Journal of Korea Multimedia Society Vol. 17, No. 1, January 2014(pp. 104-112)
http://dx.doi.org/10.9717/kmms.2014.17.1.104

가상 해저 시뮬레이션의 현실감 향상을 위한 다감각 효과 재현 시스템 개발 및 평가

김철민[†], 윤재홍[††], 강임철[†††], 김병기[††††]

요 약

가상현실 기술의 발전과 해양개발 산업의 급성장으로 해양 산업 분야에서 데이터 분석, 가상 체험, 교육 및 모의 훈련 등의 목적에 활용할 수 있는 가상 해저 시뮬레이션에 대한 연구가 다양하게 진행되고 있다. 가상 해저 시뮬레이션 시스템은 3차원 그래픽 기술을 통한 시각적인 체험을 위주로 개발되고 있어 체험자가 현실감을 경험하기에는 한계가 있다. 가상현실을 이용한 해저 시뮬레이션을 구현하는데 있어서 현실감 향상을 위해서는 모의적으로 생성된 가상환경에서 시청각적인 요소 이외의 감각적인 부분을 통해 사실적인 체험이 가능한 요소가 필요하다. 본 논문에서는 해저환경의 물리적 현상에 따라 다감각 효과를 제공할 수 있는 가상 해저 체험 시뮬레이션 시스템을 개발 하였다. 또한 제안 시스템의 유효성을 검증하기 위하여 참가자 실험을 통하여 현실감에 대하여 평가 하였다.

Development and Assessment of Multi-sensory Effector System to Improve the Realistic of Virtual Underwater Simulation

Cheol-Min Kim[†], Jae-Hong Youn[††], Im-Chul Kang[†††], Byung-Ki Kim[††††]

ABSTRACT

With recent development of virtual reality technology, coupled with the growth of the marine industry, virtual underwater simulation systems are under development in various studies, for educational purposes and to simulate virtual reality experiences. Current literature indicates many underwater simulation systems to date have focused on the quality of visual stimulus delivered through three-dimensional graphics user interface, limiting the reality of the experience. In order to improve the quality of the reality delivered by such virtual simulations, it is crucial to develop multi-sensory technology rather than focus on the conventional audio-visual interaction, which limits experiencer from the sense of underwater immersion and existence within the simulation. This work proposes the immersive multi-sensory effector system, delivering the users with a more realistic underwater experience. The sense of reality perceived was evaluated, as the main factor of the virtual reality system.

Key words: Virtual Reality(가상현실), Virtual Underwater Simulation(가상 해저 시뮬레이션), Multi-Sensory Effects(다감각 효과), MPEG-V

※ 교신저자(Corresponding Author) : 윤재홍, 주소 : 전라남도 나주시 건재로 253 동신대학교 산학협력관 308호 연구개발부(520-714), 전화 : 061) 330-4061, FAX : 061) 330-4044, E-mail : jhyoun@dsu.ac.kr
접수일 : 2013년 10월 21일, 수정일 : 2013년 11월 15일
완료일 : 2013년 11월 28일
[†] 정회원, 동신대학교 디지털콘텐츠협동연구센터
[††] 정회원, 동신대학교 디지털콘텐츠협동연구센터
(E-mail : jhyoun@dsu.ac.kr)
[†††] 정회원, 동신대학교 디지털콘텐츠협동연구센터
(E-mail : softkang@dsu.ac.kr)
[††††] 정회원, 전남대학교 전자컴퓨터공학부
(E-mail : bgkim@jnu.ac.kr)
※ 본 논문은 미래창조과학부 광역경제권거점기관지원사업으로 지원된 연구임[과제번호:A004700017, 기능성 엔터테인먼트 서비스를 위한 다감각 실감 미디어 체험 시스템 개발]

1. 서 론

가상현실 체험을 위한 시뮬레이션 기술은 인간이 실제로 어떤 상황들을 직접 체험할 수 없지만, 그 현상 속에서 경험할 수 있는 무수한 행동들을 모의 상황으로 설정하여 간접경험 할 수 있도록 한다[1,2]. 최근에는 해양 산업의 발달과 해양 레포츠 인구가 증가됨에 따라 해저에서 발생하는 상황을 미리 예측하고, 모의 훈련을 통해 수중 안전사고를 예방하기 위한 해저 시뮬레이션 개발에 관심을 기울이고 있다. 또한 미지의 바다 속에 대한 경험을 제공하기 위하여 사용자가 직접 바다 속에 들어가지 않고도 해저환경을 체험할 수 있도록 하는 시뮬레이션 연구들이 다양하게 진행되고 있다[3-6].

기존 연구들은 실제 해저 상태를 모의적으로 생성하여 얻어진 데이터 자료를 가상현실 기술을 이용해 시각적으로 표현하고자 하였으며, 3차원 그래픽 기술과 다양한 형태의 디스플레이 방식을 활용하여 시각적인 사실감 표현에 초점을 맞추어 왔다. 이러한 연구는 고성능 하드웨어의 보급과 사실적인 컴퓨터 그래픽 기술의 발전, 몰입형 디스플레이 장비의 발전, AI(artificial intelligence) 기술의 발전으로 많은 성과가 있어왔다. 하지만 실제 사용자가 바다 속에 포함되어 해저환경에서 발생하는 현상을 체험할 수 있도록 감각의 영역을 확장 시키고자 하는 연구는 미흡하다.

