

## 가상현실 기반의 바이오 교육 콘텐츠

### A Bio Edutainment Contents System based on Virtual Reality

이준, 박성준, 김형석, 김지인\*  
건국대학교, 호서대학교, 건국대학교, 건국대학교

Jun Lee, SungJun Park,  
HyungSeok Kim, Jee-In Kim  
Konkuk University, Hoseo University,  
Konkuk University, Konkuk University

#### 요약

에듀테인먼트는 교육적인 효과와 함께 게임 기술 및 게임 이론들을 적용하여 즐거움 외에 교육을 통한 특정 분야의 문제 해결을 목적으로 가지는 콘텐츠를 말한다. 이러한 에듀테인먼트는 재미뿐만 아니라 교육적인 효과 때문에 과학기술 분야 및 산업기술 분야의 교육 및 훈련에 유용하다. 본 연구에서는 사용자가 직관적인 멀티 모달 인터페이스를 사용하여 생명공학에 적용한 바이오 에듀테인먼트 시스템을 제안한다. 이를 위하여 3차원 분자 구조를 특수 모니터를 사용하여 입체 시각화 하였으며 입체 영상화된 분자 구조를 효율적으로 제어하기 위하여 멀티 모달 인터페이스인 WiiRemote를 사용하였다. 본 논문에서 제안된 시스템은 분자 도킹 시뮬레이션이 가지던 문제점인 3차원 분자 모델들의 결합 및 조작이 사용자의 직관과 경험에 많이 의존하기 때문에 초보자들의 접근이 어려운 점을 게임적 요소를 적용하여 재미를 느끼게 하면서 해결하도록 하였다. 이를 위해 사용자가 조작을 하는 객체와 사용자의 수에 따른 게임적 요소인 레벨 업 개념을 적용하여 반복학습이 이루어지도록 하였다.

#### Abstract

An Edutainment Contents help the learners to recognize the problems effectively, grasp and classify important information needed to solve the problems and convey the contents of what they have learned. Owing not only to this game-like fun but also to the educational effect, The Edutainment contents can be usefully applied to education and training in the areas of scientific technology and industrial technology. This study proposes the Edutainment that users can apply to biotechnology by using intuitive multi-modal interfaces. In this study, a stereoscopic monitor is used to make three dimensional molecular structures, and multi-modal interface is used to efficiently control. Based on the system, this study easily solved the docking simulation function, which is one of the important experiments, by applying these game factors. For this, we suggested the level-up concept as a game factor that depends on numbers of objects and users.

## I. 서론

컴퓨터 기술의 발전과 인터넷의 대중적인 보급 및 확산에 의해 아동, 성인 및 노인 등의 다양한 연령층에서 컴퓨터 게임에 대한 열기가 확산되고 있다. 또한 교육 분야에서도 컴퓨터 게임을 보다 적극적으로 활용하자는 논의와 움직임이 일고 있다[1, 2, 3].

기존의 오락성을 중시하는 게임들은 주로 중독성, 폭력성 및 선정성 등의 재미 위주의 측면을 강조하고 있는 반면, 최근에는 게임의 오락성과 더불어 기능적인

특성을 결합하여 특정한 분야에 있어서 문제 해결을 쉽고, 재미있게 할 수 있는 에듀테인먼트 혹은 기능성 게임의 중요성이 대두되고 있다.

이러한 추세에 맞추어 에듀테인먼트 시스템들에 대해 다양한 연구가 이루어지고 있으며 주로 사용자들의 접근성, 문제 해결 능력의 향상, 학습 효과 등에 대한 연구들이 보고되고 있다[4, 5]. 기능성 게임을 활용한 예로는 아동 교육, 사회적 문제 해결, 노인 치매 방지 등 다양한 분야에서 응용이 되고 있으며[6], 특히 닌텐도사에서 발표한 Wii와 같은 멀티 모달 인터페이스등을 이

용한 흥미로운 연구들이 이루어지고 있다[7, 8].

