

가상현실 교육설계방식에 따른 학습자 주의와 학습 기억에 관한 연구

박 경 신[†] · 구 자 영^{††}

요 약

가상환경에서 학습 방식에 따른 학습 효과를 학습자의 주의와 기억량 분석을 중심으로 연구하였다. 교안유도 방식(Guided learning)과 교안 비유도 방식(Unguided learning)의 학습이 주어진 상태에서 뇌파, 심전도, 피부저항과 시선추적 생체신호장비를 사용하여 학습자 주의측정을 하였고, 학습자의 학습 태도, 느낌, 기억량 등을 실험 시 비디오와 실험 후 설문분석을 이용하여 분석하였다. 실험 결과는 교안유도 방식이 학습자의 주의를 교안으로 끄는 데는 효율적이어서 많은 교안내용을 기억하게 했으나, 교안비유도 방식에 비해 상대적으로 학습자가 느끼는 체감 흥미는 떨어진 것으로 나타났다. 그와는 대조적으로 교안비유도 방식에서 학습자들은 교안과 교안의 내용을 모두 비교적 광범위하게 기억하고 있었고, 능동적이며 자율적인 학습을 하였다. 또한, 교안비유도 후 교안유도 방식의 학습을 했을 경우 그 반대의 경우보다 훨씬 더 학습효과가 좋았다. 이는 교안비유도 방식이 사전 예비학습 효과를 주었기 때문으로 해석된다. 실험결과를 통해 본 논문에서는 교안비유도 방식을 먼저 학습 한 후에 교안유도방식으로 학습을 진행하는 것이 학습자의 학습 효과와 체감흥미에서 더욱 효율적임을 제시하였다.

키워드 : 가상현실, 학습, 주의, 기억, 생체신호

A Study of Evaluating VR Learning Styles on User Attention and Memory

Kyoung Shin Park[†] · Jayoung Goo^{††}

ABSTRACT

This paper presents a study investigating the effects of VR learning style on user attention and memory. The study involved users performed the guided or unguided style learning in the virtual environment while user attention was measured through physiological sensors (EEG, ECG, and GSR) and an eye tracking system. The users experienced the five specific events in a virtual environment associated with different stimuli, while they were given more specific goals during the guided task whereas they were given one goal asking them to actively search for the interesting items during the unguided task. The subject's attentions, workload, feelings, memories about VR experience were measured by using a variety of physiological sensors during the task, video analysis, and post-test survey. The results showed that the unguided task followed by the guided task made a considerable learning effect by giving a preview effect to the user. Moreover, the guided task drew more user attention and mental workload than the unguided task did.

Key Words : Virtual Reality, Learning, Attention, Memory, Physiological sensors

1. 서 론

최근 가상현실을 이용한 학습이 점차 그 효율성이 입증되고 있다[1]. 가상현실 환경은 학습자에게 일인칭 시점에서 3차원 영상을 통해 만들어지는 몰입감 (Immersion)과 현존감 (Presence)을 토대로 실제 교육에서는 제공하기 힘든 교과 내용을 다양한 시각, 청각, 촉각적 상호작용을 제공하여 학습 효과를 높일 수 있는 장점을 가지고 있다. 예를 들어, 제

철 공간이나 원자로 운영과 같은 위험한 작업에 대한 훈련이나, 해저탐사나 화성탐사 같은 지리적 한계를 가지고 있거나, 인체탐사나 미생물의 번식과 같은 인간 시각의 한계를 가상현실 교육을 통하여 극복할 수 있다[1,2].

그러나 최근까지의 연구 동향은 주로 가상현실 교육의 콘텐츠나 기술적 구현의 측면에서 많이 연구되어 왔고 학습자의 관점에서 주의나 작업부하량 그리고 감정 상태나 태도 등을 고려한 감성적 가상현실 시스템 개발은 아직까지 많이 시도되지 않았다. 이에 본 연구에서는 효율적인 가상현실 교육환경 설계에 가이드라인을 제시하고자, 가상현실 환경

[†] 종신회원 : 단국대학교 멀티미디어공학 전임강사

^{††} 정 회 원 : 동부CNI 미래기술연구소 연구원

논문접수 : 2006년 8월 29일, 심사완료 : 2006년 11월 2일

에서 교안 유도 방식과 비유도 방식의 교육설계방식에 따른 학습 효과를 가상환경에서 학습자 주의와 가상현실 학습 후의 기억내용을 중심으로 하여 분석하였다.

학습자의 주의를 끌었던 요소를 분석하기 위해서 실험에 사용된 교안유도 방식과 교안비유도 방식의 가상현실 학습 환경은 총 다섯 가지의 자극과 관련된 이벤트로 구성하였다. 그리고 교안유도 방식에서는 학습자에게 교안에 대한 명시적이며 구체적인 목표를 사진과 음성 설명이 함께 질문으로 제공하면서, 교안에 내용이 있는 지역으로 강제 이동시켰다. 반면에 교안비유도 방식에서는 학습자가 구체적이며 명시적 목표 없이 자유탐사를 통해 자신의 관심분야를 학습하게 하였다.

대학원생과 대학생 25명이 실험에 참여하였고, 그 중 사전 실험과 동기화의 문제로 8명을 제외한 총 17명의 자료를 실험 분석에 사용하였다. 실험에서 사용된 가상현실은 양안 시차 편광방식을 이용해서 3차원 입체영상을 만들어 냈다. 그리고 학습자의 주의 분석도구로 인간의 주요 생체신호인 뇌파, 심전도, 피부전도도 그리고 시선추적기를 사용하였다. 또한 실험 당시 녹화 비디오를 비롯하여 학습자의 주의도, 학습태도, 느낌, 그리고 기억량 등에 관한 질문이 있는 실험 후 설문지 분석을 이용했다.

