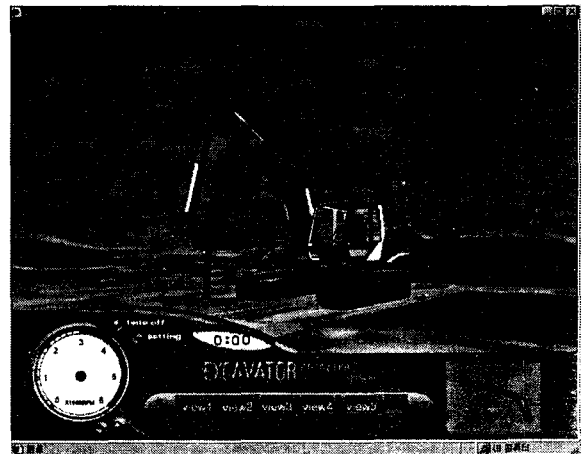
가상 현실을 이용한 시뮬레이터의 이점을 살려, 시뮬레이터 사용자는 작업 상황을 여러 시점에서 관찰할 수 있도록 하였다. 시점 설정은 굴삭기 외부에서 굴삭기 전체를 관찰하는 전체 시점(그림 5)과 운전석에서 외부를 바라보는 운전자의 시점(그림 6)의 두 가지 형태로 분류된다. 전체 시점과 운전자 시점에는 각각 두 가지 형태가 있는데, 굴삭기 운전석이 회전함에 따라 시점이 변하는 것과 운전석 회전과 상관없이 시점이 고정되는 것이 바로 그것이다. 일단 시점이 선택되면 일정한 영역만 볼 수 있도록 고정하였다.

엔진 회전 속도

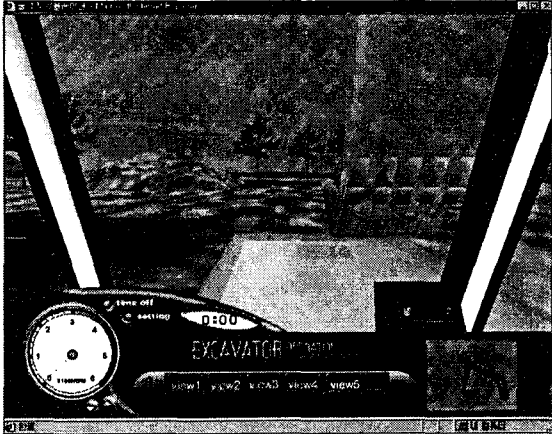
굴삭기의 엔진 회전 속도(rpm)를 사용자가 설정함으로써 운전석 회전과 boom, arm, bucket 등의 움직임의 속도를 조절할 수 있다. rpm이 높을수록 레버의 움직임의 속도는 빨라지며, rpm이 "0"의 위치에 있게 되면 레버는 전혀 작동하지 않는다. 보통 1800~2000 rpm이 적당한 값이며, 사용자의 숙련도에 따라 조정하여 연습이 가능하다. 이 부분은 실제 굴삭기 운전 면허 시험에서도 상당히 중요한 부분을 차지한다.

Timer

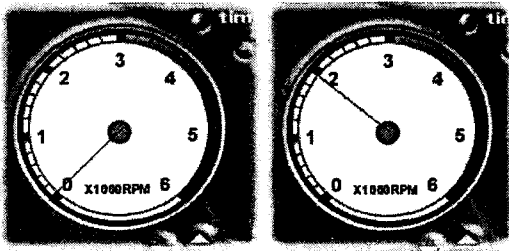
timer는 실제 굴삭기 운전 면허 시험에 명시된 4분을 설정하고 시간의 경과를 보여주는 역할을 한다. timer 버튼을 클릭하면 화면 상단에 인포메이션 윈도우가 생성되고, 굴삭 작업을 시작하면 timer가 자동으로 작동한다. 4분이 경과하면 경고음과 함께 4분이 종료됐음을 알리는 메시지가 출력된다. timer가 종료하여도 작업을 계속 진행할 수 있으며, timer를 작동시키지 않으면 시간에 관계없이 연습할 수 있다.