본 논문에서는 에듀테인먼트 콘텐츠의 응용분야로서 생명공학의 중요한 연구 중의 하나인 분자모델링 실험에 적용하였다. 분자 모델링이란 분자구조의 3차원 정보를 기반으로 연구자들이 분자간의 상호작용을 연구하고, 3차원으로 시각화 하여 관찰 및 실험을 할 뿐만 아니라, 복잡한 화학 계산식을 사용하여 시뮬레이션 실험을 하는 분야로서, 주로 신약 개발이나 신소재 개발에 사용이 된다. 이러한 분자 모델링 실험을 인터랙션과 인터페이스 관점에서 사용자들이 직관적으로 쉽고 빨리 사용할 수 있도록 도움을 주는 연구들은 많이 이루어져 있다[9, 10]. 하지만 일반 사용자 및 초보자들이 분자 모델링에 대한 전반적인 이해를 하면서 전문가로서의 기술을 습득하고 작업을 하기 위해서는 많은 시간과 노력을 필요로 한다. 이와 같은 문제점을 효율적으로 해결하기 위해서는 연구자들이 혼자 혹은 여러 연구자들과 협력하여 재미, 교육 및 전문가들의 조언을 바탕으로 작업 능률을 향상시킬 수 있는 게임적 기능이 추가된 새로운 시스템이 필요하다.

본 논문에서 제안하는 가상현실 기반의 바이오 에듀테인먼트 시스템은 몰입감을 높이기 위해 입체 영상 시스템을 사용하였고, 3차원 가상현실 공간에서 분자 구조의 제어를 쉽고 재미있게 조작하기 위해 닌텐도 회사에서 개발한 게임 컨트롤러인 WiiRemote를 사용하였다. 본 논문에서는 기존의 게임 컨트롤러를 사용하여 바이오 분야에 게임적 요소를 적용함으로써 생명공학분야에 얼마나 기여를 할 수 있는가에 대해 검증하고자 한다.

## II. 관련연구

게임은 학습자에게 도전과 도전이 성공 했을 경우의 성취물의 환상을 통해 호기심을 유발시켜서 참여해 가도록 한다. 게임이 진행됨에 따라 학습자는 게임 속의 정보를 학습하고 주어진 목표를 달성하면서 문제를 해결하게 된다. 게임은 학습자들에게 쉽게 동기를 유발시키고 게임 환경 속에 학습에 필요한 정보를 내재시켜 학습자들을 도울 수 있을 뿐만 아니라 학습자들이 가상 공간 속에서 능동적으로 활발하게 문제해결 환경을 탐험할 수 있다는 점에서 엔터테인먼트 적인 요소 외에

특정한 문제해결 분야에 사용이 될 수 있으며, 이러한 게임을 기능성 게임이라고 정의 하며 에듀테인먼트는 기능성 게임과 비슷한 개념으로 게임적인 기능 보다 더 교육적인 부분 및 콘텐츠를 다룬다.

최근에는 이러한 에듀테인먼트 시스템들에 사용자가 사용하기 쉽고, 자연스러운 조작이 가능한 멀티모달 인터페이스를 사용한 연구가 이루어지고 있다. 닌텐도사에서 발표한 Wii 는 WiiRemote라는 멀티 모달 인터페이스를 통하여 사용하여 다양한 종류의 게임을 보다, 재미있고 실감나게 즐길 수 있게 한다. 특히, SHIRAI 가 제안한 WiiMedia[8]는 WiiRemote를 사용하여 모션 인식을 통하여 다양한 형태의 게임 및 미디어 예술분야에 응용을 할 수 있는 연구를 제안 하였다.

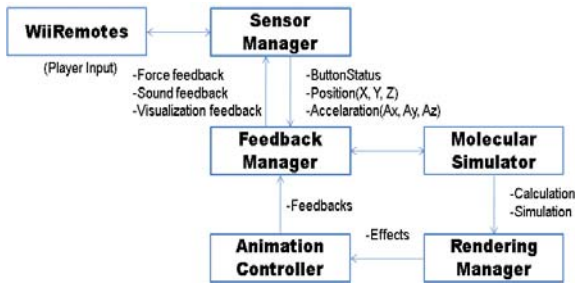
한편, 분자 모델링 분야는 3차원 분자 구조의 특징에 따라 분자를 다양하게 조작하고 실험을 하는 분야로써 사용자의 문제해결에 대한 경험 및 숙련 정도에 따라 실험 결과의 성공 유무가 결정되는 분야이다. 따라서 사용자가 쉽게 가상공간의 분자를 조작 할 수 있는 환경을 제공하고, 이에 필요한 분자 시뮬레이션의 계산을 처리하며, 웹을 통해서 사용자의 접근을 허용하거나 공동 작업환경을 제공해주는 연구들이 주로 보고 되었다.

