

VR 기반 의료 훈련 및 시뮬레이션 사례

양 은 별^{1*}

¹제주대학교 초등교육학부 조교수

초록

VR/XR 기반 의료 시뮬레이션은 실제 환자에게 위해를 주지 않는 환경에서 고위험 임상 상황을 반복적으로 경험하고, 표준화된 조건에서 의사결정과 팀 기반 수행을 훈련할 수 있는 교육 방식으로 주목받고 있다. 전통적 고충실도 시뮬레이션은 마네킨, 전문 강사, 시뮬레이션 센터 등 물리적 자원에 의존하기 때문에 훈련 빈도와 시나리오 다양성을 충분히 확보하기 어렵고, 팀 구성과 동료 학습자의 숙련도에 따라 개인 학습자의 경험이 달라질 수 있다. 이에 VR/XR 기반 시뮬레이션은 가상 환자, 가상 팀원, 동적 임상 단서, 즉각적 피드백을 활용하여 의료 훈련의 반복성, 표준화, 접근성을 높일 수 있는 보완적 훈련 환경으로 논의되고 있다. 이 글에서는 VR/XR 기반 의료 시뮬레이션의 특징과 효과를 검토하고, 술기 및 응급상황 대응 훈련, 환자 상호작용 및 가상 팀원 훈련, 고충실도 시뮬레이터와의 결합 사례를 살펴본다. 또한 한국형 전문소생술(KALS) 교육을 중심으로 VR/XR 기반 KALS 시뮬레이션의 개발 필요성, 시나리오 설계, 시스템 구현 및 활용 방안을 논의한다.

주제어: VR, XR, 의료 시뮬레이션, 전문소생술, 가상 환자, 팀 기반 훈련

Examples of VR-Based Medical Training and Simulation

Eunbyul Yang^{1*}

¹Assistant Professor, Department of Elementary Education, Jeju National University

Abstract

VR/XR-based medical simulation is gaining attention as a training method that allows healthcare professionals to repeatedly experience high-risk clinical situations in an environment that poses no harm to real patients, and to practice decision-making and team-based performance under standardized conditions. Traditional high-fidelity simulation relies on physical resources such as manikins, specialist instructors and simulation centers. As a result, it is difficult to ensure sufficient training frequency and scenario diversity, and individual trainees' experiences may vary depending on team composition and the proficiency of fellow trainees. In this context, VR/XR-based simulation is being discussed as a complementary training environment that can enhance the repeatability, standardization and accessibility of medical training by utilizing virtual patients, virtual team members, dynamic clinical cues and immediate feedback. This article reviews the characteristics and effectiveness of VR/XR-based medical simulation and examines case studies involving procedural and emergency response training, patient interaction and virtual team member training, and integration with high-fidelity simulators. Furthermore, focusing on Korean Advanced Life Support (KALS) training, it discusses the need for the development of VR/XR-based KALS simulation, along with its scenario design, system implementation, and utilization strategies.

Keywords: VR, XR, Medical Simulation, Advanced Life Support, Virtual Patients, Team-Based Training

*Corresponding Author: Eunbyul Yang

Tel: +82-64-754-4892

E-mail: e.yang@jejunu.ac.kr

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2026.1.1.1>

Received: 8 May 2026

Revised: 15 May 2026

Accepted: 30 June 2026

I. 서론

의료 교육에서 시뮬레이션 기반 학습은 실제 환자에게 위해를 주지 않는 환경에서 고위험 임상 상황을 재현하고, 학습자가 술기, 의사결정, 의사소통, 팀워크를 반복적으로 연습할 수 있도록 지원하는 중요한 교육 방식이다. 특히 심정지 대응은 판단과 처치가 동시에 진행되는 과정이어서, 개인 술기의 숙달만으로는 충분하지 않고 팀 인지와 팀워크가 함께 훈련되어야 한다[1], [2].

그러나 전통적 고충실도 시뮬레이션은 마네킹, 전문 강사, 시뮬레이션 센터 등 물리적 자원에 의존하기 때문에 훈련 빈도와 시나리오 다양성을 충분히 확보하기 어렵다[3]. 또한 팀 기반 시뮬레이션에서는 동료 학습자의 가용성, 역할 수행 수준, 팀 구성에 따라 개인 학습자의 경험이 달라질 수 있으며, 사후 디브리핑 중심 피드백은 의사결정 오류를 즉시 교정하는 데 한계가 있다[4], [5]. 특히 병원 내 심정지 대응에서 팀 리더의 심폐소생술 수행의 질은 임상 경력 연수보다 최근의 시뮬레이션 훈련 경험과 관련이 있는 것으로 보고되어[6], 훈련 효과를 유지하기 위해서는 충분한 빈도의 반복 훈련이 뒷받침되어야 한다.

이러한 한계는 의료 시뮬레이션에서 학습 경험의 반복성, 표준화, 접근성을 높일 수 있는 새로운 훈련 매체의 필요성을 보여준다. VR/XR 기반 시뮬레이션은 실제 환자에게 위해를 주지 않고 반복적인 연습과 수행 검토를 가능하게 하는 대안으로 논의될 수 있다[7], [8]. 확장현실(XR)은 가상현실(VR), 증강현실(AR), 혼합현실(MR)을 포괄하는 개념으로, 실제 환경과 가상 정보를 결합해 학습 경험을 확장하는 기술을 의미한다[9], [10]. VR은 학습자를 가상화된 환경에 몰입시키는 방식이고, AR·MR은 실제 공간 위에 가상 객체나 정보를 중첩해 현실 환경과의 연결성을 유지하는 방식이다[11].

이 글에서는 VR/XR 기반 의료 시뮬레이션의 특징과 효과를 검토하고, 의료 훈련에서의 활용 사례를 살펴보고자 한다. 또한 한국형 전문소생술(Korean Advanced Life Support: KALS) 교육을 중심으로 VR/XR 기반 KALS 시뮬레이션 개발의 필요성, 설계 원리, 시스템 구현, 전문가 검토 및 활용 방안을 논의하고자 한다.