실험 결과는 교안유도 방식이 학습자의 주의를 교안으로 끄는 데는 효율적이어서 많은 교안내용을 기억하게 했다. 그와는 대조적으로 교안비유도 방식은 교안과 교안의 내용을 모두 비교적 광범위하게 기억한 것으로 나타났다. 그런데 교안유도 방식이 교안비유도 방식에 비해 상대적으로 학습자가 느끼는 흥미는 떨어졌다. 오히려 교안비유도 방식에서 학습자가 능동적이며 자율적인 학습을 가능하게 함으로 학습자들이 느끼는 흥미가 더 높았다.

또한, 교안비유도 후 교안유도 방식의 가상현실 학습을 했을 경우 그 반대의 경우보다 훨씬 더 학습 기억량이 많았는데, 이는 먼저 교안비유도 방식으로 학습했을 때 사전 예비학습 효과를 주었기 때문으로 해석된다. 그리고 가상환경에서 촉각자극인 진동과 급격한 시점 변화 그리고 움직이는 물체와 선명하고 밝은 색상 등의 제시한 자극요소가 학습자의 주의를 유인하고 동시에 학습자의 학습내용 기억을 강화시키는 요소임을 알 수 있었다.

2. 관련 연구

이 장에서는 교육용 가상현실에서 학습자 주의측정에 관련된 연구와 뇌파, 심전도, 피부전도도, 시선추적 생체신호장비를 사용한 사용자 주의도나 작업부하량 등에 관련된 연구에 대해 살펴본다.

2.1 학습자 주의측정 가상환경

교육용 가상현실 연구는 중요한 분야로 지금까지 많은 응용 프로그램이 국내외적으로 개발되었다. 그 중 하나로 서울 국립재활원에서 뇌기능 손상환자를 위해 개발한 자동차

운전 시뮬레이션이 있다. 이 연구에서는 뇌기능 손상 환자나 치매노인 등과 같이 장애요소를 가지고 있는 사람들에게 일상생활 적응 훈련과 인지기능 평가에 관한 연구를 수행하였다[3].

주의집중력 평가와 증진을 위한 가상현실 연구 분야로 국내에서는 한양대학교 의용공학과에서 가상현실과 뇌파 신호 피드백을 이용하여 주의력을 강화시키는 연구를 시행한 적이 있다. 이 연구에서는 주의력 결핍 과잉행동 증후군(Attention Deficit Hyperactivity Disorder) 아동들을 대상으로 뇌파 신호를 추출하여 주의력 측정 지표인 베타파의 검출 정도에 의해 주의력 집중력이 부족한 아동들에게 바이오 피드백을 제공하는 가상현실 시스템을 이용하였다[4]. 더불어, 이 연구에서는 시각지속이나 시각비교와 같은 인지과제를 훈련시켜 주의력 향상을 촉진하였는데, 2차원 컴퓨터 화면을 이용한 바이오피드백 자극보다 3차원 가상환경을 통한 훈련이 더욱 좋은 효과를 보였고 또한 학습자들의 과제에 대한 흥미와 참여도도 높았다고 한다.

가상현실 환경에서 사용자 주의정도를 분석하고 평가하는 연구에서는 일반적으로 시선추적 신호가 주로 사용되고 있다[5]. 이때 주의도 분석을 위해 주로 시선이 얼마나 오랫동안 특정 대상에 멈추어 있느냐에 대한 지표를 많이 이용한다. 그러나 시선추적을 이용한 주의도 측정방식은 사용자가 한 대상에 오랫동안 시선을 머문 채로 다른 생각을 하고 있을 수도 있는 문제점이 있어 시선추적 신호를 주의도 판별하는데 보조적인 데이터로 많이 활용하고 있다.

2.2 사용자 주의측정을 위한 뇌파(EEG-Electro-Encephalogram) 관련 연구

뇌파(EEG: Electro-Encephalogram)는 사용자 주의 측정 용도로서 많이 사용되어 왔다. 특히 사건관련 유발 전위 ERP(Event Related Potentials)와 P300(Positive 300ms) 등이 사건관련 주의도 측정에 이용되어 왔다. ERP는 특정한 시각적, 청각적 사건 발생시 뇌파의 변화를 수반하게 되는 것을 이용한 방식이며, P300은 사람이 친숙한 정보에 대해서 사건이 발생되면 300ms 후에 진폭이 크게 뛰는 현상으로 뇌파의 변화를 수반하게 되는 것을 이용한다[6].

또한 베타파(Beta: 13~30Hz)는 일상적 사무업무 수행 시 활성화된다. 그와는 반대로 알파파(Alpha: 8~13Hz)는 신체적 정신적 안정 시에 증가되는 경향이 있다. 감마파(Gamma: 30~50Hz)는 대체로 고난도 작업으로 스트레스 발생시 많이 나타나는 경향이 있다.

일반적으로 알파파에 대한 베타파의 비율인 Beta/Alpha는 작업난도와 연계된 정신적 작업부하도와 밀접한 연관이 있는 지표로 사용되어 왔다. 그 예로, 유럽 미디어 랩에서 수행한 'Brainball'이라는 연구에서는 Beta/Alpha를 이용하여 작업부하도가 낮은 정신적 안정시를 측정하여 상대방 쪽으로 공을 굴려 점수를 따는 형태의 게임을 만들기도 하였다[7]. SEF50%(Spectral Edge Frequency 50% of EEG) 지수는 뇌가 얼마나 깨어있어 학습에 사용되고 있는지를 알려주

는 각성지표로 사용되고 있다[8]. SEF50%는 작업난도가 높을수록 증가하는 경향이 있으며 주의집중 시 증가하는 경향이 있다고 한다.