근래 기능성 게임에 대한 연구와 관심이 집중되면서 많은 산업 분야에서 적용하고 있는 추세이나, 특히 바이오인포매틱스 분야에 게임을 접목한 사례는 극히 드물다. 본 논문에서 제시하고 있는 바이오 게임의 접근 방법은 실제 신약 개발에서 사용하고 있는 실험인 도킹 시뮬레이션 과정을 가상 현실과 게임 기술을 융합하여 시도하고 있으며, 이러한 연구 방법은 기능성 게임 중에서도 처음 시도되는 응용 분야이다.

## III. 바이오 에듀테인먼트 시스템

본 연구에서는 이러한 분자 모델링의 시스템의 개념과 기능성 게임을 확장한 기능성 바이오 게임을 제안한다. 기능성 바이오 게임은 일반적인 마우스의 조작이 아니라, 가상환경에서 쉽게 조작할 수 있는 멀티 모달 인터랙션이 가능한 WiiRemote 컨트롤러를 사용한다. 또한 시각적으로는 분자 모델의 몰입감을 높이기 위해 입체 영상 장비를 사용한다. 다음의 그림 2는 본 연구에서 제안하는 시스템의 구조이다.

제안하는 시스템은 먼저 WiiRemote를 사용하여 사용자의 입력을 받게 된다. WiiRemote는 Sensor Manager를 통하여 통신을 하게 되며, BlueTooth 통신을 통하여 데이터를 주고받게 된다. 이후 Sensor Manager는 게임의 완성도를 체크하는 Feedback Manager에 데이터를 전달하게 되고, 이 값은 Molecular Simulator에서 사용자의 게임입력과 분자 시뮬레이션의 결과의 일치성을 계산하며 시뮬레이션을 하게 된다. 이후 계산된 결과는 Rendering Manager를 통하여 3차원으로 시각화 되어 애니메이션 등의 결과로 표현되며, 이 정보를 다시 분석하여 Feedback Manager에서는 사용자에게 WiiRemote를 통하여 주는 Force Feedback, Sound Feedback 및 3차원 입체영상 장치를 통하여 제공하는 Visual Feedback을 제공해 준다.

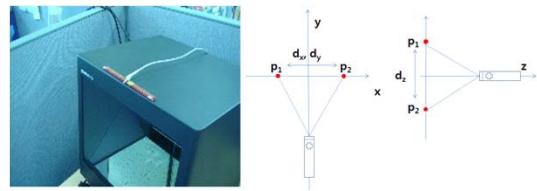


▶▶ 그림 2. 시스템 구성

### 1. WiiRemote 인터페이스를 사용한 멀티 모달 인터랙션

WiiRemote를 사용한 멀티모달 인터랙션은 다음과 같이 정의된다.

1. 입력
  - ① 3차원 위치 인식은 WiiRemote와 USB 적외선 바를 사용하여 X, Y, Z 위치를 인식 한다.
  - ② 회전각도 인식은 WiiRemote의 자이로 센서를 사용하여 오일러 각을 추출하여 인식한다.
2. 출력
  - ① 게임의 완수 혹은 실패시, WiiRemote의 진동을 통한 Force Feedback을 제공한다.
  - ② 게임의 완수 혹은 실패시, WiiRemote의 스피커를 통한 Sound Feedback을 제공한다.