II. VR/XR 기반 의료 시뮬레이션의 특징 및 효과

2-1. VR/XR 기반 의료 시뮬레이션의 필요성

전통적 고충실도 시뮬레이션은 실제 임상 상황과 유사한 환경을 제공한다는 장점이 있지만, 마네킹, 전문 강사, 시뮬레이션 센터 등 물리적 자원에 크게 의존한다. 이 때문에 학습자가 충분한 빈도로 훈련을 반복하거나 다양한 임상 시나리오를 경험하는 데 제약이 따른다[3]. 또한 팀 기반 시뮬레이션에서

는 동료 학습자의 가용성, 역할 수행 수준, 팀 구성 방식에 따라 개인 학습자의 경험이 달라질 수 있다. 사후 디브리핑 중심 피드백은 학습자의 성찰과 통합적 이해를 촉진한다는 장점이 있으나, 수행 중 발생한 의사결정 오류를 해당 순간에 즉시 교정하는 데에는 한계가 있다[4]-[6].

의료 시뮬레이션에서는 반복·표준화 훈련이 중요하다. 심정지와 같은 응급 의료 상황은 짧은 시간 안에 정확한 판단, 역할 분담, 의사소통, 처치 수행이 동시에 이루어져야 하므로 개인 술기뿐 아니라 팀 인지와 팀워크 훈련이 중요하다[1]. 그러나 실제 임상 상황은 예측하기 어렵고 환자 안전 문제가 있어 학습자가 다양한 위기 상황을 충분히 반복 경험하기 어렵다. 따라서 실제 환자에게 위해를 주지 않는 환경에서 고위험 상황을 재현하는 시뮬레이션 기반 교육의 필요성이 강조된다[7], [12].

이처럼 기존 시뮬레이션의 제약은 장비와 시설의 문제에 그치지 않고, 학습자가 언제 얼마나 자주 훈련할 수 있는지, 그리고 그 경험이 학습자마다 얼마나 균질한지의 문제로 이어진다. 반복성과 표준화를 함께 확보할 수 있는 훈련 매체가 필요한 이유가 여기에 있다[7], [8].

2-2. 시뮬레이션 교육을 위한 XR의 특징

XR을 구성하는 세 방식은 의료 훈련에서 서로 다른 쓰임을 갖는다. VR은 학습자를 가상 환경에 완전히 몰입시켜 실제 공간의 제약 없이 상황을 재현하는 데 유리하고, AR·MR은 실제 공간 인지를 유지한 채 가상 정보를 겹쳐 놓기 때문에 실제 장비를 다루는 훈련과 결합하기 쉽다[11].

VR/XR은 의료 시뮬레이션에서 여러 보완 가능성을 제공한다. XR 환경에서는 동일한 환자 상태, 팀원 반응, 임상 단서를 제시할 수 있어 학습자의 의사결정 수행을 표준화된 조건에서 관찰할 수 있다[5], [7]. 가상 환자와 가상 팀원을 활용하면 동료의 숙련도 차이로 인한 변동성을 줄이고, 특정 역할이나 의사결정 과정을 집중적으로 반복 훈련할 수 있다[13], [14]. 또한 MR이나 AR은 실제 공간 인지를 유지한 상태에서 가상 환자나 생체징후 등을 중첩할 수 있어 의료 훈련에서 물리적 이동성과 실재감을 함께 확보하는 데 유리할 수 있다[5], [15].

XR 기반 시뮬레이션은 시공간·안전 제약이 낮아 학습자가 실제 환자에게 위해를 가하지 않고 환자 상태 변화, 장비 반응, 팀원 행동을 반복적으로 경험할 수 있는 환경을 제공한다[8], [12]. 특히 의료 교육에서는 비판적 사고, 의사결정, 팀워크 등 고차원 학습 성과를 촉진할 수 있어 기존 고충실도 시뮬레이션을 보완하는 교육 방식으로 활용될 가능성이 크다[7], [16].

2-3. VR/XR 기반 의료 시뮬레이션 활용 사례

VR/XR 기반 의료 시뮬레이션은 술기 및 응급상황 대응 훈련, 환자 상호작용 및 가상 팀원 훈련, 고충실도 시뮬레이터와의 결합 훈련 등 다양한 방식으로 활용되고 있다. 먼저 XR 기

반 의료 시뮬레이션은 정맥 주사, 기도 확보, 기관 삽관 등 실제 환자에게 직접 반복하기 어려운 술기를 안전하게 연습할 수 있는 환경을 제공한다[8], [17]. 심정지, 외상, 재난 대응과 같은 응급 상황은 짧은 시간 안에 환자 상태를 판단하고 우선 순위를 결정해야 하므로, XR 기반 시뮬레이션을 통해 표준화된 시나리오로 반복 훈련할 필요가 크다[15], [18]. 학습자의 의사결정과 수행에 따라 가상 환자의 상태가 동적으로 변화하도록 설계하면 단순 절차 암기가 아니라 동적 임상 추론과 상황 적응 능력을 훈련할 수 있다[19].

환자 상호작용과 가상 팀원 훈련에서도 VR/XR의 활용 가능성이 크다. 가상 환자와 지능형 에이전트는 의사소통, 병력 청취, 환자 교육, 진료 면담과 같은 상호작용 역량을 반복적으로 연습하는 데 활용될 수 있다[13]. 표준화 환자 기반 훈련은 실제 사람과의 상호작용을 경험할 수 있다는 장점이 있으나, 인력 확보와 표준화 유지에 부담이 있다. 반면 가상 환자와 가상 팀원은 동일한 질문과 반응을 반복적으로 제공할 수 있어 학습자 간 경험 차이를 줄이고, 특정 의사소통 행동이나 판단 과정을 집중적으로 훈련할 수 있다. VR 기반 패혈증 팀 훈련에서 AI 기반 가상 의사는 사람이 제어한 가상 의사와 비교해 임상 수행과 관찰자가 평정한 의사소통 수행에서 뒤지지 않았다. 다만 학습자가 보고한 의사소통 자기효능감은 사람이 제어한 조건에서 더 높게 나타나, 가상 팀원이 사람과의 상호작용을 온전히 대신하기는 어렵다는 점도 함께 확인되었다[14].

