

확장현실 기반 사시 진단 시뮬레이션에서의 수행평가 설계 및 개발

김 다 은¹ · 류 지 현^{2*}¹전남대학교 교육학과 석사과정²전남대학교 교육학과 교수

Design and Development of a Performance Assessment in an Extended Reality-Based Strabismus Diagnosis Simulation

Daeun Kim¹ · Jeeheon Ryu^{2*}¹Master's Course, Department of Education, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea²Professor, Department of Education, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea

[요 약]

이 연구의 목적은 보건의료 분야에서 활용될 수 있는 확장현실 기반 사시 진단 훈련 시뮬레이션을 개발하는 것이다. 보건의료 훈련에서는 지식의 기억보다는 수행을 통한 실습과제가 중요하며, 이를 바탕으로 한 학습자의 수행 평가 체계 또한 필수적이다. 그러나 학습자의 행동을 분석하여 정확도를 분석하는 것은 상당한 시간과 노력이 필요하며, 이 연구는 이러한 요구를 반영한 시뮬레이션의 설계와 개발 절차를 제시하고자 했다. 이 연구에서는 확장현실 시뮬레이션에서 학습자의 손동작을 측정하고 수행 수준을 평가할 수 있는 방법을 설계하여 적용했다. 22명의 의과대학 학생들이 연구에 참여했으며, 이들은 사시를 진단하는 실습 과제를 수행하였다. 참가자들의 수행 중 행동 데이터를 수집하였으며, 제안된 과제별 평가 메트릭을 적용하였다. 이 연구는 정교한 수행 작업이 요구되는 사시 진단에 대해 확장현실 기반 시뮬레이션의 행동평가 체계를 제안하였다는 점에 의의가 있다.

[Abstract]

This study aims to develop an extended reality-based simulation for the diagnosis of strabismus, intended for use in healthcare training. In healthcare education, practical experience is more critical than the mere memorization of knowledge, highlighting the importance of an assessment system that evaluates learner performance. However, designing methods to accurately measure performance and assess behaviors is a complex and time-consuming task. To address this challenge, simulations must be created to both refine and assess skills. This study designed and developed a method to evaluate hand movements and overall performance within extended reality simulations. Twenty-two medical students participated in practical exercises for diagnosing strabismus in ophthalmology, during which behavioral data were collected and task-specific evaluation metrics were applied. The significance of this research lies in its introduction of a novel approach to performance evaluation within extended reality-based simulations, specifically for strabismus diagnosis, where precision is essential.

색인어 : 보건의료 시뮬레이션, 수행평가, 확장현실 시뮬레이션, 사시, 행동데이터**Keyword** : Healthcare Simulation, Performance Assessment, Extended Reality Simulation, Strabismus, Behavioral Data<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2024.25.10.2773>

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 01 September 2024; Revised 07 October 2024

Accepted 11 October 2024

*Corresponding Author; Jeeheon Ryu

Tel: +82-62-530-2353

E-mail: jeeheon@jnu.ac.kr

1. 서론

1-1 확장현실과 보건의료

확장현실(eXtended Reality: XR)은 가상현실, 증강현실, 혼합현실을 모두 포괄하는 개념으로 설명하기도 한다[1]. 그러나 좁은 의미에서는 현실과 가상을 서로 중첩하는 기술을 의미하기도 한다[2],[3]. 기술적인 측면에서 확장현실은 컴퓨터가 생성한 가상 객체를 실제 학습 장면과 중첩하여 제시함으로써, 사용자는 물리적 세계와 가상 세계를 동시에 경험할 수 있다[4]. 이와 같이 확장현실은 실물과 가상 객체가 상호작용 할 수 있어서 작업환경과 그래픽 가상현실을 잘 어울릴 수 있도록 만들 수 있다. 이런 특징은 학습 장면에 대한 맥락성을 높일 수 있다는 장점이 된다. 확장현실 기술을 적절하게 활용한다면 학습자가 보다 자연스럽게 실제 적용 장면에서 컴퓨터와 상호작용을 하면서 학습을 경험할 수 있다.

확장현실은 실물과 가상 객체의 결합이 가능하기 때문에 실물이 제공되는 현장에서도 상호작용을 경험할 수 있다. 그래서 확장현실 기반의 시뮬레이션은 현장감 높은 학습경험을 제공할 수 있다. 이런 확장현실의 이러한 현장 중심의 접근을 고려한다면 보건의료 분야에서 매우 높은 활용성을 보일 수 있다. 보건의료 분야에서 확장현실을 적용함으로써 그동안 전통적으로 적용된 실습환경을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

시뮬레이션은 학습자가 모의 훈련을 통해서 반복연습을 할 수 있도록 도와주는 환경이다[5]. 일반적으로 시뮬레이션은 항공 기술과 같이 고도의 숙달이 필요한 분야에서 폭넓게 활용되고 있다. 특히, 보건의료 분야의 기본적인 기술 습득을 위해서 발달되어 왔다. 시뮬레이션 기반의 훈련 환경은 실제 임상 환경을 모방하기 때문에 보건의료인들이 미리 해당 상황에 대해 대처할 수 있는 능력을 기를 수 있도록 돕는다[6]. 시뮬레이션을 통한 반복적인 숙달 경험은 보건의료 실질적인 기술과 지식을 습득하는 데 도움이 될 수 있는데[7], 이러한 보건의료 시뮬레이션의 주요한 특징 중 하나는 수행이 중심이 된다는 점이다.

전통적으로 보건의료 분야에서의 시뮬레이션은 현장감을 높이기 위해서 고충실도(high-fidelity) 시뮬레이션이나 실제 배우를 활용했다. 그러나 모든 실습 활동에서 이런 유형의 시뮬레이션 사용이 가능한 것은 아니다. 다시 말해 여건에 따라 실제와 유사한 상호작용을 하기 위해서 배우를 고용하거나 고충실도 시뮬레이션을 사용하는 것이 어렵기도 하다[6]. 그럼에도 불구하고 보건의료 분야에서 이런 방법을 강조하고 있는 것은 실습 중심의 활동이 매우 중요하게 인식되고 있기 때문이다.

