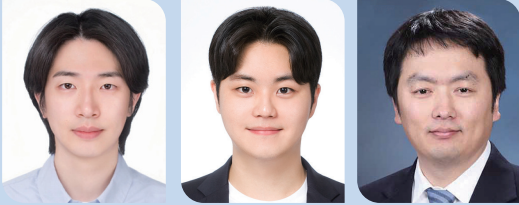


혼합현실 기반 3차원 시공 가이드스 기술 생성



이진혁 한양대학교 건설환경공학과 석박통합과정, wlsgur1274@hanyang.ac.kr
윤충배 한양대학교 건설환경공학과 석박통합과정, qw9194@hanyang.ac.kr
한상욱 한양대학교 건설환경공학과 교수, sanguk@hanyang.ac.kr

1. 서론

최근 건설현장에서 전통적인 건설기술에 인공지능, 사물인터넷과 같은 최신 정보통신기술을 융합한 스마트건설이 활발히 도입되고 있다는 기사들을 쉽게 접할 수 있다. 그러한 스마트건설 기술의 하나로 가상현실(Virtual Reality, VR)과 증강현실(Augmented Reality, AR)이 실무에 적용되어 가상의 공간에서 설계성과품을 시각적으로 검토하거나 시공성을 평가함으로써 설계 과정에서 의사결정의 효율성을 높인 다거나 최종결과물과 설계 모델을 현장에서 눈으로 직접 비교, 확인함으로써 시행착오를 줄이고 시공품질을 개선한다는 등의 사례들이 보고되고 있다. 특히, VR은 주변 세계와 격리된 가상의 디지털 환경 안에서 사용자가 직접 경험하며 실제와 유사한 체험을 제공한다는 점에서 가상건설 시뮬레이션을 구현하기 위한 원천 기술로서의 잠재성이 큰 것으로 평가되고 있다. 반면, AR은 사용자 주변의 물리적 실제 환경에 시각적으로 계층화된 디지털 정보를 제공한다는 점에서 현장에서 설계 데이터에 대한 접근성을 높이고 작업환경 및 정보를 직관적으로 파악하는데 효과적일 것이라 기대된다. 이러한 장점으로 인해 다양한 산업에서 그 활용이 높아질 것으로 예상되며, 글로벌 시장조사 전문업체인 마켓앤마켓(Markets and Markets)은 VR 및 AR의 세계 시장 규모가 2025년까지 각각 27.9%와 38.1%의 성장을 보일 것으로 전망하였다. 현재 건설 부문을 비롯한 다양한 산업 분야의 VR 및 AR 솔루션에 대한 수요가 증가하고 있고, 저렴한 VR/AR 장치의 보급 확대 및 기술 선도를 위한 활발한 투자 또한 이루어지고 있다.

국내의 경우 건설 분야에서 3차원 정보모델인 BIM (Building

Information Modeling)의 도입에 대한 발주처의 요구가 늘어나는 추세이다. BIM은 현장과 유사한 가상의 환경을 구현하는 데 필요한 구조물의 형상 정보를 다양한 데이터와 함께 담고 있다는 점에서 VR 및 AR 기술에 대한 시장의 수요를 더욱 촉진시키는 것으로 판단된다. 구체적인 활용 사례를 살펴보면, A건설사는 건축 현장에서 AR 기반의 품질관리 플랫폼을 시범 적용하여 그 성능을 검증하였으며, 최근 싱가포르, 카타르 등 해외 사업으로도 그 적용을 확대해나가고 있다. 또한, B건설사는 다양한 현장에서 BIM 기반의 VR 및 AR 기술을 시범 운용한 실적을 가지고 있으며, 축적된 데이터를 바탕으로 해당 기술을 활용할 수 있는 전문인력을 양성하여 실무에 적극적으로 도입해오고 있다. C건설사는 도로 현장에서 위험 상황 시뮬레이션 및 작업자 가상 체험 등의 VR 기술을 활용하여 근로자 안전 교육을 시행해오고 있다고 한다. 이처럼, 건설 산업에서 VR 및 AR 기술을 확대하려는 움직임이 본격적으로 이루어지고 있으며, 대형 건설사들을 주축으로 현장 활용 및 실무 도입을 위한 다양한 시도들이 이루어지고 있다.