▶▶ 그림 3. USB센서바와 WiiRemote를 사용한 3차원 위치

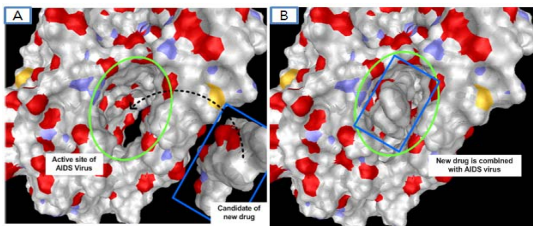
입력 시에 3차원 위치 추적은 WiiRemote와 USB 센서바를 사용하여 처리를 한다. USB 센서바는 USB 전원을 통해 200mm 거리의 2개의 LED 광원을 제공한다. 전체적인 모습은 다음의 그림 3과 같다. WiiRemote는 이 2개의 광원을 기준으로 x, y, z 값을 추출하게 되는데, 먼저, x, y 값은 z=0인 평면에서 2개의 적외선 LED 광원 p1, p2를 판별하게 된다. 즉 매번 사용자의 움직임마다 WiiRemote에 인식이 되는 px, 및 py 값이 변하게 되며, 이 두 점의 변위 거리에 따른 변위인 dx, dy를 구한 뒤 이 두변위의 중점을 x, y 좌표로 처리하게 된다. 한편, z 값을 구하기 위해서는 y=0인 평면 좌표계에서 p1, p2의 값을 확인해서 얻어 낼 수 있는데, WiiRemote의 특성상 x, y의 2차원 좌표계 데이터 정보만 처리할 수 있으므로, 위의 dx, dy 값을 사용하여 두 점 사이의 거리인 dz를 구한 다음 이 값에 따른 z의 위치를 판단하게 된다. 이때, z의 값이 -값이 표현될 수 있도록 쓰레쉬홀드값인 t를 적용 하였다.

한편, 출력에서는 WiiRemote내부의 모터를 사용한 Force Feedback과 내장 스피커를 통한 Sound Feedback을 줄 수 있다. 이러한 출력 모델은 시스템적으로 정의되어 사용자의 동적인 입력상태에 따라 메시지를 출력하게 된다. 즉, 사용자의 3차원 좌표 정보 및 회전 값이 들어오게 되면 이 정보는 Molecular Simulator에 적용이 되어 실시간으로 계산이 이루어지게 된다. 계산 된 정보는 현재 상태는 게임의 성공, 진행 및 실패 유무를 판단하게 되며, 이 정보는 다음과 같은 3가지의 피드백으로 출력이 이루어진다. 사용자에게 현재 상태 정보를 Rendering Manager를 통하여 알려주는 비주얼 피드백, WiiRemote의 모터 센서를 통하여 정보를 알려주는 진동 피드백인 스피커를 통하여 알려주는 사운드 피드백이 있다.

### 2. 실시간 게임 플레이

바이오 에듀테인먼트 시스템의 주목적은 분자 도킹 시뮬레이션 실험을 게임화 하는 것이다. 분자 도킹 시뮬레이션 실험이란 수용체라고 불리는 거대 분자 구조에 후보 물질이 가장 안정적으로 결합 될 수 있는 Active Site 를 찾는 실험이다. 다음의 그림 4는 AIDS 바이러스의 도킹 과정을 보여주고 있다. 이러한 작업은 다음과 같은 2가지 특징을 가진다. 본 시스템에서는 이중, 도킹 시뮬레이션에서 보다 많이 쓰이면서 상대적으로 정확도를 가지는 ①번 에너지 최소화 계산식을 사용하여 사용자가 정의된 Active Site 위치 중에 가장 에너지 값이 최소화 되는 위치를 찾도록 설계를 하였다.

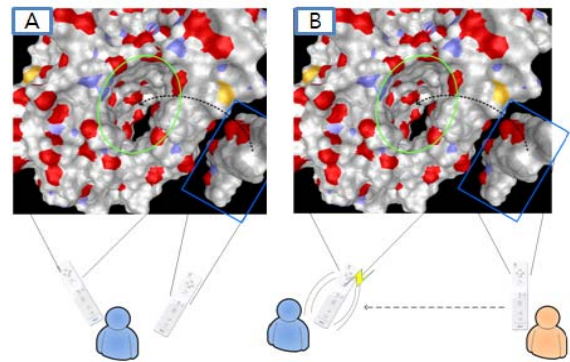
본 연구에서 제안한 시스템은 사용자들의 게임 플레이 시 몰입감있는 가상환경을 제공하기 위하여 입체영상 장치를 사용한다. 게임에 참여하는 사용자는 입체영상 장치를 통하여 3차원 분자구조의 모양을 보다 잘 파악할 수 있으며 특히, Active Site라는 분자의 도킹이 결합이 되는 위치의 기하학적인 특징을 잘 파악할 수 있기 때문에 사용자들이 게임을 하면서 분자 구조의 3차원적인 특징을 잘 파악할 수 있다.