표준화 환자를 적용하기 어려운 상황을 대비해서 가상 표준화 환자(virtual standardized patient)의 사용이 제시되고 있기도 하다[8]. 가상표준화환자는 실제 표준화 환자와 비교

했을 때, 실제 인간과의 상호작용에서 발생하는 미묘한 차이를 완전히 모방할 수 없다는 단점을 갖고 있다. 그러나 정확하고 즉각적인 피드백, 반복 가능성, 가상 접근성 측면에서 그 유용성을 입증하여 미래 의료 교육의 필수 요소로 자리 잡았다[6]. 이와 같은 시뮬레이션과 수행 중심 평가의 발전은 의료인들이 실제 임상 환경에서 필요한 종합적인 능력을 습득하고 발전시키는 데 크게 기여하고 있다. 이를 통해 보건의료 분야에서의 교육과 훈련이 한층 더 효과적이고 효율적으로 이루어질 수 있다.

1-2 보건의료 분야의 수행 평가와 확장현실

보건의료 분야에서는 실습이나 직접적인 수행이 매우 중요한 요소이다. 수행 중심의 훈련은 의료 전문가들이 임상 환경에서 기술을 정확하게 적용하고 환자 안전을 보장하는 데 중요한 역할을 하기 때문이다. 그래서 보건의료 분야의 시뮬레이션에서는 반복적인 연습을 통해서 실제 수술 시 발생할 수 있는 위험을 최소화하기 위해서 노력한다[9]. 그래서 보건의료 분야에서의 시뮬레이션에서는 수행 중심의 평가는 학습자가 실제 상황에서 얼마나 효과적으로 지식을 적용하고 기술을 수행할 수 있는지를 평가하는 데 중점을 두고 있다. 특히 시뮬레이션을 통한 다양한 수행 능력 평가의 중요성이 강조됨에 따라 다차원적인 수행 평가 방식이 개발되고 있다.

Hillemans 외는 손 추적을 통해 외과 수술 수행 평가 시스템을 개발하였다[7]. 특히 최소침습수술과 같은 정밀도를 요하는 술기는 많은 훈련이 필요하며, 훈련생의 수행 능력을 평가하는 과정이 중요하다. 이들은 웹캠을 활용한 동작 추적 기술을 통해 수술 시뮬레이션 동안의 손 움직임을 추적하고 훈련생의 수행을 평가하는 시스템을 개발하였고, 이 시스템을 통해 전문가와 초보자를 구별할 수 있음을 검증하였다.

간호 분야에서도 훈련 과정에서 어떤 상호작용을 하는가에 대한 분석 도구 등이 개발되어 활용되고 있다. Vatrál 외는 간호 수행에 대해 다중양식 분석을 수행하였다[10]. 이 연구에서는 간호사가 훈련할 때 수집한 비디오, 음성 및 시선 추적 데이터를 결합하여 분석하였으며, 이를 통해 개발된 통합 프레임워크를 검증함으로써 증거 기반 피드백을 통한 학습자 행동 촉진 방안을 제안하였다. 이와 같은 데이터 기반의 수행 평가의 중요성을 바탕으로 기계학습과 같은 새로운 기술과 결합되어 평가 자동화를 구현되기도 하였다[11].

안과 시뮬레이션은 주로 위험성이 높은 수술 절차에 초점을 맞추고 있으며, 특히 백내장 수술에 대한 연구와 보고가 광범위하게 이루어져 왔다[12], [13]. 안과 분야에서는 정확한 진단과 수술이 환자의 시력 회복에 직접적으로 영향을 미치기 때문에, 임상 전 시뮬레이션 교육에서 학습자의 숙련도를 체계적으로 평가하는 과정은 필수적이다[14]. Cisse 외는 가상현실 기반 백내장 수술 시뮬레이터에서 학습자의 수행을 평가하기 위한 메트릭을 개발하였다[15]. 이 메트릭은 학습 목표 달성 여부, 효율성, 기기 조작, 도구 활용의 5가지 기준

을 포함하여 오류에 따라 점수가 차감되는 방식으로 수행 점수를 계산한다.

한편, 사시 진단과 수술은 복잡성으로 인해 반복적인 훈련과 평가가 중요한 영역 중 하나이다. Moon 외는 가상현실 기반 환경에서 학습자의 사시 진단 정확도와 수행 능력을 평가하기 위한 시뮬레이션을 개발하였다[16]. 이들은 3인칭 시점의 평가 화면을 구성하여 사시 전문의가 평가 루브릭에 따라 학습자의 수행을 점수화하는 방식을 도입하였다. 사시 진단은 숙련된 소아 안과 전문의와 사시 전문의의 직접 감독하에 교육되는 경우가 많다[13]. 이러한 점에서 시뮬레이션에 손 추적 기술 등을 활용하여 손의 각도나 위치 등의 정량화된 수행 데이터를 수집하고 분석하는 등의 방법[17]을 적용함으로써 사시 진단의 정확성을 높이고 학습자의 수행을 보다 객관적으로 평가할 필요가 있다.

확장현실 기반의 훈련 시뮬레이션은 하드웨어를 통해 수행 데이터를 수집하고 분석할 수 있다. 수집된 데이터를 활용해서 학습자의 수행 능력을 체계적으로 분석해서 평가한다면 수행 과정에서 발생하는 문제점을 더 정밀하게 활용할 수 있을 것이다[18]. 확장현실 기반의 시뮬레이션에서 이러한 행동 데이터를 어떻게 수집해서 적용할 것인가는 보건의료 시뮬레이션을 설계하고 개발하는 데 매우 중요한 시사점을 제공한다. 특히 확장현실 환경에서 수집한 정보를 바탕으로 학습자의 수행을 분석하는 것은 학습자에게 개인화된 학습경험 및 탐색의 기회를 준다는 점에서 의의를 가진다.