이러한 사례들은 건설 산업에서 VR 및 AR 기술이 발주자, 설계사, 시공사 등 다양한 이해관계자들 간의 의사소통을 개선하고, 정보의 시각화를 통해 직관적으로 문제를 파악하고 해결 방안을 도출함으로써 건설관리의 효율성을 높이고 의사결정 과정을 최적화하는데 기여할 수 있는 잠재력이 있음을 보여준다. 하지만 건설 분야에서 해당 기술은 아직 도입 단계에 있으며, 양질의 가상현실 콘텐츠를 제작하는데 많은 시간과 인력이 소요되거나 착용형 VR/AR 장비를 현장에서 활용하는 데 어려움이 있는 등 실무 적용을 위해서는 여전히 해결해야 할 문제가 많은 것으로 판단된다. 이에 본고에



서는 3차원 시공 가이드스를 주제로 시공 단계에서 현장 작업자들에게 시각적으로 작업 정보를 제공하고, 체험형 가상 훈련을 통해 작업 숙련도를 높이기 위한 연구들을 소개하고자 한다.

2. 가상현실(VR) 기반 시공 가이드스 기술

가상현실 기반 시공 가이드스는 피드백 기반의 작업자 안전 교육과 작업 훈련 콘텐츠 생성을 자동화하기 위한 VR 기술로 구성되어 있다. 이러한 기술은 VR의 몰입형 및 대화형 특성을 활용하여 작업자가 통제된 가상 환경에서 필수 기술과 지식을 습득할 수 있도록 효과적인 교육 경험을 제공하도록 설계되었다. 특히, 작업자 자세 교육 및 평가 기술은 사용자가 VR 기반의 교육 과정 중 취한 자세에 대한 실시간 피드백을 받음으로써 불안정한 자세에 대한 지식과 함께 교육의 참여도를 높이고 동기를 부여하여 보다 효율적으로 작업자의 행동을 개선할 수 있으리라 기대되며, 타워 크레인 작업을 대상으로 개발된 작업 훈련 기술은 인공지능(AI) 기술과 VR을 결합함으로써 다양한 상황에 대한 작업 방식을 자동으로 생성하고 사용자는 가상 환경에서 따라 해봄으로써 작업 숙련도를 향상시키고자 개발되었다. 이와 같이 몰입성과 상호작용성이 강조된 VR의 장점을 작업자 교육 및 훈련에 활용하여 더 안전하고 효율적인 작업 환경을 구축할 수 있으리라 기대된다.

2.1. 가상현실(VR) 기반 건설 작업자 자세 교육 및 평가

본 연구는 건설 현장의 시공 단계별 특성을 반영하여 건설 작업자들에게 작업 자세 가이드와 훈련을 제공하는 기술에 관한 것이다. 이 기술을 통해 건설 작업자들은 가상 환경에서 숙련공의 자세를 모방하여 안전하고 최적화된 작업 자세를 익힐 수 있다. 또한, 건설 공정에 대한 다양한 시나리오를 시뮬레이션할 수 있어 효율적인 교육이 가능하다. 가상 환경에서 건설 작업자들은 3D 애니메이션을 활용하여 작업에 필요한 자세를 실시간으로 학습할 수 있으며, 이를 토대로 3D 깊이 카메라(RGB-D sensor)를 사용하여 실제 작업자의 움직임을 3인치 관점에서 스스로 관찰하고, 훈련 중 수집된 데이터를 바탕으로 인체공학적 평가를 제공한다. 훈련 과정에서 작업자의 관절 움직임에 대한 데이터는 프레임별로 x-y-z축에 대한 각도, 속도, 방향을 포함한 3D 모션 파일로 추출되어, Rapid Entire Body Assessment (REBA)와 같은 인체공학적 자세 평가 모델을 기반으로 작업자의 자세를 평가할 수 있다. 이를 통해 건설 작업자들의 자세 안정성과 생산성을 향상시킬 수 있으며, 이러한 실시간 피드백을 활용한 교육 시스템은 건설 현장에서의 작업 사고 감소와 효율성 증대 및 안전하고 최적화된 작업 환경 구축에 기여할 것으로 기대된다.