가상현실 시스템에서 향상된 현실감을 제공하기 위해서는 감각적 몰입감(sensory immersion)과 감각적 충실도(sensory fidelity), 다감각 상호작용(multimodal interaction) 측면에서 보다 향상된 방법이 제공되어야 한다[7,8]. 특히, 감각적 몰입감 향상을 위해서는 가상 환경을 통해 전달하고자 하는 모의적인 데이터가 사실적으로 시뮬레이션 되어 감각적으로 전달되어야 한다. 또한 사용자가 모의실험 환경에서 시청각적인 부분과 그 외의 감각적인 부분을 통해서 완전하게 몰입하여 실제처럼 느낄 수 있어야 한다[13,14]. 따라서 기존 연구에서 제한적으로 제시되었던 해저 환경에서 발생하는 감각적 요소를 도출하고, 실제 수심에 따라 변화하는 감각적 자극을 유사하게 체험할 수 있도록 함으로써 해저 시뮬레이션에 대한 몰입감을 높일 수 있는 연구가 필요하다. 본 논문에서는 보다 현실감 있는 가상 해저 체험을 위하여 실제 해저환경에서 발생하는 다감각 효과를 제공함으로써 시뮬레이션의 현실감을 높일 수 있는 다감각 효과 재현 시스템을 개발하는데 목적이 있다. 또한 제안 시스템의 유효성을 검증하기 위하여 참가자 실험을 통해 현실감 평가를 통해 타당성을 분석하고자 하였다.

논문의 내용은 다음과 같이 구성된다. 2장에서 가상현실 시스템의 현실감을 결정하는 요인과 가상현실 기반 해저 시뮬레이션에 대하여 살펴보고, 3장에서 해저 환경에서 발생하는 다감각 효과 요소에 대하여 도출한다. 4장에서는 제안한 다감각 효과 재현시스템에 대하여 설명하고, 5장에서 참가자 실험 및 결과에 대하여 분석한다. 마지막으로 6장에서는 본 논문의 결론과 향후 과제에 대하여 논한다.

2. 관련연구

2.1 가상현실 시스템의 현실감 결정 요인

가상현실을 규정짓는 특징으로 Zeltzer[7]이 분류한 가상현실이 갖추어야 하는 기본 요소로는 가상환경에 얼마나 몰입하여 현장처럼 느낄 수 있는가 하는 현실감(presence) 또는 몰입(immersion), 가상환경과 사용자 사이의 상황이 실시간으로 대응되는 상호작용성(interaction), 가상 환경에 존재하는 객체들이 자율적으로 행동하는 자율성(autonomy)이 있다. 가상현실은 기존의 컴퓨터 시스템과는 달리 3차원 가상 환경에 실제로 자신이 존재하는 것과 같은 현실감을 제공할 수 있어야 하며, 사용자 몰입도를 높이기 위해 HMD(head mounted display)와 같은 출력 장치와 데이터글로브(data glove)와 같은 입력 장치를 사용한다. 또한 가상현실의 가장 큰 특징 중 하나는 사용자가 가상의 환경을 조정할 수 있어야 하며 그에 따른 피드백(feedback)을 얻을 수 있어야 한다는 것이다[1]. 그리고 가상환경 내의 객체들이 자율성을 가지고 적절하게 움직이거나 반응해야 한다는 점도 주요 특징 중 하나이다.

Kim[1]은 가상현실 시스템이 사용자에게 사실적인 경험을 제공하기 위해서는 현실감이 중요하며, 현실감을 결정하는 요소로는 감각의 충실도(sensory fidelity), 상호작용(interaction), 심리적 요소(psychological elements)를 제시하였다. Fontaine[9]는 현실감에 대하여 “감각 요소의 범위를 넓히는 접근은

더 큰 현실감을 만든다."는 연구결과를 발표하여 현실감과 감각의 확장에 대한 밀접한 관련성에 대하여 제시하였다.

가상현실 시스템에 있어서 현실감은 사실적인 가상 경험을 제공하기 위한 주요 기여 요인으로 다양한 요인들에 의해 보완될 수 있다. 따라서 현실감을 향상시키기 위해서는 감각의 충실도 측면에서 현실세계와 차단된 상태에서 다양한 감각을 제공되어야 한다. 그림 1은 가상현실 시스템의 현실감에 영향을 끼치는 주요 요소들의 관계를 도식화 한 것이다.

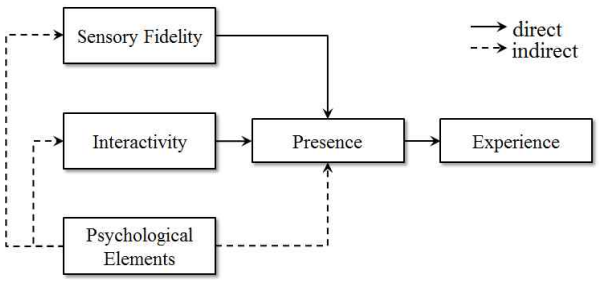

그림 1. 가상현실 현실감 결정 요소

2.2 가상현실 기반 해저 시뮬레이션

가상 해저 시뮬레이션은 해저환경과 바다 속 환경 구조의 주요한 요인을 이해하기 쉽게 실제 해저 상태를 모의적으로 생성하여 그 특성을 파악하거나 실제 모의 환경에 포함되어 경험하는 것이다[6,15]. 가상 해저환경 체험을 위한 시뮬레이션 연구는 실제 가상의 해저환경이나 상황 등을 모의적으로 생성하여 사용자가 실제 해저와 유사한 공간적, 시간적 체험을 하게함으로써 현실세계에서 경험하기 어려운 해저세계를 경험할 수 있도록 하는 연구가 다양하게 진행되고 있다[3-6].