1-3 보건의료 분야 확장현실 시뮬레이션의 수행 평가 유형

보건의료 분야에서 활용되고 있는 확장현실 시뮬레이션의 수행 평가는 정량적 평가와 정성적 평가로 구분된다[19]. 정량적 수행 평가는 주로 데이터 수집과 분석을 통해 학습자의 기술 숙련도, 반응 시간, 오류율 등을 객관적으로 측정하는 방법이다. 이러한 평가는 학습자의 능력을 수치화하여 비교할 수 있게 하며, 학습의 효과를 명확히 파악할 수 있다. 예를 들어, 시뮬레이션 환경에서 학습자가 특정 절차를 수행하는 데 소요된 시간이나 정확도를 측정하여 평가하는 것이 이러한 유형에 해당한다.

정성적 수행 평가는 학습자의 경험과 반응을 심층적으로 분석하는 방법으로, 주로 관찰, 인터뷰, 설문조사 등을 통해 이루어진다. 이 평가는 학습자의 주관적인 경험과 인식을 바탕으로 교육의 질을 평가하며, 학습자 개인의 학습 과정을 깊이 있게 이해할 수 있게 한다. 예를 들어, 시뮬레이션 후 학습자의 피드백을 수집하여 교육 내용의 적합성, 시뮬레이션의 현실감, 학습자의 몰입도 등을 평가할 수 있다.

정량적 평가와 정성적 평가 모두 정량적 평가는 객관적인 데이터를 통해 교육의 효율성을 입증할 수 있으며, 정성적 평가는 학습자의 주관적 경험을 반영하여 학습의 질을 높일 방안을 모색하는 데 유용하다[13]. 따라서, 보건의료 분야 확장현실 시뮬레이션에서의 수행 평가는 다양한 평가 방법을 통

합하여 종합적인 평가를 실시하고, 학습자에게 적절한 피드백을 제공하는 것이 중요하다.

1-4 연구목적

이 연구는 보건의료 분야에서 활용될 수 있는 확장현실 시뮬레이션을 개발할 때 학습자의 수행 평가를 어떻게 적용할 것인지를 확인하기 위한 것이다. 즉, 보건의료 분야에서 수행 중심의 시뮬레이션을 개발하기 위해서는 학습자의 행동 요인을 어떻게 측정해서 적용할 것인가에 대한 연구가 필요하다. 즉, 수행 중심 시뮬레이션에서 학습자의 행동을 평가하기 위한 방법을 적용해 보기 위한 것이다.

이 연구의 목적은 확장현실 기반의 시뮬레이션을 개발할 때, 사용자의 수행 수준을 반영하고 평가할 수 있는 모듈을 어떻게 개발할 것인지를 제시하기 위한 것이다. 여기에서는 안과 전공에서 활용될 수 있는 사시 진단 훈련 시뮬레이션을 활용해서 확장현실에서 어떻게 수행 평가를 적용할 것인가를 제시할 것이다.

세부적인 이 연구목적은 다음과 같다.

- 첫째, 확장현실 기반의 보건의료 시뮬레이션을 개발한다.
- 둘째, 손동작에 대한 수행 평가를 위한 함수를 도출한다.
- 셋째, 사용자의 수행 수준을 평가한다.

II. 연구방법

2-1 확장현실 기반 사시 진단 시뮬레이션 개발

1) 개발 절차

이 연구에서 개발되는 보건의료 분야의 확장현실 시뮬레이션은 사시 진단 시뮬레이션이다. 이 시뮬레이션은 안과 전공생을 위해서 가상환자의 안구 제한 여부를 확인하고 사시 유형과 각도를 진단하기 위한 것이다. 사시 진단을 위해서는 표 1과 같은 세부 과제를 중심으로 전체 시뮬레이션 시나리오를 구성했다.

표 1. 시뮬레이션 구성

Table 1. Simulation tasks

No.	Task	Objectives
1	Ocular Motility Test	To test the virtual patient's ocular motility by moving the fixation stick
2	Cover-Uncover Test	To diagnose the virtual patient's type of strabismus by using the occluder
3	Prism Cover Test	To diagnose the virtual patient's type of strabismus and angle of deviation by using the prisms.

사시 진단의 유형 및 시나리오는 Moon 외가 개발한 가상 현실 기반의 사시 진단 시뮬레이션을 토대로 안구 운동성 검사, 가림-안가림 검사, 프리즘 가림 검사로 구분하였다[21]. 이후, 확장현실 환경에서 훈련 시뮬레이션을 수행하기 위해 사용자 인터페이스 및 상호작용을 개발하였고, 이와 같은 설계 및 개발 과정은 안과 전공의 1인의 전문가 자문을 받아 진행되었다.

시나리오별로 난이도를 구분하기 위해 이중과제를 학습자 과제 수행 중 제시하도록 설계하였다. 이중과제는 과제 수행은 유지하면서도 추가 작업을 병렬적으로 제시함으로써 과제의 난이도를 조절할 수 있다[20],[21]. 이중과제는 일반적으로 단어를 기억하며 역순 숫자 암기와 같은 인지-인지 과제[20]나 자전거를 타면서 수학 문제를 해결하는 등의 인지-운동 과제[22]의 유형으로 구분될 수 있다. 이 시뮬레이션에서는 학습자가 가상 환자의 사시 진단을 수행하면서도 시뮬레이션과 별도로 학습자의 좌측에 태블릿을 비치하여 일정한 간격으로 숫자를 암기하는 과제를 제공함으로써 이중과제를 적용하였다. 낮은 난이도의 과제는 6초 간격으로 제시되는 세 자리의 숫자에서 숫자 3의 개수 총합을 기억하도록 하였고, 높은 난이도의 과제는 6초 간격으로 제시되는 세 자리의 숫자에서 숫자 3, 6, 9의 개수 총합을 기억하도록 지시하였다.

2) 개발 환경

이 연구는 확장현실 기반 시뮬레이션 환경을 구현하기 위해 Microsoft 사의 확장현실 헤드셋인 HoloLens 2를 활용하였다. 이 장치는 사용자가 실세계에서 가상 객체와 상호작용을 할 수 있는 몰입감 높은 환경을 제공하여, 현실감 있는 진단 시뮬레이션을 가능하게 한다. 개발 플랫폼으로는 3D 게임 엔진인 Unity를 활용하였으며, HoloLens 2 기반의 확장현실 환경 구현을 위해 Microsoft사에서 제공하는 혼합현실 툴킷(Mixed Reality Toolkit, MRTK)을 적용하였다.