그림 1. VR 기반 건설 작업자 자세 교육 및 평가

2.2. 양중 계획(Motion Planning) 알고리즘 기반 타워크레인 레인 운전 훈련

본 연구는 인공지능(AI) 기반의 가상 타워크레인 운전 가이드와 시뮬레이션 환경을 제공하는 기술에 관한 것이다. 이는 게임엔진 기반의 강화학습 알고리즘을 활용하여 가상의 타워크레인 시공 경로 및 시나리오를 자동으로 생성한 후 VR 기술과 결합하여 작업자들에게 중장비 운영에 대한 훈련을 제공한다. 본 기술은 가상 환경에서 타워크레인의 운동학적 제한조건과 기구학적 특성을 고려하여 장비의 움직임, 경로, 작업 시간을 계획하고 추정할 수 있다. 이를 통해 VR 기기를 착용한 작업자들은 몰입도 높은 환경에서 타워크레인 운용 시뮬레이션을 경험할 수 있다. 예를 들어, 작업자들은 가상 환경에서 양중 계획(Motion Planning) 알고리즘을 기반으로 생성된 양중 경로를 따라 다양한 조건에서 시공 시나리오와 양중 경로 계획을 시뮬레이션하며 모사함으로써 훈련할 수 있다. 이를 통해 타워크레인 운전의 훈련 시간을 단축하고 효율적인 인력 양성이 가능하리라 기대된다. 또한, BIM 모델을 기반으로 실제 타워크레인 운용을 시뮬레이션함으로써 생산성 및 안전 측면에서 최적화된 운용 계획을 세우고 작업 환경을 구축하는데 기여할 것으로 예상된다.

3. 증강 현실(AR) 기반 시공 가이드 기술

증강 현실 기반 시공 가이드 생성 기술은 효율적인 시공 가이드라인, 시공정보에 대한 직관적인 접근, 사실적인 작업 시각화를 제공하기 위해 개발되었으며, 두 가지 핵심 기술인 태블릿 기반의 시공 객체 투영 및 BIM 객체 이미지 기반의 증강 현실(AR) 정합 기술로 구성되어 있다. 본 연구는 복잡하고 시시각각 변화하는 건설 현장의 특성상 AR 구현을 위한 마커의 활용이 어려운 점을 고려하여 태블릿과 같이 휴대가 용이한 장비에서도 현장에서 마커로 활용 가능한 객체(예, 기둥, 문, 표지판)를 기반으로 BIM 모델을 사용자의 시각에 투영하기 위한 정합 기법을 제안한다. 이를 통해 현장에서의 품질 관리 프로세스를 간소화하고 설계 정보의 즉각적인 확인 및 검토를 통해 작업의 효율성을 높일 수 있을 것이라 기대된다.

3.1. 태블릿 기반의 시공 객체 AR 투영 기술

본 연구는 홀로렌즈 등의 AR 장비보다 휴대성이 높은 태블릿을 활용하여 BIM 기반의 AR 시스템을 구현하기 위해 수행되었다. BIM 시공 객체를 증강현실 환경에 투영하기 위해 기점 마커(fiducial marker)를 활용하여 마커의 좌표계를 추