가상현실 요소 중 자율성(autonomy)에 초점을 맞추어 실제 가상환경에 포함된 객체들의 자율적이고 자연스러운 상황을 사실적으로 시뮬레이션 하여 사용자에게 시각적으로 제시하는 연구가 비교적 활발히 진행되었다. 대표적인 연구로서 Tu와 Terzopolos의 'Artificial Fishes[3]' 연구는 인공지능(artificial intelligence, AI) 방법을 이용하여 가상 해저환경의 객체들의 움직임이나 행동을 사실적으로 표현함으로써 가상 해저 시뮬레이션의 사실감을 높이고자 하였다. 또한 Popovici의 'VirtualDive[4]'와 Fröhlich의 'Virtual Oceanarium[6]' 프로젝트에서는 가상의 해저환경에 자율적으로 행동하는 생물 객체가 사용자의 행동에 반응할 수 있도록 시뮬레이션 하였으며, 사용자로 하여금 실제 해저 생태와 유사한 상황을 관찰하고 사용자의 단순한 행동이나 특수한 인터랙션 장비를 통하여 가상의 물고기를 접촉하면서 탐험할 수 있도록 하였다. Lee의 'Virtual Aquarium[5]' 연구에서는 실사 기반의 3D 텍스처링(photorealistic 3D texturing) 기술을 통해 좀 더 해저환경 자체의 시각적인 사실성을 높이고, 사용자에게 데이터글로브를 통해 촉각과 같은 체성감각 효과를 제공하고자 하였다. 이와 같은 해저 시뮬레이션 연구들은 가상 해저환경의 자율성을 높이거나 단순한 감각 피드백을 제공함으로써 시뮬레이션의 현실감을 높이고자 하였지만, 감각적 지각 요소에 있어서 시청각적인 효과에 치중함으로써 감각적 체험에 있어서 한계가 있다. 따라서 감각 효과의 확장을 통하여 감각적 충실도에 대한 보완이 필요하다.

3. 해저 환경에서의 다감각 효과 요소

가상 해저 시뮬레이션은 가상의 해저환경이나 상황 등을 사용자가 실제 해저와 유사하게 체험을 할 수 있도록 하여 현실세계에서 경험하기 어려운 해저세계를 경험할 수 있도록 하는 것이다. 본 연구의 목적은 사용자가 해저환경과 상호작용 할 때 발생하는 물리적 현상을 다양한 감각을 통하여 사실적이고 현실감 있게 체험할 수 있도록 하는 것이다. 이를 위해서는 우선 실제 해저환경에 대한 분석이 필요하며, 사용자가 실제 해저환경에서 체험할 수 있는 감각적 요소들이 무엇인가에 대하여 연구되어야 한다. 본 연구에서는 실제 해저환경에서 사용자가 감각적으로 느낄 수 있는 주요 요소를 표 1와 같이 도출하였다.

가상 해저 시뮬레이션 시스템에서 사용자에게 현실감 또는 몰입감을 제공하기 위해서는 해저환경에서 발생하는 물리적 감각 효과와 가상현실 장비와의 연동은 필수적이다[1]. 먼저 가상현실 장비를 통해 물리적 현상 정보를 표현할 수 있는 신뢰할 수 있는 입력 데이터에 대한 수치 모델링이 필요하다.

해저환경에서 물리적 현상 정보는 수심에 따라 일정하게 변화하게 된다. 이는 인간이 느끼는 감각 또한 수심의 변화에 따라서 다르게 주어져야 한다는 것을 의미한다. 따라서 특정 수심에서 물리적 현상

표 1. 해저환경의 물리적 감각 효과 요소

해저 환경 감각 요소	설 명
부력(buoyancy)	• 수중에서 부력과 무게의 조절에 따라서 잠수부가 뜨고(양성 부력), 가라앉고(음성 부력), 정지해 있는(중성 부력) 느낌의 부력감을 느낀다.
수압(pressure)	• 수심의 증가에 따라 수압이 증가하며, 귀와 폐 등 기체가 포함되어 있는 신체 부위에 가해지는 압력감(압박감)을 느낀다.
수온(temperature)	• 수심의 증가에 따라 수온이 내려가고 보온성이 감소하기 때문에 추위를 느낀다.
저항(collision)	• 수중에서의 움직임이 일어났을 때 난류(turbulence)가 발생하게 되는 수중 움직임에 대한 저항감을 느낀다.

값을 실시간으로 계산하여 생성하고, 해저환경에서 발생하는 감각 정보를 현실세계의 참여자의 감각 기관을 통해 제시되어야 한다. 본 연구에서는 앞서 분석된 물리적 감각 요소 중에서 수치적으로 계산할 수 있는 요소를 실시간으로 시뮬레이션 할 수 있도록 하였다. 시뮬레이션 대상 환경으로는 대한민국 서남해안의 해저 환경을 선정하였으며, 선행연구[16]를 통해 현장에서 수집한 수온과 염분 값을 물리적 현상 정보 계산을 위한 입력 값으로 사용하였다. 해저환경의 감각요소 수치 계산 절차는 그림 2와 같다.