2-2 시뮬레이션 내 수행 평가 설계

1) 수행 평가 메트릭 개요

이 연구에서는 학습자가 사시 진단 시뮬레이션 수행 결과를 평가하기 위해 세 가지 과제에 대한 평가 메트릭을 개발하였다. 각 과제는 안구 운동성 검사, 가림-안가림 검사, 프리즘 가림 검사로 구성되어 있으며, 이를 통해 학습자의 진단 능력과 정확성을 측정했다. 평가 항목은 성취도, 수행 시간, 수행 정확도로 구분되며, 각 항목에 대해 구체적인 평가 기준을 표 2와 같이 설정했다. 성취도는 사시 진단 과제 수행에 대한 것으로 안구 운동 범위와 사시의 위치 및 유형에 대한 평가 결과를 의미한다. 수행 시간은 각 과제 수행에 소요된 시간이며, 수행 정확도는 수집된 행동 지표를 바탕으로 하였다.

표 2. 수행 평가 메트릭

Table 2. Metric of performance evaluation

Task	Evaluation Criteria	
Ocular Motility Test	Achievement	Correctly assessed ocular motility
	Task Duration	Total time taken to perform the task
	Performance Accuracy	Percentage of time the diagnostic tool is within 30 cm of the virtual patient
Cover-Uncover Test	Achievement	Correctly identified the position and type of strabismus
	Task Duration	Total time taken to perform the task
	Performance Accuracy	Percentage of patients staring into the eye while holding the cover
Prism Cover Test	Achievement	Correctly measured the angle of strabismus
	Task Duration	Total time taken to perform the task
	Performance Accuracy	Percentage of time the prism angle is within 80-100 degrees

2) 학습자 수행 측정 함수의 구현

이 연구에서는 사시 진단 훈련 시뮬레이션에서 양손의 엄지손가락과 검지손가락 움직임에 통해 진단의 정확성을 평가하는 시스템을 구현하였다. 이 시스템이 적용된 과제는 프리즘 가림 검사로, 사시 진단의 정확한 각도를 측정하는 데 프리즘의 각도는 매우 중요하다는 점에서 착안하였다.

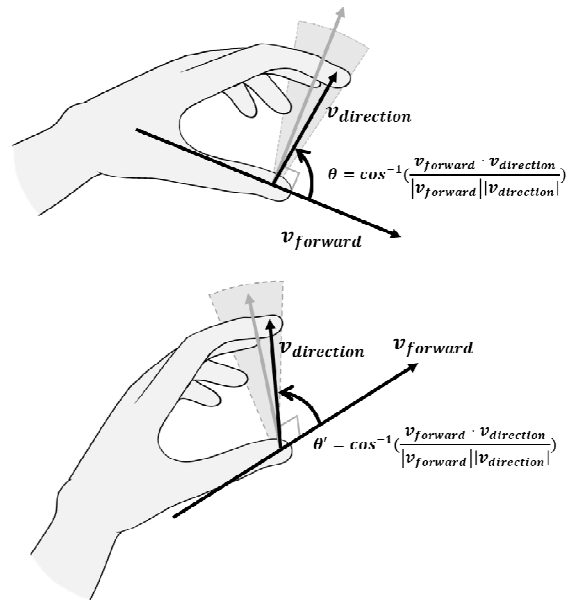


그림 1. 프리즘 가림 검사 수행 평가 함수 구현 방법
Fig. 1. Function of prism task performance

양손의 엄지손가락과 검지손가락 끝부분의 위치는 시뮬레이션의 프레임 단위로, 지속적으로 업데이트된다. 엄지손가락과 검지손가락 끝 사이의 각도를 계산하기 위해 엄지손가락 끝에서 검지손가락 끝으로 향하는 방향 벡터를 계산한 후, 이

방향 벡터와 엄지손가락 끝의 전방 방향 벡터 사이의 각도를 벡터의 내적과 크기를 이용하여 다음과 같이 구한다.

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{v_{forward} \cdot v_{direction}}{\|v_{forward}\| \|v_{direction}\|} \right) \quad (1)$$

수식에서 $v_{forward}$ 는 엄지손가락 끝의 전방 방향 벡터이며, $v_{direction}$ 는 엄지손가락 끝에서 검지손가락 끝으로 향하는 벡터로, $P_{index} - P_{thumb}$ 로 계산된다. $\|v_{forward}\|$ 와 $\|v_{direction}\|$ 는 각각 벡터 $v_{forward}$ 와 $v_{direction}$ 의 크기(노름)이다. 위와 같은 측정 함수를 통해 위 수식을 통해 엄지손가락과 검지손가락 끝 사이의 각도 θ 를 구할 수 있으며, 이 각도는 손의 동작을 분석하고 학습자의 프리즘 조작을 평가하는 데 중요한 지표로 사용된다.

2-3 자료 수집

1) 실험 대상

이 연구에 참여한 학생들은 의과대학생 22명(남=14명, 여=8명)이었다. 이들은 안과 전공과목에 대한 실습 과정의 일환으로 실험에 참여했다. 이들은 광역시 소재 국립대학교 의과대학에 재학 중인 본과 3, 4학년 학생으로, 모두 사시 관련 전공 이론 수업을 수강 및 실습 경험이 있다. 참여자들은 교내 홍보를 통해서 모집되었다. 실험 참가에 대한 소정의 비용이 제공되었다(연구윤리심의번호: 1040198-221021-HR-128-02).

2) 실험 절차

실험에 앞서 실험 참가자가 이중과제 및 확장현실 기반 환경에 대해 익숙해지기 위해 HoloLens 2를 착용하고 물체를 조작하면서 이중과제를 수행하는 연습을 약 10분간 진행하였다. 이후 정확한 생체 데이터 수집을 위하여 시선 추적에 대한 캘리브레이션을 진행하였다. 실험 환경은 그림 2와 같다. 학습자의 주의분산 요소를 최소화하기 위해 크로마키 천을 배치하였으며, 실험 참가자의 시야에서 벗어난 곳에서 실험 진행자가 실시간으로 실험 참가자의 수행 장면을 확인하였다.