2.3 사용자 주의측정을 위한 심전도(ECG-Electro-Cardiogram) 관련 연구

HRV(Heart Rate Variability)는 심전도(ECG: Electro-Cardiogram)에서 사용자의 주의측정에 중요한 지표로 사용되었다[9]. 일반적으로 HRV는 작업량이 증가함에 따라 감소되는 경향이 있다. ECG에서 RRV(R-R Interval Variability) 또한 사용자의 주의를 측정하는데 유용한 지표로 사용되었다. 사람의 주의집중 상태가 지속되면 일반적으로 RRV가 점차적으로 감소하는 경향이 있다고 한다[10].

RRV의 LF(Low Frequency: 0.04~0.15Hz) 영역은 인간의 외부자극과 밀접히 연관되어 있으며, 교감신경(즉, 방어적 공격적 자극이나 흥분 상태)과 연관되어 있다. RRV의 HF(High Frequency: 0.15~0.4Hz)는 인간의 부교감 신경(즉, 평안, 이완, 심리적인 여유)과 연관되어 있다[9]. 일반적으로 교감신경은 외부자극에 의한 심박동수 변화를 반영하고 부교감신경은 이를 안정화시키기 위하여 작동한다. 때문에 RRV의 LF/HF 지수는 작업난이도가 높을 때 증가하며, HF/(LF+HF) 지수는 작업난이도가 높을 때 감소한다.

2.4 사용자 주의측정을 위한 피부전도도(GSR-Galvanic Sensor Response)관련 연구

피부전도도(GSR: Galvanic Sensor Response)는 인간이 중요한 생각에 빠져 있을 때나 긴장과 흥분을 하였을 때 또는 고통의 상태에 있을 때 크게 반응한다. GSR 신호는 외부자극을 크게 진폭(Amplitude)과 도약점(Startle)을 통해 이벤트 단위별로 주의도 분석할 때에 유용하다[11]. 도약점 개수는 인간의 교감신경계의 활성과 관련이 있으며 이를 통해 외부 자극의 정도와 유무를 정확하게 분별할 수 있다. 그리고 진폭은 인간의 부교감 신경의 활성을 반영하며, 전체 구간별 주의도 분석에 유용하다. 부교감신경은 땀의 분비를 관장하고 있으며 땀 분비가 촉진될 때 인간은 주의 집중하는 경향이 있다.

2.5 사용자 주의측정을 위한 시선추적신호(Eye-tracking) 관련 연구

시선추적신호는 시각적 주의 분석 연구에 많이 사용되어 온 지표로 웹 페이지 사용성 평가에 많이 이용되어 왔다. 특히 '사용자의 시선이 얼마나 오랫동안 머물고 있는 지'가 주의도 분석에 주로 사용되고 있다. 그리고 시선경로를 추적하여 시선의 움직임 패턴을 분석하여 사용자의 주의도 분석에 사용되었다[12]. '동공의 크기' 또한 사용자의 주의도와 작업의 난도를 분석하는데 사용되었다[13]. 즉, 감정적(놀람이나 분노 그리고 성적유혹 등)이나 외부적 자극(빛, 컬러)으로 인해 동공이 확대되며, 동시에 주의를 기울이고 있을 때나 어려운 작업을 하고 있을 때 동공이 확대되는 경향이



(그림 1) 해저생태계 가상환경

있다. 그리고 사람이 주의를 기울이고 있을 때 눈 깜박임의 횟수가 현저히 줄어든 경향을 이용하여, '눈 깜박임'도 주의도 측정에 사용되었다.

3. 실험 방법

3.1 해저생태계 가상환경

(그림 1)은 가상현실을 이용해 해저생태계를 재현한 모습을 보여주고 있다. 이 가상환경은 해저 탐사를 위한 산호초와 대륙붕 지역 그리고 심해환경으로 구성되어 있으며, 다양한 바다 어류와 패류 그리고 산호초와 해조류 등 독특하고 풍부한 해양생물을 볼 수 있다. 이 가상환경은 원래 일리노이 주립 대학교(University of Illinois at Chicago)의 Electronic Visualization Laboratory에서 과학적 탐구 학습을 위해 개발된 것으로, 본 실험 연구를 위하여 새로운 교안에 맞추어 다시 생태계 환경을 꾸몄다.

본 실험 연구를 위하여, 엔젤피쉬 서식지인 산호초 지역, 심해 열수구에서 김이 나는 장면, 해저 바다거미와 바다가재의 움직임에 따른 소리 등 보다 많은 흥미 요소들을 새로이 추가하였다. 또한 사용자의 이벤트 단위별 주의도 분석을 위해, 다섯 가지 교안 물고기에 각각의 특정 행동 및 자극을 포함시켰다. 즉, 선명한 색상을 가진 엔젤피쉬가 갑자기 왼쪽에서 나타나 오른쪽으로 움직여 가고, 가자미가 상하 움직임에 따라 소리가 들리고, 멀리서 사용자로 돌진하여 촉각 피드백(Tactile feedback)을 주고 가는 가오리, 먹물을 뚫어내고 빠르게 먼 곳으로 도망가는 오징어와, 반짝이는 빛으로 깃비늘치 먹이를 유인하여 포획하는 초롱아귀 이벤트를 제공하였다. 또한 조이스틱을 통해 사용자가 자유롭게 자신의 잠수함을 움직여 해저 탐사를 할 수 있도록 하였고, 탐사 도중에 심해 어두운 곳에서 불빛을 밝힐 수 있는 조명과 즉석사진을 찍을 수 있게 하였다. 학습자가 탐사 도중 찍은 사진들과 탐사경로는 로그파일로 저장되어 학습자의 관심도와 탐사경로 패턴 분석에 사용하였다.

해저생태계 가상환경은 고수준 가상현실 저작도구인 YG(Yggdrasil)을 사용하여 제작하였다[14]. YG는 C++의 클래스이며 SGI 사의 Performer 그래픽 라이브러리와 VRCO

사의 CAVElib으로 구성된다. YG는 가상 객체의 움직임 효과를 단순화 시키도록 고안된 것으로, 신그라프(Scene graph)를 공유함으로써 가상 객체를 표현 생성하는 간단한 가상현실 제작도구이다.