<그림 5> 굴삭기 시뮬레이터의 화면(전체 시점)



<그림 6> 시뮬레이터의 구성 화면(운전자 시점)



<그림 7> rpm display

Side View

bucket과 arm이 지면과 이루는 각도를 효과적으로 관찰할 수 있도록 생성된 작은 윈도우이다. 실제로 굴삭기의 외부에서 bucket과 arm의 측면을 관찰하는 것처럼 화면 우측 하단에 side view를 보여줌으로써, 효과적인 굴삭 연습이 가능하도록 하였다.

Reset 버튼

땅을 팔 수 있는 횟수는 10~13번 정도로 제한되어 있기 때문에 이를 초과하면 더 이상 굴삭 작업을 할 수 없다. 이때 Reset 버튼을 이용해 프로그램을 초기화함으로써, 작업을 계속 진행할 수 있다.

3.2 음향 효과

굴삭기 운전 시뮬레이션에서 사실감을 높이기 위해서는 상황에 맞는 적절한 효과음이 필요하다. 실제 상황과 같은 효과음을 만들어내기 위해서 굴삭 동작에서 발생하는 소리를 다섯 가지 종류로 구분하였다:

- 1) boom, arm, bucket 등이 작동하면서 발생하는 소리
- 2) bucket이 지면과 닿으면서 발생하는 소리
- 3) 각 부분이 과부하로 인하여 나는 굉음
- 4) rpm에 의한 소리
- 5) 흙이 떨어지는 소리

각 소리의 샘플을 채취하여 1초 단위로 분해하여 저장하고, 상황에 맞는 음을 반복적으로 발생하였다. 결론적으로, 1초 단위에 의한 반복으로는 굴삭기 동작에서 발생하는 다양한 음향을 표현하기에 미흡하였다. 사용자가 땅을 파면서 발생하는 음의 길이는 0.5초, 0.7초, 1초 이상과 같이 임의적이기 때문에, 적어도 0.2초 단위로 음을 편집하여 각 상황에 적합한 음향을 만드는 것이 최상의 방법이다. 보유하고 있는 장비를 이용하여 샘플로 채취한 음을 0.2초 단위로 분해하는 작업이 무리였기 때문에, 대신 음의 크기와 피치를 조절하여 다양한 효과를 나타내었다.

4. 결론 및 향후 연구

기존의 시뮬레이터들이 값비싼 장비의 사용 등으로 인해 그 필요성에 반해 일반인들이 쉽게 이용할 수 없었던 점을 해결하기 위하여, PC와 조이스틱을 이용하여 굴삭기 운전 면허 취득을 대비하는 운전 연습 시뮬레이터를 개발하였다. 이 시뮬레이터는, 굴삭기의 기하학적인 정보를 바탕으로 굴삭기를 모델링하고 조이스틱을 조작함에 따라 굴삭기의 각 부분이 움직이는 것을 재현하는 가상 현실 시스템이다. 현재 구현된 시뮬레이터는 운전 면허 취득 과정 중 굴삭 작업을 지원한다. 본 시뮬레이터의 개발은 실험실

연구 결과물 수준이 아니라, 국내에서는 처음으로 일반인에게 보급될 훈련용 굴삭기 시뮬레이터로 제작되었다는 의의를 갖는다.

이 굴삭기 시뮬레이터의 구현은, 땅을 팔 때 일어나는 여러 가지 현상(예를 들면, 흙이 bucket에 담기거나 지면에 떨어지는 현상 등)을 자연스럽게 보여주는 것보다, boom, arm, bucket 등을 원하는 위치와 방향으로 이동시켜 굴삭 작업을 연습하는 것에 중점을 두었다. 따라서 boom, arm, bucket의 동작 표현과 화면의 질, 디스플레이 속도는 상당히 만족스러운 편이나, 땅을 파고 덮는 것은 보다 정교하게 만들어야 될 것으로 사료된다. 그리고 사용자의 시점이 조정 레버에 고정되어서 좌우 회전만 가능하도록 되어있는데 이것은 사실감을 감소시킨다. 향후 2차 개발에서는 HMD와 Position Tracker를 사용하여 조정 레버와는 별도로 사용자의 시점이 상하좌우로 자유롭게 움직일 수 있게 할 계획이다.