이 실험에서는 1인의 실험 참가자에 대해 시나리오(안구 운동성 검사, 가림-안가림 검사, 프리즘 가림 검사)와 이중과제의 난이도(상, 하)에 따라 총 6개의 과제를 수행하도록 하였다. 과제의 난이도에 따른 순서효과를 배제하기 위해 11명의 실험 참가자에 대해서는 높은 난이도의 과제 3개를 먼저 부여하였으며, 나머지 11명의 실험 참가자는 낮은 난이도의 과제 3개를 먼저 수행하도록 하였다.

참가자가 과제를 수행하는 동안 실시간으로 사용자의 행동 데이터(머리, 시선, 손의 위치 및 회전값)가 추출된다. 또한 과제별로 주요 오브젝트를 지정하여 사용자가 오브젝트를 쥐고 있는지의 여부와 오브젝트의 위치 및 회전값을 수집하였

다. 각 과제별로 참가자가 진단이 끝났다고 판단되었을 때 데이터 행동 데이터 수집을 종료하였으며, 이후 참가자는 진단한 사시의 유무, 유형을 응답하였다.



그림 2. 실험 환경
Fig. 2. Experiment setting

2-4 자료 분석

이 연구의 핵심적인 내용은 프리즘 가림 검사의 수행 평가에 대한 함수 구현을 적용하기 위한 것이다. 과제를 수행하는 동안 수집된 학습자의 행동 데이터를 분석하기 위해 2-2에서 제안한 평가 메트릭을 적용하였다. 성취도의 경우 각 과제별 참가자가 진단한 사시의 유무, 유형에 대해 정답 여부이며, 수행 시간은 과제를 시작한 후 참가자가 진단이 종료되었다고 판단되었을 때까지의 시간으로 산출하였다. 수행 정확도는 각 과제별로 수집된 참가자의 행동 데이터를 분석하여 산출하였다.

III. 연구결과

3-1 안구 운동성 검사

개발된 사시 진단 훈련 시뮬레이션은 크게 안구 운동성 검사, 가림-안가림 검사, 프리즘 가림 검사의 세 과제로 구성된다. 먼저 안구 운동성 검사(ocular motility test)는 9개의 기본 주시 방향으로 움직일 수 있는 데까지 안구를 이동시켜 안구 운동의 제한이 있는지를 확인하는 검사다. 개발된 시뮬레이션에서는 그림 3과 같이 막대 끝에 큐브 형태의 물체에 대해 가장 환자의 시선이 따라가도록 구현되었다. 만약 사시 증상이 있다면 시선이 따라가는 범위는 일부 제한된다.

안구 운동성 검사는 제한된 범위(30 cm) 내에서 안구의 운동성을 평가하는 것을 목표로 한다. 학습자가 쥐고 있는 진단 도구와 손의 움직임은 실시간으로 기록되며, 학습자는 진

단을 마친 후, 가상환자의 안구 운동성의 이상 여부를 제출해야 한다.

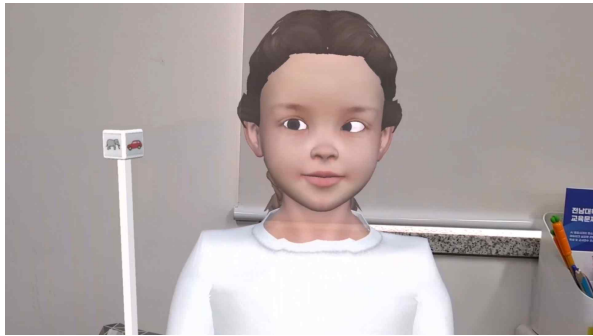


그림 3. 안구운동성 검사 장면
Fig. 3. Ocular motility test scene

3-2 가림-안가림 검사(Cover-Uncover Test)

안구 운동성 검사 결과 안구 운동에 이상이 있다면, 학습자는 이어서 가림-안가림 검사(Cover-Uncover Test)를 진행한다. 가림-안가림검사는 프리즘 검사를 실시하기 전, 가리개로 한쪽 안구를 가리고 떼었을 때 다른 안구의 위치와 안구의 움직임에 확인해서 사시의 유형을 진단하는 방법이다.



그림 4. 가림-안가림 검사 장면
Fig. 4. Cover-uncover test

그림 4의 좌측은 환자의 한쪽 안구를 가리개로 가리고 있는 모습이고, 우측은 가리개를 떼어 낸 모습이다. 가리고 있던 오른쪽 눈을 떼어내어 왼쪽 눈을 가릴 때, 왼쪽 눈이 바깥쪽으로 움직이면 좌안 외사시가 있는 것으로 판단된다. 이 움직임은 왼쪽 눈이 대상에 초점을 맞추기 위한 반응으로, 이를 통해 사시의 위치와 유형을 판단할 수 있다.

이 시뮬레이션에서는 양안 사시에 대해 구현되었으며, 복합사시에 대해서는 구현되지 않았다. 따라서 사시가 있는 안구의 반대쪽 안구에 가리개로 가리고 떼었을 때 사시가 있는 시나리오의 경우 가상환자의 안구가 움직이도록 구현하였다. 표 2는 좌안 외사시의 정도에 따른 가상환자의 안구 회전각을 나타낸다. 안구 운동성 검사 과제와 마찬가지로 학습자가 쥐고 있는 진단 도구와 손의 움직임이 실시간으로 기록되며, 학습자는 진단을 마친 후 가상환자의 사시유형을 제출해야 한다.