고충실도 시뮬레이터와 XR을 결합한 훈련도 시도되고 있다. 고충실도 마네킹과 XR을 결합하면 실제 도구 조작, 촉각적 피드백, 가상 환자 상태 변화, 디지털 피드백을 하나의 훈련 환경 안에서 통합할 수 있다. Laerdal·Varjo 공동 프로젝트는 비디오 패스스루 기술을 활용해 실제 마네킹과 의료기기를 가상 시뮬레이션과 결합한 사례로, 물리적 실습의 현실감과 디지털 시뮬레이션의 확장성을 동시에 확보하려는 시도이다[20]. GigXR의 HoloPatient는 표준화 환자를 홀로그램으로 구현해 천식, 만성폐쇄성폐질환 악화, 아나필락시스, 심근경색 등의 임상 시나리오를 혼합현실 기반으로 제공하며, 하나의 홀로그램 환자를 팀 전체가 함께 관찰하고 대응할 수 있도록 지원한다[21].

2-4. VR/XR 기반 의료 시뮬레이션의 효과와 설계 시 고려사항

VR/XR 기반 의료 시뮬레이션은 학습 성과와 교수설계 측면에서 긍정적 효과를 가질 수 있다. 심폐소생술 훈련 영역의 베이지안 네트워크 메타분석에서도 XR 기반 훈련은 흉부 압박 깊이, 완전 이완 등 일부 수행 지표 향상에 효과가 있는 것으로 보고되었다[22]. 또한 즉각적·국소적 피드백을 제공하면 학습자가 잘못된 판단을 내린 시점에서 오류의 원인을 확인하고 수정할 수 있어, 사후 디브리핑 중심 훈련의 한계를 보완할 수 있다[23]. 협력적 가상 공간에서의 학습은 팀 의사소통, 역할 분담, 팀 멘탈 모델 형성에 기여할 수 있으며, 응급의료와 같이

팀 기반 수행이 중요한 교육 맥락에서 의미가 크다[1], [24].

그러나 XR 기반 시뮬레이션을 설계할 때에는 몰입과 인지 부하의 균형을 고려해야 한다. XR 기반 의료 시뮬레이션에서 몰입감은 학습자의 실재감과 참여도를 높일 수 있으나, 몰입감이 높다고 해서 항상 학습 효과가 향상되는 것은 아니다. 몰입형 VR은 학습자의 실재감을 높였지만, 처리해야 할 정보가 늘면서 인지부하가 커져 오히려 학습 성과가 낮아질 수 있는 것으로 보고되었다[38]. 따라서 의료 XR 시뮬레이션은 사실적인 그래픽이나 장면 몰입 자체보다, 학습자가 어떤 정보를 보고 어떤 판단을 내려야 하는지를 명확히 안내하는 방식으로 설계되어야 한다.

콘텐츠 품질과 지속성 확보도 중요하다. 의료 XR 시뮬레이션의 교육 효과는 기술적 완성도뿐 아니라 시나리오의 임상적 타당성, 피드백의 정확성, 평가 기준의 명료성에 의해 결정된다. 콘텐츠 개발 단계에서 임상 전문가가 시나리오 흐름, 환자 상태 변화, 처치 알고리즘, 피드백 메시지를 반복적으로 검토해야 의학적·교육적 타당성을 확보할 수 있다[25]. 학습 효과의 장기 유지를 위해서는 일회성 체험이나 단기 교육에 그치지 않고, 정기적 보수 훈련 체계와 연계해 운영하는 전략이 필요하다[26]. 또한 적응적 시나리오, 실시간 피드백, 팀 역동성 지원, 수행 로그 분석 등 교수설계 요소가 통합되어야 XR 기반 의료 시뮬레이션의 효과를 안정적으로 기대할 수 있다[5], [25].

III. 의료 시뮬레이션 개발의 실제: VR/XR 기반 KALS 교육 시뮬레이션

3-1. 한국형 전문소생술(KALS) 교육의 개요

한국형 전문소생술(Korean Advanced Life Support; KALS)은 대한심폐소생협회가 국제 전문심폐소생술(Advanced Life Support; ALS) 교육의 기본 원리를 바탕으로 개발·운영하는 전문소생술 교육과정이다[27], [28]. KALS는 병원이나 구급차에서 발생한 심정지 환자의 응급처치를 위해 전문의료인에게 필요한 지식과 술기를 교육·훈련하는 교육과정으로, 국내 의료환경의 특성을 반영한 표준 전문소생술 가이드라인을 제시한다[29].

KALS 교육은 의사, 간호사, 1급 응급구조사, 관련 전공 교수 및 보건 의료계열 학생 등 병원 내·외 심정지 환자 대응에 참여할 수 있는 의료인과 예비 의료인을 대상으로 한다[29]. 교육 내용은 심정지 인지, 고품질 가슴압박, 제세동, 전문기도 유지술, 심전도 리듬 판독, 약물 투여, 심정지 후 통합치료 등 전문소생술 수행에 필요한 핵심 절차를 포함한다[27]. 또한 실제 심정지 대응은 개인 술기만으로 이루어지지 않기 때문에, 팀 리더십, 역할 분담, 폐쇄형 의사소통, 상황 모니터링 등 팀 기반 비술기적 역량도 함께 요구된다[27].

KALS Provider 과정은 일반적으로 1일(4.5~6시간) 코스

로 운영되며, 사전학습과 술기 훈련, 시뮬레이션 기반 팀 훈련, 필기 및 술기 평가로 구성된다[29]. 필기와 술기 평가에서 정답률이 모두 84% 이상이어야 인증되며, 인증 유효기간은 2년이다[29].

3-2. 기존 KALS 시뮬레이션 교육과정의 특징과 한계

KALS 교육은 고충실도 환자 시뮬레이터와 시뮬레이션 센터를 기반으로 한 팀 단위 훈련 형식으로 운영된다[30], [31]. 학습자는 보통 5~6명 내외의 팀을 구성해 가슴압박, 기도 관리, 제세동, 약물 투여, 기록, 팀 리더 역할을 분담하거나 순환 수행한다[27]. 이 과정에서 팀 리더는 환자 상태를 종합적으로 판단하고, 팀원에게 역할을 배정하며, 심전도 리듬 판독과 제세동·약물 투여 여부를 결정하는 중심 역할을 수행한다. 따라서 KALS 시뮬레이션은 단순한 술기 반복이 아니라, 알고리즘 기반 의사결정과 팀 기반 의사소통을 동시에 훈련하는 교육과정으로 이해할 수 있다.