3.2 피험자

한국정보통신대학교 대학원생과 대학생들 25명이 자원하여 실험에 참여했다. 사전실험 5명과 시간동기화 결합 문제로 3명을 제외하고 최종 17명의 실험 자료를 확보하였다. 피험자들의 평균 나이는 24.1 세이며, 5명의 여성과 12명의 남성으로 구성되었다.

실험 전 사전 인적 정보 조사에서 피험자들에게 3차원 게임이나 가상현실에 대한 사전 경험도와 해저생태계에 대한 친숙도 그리고 생체신호 측정에 대한 사전 경험도에 대한 설문이 주어졌는데, 설문 결과에서 모든 피험자가 컴퓨터 환경에 친숙했고 대부분의 피험자가 3차원 게임과 가상현실을 경험해 본 적이 있는 것으로 나타났다. 그러나 해양생태계 가상환경은 피험자 모두가 선수경험이 없으며 생체신호 측정도 해 본 경험이 없었다. 또한 17명의 피험자 중 10명이 한번 정도의 스쿠바 다이빙이나 수족관 견학으로 해저생태계를 체험한 것으로 나타났다. 그리고 대부분의 피험자(15명)가 해저생태계에 비교적 낮은 관심도를 보였다.

3.3 학습 교안 및 실험 설계

모든 피험자들은 교안유도 방식과 교안비유도 방식의 가상환경 학습을 체험하였다. 교안유도 방식의 가상현실 교육환경은 학습자에게 교안을 보다 충실하게 학습할 수 있도록 설계하였다. 실험 시작 후 매 1분 단위로 질문의 내용과 사진을 보여주면서 음성 설명과 함께 5개의 질문이 제공되었다. 그리고 질문이 제시되기 전 피험자의 잠수함을 해당 물고기가 서식하는 서식지로 강제 이동시켜서 질문에 해당하는 답을 찾기 쉽게 도와준다. 이와는 달리 교안비유도 방식의 가상현실 교육환경은 학습자에게 보다 자율적이며 능동적인 학습이 가능하도록 자유 탐사를 하며 관심있는 대상을 스스로 찾아보게 했다. 교안비유도 방식에서는 실험 시작 후 피험자가 관심있는 다섯 개의 물고기와 그 물고기의 생태 및 서식지와와의 관계를 살펴보라는 1개의 질문만이 주어졌다.

피험자들은 교안유도 방식이나 교안비유도 방식에 상관없이 해저생태계 가상환경에서 다섯 가지 교안에 해당하는 이벤트를 1분 단위 간격으로 경험하였다. 전체적인 이벤트의 구성은 먼저 정적인 물체들만 보이다가 안개가 사라지면서 움직이는 물고기가 등장한다. 그리고 1분 후 엔젤피쉬가 산호초 부근에서 왼쪽에서 오른쪽으로 움직였다. 그 다음 1분 후 가자미가 위쪽에서부터 모래 바닥 쪽으로 내려와서 다시 위쪽으로 올라가며 물방울이 터지는 소리가 함께 들리게 된다. 그 다음 1분 후 전기가오리가 피험자의 정면으로 돌진하여 충돌하면서 조이스틱으로 진동을 준다. 그 다음 1분 후 피험자는 갑자기 대륙붕 절벽으로 떨어져서 심해로 빠져

<표 1> 실험 과정

교안비유도 후 교안유도 방식 피험자 8명	교안유도 후 교안비유도 방식 피험자 9명
실험전 설문조사 (5분) 생체신호장비 장착 및 초기화 (20분)	실험전 설문조사 (5분) 생체신호장비 장착 및 초기화 (20분)
안정 (5분) 교안비유도방식 실험(5분30초) 실험후 설문조사 (10분)	안정 (5분) 교안유도방식 실험 (5분 30초) 실험후 설문조사 (10분)
안정 (5분) 교안유도 방식 실험 (5분 30초)	안정 (5분) 교안비유도 방식 실험 (5분 30초)
실험후 설문조사 (10분)	실험후 설문조사 (10분)

들어가게 된다. 그리고 바로 대왕오징어가 왼쪽으로부터 다가와서 먹물을 뿌리고 앞으로 멀리 도망을 간다. 그리고 1분 후 초롱아귀가 오른쪽에서부터 왼쪽으로 움직이면서 발광하면서 깃비늘치 물고기를 유인하며 잡아먹는다. 그 다음 1분 후 최종적으로 다시 대륙붕으로 자동적으로 잠수함이 올라간 후 실험이 종료된다.

3.4 실험 과정

<표 1>은 실험군에 따른 실험과정을 보여주고 있다. 각 피험자는 교안유도 방식 또는 교안비유도 방식으로 구성된 해양생태계 가상환경을 임의적인 순서로 바꿔가면서 실험에 참여하였다. 전체 피험자 중 8명은 교안비유도 방식 후 교안유도 방식의 학습순서로 가상현실을 체험하였고, 나머지 9명은 교안유도 방식 후 교안비유도 방식의 학습 순서로 실험에 참여하였다.

실험과정은 먼저 실험에 앞서 피험자는 5분 정도의 사전 설문 조사를 수행하게 된다. 사전 설문 조사에서 피험자의 인적정보(나이, 성별 등)과 가상현실 친숙도 및 해양환경 사전 경험도 및 생체신호 측정 경험 등에 대한 질문에 답하였다. 그리고 20분간 생체신호 장치를 피험자에게 장착하고 초기화하는 작업을 하였다. 그 후 안정상태에서 5분간



(그림 2) 가상해양환경 실험 모습

피험자의 상태를 측정하고 난 다음 가상현실 실험에 들어가게 된다. 교안유도 방식 또는 교안비유도 방식의 가상현실 실험을 마친 후 약 10분간 설문조사를 하였다. 설문조사에서는 피험자가 가상환경에서 본 것 중에 기억에 남는 물고기나 환경요소를 서술하게 하였고, 자극요소에 따른 주의 상태 등을 측정하는 질문을 했다.

