
Global Report

건축, 엔지니어링, 건설(AEC)분야의 가상인간 어플리케이션 연구 동향

1. 개요
2. 연구방법
3. AEC 분야에서의 가상인간
4. AEC 분야에서의 가상인간 어플리케이션
5. 가상연속체 내의 가상인간
6. 디스플레이 및 입력용 하드웨어
7. 소프트웨어 동향 및 활용
8. 요약 및 결론

1. 개요

건축, 엔지니어링 및 건설(이하 AEC) 산업의 복잡하고 역동적인 과업 수행을 위해 필요한 정보가 증가함에 따라 최첨단 기술의 사용이 필요하다. 가상현실은 컴퓨터가 생성한 환경에서 시각화 및 상호작용을 위한 틀을 제공한다. 몇몇 연구들은 시뮬레이션(Rekapalli and Martinez 2010, ElNimr and Mohamed 2011), 교육 (Messer 외 2003, Sampaio and Martins 2014), 훈련(Dawood 외 2014), 시각화 (Shen and Marks 2015, Yang et al. 2016)와 같은, AEC 산업의 서로 다른 분야에서 가상현실 활용의 이점들을 논의해왔다. 가상현실 환경은 가상세계에서 건물, 다리 및 고속도로와 같은 호스트 객체와 시스템뿐만 아니라 인간 체형의 가상 표현에 이르기 까지 확대되었다. 현재 AEC 어플리케이션에는 가상 세계에서 인간의 작업을 시뮬레이션하기 위해 사용자 및 컴퓨터가 통제할 수 있는 인체가 등장했다. 가상인간은 인간을 모사하거나 흉내 내고 실제 또는 가상의 물체, 인간 또는 시스템과 상호 작용하는 수단을 제공하는, 컴퓨터에 의해 생성된 객체로 사용되었다. 가상인간은 아바타와 에이전트라는 두 가지 형태로 인간의 육체적 상호 작용에 제한된 공간적 한계를 초월한 플랫폼을 제공한다. 바들러(Badler, 1997)는 아바타를 실제 사람이 조작하는 가상 인간으로, 컴퓨터 소프트웨어로 생성되고 조작되는 가상인간 형상을 에이전트로 정의했다. 이러한 상호 작용은 그림 1에서와 같이 가상 인간, 실제 인간 또는 컴퓨터를 제어하는 오퍼레이터에 따라 가상인간은 인간이 제어하는 아바타나 컴퓨터 소프트웨어가 제어하는 에이전트가 된다.

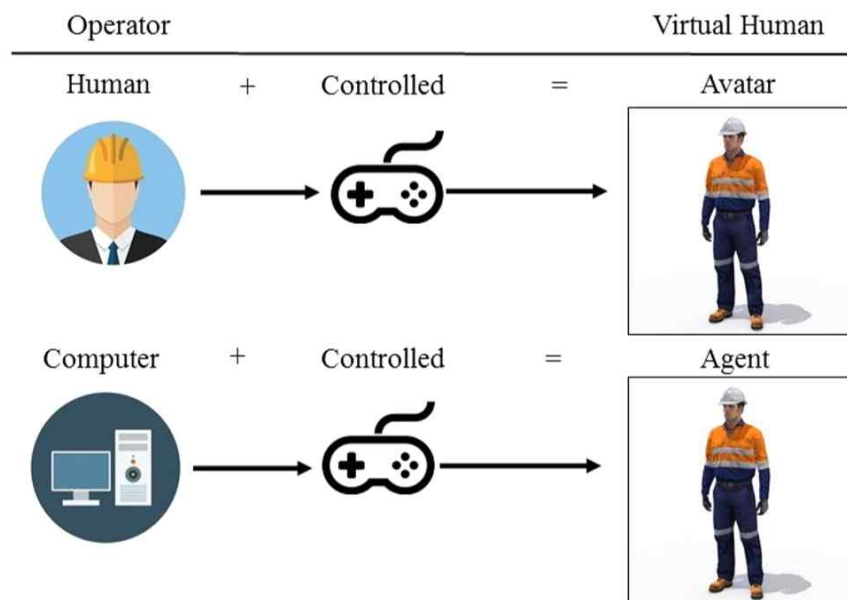


그림 1. 가상인간: 아바타와 에이전트

2. 연구방법

문헌 조사를 철저하고 심도있게 수행하여 선행 연구를 토대로 결론을 도출하기 위해 AEC 분야에서의 가상인간의 일반적 동향에 대한 검토가 수행되었다. 그 목적은 AEC에서 가상인간 어플리케이션의 연구 동향을 규명하는 것이었다. 이 목적을 이루기 위해 연구 질문들을 다음과 같이 설정하였다.:

- * 연구 질문 1: AEC 분야에서 가상인간의 현황은 어떤가?
- * 연구 질문 2: AEC 분야에서 현재 가상인간이 활용되는 어플리케이션은 무엇인가?
- * 연구 질문 3: AEC 분야에서 어떤 유형의 가상인간이 사용되는가?
- * 연구 질문 4: AEC 분야에서 어떤 유형의 상호작용 방식이 가상인간을 위해 사용되고 있는가?
- * 연구 질문 5: AEC 분야에서 가상인간 연구로 구현된 하드웨어 및 소프트웨어는 무엇인가?

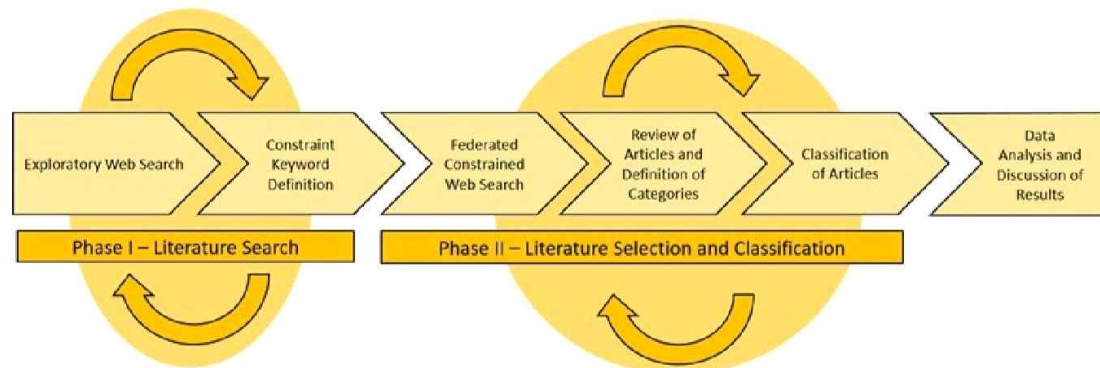


그림 2. 연구 방법

2.1. 문헌고찰

이 연구에서는 아바타나 에이전트의 형식으로 인간을 모사하거나 흉내내는 컴퓨터 생성 객체들로 가상인간을 다룬 출판물들을 찾고자 한다. 이러한 가상인간 표현물들은 상호작용을 허용하는 가상환경 속에 시각적 형태를 갖출 필요가 있다. 다른 말로 가상인간이 디지털 설정과 상호작용할 때 시스템 사용자들이 가상인간을 직접 관찰할 수 있어야 한다.

주제의 범주에 맞지 않는 논문들은 제외시키면서 얻은 콘텐츠를 평가하고 필터링하기 위해 웹 검색으로 키워드들이 선택되었다. 4개의 필터들(표 1)을 사용해서 체계적으로 검색 문헌들을 판단하였다. 출판물의 제목, 초록, 본문, 발행연도 검색을 위해 특별히 고안된 필터들은 사용 가능한 문헌들을 판단하기 위해 조합적인 방식으로 활용되었다.

첫 번째 필터는 출판물의 연구 분야를 판단했다. 검색은 건설, 건축 및 엔지니어링 분야 내에서 이루어졌다. 두 번째 필터는 연구 내용을 검토했다. 이것은 검토 문서의 요약(abstract)이나 본문에 있는 특성을 정의하는 중요한 필터이다. 최초의 웹 검색을 수행한 후에 "가상 인간", "아바타", "에이전트", "가상 사용자", "교육용 게임", "진지한 게임", "가상 에이전트"가 일반적으로 관찰되는 분류자들로 정의되었다. 이들은 이 연구의 범위를 정확하게 반영하기 위해 선별되었다. 세 번째 필터는 가상인간이 요약이나 본문에서 다루어진 문서 중에서 특정 문맥들을 판단한다. 가상인간이 AEC에 적용된 문서들 중 "시뮬레이션", "교육", "훈련", "가시화"는 예비선정(preliminary) 문맥들로 확인되었다. 마지막으로 네 번째 필터는 문서의 출판 시기와 관련된다. 최신 정보만 확인하기 위해 지난 10년 간(2006년 1월 ~ 2016년 9월) 발행된 논문들만 고려했다.