KALS 시뮬레이션은 주요 심정지 리듬인 심실세동/무맥성 심실빈맥(VF/pVT), 무수축/무맥성 전기활동(Asystole/PEA) 등을 중심으로 사전 정의된 시나리오를 반복 연습하는 방식으로 진행된다. 학습자는 환자 반응 확인, 호흡·맥박 평가, 가슴압박 시작, 심전도 리듬 확인, 제세동 여부 판단, 약물 투여, 가역적 원인 탐색, 자발순환회복(ROSC) 후 관리 등 단계적 알고리즘을 수행한다. 시나리오 종료 후에는 디브리핑을 통해 수행 과정, 의사결정, 의사소통, 팀워크에 대한 통합 피드백이 제공된다[4]. 다만 이 피드백은 시나리오가 끝난 뒤에 이루어지기 때문에, 리듬 판독이나 제세동 시점처럼 순간의 판단이 결과를 좌우하는 상황에서는 교정이 늦어질 수밖에 없다.

KALS 시뮬레이션 교육은 간호대학생과 응급구조과 학생의 KALS 지식, 자기효능감, 자신감, 비판적 사고성향, 학습 실재감, 학습 만족도 향상에 긍정적 효과를 보이는 것으로 보고되었다[32]~[34]. 고충실도 시뮬레이터를 활용한 팀 기반 전문심폐소생술 교육은 절차적 수행과 팀워크 훈련을 함께 제공할 수 있어, 실제 심정지 대응 역량을 기르는 데 유용하다[30]. 그러나 동일 시나리오가 반복될 경우 학습자가 임상 판단보다 정해진 절차를 암기해 수행할 가능성이 있으며, 이는 상황 변화에 따른 실시간 판단 훈련 효과를 낮출 수 있다. 또한 팀 리더 경험은 팀 구성, 역할 순환 방식, 교육 시간에 따라 제한될 수 있어, 모든 학습자가 충분한 리더 역할 연습을 경험하기 어렵다는 문제가 있다. KALS 인증 유효기간이 2년이라는 점을 고려하면, 초기 교육뿐 아니라 술기와 리더십 역량을 유지하기 위한 반복적 보수 훈련 환경도 필요하다.

3-3. VR/XR 기반 KALS 시뮬레이션 교육의 필요성

KALS 상황에서 팀 리더는 심정지 알고리즘을 이해하는 것뿐 아니라, 환자 상태 변화에 따라 처치 우선순위를 판단하고

팀원에게 명확한 지시를 내려야 한다. 그러나 기존 팀 기반 시뮬레이션에서는 팀 리더 역할 수행 기회가 팀원 수, 교육 시간, 시나리오 반복 횟수에 의해 제한될 수 있다. 리더십 훈련은 실제 역할 수행 연습과 피드백, 반복적 훈련이 포함될 때 효과가 높으므로, 학습자가 보조 역할만 수행하고 교육을 마치는 경우 팀 리더로서의 판단과 의사소통을 충분히 연습하기 어려울 수 있다[35]. 또한 실제 팀 훈련에서는 팀 구성과 팀 리더의 최근 훈련 경험에 따라 수행 조건이 달라질 수 있어, 개인별 리더십 수행을 동일한 조건에서 반복 평가하기 어렵다[1], [6].

기존 KALS 시뮬레이션은 고충실도 마네킹, 교육장, 강사, 팀원 구성이 모두 필요하기 때문에 학습자가 원하는 시점에 반복적으로 연습하기 어렵다. 팀 기반 전문소생술 시뮬레이션은 지식, 문제해결, 의사소통 및 협력 향상에 효과가 있으나, 다양한 리듬 변화와 환자 상태 변화를 반복적으로 경험하도록 시나리오를 확장할 필요가 있다[5], [30]. 구조화된 디브리핑은 임상판단 향상에 효과적이지만, 사후 성찰 중심 피드백만으로는 리듬 오인, 제세동 지연, 약물 투여 판단 오류와 같은 핵심 의사결정 과정을 수행 중에 즉시 조정하기 어렵기 때문에, 실시간 정보 제공과 수행 피드백을 결합한 보완적 환경이 필요하다[4], [5], [7]. 따라서 KALS 교육에는 팀 리더의 판단 과정과 의사소통을 반복적으로 연습할 수 있는 보완적 훈련 환경이 필요하다.

KALS 교육 효과는 교육 직후 향상되더라도 시간이 지나며 감소할 수 있으므로, 정기적이고 반복적인 보수 훈련 체계가 필요하다[6], [32]. VR/XR 기반 KALS 시뮬레이션은 가상 환자와 표준화된 가상 팀원을 활용해 팀 리더 역할을 반복적으로 훈련할 수 있는 환경을 제공할 수 있다. AI 기반 가상 팀원을 활용하면 동료 학습자의 가용성과 숙련도에 따른 변동성을 줄이고, 학습자가 팀 리더의 감독적 의사결정과 폐쇄형 의사소통에 집중하도록 설계할 수 있다[7], [14]. 의사결정 시점, 정오 여부, 반응 지연 시간, 반복 오류 패턴을 로그 데이터로 기록하면, 단순 합격·불합격 평가를 넘어 학습자의 리더십 수행과 알고리즘 준수 정도를 객관적으로 분석할 수 있다[7], [14]. VR/XR 기반 KALS 시뮬레이션은 기존 KALS 교육을 대체하는 방식이 아니라, 팀 리더 훈련과 보수 훈련의 빈도·표준화·피드백 가능성을 높이는 보완적 교육 방식으로 활용될 수 있다.

3-4. VR/XR 기반 KALS 교육 시뮬레이션의 개발

이 글에서 소개하는 시뮬레이션은 개발 시점의 표준이었던 「한국전문소생술(KALS) 4판」의 심정지 대응 알고리즘을 기반으로, 학습자가 단계적으로 팀 리더의 의사결정 과정을 연습할 수 있도록 5단계 점진적 학습 모델로 구성하였다[27]. Phase 1~3은 제세동 가능 리듬인 VF/pVT 관리에 초점을 두고, 리듬 확인, 제세동 시행, 가슴압박 재개, 항부정맥제 투

여 등 핵심 판단을 반복하도록 설계하였다. Phase 4~5는 제세동 불가 리듬인 Asystole/PEA 관리에 초점을 두고, 고품질 CPR 유지, 에피네프린 투여, 가역적 원인 감별, ROSC 후 관리까지 포함하였다. 초기 단계에서는 비교적 예측 가능한 환자 상태 변화와 빠른 ROSC를 제공해 절차적 흐름을 익히도록 하고, 후기 단계에서는 ROSC 지연, 반복 리듬 변화, 불안정한 생체징후를 제시해 학습자의 상황판단과 우선순위 결정을 강화하였다.