가상학습후의 설문은 총 5가지의 대 질문(1.가상현실학습에 대한 느낌, 2. 생태계학습도구로서의 가상현실학습 효과 측정, 3.가장기억에 남는 교안(아이템)을 순서대로 설명하며 나열, 4. 가상현실 학습중에 주의를 끌었던 요소에 대한 질문 5.총 5가지 교안에 대한 서식지, 행동유형, 새로알게된 정보를 서술)과 대 질문항목에 포함되는 세부질문으로 구성했다. 그리고 3번 문제와 5번 문제를 제외하고 모두 5점척도 객관식 설문 문항으로 구성했다. 이렇게 하여 전체 70분~90분 정도의 실험 시간이 소요되었다.

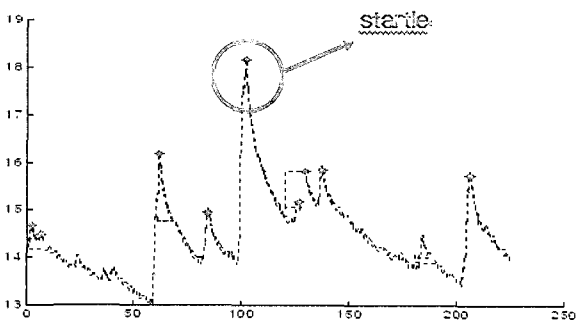
3.5 실험 환경 및 장비

(그림 2)는 해양생태계 가상환경에서 실제 실험하고 있는 모습을 보여주고 있다. 실험 환경은 100인치 스크린과 듀얼 빔 프로젝트를 사용한 편광방식 가상현실 디스플레이를 사용하였고 네비게이션 (Navigation)과 진동 (Vibration) 촉각 피드백을 위해 조이스틱을 제공하였다. 실험 시 카메라 2대로 피험자의 상태를 녹화해서 실험 후 분석에 사용했다.

실험에 사용된 생체신호 측정 장비는 총 4개이다. 뇌파 측정 장비는 락사사의 8채널 장비를 이용했다. 그리고 마찬가지로 심전도 측정 장비도 락사사의 3채널 장비를 이용했다. 또한 피부전도도 GSR 측정 장비는 MIT 미디어랩에서 개발한 HandWave를 이용했다. 그리고 시선추적 신호 측정 장비로는 Seeing Machine사의 Facelab version 4를 사용하였다.

3.6 실험 결과 평가 방법

교안방식에 따른 학습자의 주의상태와 기억을 평가분석하기 위해, 먼저 각각의 가상현실 체험학습 실험 전 안정 시 피험자의 생체신호를 측정하여 가상현실 실험(교안유도 방식 또는 교안비유도 방식)과 비교 분석하였다. 뇌파신호는 주의도와 관련이 큰 SEF50% 각성지수와 Beta/Alpha 작업



(그림 3) 피부전도도 도약점(Startles) 분석 그래프

부하도 지수를 이용하였다. 심전도 신호는 HRV와 RRV를 분석하였다. 그리고 피부전도도는 주의도와 상관관계가 높은 진폭과 사건단위 흥분도와 밀접한 관련이 있는 도약점의 개수를 중심으로 분석하였다.

(그림 3)에서 보여주는 피부전도도 도약점 분석과 비디오 분석을 통하여 전체 분석뿐만 아니라 실제 가상현실 실험 동안 일어난 피험자의 모든 반응 여부를 세부 분석하였다. 동시에 설문분석을 통해 피험자의 교안에 대한 기억 정도와 주의 요소 등을 분석하여 전체적인 학습효과에 관한 결과를 도출하였다.

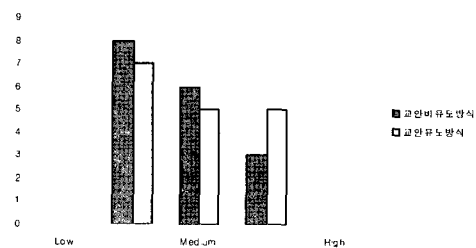
4. 결과 및 토론

4.1 학습방식에 의한 효과 비교

뇌파의 SEF50% 지수 값을 측정된 결과, 피험자 중 교안유도 방식에서 12명, 교안비유도 방식에서 4명, Error에 1명으로 대부분이 교안 유도 방식에서 더욱 높은 SEF50%값을 나타냈다. 또한 전체적인 평균 SEF50%지수 값에서도 교안유도 방식이 17.953이고 교안비유도 방식이 15.370였다. 이는 피험자가 보다 많은 주의집중을 교안유도 방식에 기울였음을 보여주는 것이다. 이 결과를 통해 교안유도 방식이 학습자의 주의 유도에 교안비유도 방식보다 더욱 효과적였음을 알 수 있었다. 그림 4에서 보듯이 가상현실 체험 교육 후 나타난 설문분석 결과에서도 교안유도 방식에서 Beta/Alpha 작업부하량 역시 좀더 높게 나타났다.

각 방식별로 학습자의 기억량을 비교해보면, 전체 피험자들이 교안유도 방식에서 50개 기억하고 교안비유도 방식에서 52개를 기억해서 전체적인 기억량의 차이는 거의 없었다. 그러나 교안유도 방식에서는 학습자가 교안 아이템을 34개 기억한 반면 교안 외 아이템은 16개 기억하여 교안 아이템을 두 배 이상 더 많이 기억했다. 하지만 이와는 반대로 교안비유도 방식에서는 교안 외 아이템을 31개 기억하여 교안 아이템을 21개 기억한 것에 비해 교안 외 아이템을 더 많이 기억했던 것을 알 수 있었다.