해저환경의 물리현상 정보 중 부력(buoyancy), 수압(water pressure), 수온(water temperature)은 수심(water depth)에 따라 수치적으로 데이터를 수집하거나 산출할 수 있다. 그림 2의 절차에서와 같이 수온과 염분(water salinity) 데이터는 실측 데이터를 사용하며, 수압은 수심에 따라 일정한 값으로 계산할 수 있다. 사용자와 가상해저 상호작용 입력으로 사용되는 부력은 수온, 압력, 그리고 밀도의 영향을 받으며 사용자의 부피와 중량에 따라 계산하게 된다.

4. 다감각 효과 재현 시스템

가상 해저 시뮬레이션을 위한 다감각 효과 재현 시스템은 가상 해저환경에서 발생하는 다양한 물리적 현상에 대한 감각 효과를 사용자에게 제공할 수 있도록 설계하였다. 제안 시스템은 역할과 형태에 따라서 크게 네 가지 부분으로 구분할 수 있으며, 그림 3은 시스템의 구성 및 정보의 흐름을 표현한다. 첫 번째 '몰입형 마스크 인터페이스 모듈(Immersive Mask Module)'은 사용자에게 가상해저 환경의 시청각적 정보를 제공하며, 사용자의 호흡량을 실시간 측

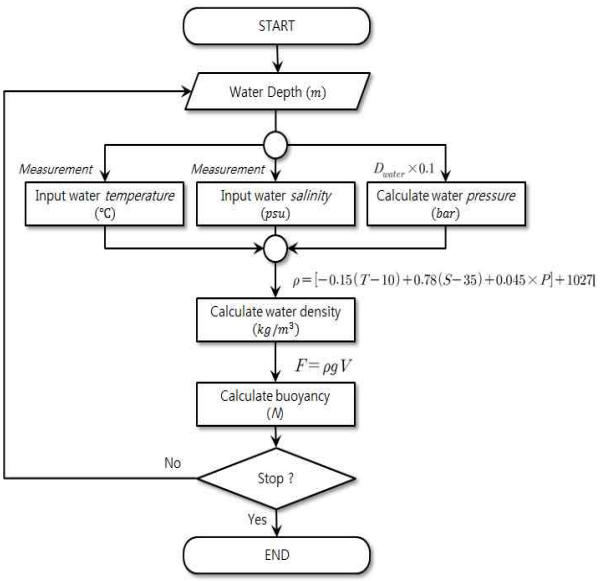

그림 2. 해저환경의 감각요소 수치 계산 과정

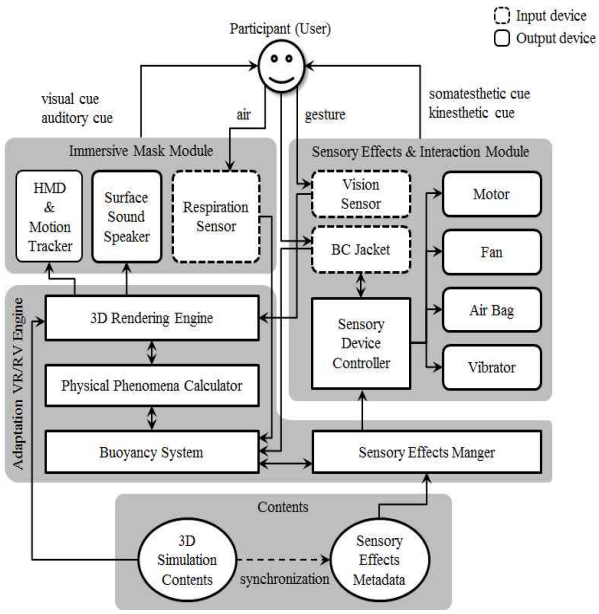

그림 3. 다감각 가상 해저 시뮬레이션 시스템 구조

정하는 역할을 한다. 두 번째 '다감각 효과 재현 및 인터랙션 모듈(Sensory Effects & Interaction Module)'은 가상 해저환경에서 발생하는 물리적 현상 정보를 실세계에서 사용자가 느낄 수 있도록 감각 효과 재현 메커니즘을 제공하며, 사용자의 동작 정보와 부피 정보를 추출 하는 역할을 한다. 세 번째 'RV/VR 적응 엔진(Adaptation VR/RV Engine)'은 가상 해저환경에서의 발생하는 감각 요소의 수치 값과 부력을 계산하고, 감각 효과 데이터를 장치 명령(device commands)으로 변환하는 역할을 한다. 마지막으로 '콘텐츠(Contents)' 부분은 실시간 3D 렌더링 되는 가상 해저환경과 감각 효과를 정의하고 있는 감각 효과 메타데이터이다.