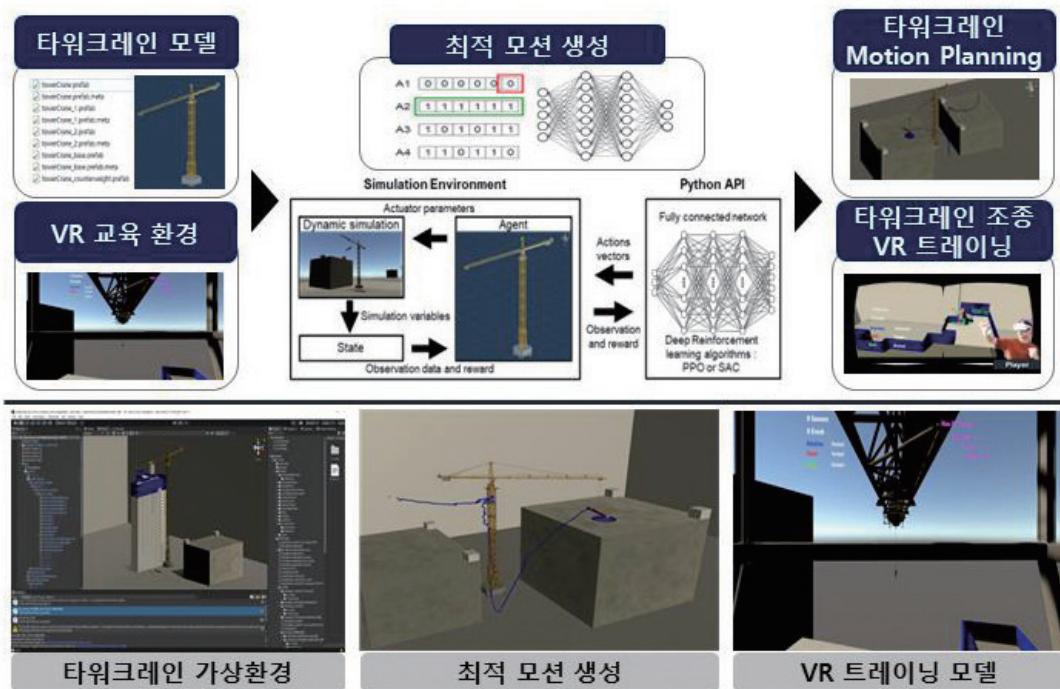


그림 2. Motion Planning 알고리즘 기반 타워크레인 VR 훈련

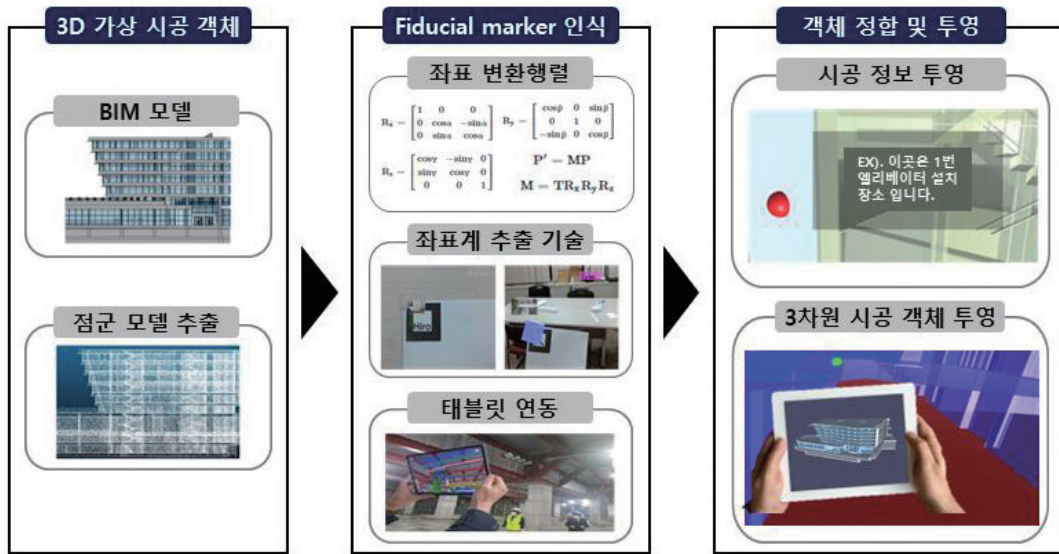


그림 3. 태블릿 기반의 시공 객체 AR 투영 기술

출한다. 추출한 좌표계의 변환 행렬을 사용하여 카메라 센서 기준의 시공 객체 초기 좌표 값을 계산한다. 이렇게 함으로써 BIM 모델을 AR 기기(태블릿) 상의 사용자의 실제 환경에 투영할 수 있으며, 시공 정보와 가이드라인은 AR 객체에 문서 형태로 저장되어 AR 환경 내에서 직관적으로 확인할 수 있다. 이 기술을 통해 기존 2차원 도면에서의 설계와 시공 간의 불일치 및 시공 품질 저하 문제를 해결하고, 3차원 시각화를 통해 시공 정보에 대한 직관적인 접근이 가능해지며, 이를 통해 건설 현장의 작업 효율성을 높일 것으로 기대된다. 특히, 태블릿을 활용한 BIM 기반의 3차원 증강현실 구현 기술은 AR 환경에서 시공 모델과 설계 모델을 시각적으로 비교함으로써 건설 현장의 작업 효율 및 시공 품질 개선에 큰 기여를 할 것으로 예상된다.