시나리오는 두 가지 임상 상황으로 구성하였다. 시나리오 1은 심장 문제로 인한 심정지 시나리오로 47세 남성 당뇨 환자가 응급실 진료 대기 중 갑작스럽게 의식을 잃는 상황으로 구성하였다. 이 시나리오는 VF/pVT와 같은 제세동 가능 리듬을 중심으로, 신속한 심정지 인지, 제세동 판단, 항부정맥제 투여, ROSC 후 관리로 이어지는 알고리즘 수행을 훈련하는 데 초점을 두었다. 시나리오 2는 호흡 문제로 인한 심정지 시나리오로 56세 남성이 폐 생검 후 병실에서 호흡곤란이 진행되어 무반응 상태에 이르는 상황으로 구성하였다. 이 시나리오는 저산소증을 중심으로 한 가역적 원인 탐색, 기도·환기 관리, Asystole/PEA 대응, ROSC 후 산소화 관리 등 호흡성 원인에 대한 임상 추론을 강조하였다.

단계별 핵심 행동 흐름은 의식 확인, 호흡·맥박 동시 평가, CPR 시작, 심전도 리듬 식별, 제세동 또는 약물 투여 결정, 가역적 원인 탐색, ROSC 후 관리로 구성하였다. 각 Phase에는 팀 리더가 반드시 판단해야 하는 의사결정 노드를 배치하고, 판단이 필요한 핵심 행동을 중심으로 학습 흐름을 설계하였다. 폐쇄형 의사소통, 역할 분담, 사전 안전점검, 제세동 전 “물러나세요” 지시 등 팀 리더의 의사소통 행동을 단계별 평가 요소로 포함하였다[27]. 시나리오의 임상 논리, NPC 행동, 피드백 메시지는 중환자 간호 및 시뮬레이션 교육 전문성을 보유한 간호학 교수 2인의 반복 검토를 통해 수정·보완하였다[36].

이 시스템은 학습자가 직접 술기를 수행하기보다 팀 리더로서 환자 상태를 판단하고, 가상 팀원에게 지시하며, 처치 우선순위를 결정하는 감독적 의사결정에 집중하도록 설계하였다. 이를 위해 물리적 조작 부담을 줄이고 임상 판단, 팀 지시, 피드백 확인에 인지 자원을 집중할 수 있도록 학습환경을 구성하였다. 기존 KALS 교육이 팀 단위 실습을 통해 전체 수행을 경험하게 한다면, 이 시스템은 팀 리더의 판단과 의사소통 과정을 반복 연습할 수 있도록 지원하는 보완적 훈련 환경을 목표로 하였다.

개발 엔진은 Unity 2022.3.49f1을 사용하였으며, 구동 기기는 Meta Quest 3S 스탠드얼론 헤드셋을 활용하였다. 패스스루 기술을 활용해 실제 훈련실 위에 가상 환자, 가상 팀원, 생체징후 모니터, 의사결정 패널을 중첩하는 방식으로 XR 환경을 구현하였다. 동적 임상 단서로는 실시간 변동 ECG 모니터, 산소포화도, 혈압, CPR 메트로놈, 제세동기 경보음 등을 제시하여 환자 상태 변화와 처치 판단을 연결하도록 설계하였다. 입력 인터페이스는 손 추적 기반 홀로그램 터치 방식으로

구현하여 별도의 컨트롤러 조작 학습 부담을 줄이도록 하였다.

시뮬레이션 팀은 학습자 1인과 가상 팀원 5인으로 구성하였으며, 가상 팀원은 각각 가슴압박, 기도 관리, 제세동, 약물 투여, 기록 역할을 담당하였다. 가상 팀원은 학습자의 지시에 따라 사전 정의된 행동을 수행하도록 설계하여, 실제 동료 학습자의 숙련도나 반응 속도에 따른 변동성을 줄이고 표준화된 팀 반응을 제공하였다. 가상 팀원의 행동은 일반 동작, 실행 준비, 실행 상태로 구분하여 구성하였으며, 팀 리더의 지시에 따라 단계적으로 전환되도록 설계하였다.

피드백은 의사결정 노드를 기준으로 제공되며, 학습자가 정답을 선택하면 다음 단계로 진행하고, 오답을 선택하면 해당 판단이 왜 부적절한지 임상 근거를 제시하도록 설계하였다. 잘못된 선택이 실제 처치 수행으로 이어지지 않도록 진행을 제한하고, 즉각적인 교정 피드백을 제공하도록 구성하였다. 백엔드 데이터베이스는 Firebase Authentication과 실시간 데이터베이스를 기반으로 구축하였으며, 로그인 세션, 의사결정 시점, 정보 여부, 반응 지연 시간 등을 기록하였다. 축적된 로그 데이터는 학습자의 알고리즘 준수율, 특정 리듬에 대한 오답 패턴, 의사결정 지연 구간 등을 분석하는 객관적 역량 평가 자료로 활용할 수 있다.

3-5. VR/XR 기반 KALS 교육 시뮬레이션에 대한 전문가 검토 및 활용 방안

이 시스템은 개발 단계에서 시나리오의 임상적 타당성, KALS 알고리즘과의 일치성, 피드백 메시지의 교육적 적절성을 확보하기 위해 전문가 검토를 수행하였다. 검토를 위해 KALS 시뮬레이션 교육 전문성을 보유한 간호학 교수 2인이 참여하였으며, 개발 전 과정에서 시나리오 흐름, NPC 행동, 피드백 문구를 반복적으로 검토하였다. 전문가 검토의 목적은 완성된 콘텐츠를 사후 점검하는 데 그치지 않고, 개발 과정에서 발견되는 임상적 오류나 교육적 모호성을 즉시 수정하는 데 있다. 전문가 검토 영역은 시나리오의 임상 논리 적정성, NPC 행동이 KALS 프로토콜과 부합하는지 여부, 의사결정 피드백 메시지의 정확성·명료성, 학습 단계별 난이도와 흐름의 적절성으로 구성하였다.