4.1 몰입형 마스크 인터페이스

'몰입형 마스크 인터페이스 모듈(Immersive Mask Module)'은 가상 해저 시뮬레이션의 시각적인 요소와 청각적인 요소를 지원하고, 사용자의 호흡량을 측정하기 위한 부분이다. 이는 실제 해저환경에서 사용되고 있는 수중 장비와 유사한 형태의 인터페이스를 제공한다. 또한 체험자의 들숨과 날숨의 양에 대한 호흡 패턴을 통해 미세한 부력 조절을 가능하게 하고, 호흡 시 발생하는 시청각 효과를 표현한다. 이는 실세계 환경과 시각적으로 유사한 환경을 제공하고, 진동형태의 수중 청각효과를 제공함으로써 실제 해저에서와 유사한 시청각적인 몰입감을 제공한다. 몰입형 마스크 인터페이스를 구성하는 장치로는 eMagin Z800 3DVisor 디스플레이, 에어 플로우 헤드(air flow head)와 압력 센서(pressure sensor)로 제작한 호흡 센서, 3축(X, Y, Z) 헤드 트래커(head-tracker), 서피스 사운드 스피커(surface sound speaker) 포함된다.

4.2 다감각 효과 및 인터랙션 인터페이스

'다감각 효과 및 인터랙션 모듈(Sensory Effects & Interaction Module)'은 감각 효과 장치들과 사용자 동작 인터랙션 처리 부분으로 구성된다. 감각 효과 장치로는 사용자의 팔 동작에 따라서 물리적인 회전이 가능하도록 하는 회전 모터(rotary motor), 난류의 저항과 구조물과의 충돌할 때 진동을 발생하는 진동 장치(vibrating device), 바람을 통해 온도를 낮춰주는 팬(fan) 장치, 수압의 정도에 따라 사용자를 압박하는 에어백(air bag)을 포함한다. 사용자 동작 인터랙션 처리 부분에는 사용자의 팔 동작을 인식하여 방향을 제어하기 위한 키넥트(kinect) 센서[10]과 사용자의 부피를 조절할 수 있는 부력조절기(BC)이 포함된다. 구성 장치들은 좌식형태로 통합되며, '감각 장치 제어기(Sensory Device Controller)'를 통해 각 장치의 동작 신호를 제어한다. '감각 장치 제어기'는 TinyPLC TPC9X 기반의 일체형 PLC 제어보드(TSB-14R)을 사용하여 구현하였다. 그림 4는 감각 효과 장치와 인터랙션 장치들의 구성을 타나낸다.

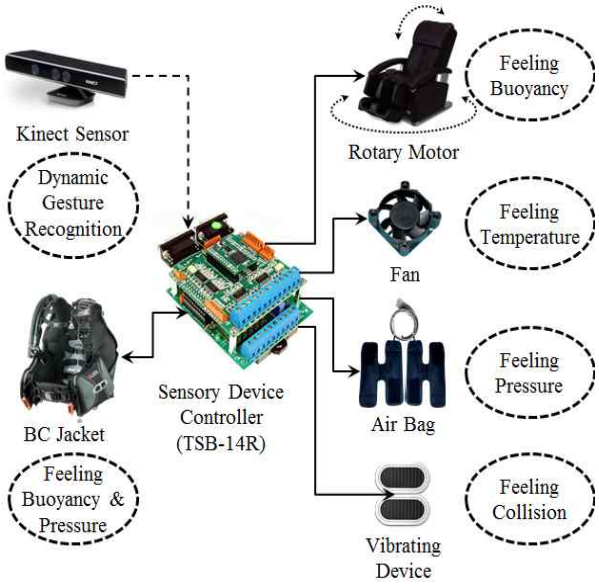

그림 4. 다감각 효과 및 인터랙션 인터페이스 구성

4.3 RV/VR 적응 엔진

'RV(Real to Virtual)/VR(Virtual to Real) 적응 엔진(Adaptation RV/VR)' 모듈은 앞서 그림 1에서 제시한 감각요소의 수치를 가상 해저환경의 수심의 변화에 따라 실시간 계산하고, 사용자의 호흡과 부피 값의 입력에 따라 부력을 계산하는 부력 시스템을 제공한다. 이를 통하여 사용자의 부력에 의해 수심이 결정되고 3D 해저환경을 실시간으로 갱신한다. 또한 3D 해저환경의 수심 변화에 따라 달라지는 부력감, 수압, 수온, 저항감에 대한 감각 효과 정보를 생성한다. 여기서 가상 해저환경에서의 감각 효과 정보는 감각 효과(sensory effect)와 관련된 표준기술 MPEG-V[11]에서 정의된 메타데이터 구조(SEM)를 참조하

여 재정의 하였다. 이 데이터는 표준화된 형태의 데이터(XML 인스턴스)로 생성되고, '감각 효과 관리자(Sensory Effects Manager)'에 의해 장치 명령(device commands)으로 변환되어 현실세계 장비들을 통해 감각 효과를 재생하게 된다.

4.4 3D 시뮬레이션 콘텐츠 및 감각효과 메타데이터

3D 시뮬레이션은 Microsoft DirectX® 기반 3D 렌더링 기술을 이용하여 가상의 해저공간과 객체, 해저에서 발생하는 3차원 시각 정보로 표현한 가상 해저 시뮬레이션 콘텐츠이다. 선행연구에서 제시한 가상 해저환경[15]를 확장하여 수심에 따라서 수중 객체(어류 및 해초) 종류, 물의 색감, 빛의 밝기 변화 시킬 수 있도록 구현하였다. 사용자는 '몰입형 마스크 인터페이스 모듈'의 HMD 화면을 통해 3D 시뮬레이션 콘텐츠에 대한 시각적인 몰입감을 경험할 수 있다.