표 2. 사시 각도에 따른 가상환자(좌안 내사시)의 안구 회전각
Table 2. Eye movement on degree of left-eye esotropia

Strabismus Angle	$\Delta 0$	$\Delta 10$	$\Delta 20$	$\Delta 25$	$\Delta 30$
Virtual Patient					
Rotation Angle	0	-3	-5	-7	-9
Strabismus Angle	$\Delta 35$	$\Delta 40$	$\Delta 45$	$\Delta 50$	
Virtual Patient					
Rotation Angle	-11	-13	-15	-17	

3-3 프리즘 가림 검사(Prism Cover Test)

프리즘 가림 검사(Prism Cover Test)는 가림-안가림 검사를 통해 사시가 있음이 진단되었을 때, 교정을 위해 정확한 사시 각도를 측정하는 방법이다. 프리즘은 눈의 시선이 올바른 방향으로 교차하도록 광선을 굴절시키는 역할을 한다. 프리즘의 각도는 사시의 종류와 각도에 따라 조절되며, 이를 통해 두 눈이 동일한 지점을 정확히 바라볼 수 있도록 광선의 경로를 조정한다. 프리즘은 정확한 사시 각도를 진단하기 위한 중요한 도구로 활용되며, 프리즘을 올바른 각도로 쥐는 것은 사시 각도 진단에 있어 매우 중요하다. 프리즘의 각도가 정확해야만 눈의 광선 경로가 적절히 교정하여 사시가 있는 안구의 사시 각도를 진단할 수 있다. 프리즘의 각도가 부정확할 경우, 눈의 시선이 제대로 교차하지 않거나 필요 이상으로 교차하게 되어, 올바른 진단이나 치료를 위한 정보를 얻는데 오류가 생길 수 있다. 따라서 안과 수련의가 사시 각도를 진단할 때는 프리즘의 각도를 정밀하게 조절하는 술기 훈련이 충분히 숙달될 필요가 있다.

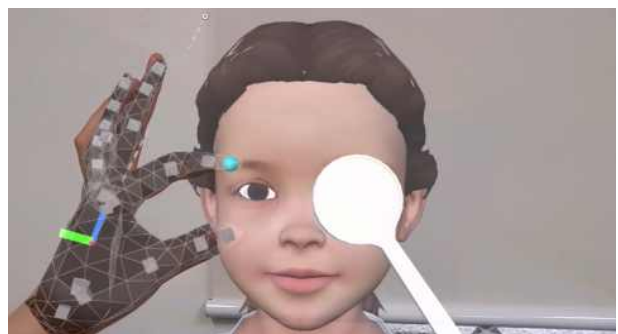


그림 5. 프리즘 가림 검사 장면
Fig. 5. Prism test

프리즘 가림 검사에서는 사시가 있는 안구 앞에 프리즘을 배치하여 광선의 경로를 굴절시키고, 두 눈이 동일한 지점을 바라볼 수 있도록 한다. 이때 환자가 한 점을 주시하고 있을

때, 프리즘을 통해 빛이 굴절되어 정상적인 시야가 회복될 때까지 프리즘의 각도를 조절한다. 프리즘의 각도가 사시의 정도와 일치하게 되면, 그 각도를 기준으로 사시의 정확한 각도가 측정된다. 그림 5는 사시 각도를 판단하기 위한 프리즘 검사에 대한 실습 대상자의 수행 행동 데이터의 정확도 평가를 보여준다.

프리즘 가림 검사의 경우 앞선 두 과제와 달리 진단 도구의 위치값뿐만 아니라 프리즘을 올바르게 쥐었는지에 대한 산출된 정오값이 실시간으로 기록된다. 프리즘 각도 계산은 2-2에서 진술한 바와 같이 프레임을 단위로 계산되며, 훈련 단계에서는 그림 6과 같이 학습자가 프리즘을 쥔 각도에 대해 숫자 등으로 시각화된다. 실습 대상자의 손 또한 가상 환경에서 메쉬 형태로 렌더링 되기 때문에 학습자는 자신의 손 모양과 계산된 프리즘 각도를 확인하며 반복적으로 훈련할 수 있다.

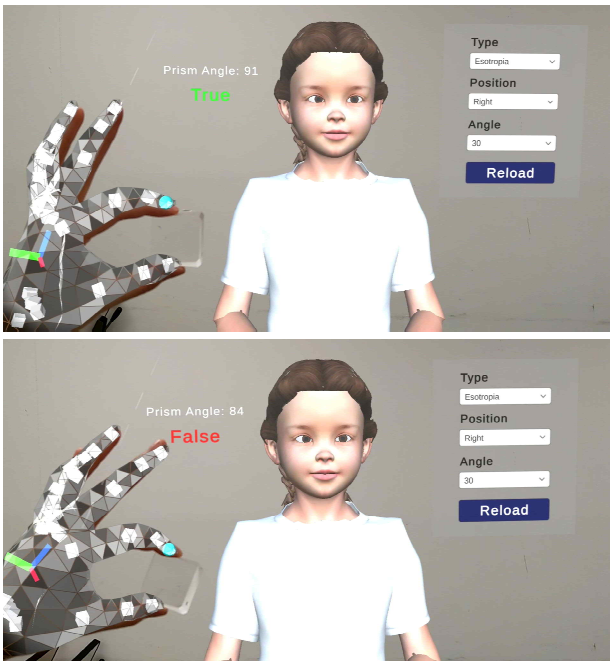


그림 6. 학습자 수행에 대한 실시간 피드백 구현 화면
Fig. 6. Real-time feedback on task performance

3-4 수행 평가 메트릭 종합

이 연구에서는 학습자가 사시 진단 시뮬레이션을 통해 수행한 결과를 평가하기 위해 세 가지 과제에 대한 평가 메트릭을 개발하였다. 각 과제는 안구 운동성 검사, 가림-안가림 검사, 프리즘 가림 검사로 구성되어 있으며, 이를 통해 학습자의 진단 능력과 정확성을 측정한다. 평가 항목은 성취도, 수행 시간, 수행 정확도로 구분되며, 각 항목에 대해 구체적인 평가 기준을 표 2와 같이 설정하였다. 성취도는 안구 운동 범위와 사시의 위치 및 유형을 얼마나 정확히 평가했는지를 의미하며, 수행 시간은 각 검사 수행에 소요된 시간을 측정했다.

그림 7은 시뮬레이션을 사용한 학습자의 수행 평가 결과 중에서 하나를 임의로 선택하여 수행 평가를 그래프로 구성한 것이다. 이 그래프의 과제가 수행이 시작된 이후부터 종료 시점을 기준으로 프리즘을 쥐고 있는 엄지와 검지의 각도 값을 기준으로 수행의 성공 여부를 평가한 것이다.