3.2. BIM 객체 이미지 기반 AR 정합 기술

본 연구는 BIM 모델 기반의 AR 정합을 위해 일반 객체(예, 기둥, 계단, 문)의 이미지 데이터를 AR 마커로 활용할 수 있는지를 검증하기 위해 수행되었다. 이를 위해 BIM 모델에서 위치를 알고 있는 구조물 객체를 선택하고, 이 객체에 대한 이미지로부터 AR 장비(예, 홀로렌즈, 모바일 기기)의 포즈를 추정하는 모델을 학습시킨다. 추정된 AR 장비의 포즈 정보를 바탕으로 사용자의 관점에서 실제 표면에 해당 BIM 모델을 투영한다. 기존의 마커 기반의 AR 기술은 마커의 설치가 번거롭고 손상되기 쉬운 한계를 가지고 있는 반면, 본 기술

은 BIM 모델에서 알 수 있는 객체의 위치 정보를 활용함으로써 AR 기술이 건설 현장에서 실제 활용이 가능하도록 한 걸음 더 나아가는데 기여할 것으로 기대된다. 체계적으로 시각화된 정보는 건설 현장에서 더욱 효율적이고 정확하게 시공 과정을 관리할 수 있도록 지원하며, 이러한 AR 기반의 시각화 구현 기술은 향후 현장 작업자와 관리자에게 어떤 정보를 어떻게 제공하는 것이 효율적인지와 같은 AR 인터페이스를 연구하는데 바탕이 될 것으로 전망된다.

4. 맺음말

하드웨어와 소프트웨어 모두에서 컴퓨터 기술이 발달하며 건설 분야에서도 VR 및 AR 기술에 대한 활발한 연구가 이루어지고 있다. 이러한 VR 및 AR 기술은 부재의 위치 및 상세 정보를 시각적으로 제공함으로써 현장 근로자들 사이의 의사소통을 촉진시키고(Baek et al., 2019), 현장에 대한 이해도를 높이는 동시에(Kim et al., 2015) 공기 및 원가 절감 효과도 얻을 수 있는 것으로 보고되었다(Lee et al., 2017). 또한, 설계에 대한 이해도를 높임으로써 시공 중 설계 변경을 줄일 수 있으며(Lee et al., 2020), 작업 중 오류를 줄일 수 있다는 연구결과 또한 보고되었다(Hou et al., 2017). 그럼에도 아직은 건설 분야 전반에 걸쳐 시범사례를 넘어 실무로 정착된 사례는 드문 듯하다. 그러한 원인 중 하나로 현재 많은 시각화 관련 연구들이 시각화의 구현에 중점을 두고 기