또한, MPEG-V 표준기술의 전체 파트 중, Part 3 [11] 감각 정보(sensory information) 내용을 기반으로 3D 시뮬레이션 중에 수심에 따라 변화하는 감각 요소에 대한 감각 효과 정보를 서술하여 전달하도록 하였다. 각 감각 효과들은 공통적으로 활성화 여부(activate), 효과 값의 범위(intensity-range), 효과 값(intensity-value), 효과 시작 시간(pts) 정보를 포함한다. 효과 값(intensity-value)과 효과 시작 시간(pts)은 수심의 변화에 따라 계산되는 감각 수치 정보에 의해 결정되며, 효과 시작 시간과 끝 시간은 'TWindEffectOn', 'TWindEffectOff'와 같은 특정 효과에 대한 메시지 발생 시에 결정된다.

4.5 다감각 효과 재현 시스템 통합

실제 바다 속에서 스쿠버다이빙(scuba diving)을 즐기는 잠수부들은 부력 조절을 통해 수심 조절을 하게 된다. 수중에서의 부력을 조절하는 기본적인 방법으로는 장비의 무게 조절, 부력조절기 속의 공기량 조절, 잠수부 폐 속의 잔존 공기량의 조절 등이 있다. 본 연구에서는 사용자의 의도대로 부력을 조절하여 수심의 위치에 따라 변화하는 해저환경의 물리적 감각 효과를 사용자가 경험할 수 있도록 하였다. 이를 위하여 인간이 실제 해저환경에서 느낄 수 있는 주요 감각적 자극 요소를 앞서 표 1에서 제시한 것처럼 부력, 수압, 수온, 저항으로 정의하고, 이를 감각 효과 정보로 매핑 하여 참가자에게 전달하게 된다.

다감각 효과 재현 시스템은 3D 해저환경 시뮬레이션과 연동되어 수심의 변화와 사용자의 동작에 따라 사용자의 체성감각과 운동감각을 자극하는 구조로 설계되었다. 해저환경에서 발생한 다양한 물리적 감각 효과를 사용자가 직접적으로 느낄 수 있도록 하고, 가상의 3D 해저환경에서 사용자가 실제 해저에서와 같은 동작을 통해 내비게이션이 가능하도록 구현하였다. 그림 5은 본 연구에서 제안하는 가상 해저 시뮬레이션의 다감각 효과 재현 절차를 보여주고 있다.

그림 6은 제안 시스템을 구성하는 각 요소 모듈을 통합한 최종 시스템의 형태와 시연 장면이다.

그림 6에 보는 바와 같이 가상 해저 시뮬레이션을 위한 다감각 효과 재현 시스템은 몰입형 마스크 인터페이스(a), 다감각 효과 재현(b), 사용자 동작 인식(c), PC를 포함한 컨트롤 박스(d), 사용자에게 제공하는 시

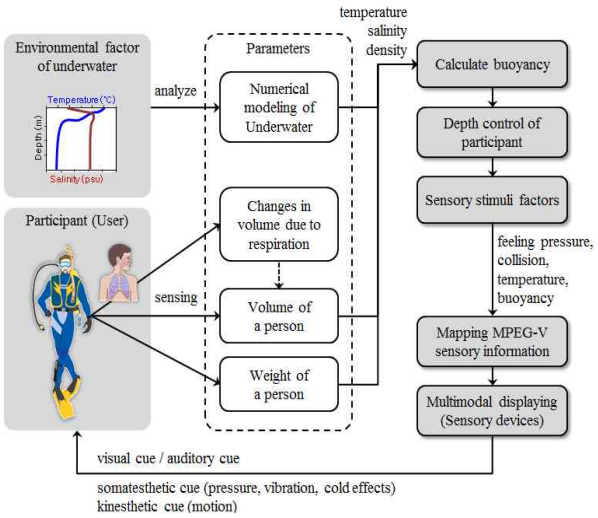

그림 5. 가상 해저 시뮬레이션의 다감각 효과 재현 절차

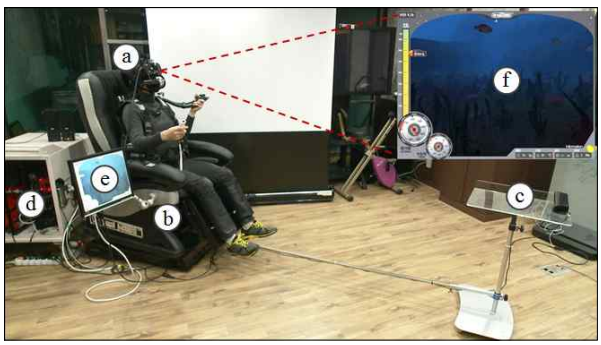

그림 6. 다감각 효과 재현 시스템 통합

뮬레이션 장면 모니터링(e, f)으로 구성되어 통합된다.

5. 실험 및 평가

5.1 실험 방법 및 환경

본 실험은 가상 해저 시뮬레이션을 위한 다감각 효과 재현 환경이 현실감(presence) 측면에서 사용자에게 어느 정도 영향을 미치는지 분석함으로써 제안 시스템의 유효성을 검증하고자 하였다. 이를 위하여 실제 스쿠버다이빙과 같은 해양레포츠 유경험자로 한정하여 총 10명의 실험 참가자를 선발하고, 가상현실 시스템 유형으로 분류된 3가지 형태[17]의 가상 해저 시뮬레이션 시스템을 체험한 후 실험 설문지를 작성하게 하였다. 각 실험환경 속에서 피실험자가 주관적으로 느끼는 현실감을 측정한 결과를 가지고 F검증 분산분석(ANalysis Of VAriance: ANOVA) 방법을 이용하여 통계적 검증을 실시하였다. 피실험자가 느꼈던 현실감의 정도를 측정하기 위하여 현실감 측정(Presence Questionnaire: PQ) 질의문[12]를 사용하였다.