참고문헌

- [1] <http://library.lib.binghamton.edu/special/link1.html>
- [2] R. Deyo, J. A. Briggs, and P. Doenges, "Getting graphics in gear: graphics and dynamics in driving simulation," *ACM Computer Graphics*, Vol.22, No.4, pp.317-326, 1988.
- [3] J. Kuhl, D. Evans, Y. Papelis, R. Romano, and G. Watson, "The Iowa Driving Simulator: An Immersive Research Environment", *IEEE Computer*, pp.35-41, July 1995.
- [4] 이승호, 김성덕, "PC 기반형 자동차 운전 연습기 개발," *제어 자동화 시스템공학 논문지*, 제3권 제4호, pp.415-421, 1997.
- [5] 김태달, 정기원, "비디오 동화상을 이용한 운전 시뮬레이터 개발," *정보과학회 논문지*, 제3권 제4호, pp.365-374, 1997.
- [6] R. Grace, A. M. Guzman, J. Staszewski, and W. W. Wierwille, "An advanced multi-vehicle simulator as a tool to improve driver-vehicle road safety," *Proc. 30th Int. Symp. Automotive Technology & Automation*, pp.359-364, 1997.
- [7] M. Yoneda, F. Arai, T. Fukuda, and K. Miyata, "VR operational assistance system for rough terrain crane," *Proc. IEEE Virtual Reality*, pp.289, 2000.
- [8] 손권, 최경현, 유창훈, "건설 차량 실시간 그래픽 주행 시뮬레이터," *한국 정밀 공학회지*, 제16권 제7호, pp.109-118, 1999년.
- [9] 손권, 구상화, 유완석, 이민철, 이장명, "건설 중장비용 주행 시뮬레이터의 구현," *한국 정밀공학회지*, 제16권 제6호, pp.66-76, 1999.
- [10] S. P. DiMaio, S. E. Salcudean, C. Reboulet, S. Tagazoli and K. Hashtrudi-Zaad, "A Virtual Excavator for Controller Development and Evaluation," *Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation*, Leuven, Belgium, 1998.
- [11] E. K. Tam, C. Maurel, P. Desbiens, R. J. Marceau, A. S. Malowany, and L. Granger, "A Low-Cost PC-Oriented Virtual Environment for Operator Training," *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol.13, No.3, pp.829-835, 1998.
- [12] E. Garant, P. Desbiens, A. Daigle, A. Okapuu-von Veh, J.-C. Rizzi, A. Shaikh, R. Gauthier, A. S. Malowany, and R. J. Marceau, "Three-dimensional modelling for a virtual reality operator training simulator," *Proc. IEEE/KTH Stockholm Power Tech Conference*, pp.31-36, 1995.
- [13] J. Ramos, S. M. Maeta, M. Bergerman, S. S. Bueno, L. G. B. Mirisola, and A. Bruciapaglia, "Development of a VRML/Java unmanned airship simulating environment," *Proc. Int. Conf. Intelligent Robots and Systems*, pp.1354-1359, 1999.

● 저자소개 ●



한경숙(email: khan@inha.ac.kr)

1983년 서울대학교 자연대학 학사 (지질학 전공/컴퓨터공학 부전공)

1985년 한국과학기술원 석사 (전산학)

1989년 미국 University of Minnesota 석사 (전산학)

1994년 미국 Rutgers University 박사 (전산학)

1995년 ~ 현재 인하대학교 공과대학 조교수

관심 분야: 모델링 및 시뮬레이션, 컴퓨터 그래픽스, 인공지능



황세훈(email: vrkorea@netsgo.com)

1995년 영남대학교 이공대학 학사 (전자계산기학 전공)

현재: VRIN의 공동대표, (주)하이테크미디어 실장

관심 분야: 모델링 및 시뮬레이션, 모션 베이스 시뮬레이션,
WAB 기반의 3D 그래픽스