전반적으로 가상현실 실험 후 피험자의 기억 아이템을 조사한 결과에서 가오리와 대왕오징어가 가장 많이 기억됐고 비교적 교안 아이템에 대한 기억이 많았다. 그러나 교안유도 방식에서는 대왕오징어가 가장 높게 나오고 그 다음으



(그림 4) 피험자의 체감적 작업난이도

로 가오리와 초롱아귀의 순서로 기억을 많이 했다. 그리고 교안비유도 방식의 경우 가오리와 해마가 가장 언급이 많이 되었고 그 다음으로 대왕오징어와 엔젤피쉬 순서로 기억을 많이 했다. 해마는 특이하게도 교안 아이템도 아닌데 교안유도 방식 후 설문 조사에서 상위권에 순위되었으며 교안비유도 방식의 경우에서도 가장 많이 기억한 아이টে으로 순위되었다. 또한 주목할 점으로 학습자들이 교안유도 방식 후 교안 아이টে을 집중적으로 기억한 반면 교안비유도 방식 후 교안 아이টে 외에 주변 환경(경치나 산호초) 요소를 더 많이 기억했던 결과를 보였다.

4.2 학습순서에 의한 효과 비교

학습순서에 따라서 나타난 두드러진 결과는 기억 아이টে의 양과 종류에서의 차이다. 총 17명의 피험자들 중 교안비유도 후 교안유도 방식의 학습순서로 진행한 8명의 피험자들 중에 1명이 실험 후 설문에서 기억하는 아이টে에 대한 질문에 답변을 하지 않았음에도 불구하고, 교안유도 후 교안비유도 방식 학습순서로 진행한 학습자들 9명보다 더 많은 아이টে을 기억했다. 평균적으로 교안유도 후 교안비유도 방식의 학습순서에서 약 5.44 개의 아이টে을 기억한 반면 교안비유도 후 교안유도 방식의 학습순서에서 6.62개의 아이টে을 기억했다. 이는 교안비유도 방식이 사전 예습효과를 줘서 학습자들이 더 많이 기억할 수 있었던 것으로 보인다.

또한 설문조사로 나타난 기억 아이টে의 종류에 있어서도 전체적인 기억량에 있어서 학습순서에 따른 차이가 없었으나, 교안유도 후 교안비유도 방식의 학습자들은 교안 외 아이টে을 좀 더 기억한 반면 (전체적으로 교안 아이টে을 22번 언급하였고 교안 외 아이টে을 27번 언급하였다), 교안비유도 후 교안유도 방식의 학습자들은 교안 내용을 보다 더 많이 기억했다 (전체적으로 교안 아이টে을 33을 언급하였고 교안 외 아이টে은 20번을 언급하였다). 이는 교안유도 방식을 먼저 학습하고 나중에 교안비유도 방식으로 학습 할 때 교안 외적인 요소에 더욱 관심을 가지게 만든 것으로 보인다.

<표 2>는 학습자의 주의도와 작업난도를 보여주는 SEF50% 각성지수를 보여준다. 학습 순서별로 주의도와 밀

<표 2> 학습순서별 뇌파 SEF50% 지수

	SEF50% (평균)		평균
	교안비유도 후 교안유도 방식	교안유도 후 교안비유도 방식	
교안비유도 후 교안유도 방식	교안비유도 17.002	교안유도 18.397	17.700
교안유도 후 교안비유도 방식	교안유도 17.508	교안비유도 13.738	15.623

<표 3> 학습순서별 피부전도도 도약수

	피부전도도 도약수 (횟수)		평균
	교안비유도 후 교안유도 방식	교안유도 후 교안비유도 방식	
교안비유도 후 교안유도 방식	교안비유도 9	교안유도 4	6.5
교안유도 후 교안비유도 방식	교안유도 22.66	교안비유도 15.25	18.95

<표 4> 학습순서별 심전도 RRV LF/HF 지수

	RRV LF/HF (평균)		평균
	교안비유도 후 교안유도 방식	교안유도 후 교안비유도 방식	
교안비유도 후 교안유도 방식	교안비유도 1.1228	교안유도 1.102	1.112
교안유도 후 교안비유도 방식	교안유도 3.19	교안비유도 2.078	2.634

접히 연관되어 있는 SEF50% 평균값이 교안비유도 후 교안유도 방식일 때가 교안유도 후 교안비유도 방식의 학습순서로 진행할 때 보다 월등히 높게 나타났다. 특히 처음 가상현실 학습실험에서보다 두 번째 가상현실 학습실험에서 교안비유도 방식을 교안유도 방식에 앞서서 제시할 경우 학습자가 기울이는 주의가 교안유도 방식이 진행된 후 교안비유도 방식을 제시된 경우보다 더 높게 나타났다. 이를 통하여 교안비유도 방식의 학습이 사전예비학습으로서 효과가 있음을 알 수 있었다.

학습자의 학습태도 및 정서상태는 설문분석과 함께 생체신호 중 교감신경계 반응신호인 피부전도도 도약수(Startle)와 심전도 RRV의 LF/HF 지수를 통해 도출해내었다. <표 3>과 <표 4>에서 보이듯이 피부전도도 도약수와 RRV LF/HF 지수가 모두 교안비유도 후 교안유도 방식의 학습순서로 진행했을 때보다 교안유도 후 교안비유도 방식으로 학습했을 때보다 약 2~3배 높게 나타났다. 이는 피험자가 흥분, 긴장, 스트레스, 및 피로함을 느꼈음을 보여주는 것이다.