▶▶ 그림 4. AIDS 바이러스와 신약물질의  
(A) 결합전의 모습 (B) 결합후의 모습

또한, 본 연구에서 제안한 기능성 바이오게임은 사용자들이 게임을 즐기면서 자연스럽게 분자 도킹 시뮬레이션에 익숙해 질 수 있도록 다음의 3단계의 게임레벨로 구성된다.

- ① 1단계는 2개의 분자중, 신약물질만을 조작하여 결합한다.
- ② 2단계는 2개의 분자를 동시에 조작하여 결합한다.
- ③ 3단계는 두명의 사용자가 각자 1개의 분자들을 조작하여 결합한다.

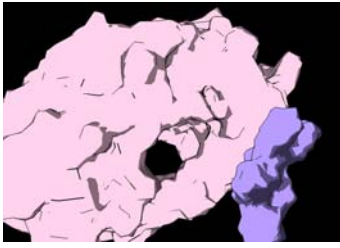


▶▶ 그림 5. (A) 단일 사용자의 다중 모델 조작  
(B) 다중 사용자의 조작

위와 같은 구성을 통하여 사용자는 먼저, 1단계 모드에서 분자 도킹 시뮬레이션의 기본적인 개념을 익히며, 또한 WiiRemote 인터페이스를 사용한 조작법등을 습득하여 게임을 진행하게 된다. 반복적인 게임 플레이로 익숙해진 다음에는 2개의 분자를 동시에 조작을 하면서, 게임을 플레이 하게 된다. 최종 단계에서는 2명의 사용자가 각자 한 개의 분자 모델을 조작을 하게 된다. 이 경우에는 사용자들은 서로 의사소통을 할 수 있으며, WiiRemote를 통하여 Force Feedback을 전달할 수 있다.

### 3. 게임 시각화

본 논문에서 제안하는 바이오 에듀테인먼트 시스템을 사용하는 사용자들이 게임을 즐기면서 분자 모델링 실험을 계속하기 위해서는 일반적인 분자 모델링 툴에서 사용하는 시각화 방법과는 다른 방법을 사용할 수 있어야 한다. 이를 위해서 본 논문에서는 3차원 분자 모델에 비실사 렌더링 방법의 하나인 카툰 렌더링을 적용하였으며 비실사 렌더링을 적용한다고 하더라도 원본 분자 모델링에서 사용하는 원본 분자 모델을 사용하는 경우에는 사용자들이 실제모델과 유사하다고 느끼기 때문에 분자 모델의 중요한 기하정보를 유지하면서 3d 모델을 단순화 시켜주는 메시 단순화 알고리즘을 사용하여 메시 단순화를 수행하였다.



▶▶ 그림 6. 단순화된 분자 모델 메시 정보에 카툰 렌더링을 적용한 모습

## IV. 실험 및 평가

본 논문에서는 제안한 가상현실 기반의 바이오 에듀 테인먼트 시스템이 기존의 방법에 비해 보다 좋은 교육 및 훈련 효과를 얻을 수 있음을 증명하기 위하여 여러 가지 방법의 실험을 수행 하였다.

### 1. 교육평가 효과

첫 번째, 실험은 분자 도킹 시뮬레이션에 대한 경험이 없는 비전공자 컴퓨터공학과 대학생 및 대학원생 4명, 전공자이지만 초보자인 미생물공학과 대학생 4명을 선정 하였다. 이후 선별된 그룹은 각각 A, B 그룹으로 나누었으며 초보자는 각 그룹의 1,2번을 일반 사용자는 3, 4번 번호를 할당 하였다. 이후, A 그룹에는 WiiRemote의 사용 방법과 분자 도킹 시뮬레이션에 대한 교육을 한 뒤 본 논문에서 제안한 바이오 기능성 게임을 플레이를 진행하게 하였으며, B 그룹은 분자 도킹 시뮬레이션에 대한 교육을 동영상 및 매뉴얼을 통하여 실시하였다. 이후 두 그룹은 각각 공동의 분자 모델링 시스템[10]을 사용하여 주어진 AIDS 바이러스와 후보 물질의 도킹 완료 시간을 비교 평가를 하였다. 또한 A 그룹에 대해서는 본 시스템에서 제안한 시스템을 사용한 레벨에 따른 시간을 측정 하였다.