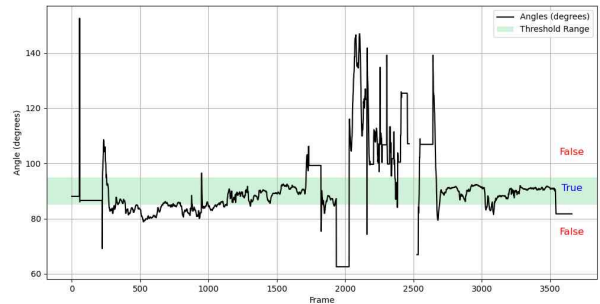


그림 7. 프리즘 가림 검사의 수행 평가 결과
Fig. 7. Performance result of prism cover test

그림 7의 중간에 녹색으로 표기된 구분은 오차범위 내에서 손동작이 이루어졌음을 보여주는 것이다. 결과를 통해서 개별학습자가 수행이 지속되면서 수행 결과가 어떻게 나타나고 있는가. 그림 7에 나타난 학습자는 전반적으로 안정적인 수행을 보였으나, 프리즘 가림 검사를 수행하는 중간에 약간의 오류 수행이 나타났음을 알 수 있다.

IV. 결 론

이 연구는 확장현실 기반 사시 진단 시뮬레이션을 개발하기 위하여 수행 평가 방법을 설계하여 개발하는 것이었다. 이를 위하여 가상현실로 개발된 바 있는 사시 진단 프로그램 [16]을 확장현실 시뮬레이션으로 전환하는 과정을 적용했다. 컨트롤러로 조작했던 가상현실 시뮬레이션과 달리, 확장현실 기반의 시뮬레이션이 가장 큰 장점은 프리즘과 같은 실물 객체를 사용하여 실제 수행 동작을 연습할 수 있다는 점이다. 연구를 통해 가상현실용으로 개발된 시뮬레이션을 확장현실로 개발하는 것이 가능하다는 점을 확인했다. 가상현실과 확장현실 시뮬레이션은 적용환경에서 큰 차이를 보였다. 가상현실은 주변의 밝기와 관계없이 활용할 수 있었지만, 이 연구에서 활용한 확장현실 구현 장치인 HoloLens 2의 특성상 주변이 너무 밝으면 구현되는 그래픽 객체의 시인성이 떨어지는 문제가 있었다. 그러나 실제 물리 환경에서 가상 표준화 환자의 적용 가능성을 확인할 수 있었다. 이러한 가상 표준화 환자를 적용한다면 보건의료 분야의 훈련을 증진하는 데 큰 도움이 될 것으로 기대된다.

또한 이 연구를 통하여 맨손으로 이루어지는 동작을 측정해서 확장현실로 전환할 뿐만 아니라 수행결과를 측정하는 함수식을 개발하여 적용했었다. 측정된 행동 데이터를 바탕으

로 프리즘을 사용한 진단 동작의 정확성을 분석할 수 있었다. 측정 결과는 과제 수행 시간에 따라 시계열 그래프로 표현되었다. 이러한 결과를 바탕으로 수행을 중요한 보건의료 분야에서 행동 데이터로 학습자의 수행을 평가할 수 있는 확장현실 시뮬레이션 개발이 가능하다는 점을 확인할 수 있었다.

이 연구의 목적은 복잡한 손동작이 필요한 시뮬레이션에서 사용자의 수행결과를 측정하기 위한 설계 및 개발이었다. 따라서 이 연구에서는 실질적인 수행 결과의 수준을 해석하지 못했다는 한계점을 갖고 있다. 이 연구에서 개발된 시뮬레이션에는 그림 6에서 보는 바와 같이 수행 과정에서 발생하는 피드백을 제공해서 사용자의 수행 정도를 제공해 주었다. 그러나 여기에서 제공된 피드백이 학습자의 성취 수준까지 도달했는지를 평가하지는 않았다. 학습자의 수행 결과에 대한 평가가 진행되기 위해서는 사시진단이라는 고도의 전문화된 기준을 적용해야 하나, 이 연구에서는 성취 수준이나 정확도 등을 평가하는 기능까지 진행하지 못했다.

이 연구의 의의는 정교한 움직임이 필요한 수행 차원에서 사용자의 행동을 측정하기 위한 함수를 개발해서 적용했다는 점이다. 이 시뮬레이션에서 개발된 손동작 측정 함수를 활용하여 전문가의 진단 행동을 모델링한다면 보다 정교하고 표준화된 수행 평가 체계를 개발할 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2022-0-00137, XR 사용자 상호작용 평가 및 적용 기술 개발).