설문 분석을 통해서 나타난 피험자의 체감 피로도도는 교안비유도 후 교안유도 방식의 학습순서로 실험을 진행했을 때가 교안유도 후 교안비유도 방식으로 진행했을 때보다 월등히 피로도가 낮다고 느끼고 있었다. 교안유도 후 교안비유도 방식에서 7명이 피로도가 높다고 대답한 반면, 교안비유도 후 교안유도 방식에서 3명이 피로도가 높다고 대답하였다. 피험자의 체감 현존감(Presence) 역시 교안비유도 후 교안유도 방식의 학습순서로 진행했을 때가 교안유도 후 교안비유도 방식의 학습순서로 실험을 진행했을 때보다 훨씬 더 높게 나타났다. 위의 결과들을 종합하면 교안비유도 후 교안유도 방식의 학습순서에서 학습자들이 더욱 쉽고 재미있고 현존감을 느끼며 학습했던 것을 알 수 있었다. 또한 학습결과인 기억량에서도 더욱 좋은 결과를 보여주고 있다.

4.3 자극요소에 의한 효과 비교

추가로, 피부전도도의 도약 시점분석을 통해서 세부 자극이 가상현실 교육환경에서 피험자 주위에 미치는 영향을 평가해 보았다. 이 분석을 위하여 피부전도도 도약시점의 해당 비디오 분석을 통해 피험자에게 벌어진 각종 이벤트를 분석하였다. 이벤트 분석에서 해당 자극 요인을 도출하여 도약시점의 수와 도약의 가장 높은 진폭에 해당하는 시점에 최고치의 가중치를 주어 가장 낮은 진폭까지 순차적으로 가중치를 두게 되어 각각의 자극 요소별 영향력 지수(Impact point)를 도출하였다. 공식 1은 자극 요소별 영향력 지수를 나타낸다. I(N)은 자극요소 N의 영향력 지수이다.

$$I(N) = \sum_{i=1}^n N_{(n+1-i)}^i, \quad n = \text{maximum number of GSR startles (공식 1)}$$

<표 5> 자극요소별 피부전도도 도약수와 영향력지수

자극요소	피부전도도 도약수(횟수)	영향력지수 I(N)
가오리 (진동 촉각)	14	103
시점변화 (잠수함 이동시)	12	83
엔젤피쉬 (밝은 색상)	13	76
가자미 (소리 자극)	12	69
대왕오징어 (추격상황)	8	54
해마	6	40
초롱아귀	6	31

<표 5>는 자극 요소별 영향력 지수를 피부전도도 도약수와 비교한 결과를 보여주고 있다. 피부전도도를 통한 분석과 설문분석을 통한 자극 요소별 영향력 지수는 서로 약간씩 차이가 있었으나 전체적으로 유사했다. 세부 자극요소별 주의도 결과는 전기가오리에서 발생하는 촉각적 진동요소가 가장 피험자의 주의를 끄는데 있어 영향력이 높은 것으로 드러났다. 이는 설문 분석에서도 마찬가지로 상위권에 순위되었다.

대륙붕에서 피험자의 잠수함이 심해로 떨어지는 부분과 마지막 부분에서 심해에서 대륙붕으로 올라오는 갑작스런 시선변화를 유도한 이벤트에서 피부전도도 분석에서 두 번째로 높은 영향력 지수를 나타내었다. 또한 엔젤피쉬의 움직임과 선명한 밝은 색상요소가 주의를 끄는데 상당히 영향력이 높은 요소로 나타났다. 피부전도도 분석에서 영향력 지수가 3위로 높았으며 설문분석에서도 1위와 2위에 각각 움직이는 물체와 밝고 선명한 색상 등의 요소가 주의를 끄는데 영향력이 높은 요소로 나타났다.

대왕오징어 추격상황 또한 주의를 유도하는데 중요한 요소로 나타났다. 시선추적장치로 측정된 시점 패턴을 분석해 본 결과 대부분 피험자들의 시선이 대왕오징어를 따라서 움직이고 있는 모습을 보였다. 대왕오징어 이벤트에서는 피험자의 왼쪽에서 갑자기 오징어가 나타나서 먹물을 뿌린 후 오른쪽 바위 뒤로 재빨리 도망가는 상황을 보여주었는데, 실험관찰에서도 대부분의 피험자들이 이 도망가는 대왕오징어를 잡으려고 안간힘을 썼던 것을 알 수 있었다.

그런데 대왕오징어 이벤트 구간에서 피험자들이 교안유도 방식에서 교안비유도 방식에서보다 SEF50% 지수가 훨씬 높게 나타났다. 이는 대왕오징어를 관찰하라는 선명한 목표가 텍스트와 음성으로 제공될 때 보다 동기화가 되어 대왕오징어를 추적했기 때문으로 보인다. 비디오 분석을 통해 살펴보아도 많은 피험자들이 대왕오징어 추격상황에서 많은 주의를 기울였음이 나타났다. 피험자들이 실험 후 가장 많이 기억한 아이템이 또한 가오리와 대왕오징어로 위의 결과를 뒷받침해주고 있다.

특이한 생김새와 행동요소도 피험자의 주의를 유도하고 동시에 기억을 강화시키는데 중요한 요소임이 이번 실험을 통해 드러났다. 그러나 예상외로 많은 피험자들이 교안 아이템이 아닌 해마를 많이 기억했으며 즉석사진에 찍힌 횡수와 기억아이템 분석에서도 상위권에 분포하고 있었다. 그리고 많은 피험자들이 해마의 특이한 생김새와 물속에서 움직이지 않고 등등 떠 있는 모습을 기억했다.

5. 결 론

본 연구에서 가상현실 학습방식과 학습순서에 따른 학습 효과가 있음을 밝혀냈다. 특히 교안비유도 방식의 가상현실 학습을 교안유도 방식 앞에 배치하여 학습을 진행했을 때 먼저 한 교안비유도 방식이 상당한 사전예비학습 효과를 가져와 학습자들이 보다 많은 주의를 기울이며 동시에 학습 후 기억양도 많았고 기억 아이템도 교안에 해당하는 내용으로 집중되어 있었다. 이는 교안비유도 방식에서 학습자들이 자유롭게 관심분야를 두루 탐색하며 사전예비지식을 경험한 후 교안유도 방식의 학습에서 교안에 대한 집중적이며 효율적인 학습을 가능케 한 것으로 평가된다. 이런 학습순서에서 학습자들이 느끼는 체감적 피로도도 훨씬 낮았으며 학습자들이 보다 쉽게 학습을 진행할 수 있음을 알 수 있었다. 가상현실 현존감도 마찬가지로 교안비유도 후 교안유도 방식으로 학습을 진행했을 때가 훨씬 높았다.