바이오 게임을 5회 이상 반복한 사용자 그룹인 A와 분자 도킹 시뮬레이션에 대한 동영상 및 텍스트 매뉴얼을 익힌 사용자 B에 대해서 동일한 분자 모델링 소프트웨어를 사용하여 A 그룹과 B 그룹의 평균 도킹 완료 시간을 측정 하였다. 측정된 결과는 다음의 표2와 같다. 이 결과에서 알 수 있듯이, 바이오 기능성 게임을 사용

한 사용자 그룹인 A그룹이 B 그룹에 대해서도 전체적인 실험 완료 시간이 보다 빠른 것을 알 수 있었다. 또한 흥미로운 점은 A그룹이 해당 분야에 기본적인 지식이 있는 초보자들이 전체적인 실험 결과는 빠르게 나왔으며 경험이 없는 일반 사용자들의 적응력이 더 빠르게 나오는 것으로 판단되었다.

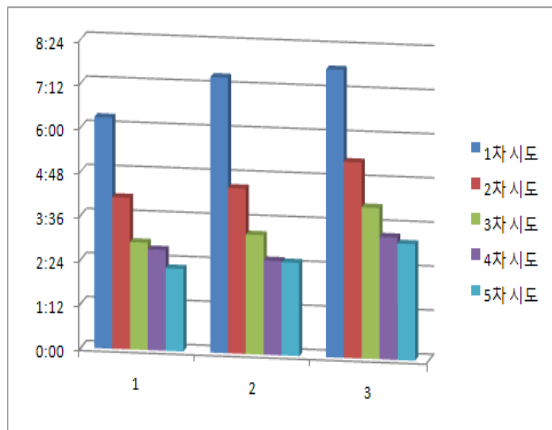
표 2. 일반사용자와 초보자의 실험 그룹별 실험 시간 평가

실험자		1	2	3	4	5
A	1	3:25	2:26	2:21	2:16	1:58
	2	3:15	2:22	2:13	1:57	1:55
	3	4:54	4:11	3:56	3:44	3:20
	4	4:23	3:45	3:10	2:53	2:43
B	1	5:32	5:21	4:22	3:52	3:48
	2	5:10	4:50	4:14	4:04	3:40
	3	7:28	7:14	7:01	6:41	6:54
	4	6:50	6:34	6:29	6:25	6:01

### 2. 레벨에 따른 평균 완료 시간 평가

두 번째, 실험은 실험 대상자들이 게임을 즐기면서 클리어 하는 시간을 분석하여, 반복을 통한 작업 향상이 얼마나 이루어지는 지를 평가 하였다. 또한 본 시스템에서 제안한 각 레벨에 따른 시간을 측정 결과를 평가 하였다. 이러한 환경에서 사용자들은 5번의 시도를 통하여 게임을 플레이 하였으며 사용자들의 레벨에 따른 평균 게임 완료 시간은 다음의 그림 7과 같다.

우리는 위의 실험 결과를 통하여 다음의 2가지 결과를 알 수 있었다. 첫 번째는 반복을 통한 게임 플레이를 통하여 사용자들이 게임에 적응을 하게 되고 성능이 향상된다는 것이다. 그림 7에서 보여준 결과는 2.8배 이상의 속도향상이 이루어진 것을 알 수 있다. 두 번째 결과는 레벨2의 다중 조작과 레벨3의 두 명의 사용자 조작의 실험이 초기에는 시간이 많이 걸리지만, 최종 결과에서는 거의 레벨1의 하나의 오브젝트 조작과 거의 비슷한 결과를 보이는 것을 알 수 있었다. 또한 흥미로운 점은 사용자들이 레벨2와 레벨3을 플레이 할 때 보다 게임에 대한 재미와 관심을 보여주었다.