후속 단계에서는 외부 전문가를 대상으로 내용 타당도 검증을 실시하여 시나리오, 피드백, 평가 지표의 적절성을 체계적으로 확인할 계획이다. 또한 포커스그룹 인터뷰를 통해 시스템의 교육적 강점, 사용상 어려움, 실제 KALS 교육과의 연계 가능성, 보완이 필요한 기능을 질적으로 탐색할 예정이다. 이후 학습자를 대상으로 사용성 평가와 파일럿 교육을 실시하여 조작 편의성, 몰입감, 인지 부하, 피드백 이해도, 팀 리더 의사결정 훈련 효과를 확인할 필요가 있다.

향후에는 Phase 1~5의 절차 중심 학습을 바탕으로, 비계열적·종합 평가 시나리오인 Phase 6을 개발할 수 있다. Phase 6은 특정 알고리즘을 순차적으로 따라가는 방식이 아

나라, 환자 상태 변화와 리듬 변화가 비선형적으로 제시되는 상황에서 학습자가 독립적으로 판단하고 팀을 지휘하도록 구성할 수 있다. 이를 통해 실제 임상 상황에 가까운 통합적 판단, 우선순위 결정, 리더십 수행을 평가할 수 있다. 또한 시나리오 모듈을 교체할 수 있는 구조를 활용하면 다양한 부정맥, 심정지 전 악화 상황, 중환자실·응급실·병동 등 서로 다른 임상 맥락으로 콘텐츠를 확장할 수 있다.

현재 시스템은 의사결정 로그를 기반으로 학습자의 알고리즘 준수율, 정오 여부, 반응 지연 시간, 반복 오류 패턴을 기록할 수 있다. 축적된 데이터는 개인별 취약 리듬, 반복되는 판단 오류, 반응 지연 구간을 확인하는 데 활용할 수 있으며, 이를 바탕으로 맞춤형 보수 훈련을 제공할 수 있다. 특히 KALS 인증 유효기간과 재교육 주기를 고려하면, 정기적 모니터링을 통해 술기와 리더십 역량 감소를 예방하고 지속적인 준비태세를 유지하는 데 활용할 수 있다[26].

이 시스템의 핵심은 표준화된 가상 팀원을 활용해 학습자가 팀 리더의 의사결정과 의사소통에 집중하도록 하는 데 있다. 이러한 설계 원리는 KALS뿐 아니라 ACLS, 중환자실 급성 악화 대응, 응급실 트리아지, 재난 대응 등 프로토콜 기반 팀 훈련이 필요한 의료 영역으로 확장될 수 있다. 더 나아가 항공, 군사, 소방, 재난안전 등 고위험 상황에서 팀 리더가 제한된 시간 안에 이 정보를 판단하고 역할을 배분해야 하는 위기 관리 분야에도 적용 가능하다[37].

IV. 논의 및 결론

VR/XR 기반 의료 시뮬레이션은 전통적 고충실도 시뮬레이션의 구조적 한계를 보완할 수 있는 교육 방식으로 논의될 수 있다. 전통적 시뮬레이션은 실제와 유사한 환경에서 술기와 팀워크를 훈련할 수 있다는 장점이 있지만, 물리적 자원, 강사, 팀원 구성, 시뮬레이션 센터와 같은 조건에 의존하기 때문에 반복성과 접근성 측면에서 한계가 있다. 반면 VR/XR 기반 시뮬레이션은 가상 환자, 가상 팀원, 표준화된 임상 단서, 즉각적 피드백, 수행 로그 분석을 통해 학습자가 동일한 조건에서 반복적으로 의사결정과 팀 리더십을 연습할 수 있는 환경을 제공할 수 있다.

특히 의료 시뮬레이션에서 VR/XR의 핵심적 가치는 학습자의 판단 과정과 수행 데이터를 표준화된 조건에서 관찰하고 피드백할 수 있다는 데 있다. 수행 로그는 학습자가 어느 시점에 무엇을 판단했고 어디에서 지연되었는지를 남기기 때문에, 합격·불합격 판정에 머물던 평가를 개인별 취약 지점의 진단으로 확장할 수 있다[5], [7], [13], [14].

KALS 교육 사례는 이러한 VR/XR 기반 의료 시뮬레이션의 가능성을 구체적으로 보여준다. KALS 교육은 심정지 대응 알고리즘, 전문 술기, 팀 기반 의사소통, 리더십 수행을 함께 요구하는 교육과정이다. 그러나 기존 팀 기반 시뮬레이션에서

는 모든 학습자가 충분한 팀 리더 경험을 반복적으로 수행하기 어렵고, 교육 후 시간이 지나며 술기와 리더십 역량이 감소할 수 있다. 이에 VR/XR 기반 KALS 시뮬레이션은 표준화된 가상 환자와 가상 팀원을 활용하여 학습자가 팀 리더의 감독적 의사결정과 폐쇄형 의사소통에 집중할 수 있도록 지원하는 보완적 훈련 환경으로 활용될 수 있다.

다만 이 글에서 소개한 시스템은 아직 교육 효과를 실증적으로 확인한 단계에 이르지 못하였다. 개발 과정에서 간호학 교수 2인의 반복 검토를 거쳤으나, 외부 전문가를 대상으로 한 내용 타당도 검증과 학습자 대상 사용성 평가는 후속 과제로 남아 있다. 따라서 여기에서 제시한 설계 원리와 활용 방안은 개발 사례에 근거한 제안이며, 학습 성과에 대한 실증적 주장은 아니다. VR/XR 기반 의료 시뮬레이션 전반에 대해서도 콘텐츠의 임상적 타당성, 피드백의 정확성, 평가 기준의 명료성, 몰입과 인지 부하의 균형이 함께 확보될 때 비로소 효과를 안정적으로 기대할 수 있다[25], [38].

결국 VR/XR 기반 의료 시뮬레이션은 기존 고충실도 시뮬레이션을 대체하기보다, 훈련의 반복성, 표준화, 접근성, 피드백 가능성을 높이는 보완적 교육 방식으로 이해되어야 한다. KALS와 같은 전문소생술 교육에서는 실제 팀 기반 실습과 VR/XR 기반 반복 훈련을 연계함으로써 학습자의 술기, 의사결정, 팀 리더십, 의사소통 역량을 지속적으로 강화할 수 있다. 프로토콜 기반 팀 훈련이 필요한 다른 의료 영역에서도, 정기적 보수 훈련과 수행 데이터 기반 평가 체계가 함께 설계될 때 그 교육적 활용 가능성이 커질 것이다.