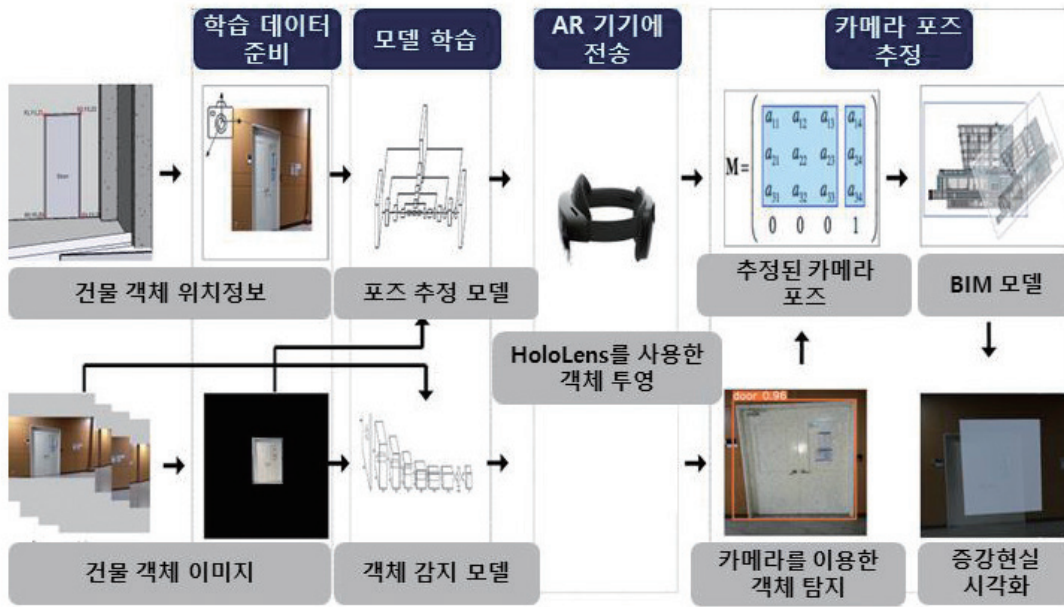


그림 4. BIM 객체 이미지 기반 AR 정합 기술

술 개발이 이루어지고 있으나 정작 현장에서 필요로 하는 어떤 정보를 시각화할 것인지, 그러한 시각화 기술 도입의 효과를 어떻게 측정할 수 있는지에 대한 연구는 아직은 미흡하기 때문이라 판단된다. 건설 현장에서 쓸 수 있을 수준의 기술 개발은 중요하며 또 선행되어야 하지만, 그와 함께 실무에 어떻게 활용할 수 있을지에 대한 연구 또한 필요라리라 사료된다. 본 연구진은 VR의 훈련 콘텐츠를 어떻게 효율적으로 만들 수 있을지, AR 장비나 마커를 활용하지 않고 현장에서 어떻게 AR을 구현할 수 있을지와 같은 현재 당면한 문제를 해결하기 위해 연구를 수행해오고 있다. 이러한 연구가 VR 및 AR과 같은 시각화 기술을 현장에서 더욱 손쉽게 도입하기 위한 기반을 마련하는데 도움이 되기를 바라며, 향후 현장 실무에 활용이 가능한 시각화 콘텐츠 및 인터페이스 분야로 연구를 이어나가고자 한다. 최근 발주기관의 의지와 지원으로 다양한 데이터 및 콘텐츠를 담을 수 있는 BIM의 도입은 더욱 가속화될 것으로 예상된다. 이와 함께 VR 및 AR과 같은 시각화 관련 연구도 더욱 활성화되리라 예상되며, 이러한 연구가 생산성 향상, 안전사고 감소, 인력 부족 완화 등 지속가능한 건설 산업의 발전에 기여하길 기대한다.

참고문헌

1. Im, M. S. (2021). 건설산업의 디지털 혁신 전략과 향후 전망. *Construction Engineering and Management*, 22(1), 13-18.
2. Jeong, G. H., & Kim, D. G. (2022). 현대건설, 건설산업 디지털 전환 현황과 미래. *Construction Engineering and Management*, 23(1), 25-31.
3. Baek, F., Ha, I., and Kim, H. (2018). Augmented reality system for facility management using image-based indoor localization. *Automation in Construction*, 99, 18-26.
4. 이민주, 이현민, 이일수, 남상혁. (2017). 건설 산업에서의 AR 적용. *한국강구조학회지*, 29(2), 12-16
5. 김홍조, 김창운, 정호영, 하수지, 김기남, 김형관. (2015). 마커 기반 증강현실 4D CAD 도면. *한국건설관리학회 논문집*, 16(4), pp. 30-40.
6. 이송현, 김준호, 안동열. (2020). 스마트 건설기술·안전 적용 사례. *쌍용건설 토목기술팀*, 47-50.
7. Hou, L., Chi, H.-L., Tarng, W., Chai, J., Panuwatwanich, K., and Wang, X. (2017). A framework of innovative learning for skill development in complex operational tasks. *Automation in Construction*, 83, 29-40.