참가자 실험에서는 동일한 3D 시뮬레이션 콘텐츠를 연동하여 다른 형태의 가상현실 시스템으로 구현하고, 각각의 실험환경에서 참가자로 하여금 가상 해저 시뮬레이션을 체험하도록 하는 실험을 실시하였다. 실험환경에 대한 구체적인 상황과 내용을 표 2와 같이 정리하였다. 여기서 '실험환경3'은 본 연구에서 제안한 시스템 환경이다.

5.2 실험 결과 분석 및 평가

본 연구에서는 실험 결과 분석을 위하여 PQ 현실감 설문에 대한 통계분석은 IBM SPSS 통계 프로그램을 이용하였다. 각 실험환경에 대한 현실감을 평가하기 위해 수행한 PQ 설문 결과 점수는 표 3과 같이 나타났다. 표 3에서 보는 바와 같이 실험 집단에 따른 현실감 점수 차이에 대해 살펴보면 제안 시스템 환경 '실험환경3'이 107.40점으로 가장 높은 것으로 나타났으며, '실험환경2'이 86.90점, '실험환경1'이 61.00점 순으로 나타났다. 이는 $F=31.117$, 유의도 $p<0.001$로 나타나 통계적으로 유의미한 차이를 보였다. 또한 사후검증(Scheffe)에서 단순한 시청각적 감각만 제공하는 '실험환경1(a)'와 다감각 재현 환경을 제공하는 '실험환경3(c)'와 아주 유의한 차이를 나타냈다. 결과적으로 시각과 청각만을 제공하는 가상 해저 시뮬레이션 보다 감각요소가 확장된 다감각 해저 시뮬레이션의 현실감이 향상되는 것으로 나타났다.

실험을 통한 현실감 평가에서 시청각 이외의 다감각적인 효과를 제공함으로써 가상 해저 시뮬레이션에 대한 현실감을 향상 시킬 수 있다는 결과를 확인하였다. 이러한 결과는 Fontaine[9]의 연구에서 "감각 요소의 범위를 넓히는 접근은 더 큰 현실감을 만

표 2. 실험환경 구성

구 분	설 명
실험환경1	· 사용자가 마우스와 키보드, 조이스틱을 사용하여 3D 해저환경과 상호작용 하는 형태
실험환경2	· 사용자가 HMD를 착용하고 데이터글로브(data glove), 부력장치를 착용하여 3D 해저환경과 상호작용 하는 형태
실험환경3 (제안시스템)	· 사용자가 몰입형 마스크 인터페이스, 동작 센서, 다감각 효과 장치를 통해 3D 해저환경과 상호작용 하는 형태

표 3. 현실감(Presence) 설문 결과 비교

실험환경	평균	표준 편차	F	유의 확율	*Scheffe*
실험환경1(a)	61.00	18.031	31.117***	.000	a<c
실험환경2(b)	86.90	13.068			
실험환경3(c)	107.40	5.038			

든다."는 연구결과와 일치한다. 특히 수심에 따라 감각적 변화가 다양하게 발생하는 가상해저 시뮬레이션의 경우 실제 환경에서의 감각의 종류와 유사성, 상호작용 요소를 포함한 다감각 효과의 확장을 통해 현실감을 향상 시킬 수 있는 것으로 판단된다.

6. 결 론

가상현실 기술을 이용한 가상 해저 시뮬레이션의 궁극적인 목적은 사용자에게 해저환경을 현실감 있게 체험할 수 있도록 하는 것이다. 해저 시뮬레이션을 체험하는데 있어서 보다 향상된 현실감을 제공하기 위해서는 감각적 몰입도와 감각적 충실도, 상호작용성 측면에서 보다 향상된 방법을 제공되어야 한다. 본 논문에서 기존 가상 해저 시뮬레이션 시스템의 취약점으로 제시한 감각적 지각 요소의 한계를 보완하고, 해저환경에서 사용자가 느낄 수 있는 현상에 대한 시뮬레이션 체험이 가능한 시스템을 제안하였다. 그리고 본 연구에서 제안한 방법과 시스템의 타당성을 검증하기 위하여 가상현실 시스템의 주요 평가 요소로 다루어지는 현실감에 대한 참가자 실험을 실시하였다. 실험 결과를 통해서 다감각 효과를 제공하는 제안 시스템이 기존의 가상현실 형태로 구현된 해저 시뮬레이션 시스템에 비하여 현실감을 증가시켰다는 실험 결과를 얻을 수 있었다.