참고문헌

- [1] R. Fernandez, S. Shah, E. D. Rosenman, S. W. J. Kozlowski, S. H. Parker, and J. A. Grand, "Developing Team Cognition: A Role for Simulation," *Simulation in Healthcare*, Vol. 12, No. 2, pp. 96-103, April 2017. <https://doi.org/10.1097/SIH.0000000000000200>
- [2] S. Hunziker, A. C. Johansson, F. Tschan, N. K. Semmer, L. Rock, M. D. Howell, and S. Marsch, "Teamwork and Leadership in Cardiopulmonary Resuscitation," *Journal of the American College of Cardiology*, Vol. 57, No. 24, pp. 2381-2388, June 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2011.03.017>
- [3] Y.-S. Park, S.-J. Lee, and Y. Hur, "Facilitators, Barriers, and Future Direction of High-Fidelity Simulation in Nursing Education: A Qualitative Descriptive Study," *BMC Nursing*, Vol. 24, Art. no. 881, July 2025. <https://doi.org/10.1186/s12912-025-03541-8>
- [4] Y. Eun and S. Y. Bang, "Effects of the Lasater's Clinical Rubric of Debriefing in Advanced Cardiovascular Life Support Training," *The Journal of the Korea Contents Association*, Vol. 16, No. 4, pp. 516-527, 2016.

- <https://doi.org/10.5392/JKCA.2016.16.04.516>
- [5] Y. Lee, S. K. Kim, H. Yoon, J. Choi, H. Kim, and Y. Go, "Integration of Extended Reality and a High-Fidelity Simulator in Team-Based Simulations for Emergency Scenarios," *Electronics*, Vol. 10, No. 17, Art. no. 2170, September 2021.
<https://doi.org/10.3390/electronics10172170>
 - [6] J. Wittig, B. Løfgren, R. P. Nielsen, R. Højbjerg, K. Krogh, H. Kirkegaard, R. A. Berg, V. M. Nadkarni, and K. G. Lauridsen, "The Association of Recent Simulation Training and Clinical Experience of Team Leaders with Cardiopulmonary Resuscitation Quality during In-Hospital Cardiac Arrest," *Resuscitation*, Vol. 199, Art. no. 110217, June 2024.
<https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2024.110217>
 - [7] S. M. Zweifach and M. M. Triola, "Extended Reality in Medical Education: Driving Adoption through Provider-Centered Design," *Digital Biomarkers*, Vol. 3, No. 1, pp. 14-21, April 2019.
<https://doi.org/10.1159/000498923>
 - [8] S. Fealy, P. Irwin, Z. Tacgin, Z. S. See, and D. Jones, "Enhancing Nursing Simulation Education: A Case for Extended Reality Innovation," *Virtual Worlds*, Vol. 2, No. 3, pp. 218-230, July 2023.
<https://doi.org/10.3390/virtualworlds2030013>
 - [9] M. Casini, "Extended Reality for Smart Building Operation and Maintenance: A Review," *Energies*, Vol. 15, No. 10, Art. no. 3785, May 2022.
<https://doi.org/10.3390/en15103785>
 - [10] K. W. Kosko, R. E. Ferdig, and L. Roche, "Conceptualizing a Shared Definition and Future Directions for Extended Reality (XR) in Teacher Education," *Journal of Technology and Teacher Education*, Vol. 29, No. 3, pp. 257-277, 2021.
<https://doi.org/10.70725/002527odhrp>
 - [11] M. Meccawy, "Creating an Immersive XR Learning Experience: A Roadmap for Educators," *Electronics*, Vol. 11, No. 21, Art. no. 3547, October 2022.
<https://doi.org/10.3390/electronics11213547>
 - [12] F. Lateef, "Simulation-Based Learning: Just Like the Real Thing," *Journal of Emergencies, Trauma, and Shock*, Vol. 3, No. 4, pp. 348-352, October 2010.
<https://doi.org/10.4103/0974-2700.70743>
 - [13] N. B. Berman, S. J. Durning, M. R. Fischer, S. Huwendiek, and M. M. Triola, "The Role for Virtual Patients in the Future of Medical Education," *Academic Medicine*, Vol. 91, No. 9, pp. 1217-1222, March 2016.
<https://doi.org/10.1097/ACM.0000000000001146>
 - [14] S. Y. Liaw, J. Z. Tan, K. D. Bin Rusli, R. Ratan, W. Zhou, S. Lim, T. C. Lau, B. Seah, and W. L. Chua, "Artificial Intelligence Versus Human-Controlled Doctor in Virtual Reality Simulation for Sepsis Team Training: Randomized Controlled Study," *Journal of Medical Internet Research*, Vol. 25, Art. no. e47748, July 2023.
<https://doi.org/10.2196/47748>
 - [15] E. Girau, F. Mura, S. Bazurro, M. Casadio, M. Chirico, F. Solari, and M. Chessa, "A Mixed Reality System for the Simulation of Emergency and First-Aid Scenarios," in *2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, pp. 5690-5695, 2019.
<https://doi.org/10.1109/EMBC.2019.8856777>
 - [16] Y. S. Roh, S. S. Kim, S. Park, and J. W. Ahn, "Effects of a Simulation With Team-Based Learning on Knowledge, Team Performance, and Teamwork for Nursing Students," *CIN: Computers, Informatics, Nursing*, Vol. 38, No. 7, pp. 367-372, July 2020.
<https://doi.org/10.1097/CIN.0000000000000628>
 - [17] B. O. Lee, H. F. Liang, T. P. Chu, and C. C. Hung, "Effects of Simulation-Based Learning on Nursing Student Competences and Clinical Performance," *Nurse Education in Practice*, Vol. 41, Art. no. 102646, November 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.nepr.2019.102646>
 - [18] C. Elsenbast, P. Dahlmann, and D. Schnier, "Virtual Team Training with Mixed Reality and Virtual Reality—Benefits and Limitations Illustrated on the Example of Two Paramedic Classes," *Multimedia Tools and Applications*, Vol. 83, pp. 63871-63895, July 2024.
<https://doi.org/10.1007/s11042-023-17878-2>
 - [19] T. Watari, Y. Tokuda, M. Owada, and K. Onigata, "The Utility of Virtual Patient Simulations for Clinical Reasoning Education," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 17, No. 15, Art. no. 5325, July 2020.
<https://doi.org/10.3390/ijerph17155325>
 - [20] Varjo & Laerdal. Bringing Immersive Healthcare Training to Life. Available:
<https://varjo.com/blog/case-laerdal-mixed-reality-for-healthcare-and-medical-simulation/>
 - [21] GigXR, HoloPatient: Holographic Standardized Patients. Available: <https://gigxr.com/products/holopatient>
 - [22] X. Li, X. Yin, G. Huang, and X. Wang, "Effectiveness of Extended Reality Technologies in Cardiopulmonary Resuscitation Training: A Bayesian Network Meta-Analysis," *BMC Emergency Medicine*, Vol. 25, No. 1, Art. no. 94, June 2025.
<https://doi.org/10.1186/s12873-025-01256-2>
 - [23] S. Lee, E. Yang, J. Ryu, and I. Kim, "Designing a Framework for Team-Based XR Simulation," in *Society for Information Technology & Teacher Education International Conference*, Las Vegas, NV, pp. 1292-1297, 2024.
 - [24] S. Lee, E. Yang, and J. Ryu, "A Systematic Literature Review on Collaborative Learning in the XR-Based Learning