참고문헌

- [1] P. A. Rauschnabel, R. Felix, C. Hinsch, H. Shahab, and F. Alt, "What is XR? Towards a Framework for Augmented and Virtual Reality," *Computers in Human Behavior*, Vol. 133, 107289, August 2022. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2022.107289>
- [2] J. Dalton, *Reality Check: How Immersive Technologies Can Transform Your Business*, London, UK: Kogan Page Publishers, 2021.
- [3] F. Palmas, P. F. J. Niermann, D. A. Plecher, and G. Klinker, "Extended Reality Training for Business and Education: The New Generation of Learning Experiences," in *Proceedings of 2022 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, Singapore, pp. 322-326, October 2022. <https://doi.org/10.1109/ISMAR-Adjunct57072.2022.00071>
- [4] A. Alnagrat, R. Che Ismail, S. Z. Syed Idrus, and R. M. Abdulhafith Alfaqi, "A Review of Extended Reality (XR) Technologies in the Future of Human Education: Current Trend and Future Opportunity," *Journal of Human Centered Technology*, Vol. 1, No. 2, pp. 81-96, August 2022. <https://doi.org/10.11113/humentech.v1n2.27>
- [5] B. Yanagawa, R. Ribeiro, F. Naqib, J. Fann, S. Verma, and J. D. Puskas, "See One, Simulate Many, Do One, Teach One: Cardiac Surgical Simulation," *Current Opinion in Cardiology*, Vol. 34, No. 5, pp. 571-577, September 2019. <https://doi.org/10.1097/HCO.0000000000000659>
- [6] A. Herur-Raman, N. D. Almeida, W. Greenleaf, D. Williams, A. Karshenas, and J. H. Sherman, "Next-Generation Simulation—Integrating Extended Reality Technology into Medical Education," *Frontiers in Virtual Reality*, Vol. 2, 693399, September 2021. <https://doi.org/10.3389/frvir.2021.693399>
- [7] V. Hillemans, X. van de Mortel, O. Buyne, B. H. Verhoeven, and S. M. B. I. Botden, "Objective Assessment for Open Surgical Suturing Training by Finger Tracking Can Discriminate Novices from Experts," *Medical Education Online*, Vol. 28, No. 1, 2198818, 2023. <https://doi.org/10.1080/10872981.2023.2198818>
- [8] J. Pottle, "Virtual Reality and the Transformation of Medical Education," *Future Healthcare Journal*, Vol. 6, No. 3, pp. 181-185, October 2019. <https://doi.org/10.7861/fhj.2019-0036>
- [9] C. Toale, M. Morris, and D. O. Kavanagh, "Perspectives on Simulation-Based Assessment of Operative Skill in Surgical Training," *Medical Teacher*, Vol. 45, No. 3, pp. 313-320, 2023. <https://doi.org/10.1080/0142159X.2022.2134001>
- [10] C. Vatrail, G. Biswas, C. Cohn, E. Davalos, and N. Mohammed, "Using the DiCoT Framework for Integrated Multimodal Analysis in Mixed-Reality Training Environments," *Frontiers in Artificial Intelligence*, Vol. 5, 941825, July 2022. <https://doi.org/10.3389/frai.2022.941825>
- [11] S. Zhao, W. Li, X. Zhang, X. Xiao, Y. Meng, J. Philbeck, ... and J. Hahn, "Automated Assessment System with Cross Reality for Neonatal Endotracheal Intubation Training," in *Proceedings of 2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)*, Atlanta: GA, pp. 738-739, March 2020. <https://doi.org/10.1109/vrw50115.2020.00220>
- [12] S. J. Lowater, J. Grauslund, and A. S. Vergmann, "Modern Educational Simulation-based Tools among Residents of Ophthalmology: A Narrative Review," *Ophthalmology and Therapy*, Vol. 11, No. 6, pp. 1961-1974, December 2022. <https://doi.org/10.1007/s40123-022-00559-y>
- [13] N. Pattathil, C. C. Moon, Z. Haq, and C. Law, "Systematic

Review of Simulation-Based Education in Strabismus Assessment and Management,” *Journal of American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus*, Vol. 27, No. 4, pp. 183-187, August 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jaapos.2023.05.011>

- [14] R. Lee, N. Raison, W. Y. Lau, A. Aydin, P. Dasgupta, K. Ahmed, and S. Haldar, “A Systematic Review of Simulation-based Training Tools for Technical and Non-technical Skills in Ophthalmology,” *Eye*, Vol. 34, No. 10, pp. 1737-1759, October 2020. <https://doi.org/10.1038/s41433-020-0832-1>
- [15] C. Cissé, K. Angioi, A. Luc, J.-P. Berrod, and J.-B. Conart, “EYESI Surgical Simulator: Validity Evidence of the Vitreoretinal Modules,” *Acta Ophthalmologica*, Vol. 97, No. 2, pp. e277-e282, March 2019. <https://doi.org/10.1111/aos.13910>
- [16] H. S. Moon, H. J. Yoon, S. W. Park, C. Y. Kim, M. S. Jeong, S. M. Lim, ... and H. Heo, “Usefulness of Virtual Reality-based Training to Diagnose Strabismus,” *Scientific Reports*, Vol. 11, No. 1, 5891, March 2021. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85265-8>
- [17] D. M. Hilty, K. Randhawa, M. M. Maheu, A. J. S. McKean, R. Pantera, M. C. Mishkind, and A. S. Rizzo, “A Review of Telepresence, Virtual Reality, and Augmented Reality Applied to Clinical Care,” *Journal of Technology in Behavioral Science*, Vol. 5, No. 2, pp. 178-205, June 2020. <https://doi.org/10.1007/s41347-020-00126-x>
- [18] J. Gerup, C. B. Soerensen, and P. Dieckmann, “Augmented Reality and Mixed Reality for Healthcare Education beyond Surgery: An Integrative Review,” *International Journal of Medical Education*, Vol. 11, pp. 1-18, January 2020. <https://doi.org/10.5116%2Fijme.5e01.eb1a>
- [19] C. Gsaxner, J. Li, A. Pepe, Y. Jin, J. Kleesiek, D. Schmalstieg, and J. Egger, “The HoloLens in Medicine: A Systematic Review and Taxonomy,” *Medical Image Analysis*, Vol. 85, 102757, April 2023. <https://doi.org/10.1016/j.media.2023.102757>
- [20] P. Bustillo-Casero, I. Villarrasa-Sapiña, and X. García-Massó, “Effects of Dual Task Difficulty in Motor and Cognitive Performance: Differences between Adults and Adolescents,” *Human Movement Science*, Vol. 55, pp. 8-17, October 2017. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2017.07.004>
- [21] S. Esmacili Bijarsari, “A Current View on Dual-task Paradigms and Their Limitations to Capture Cognitive Load,” *Frontiers in Psychology*, Vol. 12, 648586, May 2021. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.648586>
- [22] J. Wang, W. Wang, S. Ren, W. Shi, and Z.-G. Hou, “Neural

Correlates of Single-Task versus Cognitive-Motor Dual-Task Training,” *IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems*, Vol. 14, No. 2, pp. 532-540, June 2022. <https://doi.org/10.1109/TCDS.2021.3053050>

김다은 (Daeun Kim)



2023년 : 전남대학교(교육학 학사)

2023년~현재 : 전남대학교 교육학과 석사과정

※관심분야 : 확장현실 학습환경, 시뮬레이션 기반 학습, 학습자 상호작용 등

류지헌 (Jeeheon Ryu)



1992년 : 고려대학교 교육학 문학석사

2004년 : Florida State University

교육공학 박사

2006년~2008년: 전남대학교 교육학과 전임강사

2008년~2011년: 전남대학교 교육학과 조교수

2012년~2017년: 전남대학교 교육학과 부교수

2018년~현재 : 전남대학교 교육학과 교수

※관심분야 : 확장현실, 생리신호정보, 인공지능 활용, 디지털트윈 등