전체적인 교안유도 방식과 교안비유도 방식과의 비교분석에서는 교안유도 방식이 교안비유도 방식보다 좀 더 학습자의 주의를 유도하였고 동시에 학습자에게 정신적 작업부하를 좀 더 많이 주는 것으로 나타났다. 이는 교안유도 방식에서 사용한 질문 문장과 음성 설명을 통한 학습목표의 구체적인 제시가 학습자에게 확실한 목표를 주어 동기부여를 통해 보다 주의를 기울이게 한 것으로 보인다. 이와 동시에 작업부하도도 교안비유도 방식보다 더 높게 나타났다.

하지만 교안유도 방식과 교안비유도 방식 중 어느 것 한 가지만 선택하기에 기회비용(Trade off)이 따른다. 교안비유도 방식이 가지는 장점으로는 학습자에게 선명한 학습 목표를 제공하지 않아서 자율적인 학습을 가능케 함으로써 체감 흥미가 높았다. 그리고 교안비유도 방식이 앞서 언급한 것처럼 상당한 사전예비학습 효과를 가져다주기 때문에 교안비유도 방식과 교안유도 방식의 순서로 함께 조합해서 가상 학습에 사용할 때 학습자에게 주의도나 기억량에 있어 훨씬 효율적인 학습이 가능한 것으로 보인다.

또한 촉각 자극인 진동과 급격한 시점 변화 그리고 움직이는 물체와 선명하고 밝은 색상과 추격상황과 특이한 생김새와 움직임 등의 요소들이 학습자의 주의를 유인하고 동시에 학습자의 학습내용 기억을 강화시키는 요소임을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] F. Mantovani, "VR Learning: Potential and Challenges

for the Use of 3D Environments in Education and Trainings”, CyberPsychology, 2003.

[2] Andrew Johnson, Thomas Moher, Stellan Ohlsson, and Mark Gillingham, “The Round Earth Project-Collaborative VR for Conceptual Learning”, IEEE Computer Graphics and Applications, 0272-1716/99, 1999.

[3] Jang Han Lee, “Virtual Reality and Psychology” Korean Journal of Psychology. vol 23, No. 2, 2004.

[4] B.-H. Cho et al., “Attention Enhancement System using Virtual Reality and EEG Biofeedback”, Proceedings of the IEEE Virtual Reality , 2002.

[5] H. Yee, S. Pattanaik and D.-P. Greenberg. “Spatiotemporal Sensitivity and Visual Attention for Efficient Rendering of Dynamic Environments”. ACM Transactions on Graphics, Vol. 20, Pages 3965. No. 1, 2001.

[6] K.-M. Spencer and J. Polich. “Poststimulus EEG spectral analysis and P300: Attention, task, and probability”. Psychophysiology, 36, 220-232. 1999.

[7] S.-I. Hjelm, C. Browall. “Brainball using brain activity for cool competition”. Media lab Europe.

[8] G. Schwarz. “Specific Problems in Interpretation of Absolute Values of Spectral Edge Frequency (SEF) in comparison to Bispectral Index (BIS) for Assessing Depth of Anesthesia”. The Internet Journal of Neuromonitoring ISSN: 1531-300X.

[9] C. K. Tripathi, C. Mukundan, T. L. Mathew. “Attentional modulation of heart rate variability (HRV) during execution of PC based cognitive tasks”. Ind J Aerospace Med 47(1), 2003.

[10] D. Chen and R. Vertegaal. “Using Mental Load for Managing Interruptions. Physiologically Attentive User Interfaces”, 2004.

[11] J. A. Healey. “Wearable and Automotive Systems for Affect Recognition from Physiology”. PhD thesis at the MIT, 2000.

[12] A. T. Duchowski. “A Breadth-First Survey of Eye Tracking Applications”, Behavior Research Methods. Instruments, & Computers (BRMIC), 34(4), November, pp.455-470, 2002.

[13] S. T. Iqbal, X.-S. Zheng and B.-P. Bailey. “Task-Evoked Pupillary Response to Mental Workload in Human-Computer Interaction”. CHI 2004, April 2429, Vienna, Austria. ACM 1-58113-703-6/04/0004, 2004.

[14] Yggdrasil Tutorial <http://www.evl.uic.edu/yg/overview.html>

박 경 신



e-mail : kpark@dankook.ac.kr
 1991년 덕성여자대학교 수학과(이학사)
 1997년 University of Illinois at Chicago
 전기전자컴퓨터학과(공학석사)
 2003년 University of Illinois at Chicago
 컴퓨터과학과 (공학박사)
 2004년 MIT Media Laboratory,

방문연구원(Visiting Scientist)
 2004년~2007년 한국정보통신대학교 디지털미디어연구소
 연구교수
 2007년~현재 단국대학교 멀티미디어공학 전임강사
 관심분야: 고성능 협업환경, 가상현실, HCI, 유비쿼터스 컴퓨팅,
 게임, 인터랙티브 학습 환경, 감성공학

구 자 영



e-mail : bucsu@icu.ac.kr
 2003년 8월 연세대학교 생활디자인학과
 주거환경학과 졸업(이학사)
 2006년 2월 한국정보통신대학교 공학부
 대학원 디지털 미디어 전공(공학석사)
 2006년~2007년 동부정보기술 컨설팅

사업부
 2007~현재 동부CNI 미래기술연구소 연구원
 관심분야: 가상현실, HCI, BCI(Brain Computer Interaction),
 디지털 미디어