- Environment,” *Journal of Korean Association for Educational Information and Media*, Vol. 31, No. 2, pp. 519-537, 2025.
<https://doi.org/10.15833/KAFEIAM.31.2.519>
- [25] M. Stocker, M. Burmester, and M. Allen, “Optimisation of Simulated Team Training through the Application of Learning Theories: A Debate for a Conceptual Framework,” *BMC Medical Education*, Vol. 14, Art. no. 69, April 2014.
<https://doi.org/10.1186/1472-6920-14-69>
- [26] R. B. Laco and W. P. Stuart, “Simulation-Based Training Program to Improve Cardiopulmonary Resuscitation and Teamwork Skills for the Urgent Care Clinic Staff,” *Military Medicine*, Vol. 187, No. 5-6, pp. e764-e769, May/June 2022.
<https://doi.org/10.1093/milmed/usab198>
- [27] Korean Association of Cardiopulmonary Resuscitation, *Korean Advanced Life Support (KALS)*, 4th ed., Koonja Publishing, 2021.
- [28] J. Nolan, “Advanced Life Support Training,” *Resuscitation*, Vol. 50, No. 1, pp. 9-11, July 2001.
[https://doi.org/10.1016/S0300-9572\(01\)00395-1](https://doi.org/10.1016/S0300-9572(01)00395-1)
- [29] Korean Association of Cardiopulmonary Resuscitation, KALS Provider Course. Available:
https://www.kacpr.org/page/page.php?category1_code=1247206237&category2_code=1528172801&category_idx=1&page_idx=1109
- [30] K. W. Seo and H. K. Moon, “Effect of a Team-Based Professional Cardiopulmonary Resuscitation on Nursing Education Using a High-Fidelity Patient Simulator,” *The Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, Vol. 20, No. 1, pp. 301-312, 2020.
<https://doi.org/10.22251/jlcci.2020.20.1.301>
- [31] S. Armenia, L. Thangamathesvaran, A. D. Caine, N. King, A. Kunac, and A. M. Merchant, “The Role of High-Fidelity Team-Based Simulation in Acute Care Settings: A Systematic Review,” *The Surgery Journal*, Vol. 4, No. 3, pp. e136-e151, 2018.
<https://doi.org/10.1055/s-0038-1667315>
- [32] K. M. Jang and H. M. Hwang, “The Effect of Simulation Based KALS (Korean Advanced Life Support) Education Program on the Knowledge and Self-Efficacy about KALS among Nursing Students,” *Journal of Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 21, No. 1, pp. 121-128, 2020.
<https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.1.121>
- [33] H. Jung, H. S. Song, J.-Y. Noh, K.-S. Kang, S. H. Bang, and G. S. Shim, “Effects of a Simulation-Based Korean Advanced Life Support (KALS) Program on Knowledge, Confidence, and Critical Thinking Disposition for Paramedic Students,” *The Korean Journal of Emergency Medical Services*, Vol. 24, No. 1, pp. 57-66, April 2020.
<https://doi.org/10.14408/KJEMS.2020.24.1.057>
- [34] H. J. Choi, “Effect of Nursing Students’ Peer Feedback Korean Advanced Life Support (KALS) Simulation Practice for Self-Efficacy for Group Work, Team Mental Model, Learning Presence and Learning Satisfaction,” *The Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, Vol. 21, No. 8, pp. 353-364, April 2021.
- [35] C. N. Lacerenza, D. L. Reyes, S. L. Marlow, D. L. Joseph, and E. Salas, “Leadership Training Design, Delivery, and Implementation: A Meta-Analysis,” *Journal of Applied Psychology*, Vol. 102, No. 12, pp. 1686-1718, December 2017. <https://doi.org/10.1037/apl0000241>
- [36] R. M. U. Kaneko, I. Monteiro, and M. H. B. de M. Lopes, “Form for Planning and Elaborating High Fidelity Simulation Scenarios: A Validation Study,” *PLOS ONE*, Vol. 17, No. 9, Art. no. e0274239, September 2022.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0274239>
- [37] E. Parra, M. Alcañiz, C. Giglio, and I. A. C. Giglioli, “Use of XR Technologies for the Assessment and Training of Leadership Skills,” in *Roadmapping Extended Reality: Fundamentals and Applications*, M. Alcañiz, M. Sacco, and J. G. Tromp, Eds., Wiley, pp. 321-335, 2022.
<https://doi.org/10.1002/9781119865810.ch14>
- [38] G. Makransky, T. S. Terkildsen, and R. E. Mayer, “Adding Immersive Virtual Reality to a Science Lab Simulation Causes More Presence but Less Learning,” *Learning and Instruction*, Vol. 60, pp. 225-236, April 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2017.12.007>



양 은 별(Eunbyul Yang)

2025년~현재 : 제주대학교 초등교육학부
(조교수)

2023년 : 전남대학교 교육학과(교육학박사)

2019년 : 전남대학교 교육학과(교육학석사)

※관심분야 : 교육공학, 멀티모달 학습분석, 실감형·AI 기반 학습환경 설계 등