본 연구에서 제안한 다감각 효과 재현 시스템은 시청각적인 경험뿐만 아니라 해저환경에서 발생하는 체성감각과 운동감각 정보를 경험할 수 있어 보다 향상된 몰입감을 제공한다. 또한 실제 해저환경에서와 같이 체험자의 행위에 따라 수심을 변화시키고 다감각 피드백을 제공함으로써 현실감 높은 해저 시뮬레이션이 가능하다. 제안 시스템은 스쿠버 다이빙과 같은 해양레저 스포츠 훈련 분야에 적용하여 시간과 공간의 제약 없이 수중활동의 훈련이 가능하도록 한다. 또한 가상현실 게임, 해양 환경 및 생태계 교육, 심해 공포(deep sea phobia) 치료 등 다양하게 산업 분야에서 활용할 수 있다. 향후 연구로서 실제 해저환경에서 발생하는 감각적 요소에 관한 세부적인 분석을 통하여 감각 신호의 특성을 정규화 시키는 연구가 필요하다. 또한 좀 더 사실적인 감각 자극을 사용자에게 제공할 수 있는 감각 효과 인터페이스에 대한 연구와 함께 자연스러운 착용감을 제공하여 사용성을 높일 수 있는 연구가 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] Gerard Jounghyun Kim, *Designing Virtual Reality Systems: The Structured Approach*, Springer-Verlag New York Inc., 2005.

[2] Junji Nomura and Kazuya Sawada, "Virtual Reality Technology and its Industrial Applications," *Annual Reviews in Control*, Vol. 25, pp. 99-109, 2009.

[3] Demetri Tezopoulos, "Artificial Life for Computer Graphics," *Communications of the ACM*, Vol. 42, No. 8, pp. 32-42, 1999.

[4] D.M. Popovic, R. Querrec, F. Harrouet, C.L. Gal, L.D. Servanati, and S. Morvan, "VirtualDive: A VR-Based Educational Virtual Environment," *Seventh Intranational Symposium on Symbolic and Numeric Algorithms for Scientific Computing*, pp. 191-198, 2003.

[5] H.C. Lee, E.S. Kim, N.K. Joo, and G.T. Hur, "Development of Real Time Virtual Aquarium System," *International Journal of Computer Science and Network Security*, Vol .6, No. 7A, pp. 58-63, 2006.

[6] Torsten Fröhlich, "The Virtual Oceanarium," *Communications of the ACM*, Vol. 43, No. 7, 2000.

[7] David Zeltzer, "Autonomy, Interaction, and Presence," *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol. 1, No. 1, pp. 127-132, 1992.

[8] Jonathan Steuer, "Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence," *Journal of Communication*, Vol. 42, No. 4, pp. 73-93, 1995.

[9] Gary Fontaine, "The Experience of a Sense of Presence in Intercultural and International Encounters," *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol. 1, No. 4, pp. 482-490, 1992.

[10] KINECT for Windows, http://www.microsoft.com/en- us/kinectforwindows, 2013.

[11] B.S. Choi, E.S. Lee, and K.R. Yoon, "Streaming Media with Sensory Effect," *Proc. Int. Conf. Information Science and Applications*, pp. 1-6, 2011.
[12] B.G. Witmer, C.J. Jerome, and M.J. Singer, "The Factor Structure of the Presence Questionnaire," *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol. 7, No. 3, pp. 298-312, 2006.
[13] 남현우, "가상현실에서의 감각 인터페이스 연구," 디지털디자인학연구, Vol. 2, pp. 13-22, 2001.
[14] 신찬수, 假象現實 시스템의 現實感 評價에 관한 硏究, 한성대학교 석사학위논문, 2000.
[15] 윤재홍, 허기택, 강임철, "가상 수중 환경과 체감형 시뮬레이터 개발에 관한 연구," 멀티미디어학회논문지, 제15권, 제4호, pp. 560-568, 2012.
[16] 김철민, 강임철, 김병기 "가상 수중환경에서의 체감 시뮬레이션을 위한 수중 물리현상 모델링," 한국멀티미디어학회 추계학술발표대회 논문집, 제12권, 제2호, pp. 528-531, 2009.
[17] 박화진, 조세홍, "몰입형 가상현실 시스템을 위한 기술 및 사례에 대한 연구," 정보처리학회지, 제10권, 제1호, pp. 64-73, 2003.

김 철 민

2003년 2월 광주대학교 컴퓨터학과 학사
2005년 2월 전남대학교 전산학과 석사
2007년 2월 전남대학교 전산학과 박사과정 수료
2005년 3월~2006년 2월 호남대학교 인터넷소프트웨어학과 초빙교수
2006년 3월~현재 동신대학교 디지털콘텐츠협동연구센터 선임연구원
관심분야 : 소프트웨어공학, 실감미디어, 가상현실

윤 재 홍

1998년 2월 동신대학교 컴퓨터학과 학사
2001년 2월 동신대학교 컴퓨터학과 석사
2005년 8월 동신대학교 컴퓨터학과 박사
2006년 3월~2009년 8월 동신대학교 디지털콘텐츠학과 전임강사
2009년 9월~현재 동신대학교 디지털콘텐츠협동연구센터 부장
관심분야 : 3D입체영상, 실감미디어, 정보통신

강 임 철

1991년 2월 전남대학교 전산통계학과 학사
1997년 2월 전남대학교 경영학과 석사
2005년 2월 전남대학교 전자상거래협동과정 박사
2006년 3월~현재 동신대학교 디지털콘텐츠학과 교수
2011년 3월~현재 동신대학교 디지털콘텐츠협동연구센터 소장
관심분야 : 실감미디어, 디지털콘텐츠, 기술경영

김 병 기

1978년 2월 전남대학교 수학과 학사
1980년 2월 전남대학교 수학과 석사
2000년 2월 전북대학교 수학과 박사
1981년 4월~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수
관심분야 : 소프트웨어공학, 객체지향시스템