▶▶ 그림 7. 사용자의 레벨에 따른 평균 완료 시간

## V. 결론 및 향후 연구

우리는 생물학자들이 게임을 하면서 분자 도킹 실험에 대해서 익숙하게 사용할 수 있는 바이오 에듀테인먼트 시스템을 제안하였다. 사용자의 쉬운 조작을 위하여 우리는 대중화된 게임기중의 하나인 닌텐도의 WiiRemote를 사용하였으며, 사용자의 3차원 분자 모델에 대한 이해와 몰입감을 높이기 위하여 입체영상 장치를 사용하였다. 또한 게임성을 제공하기 위해서 단일 사용자 및 다중 사용자 모드를 지원하며 WiiRemote의 입력뿐만이 아닌 Force Feedback등을 사용하여 동적인 게임 진행이 가능 하도록 하였다.

본 논문에서 제안한 시스템에 대한 사용자 평가를 한 결과 조작의 편의성, 게임성 및 교육성 등에 좋은 평가를 하였으며 이를 통하여 이러한 과학기술 분야와 같은 특수한 분야에 Serious Game을 적용하는 시도가 게임의 재미적인 효과 외에, 교육적인 효과 및 반복된 작업을 통하여 해당 작업에 대한 숙련을 통한 작업 능력의 향상을 할 수 있다는 결론을 얻을 수 있었다. 특히, 3차원 시각화 및 다양한 인터랙션 조작이 필요한 분야에 적용될 수 있다.

향후에는 게임성 및 교육적 효과를 주기 위한 사용자의 조작에 따른 분자 모델의 실시간 애니메이션 이펙트 효과를 추가하도록 하겠다. 또한 다수의 사용자가 인터넷을 통하여 게임을 즐길 수 있도록 하는 협업 환경 및 인터페이스에 대해서 연구할 것이다.

## ■ 승 인 ■

본 연구는 서울시 산학연 협력사업(10581)의 지원에 의하여 연구되었음

## ■ 참 고 문 헌 ■

- [1] Becta, "Computer games to support learning", Information sheet; January, 2002.
- [2] Garris et al, "Game, motivation and learning", Simulation & gaming; An Interdisciplinary Journal of Theory, Pratices and Research, Vol 33, No.3, Dec, 2002.
- [3] Kirriemuir, J, "The relevance of video games and gaming consoles to the higher and further education learning experience", Techwatch Report TSW, April 2002.
- [4] Squire, K, D, "Sid Mier;s Civilization III, Simulations and Gaming", 35(1), pp 125-140, 2004.
- [5] Eck, R, V, "The effect of competition and context of advisement in a simulation/simulation game to promote transfer of mathematics skills in middle school students", 2001. Available <http://it.coe.uga.edu/.itforum/paper49/paper49.html>.
- [6] TaeDoo Hwang, YoungTae Roh, Jun Lee, Sungjun Park, HaeWon Shin, Jee-In Kim, "Application of a Tabletop Interface to Edutainment Contents for Elderly People", In IEEE Tabletop' 07, pp.190-191, 2007.
- [7] Shirai, A., Dominjon, L., Takahashi, M., Mityata, K., Sato, M., AND Richir, S., "Robogamer: Development of robotic tv game player using haptic interface and gpu image recognition", Proceedings of SIGCHI International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology, (ACE2005), ACM digital library, pp.471-472, 2005.

- [8] Shirai, A., Geslin, E., Richir, S., "WiiMedia: motion analysis methods and applications using a consumer video game controller", Proceedings of the 2007 ACM SIGGRAPH symposium on Video games, pp.133-140, 2007.
- [9] William Humphrey, Andrew Dalke and Klasus Schulten, "VMD - Visual Molecular Dynamics" , Journal of Molecular Graphics, 14, pp.33-38, 1996. [http://www.ks. uiuc.edu/Research/vmd/](http://www.ks.uiuc.edu/Research/vmd/)
- [10] Jee-In Kim, Sungjun Park, Jun Lee, Youngjin Choi, Sunho Jung, "Development of a Gesture-Based Molecular Visualization Tool Based on Virtual Reality for Molecular Docking", Journal of the Korean Chemical Society, 2004.