표 1. 키워드 또는 분류자에 의한 연구 문헌 필터링

Filter	Keyword or Classifier			
1. Title/Abstract	Construction	Architecture	Engineering	
2. Abstract/Body	Virtual Human	Avatar	Agent	Virtual Users
	Educational Games	Serious Games	Virtual Agent	
3. Abstract/Body	Simulation	Education	Training	Visualization
4. Year	Jan. 2006	through	Sept. 2016	

2.2. 문헌 선별 및 분류

문헌 검색 후에 출판물들을 선별하여 제한된 검색을 수행하였다. 이 검색은 다음의 연구 데이터베이스 내의 저널 출판물과 컨퍼런스 학술대회논문만을 대상으로 수행되었다.:

미국 토목 공학회 (ASCE), 미국 공학 교육 학회 (ASEE), Elsevier, Emerald, Taylor and Francis (T &F), Sage, Springer, Hindawi, 전기전자공학연구소(IEEE), 컴퓨팅기계협회(ASM), 캐나다 과학 출판사, WASET (World Academy of Science, Engineering and Technology), Cumulative Index in Computer Aided Architectural Design (CumInCAD), Information Technology in Construction

(ITcon), Associate Schools of Construction (ASC), International Council for Research and Innovation in Building(CIB), 디지털 게임 연구 협회 (DiGRA)

가상인간의 주제에 관한 각 연구의 중요성과 관련성을 판단하기 위해 내용에 따라 출판물들을 포함하거나 제외하기 위한 기준이 설정되었다. 먼저 가상 인간에 대한 연구를 직접 보고하지 않은 논문들을 확인하고 제외시켰다. 또한 연구 결과가 기타 원고 유형(예, 편집 노트, 서평)을 제외하기 위해, 저널 출판물이나 학술대회 발표논문인지 판단하기 위한 출판물의 유형이 평가되었다.

둘째, 첫 번째 범주를 따르는 원고들이 논문 내용이 최소 1개 이상의 연구 질문들을 논의했는지 확인하기 위해 검토되었다. 논문들에 대한 순차적 평가(incremental evaluation)를 수행하면서 여러 데이터 소스들로부터 기준에 맞는 문서들이 분석에 추가되었다.

수집된 자료는 대상에 대한 지속적인 주제관련 개발과 이론화에 대한 추세나 패턴에 대해 새로운 정보를 더 이상 얻을 수 없을 때 포화점이 발견될 수 있음(Patton 1990; Lincoln and Guba 1985 Higginbotham 외, 2001)을 시사 하는 질적 특성(qualitative nature)을 지녔으며, 연구의 표본 수에 대한 최종 결정은 데이터 포화 또는 중복 발생을 바탕으로 행해졌다. 이 포화점은 평가된 자료와 새로운 자료를 비교할 경우에 표본 중에서 검토 문헌의 전망, 범주, 결론을 확인하면서 추가 표본 추출의 필요성이 거의 없음을 나타낼 때 관찰되었다 (Suter 2011). 가상인간에 대해 앞서 논의한 연구 질문들에 대한 동향과 패턴에 대한 통찰력을 제공하기에 충분한 정보가 수집되면서 포화점에 도달되었다.

총 54개의 관련 문헌들이 문헌 선별과 분류를 통해 얻어졌다.

2.3 데이터 분석과 결과물의 논의

문헌 선별로 얻어진 54개의 연구들은 논문 내용을 분리하고 데이터의 해석을 용이하도록 분류되었다. 분석은 표 2에서 공식화된 질문과 기준에 따라 각 개별 간행물에 대해 수행되었다. 제시된 분석 기준은 제시된 각 변수에 대한 데이터를 수집하여 해당 연구 질문에 답할 목적으로 정의되었다. 이 과정은 AEC 분야에서 가상인간의 동향을 규명한 개별 연구들의 결과물의 종합을 가능하게 했다. 최종적으로 결과물의 요약이 그에 상응하는 결론과 함께 제시되었다.

표 2. 제안된 연구 질문별 분석 범주

	RQ1	RQ2	RQ3	RQ4	RQ5
Analysis Criteria	Publications Number			Human-Avatar Interactions	Type of output device
	Publication year	Virtual human application	Utilization of avatars and agents	Human-Agent Interactions	Type of input device
	Publication source			Other type of interactions	Game engine software utilized
	Publication authors				Other type of software utilized

3. AEC 분야에서의 가상인간

가상 인간에 대한 연간 출판물 수는 그림 3과 같다. 처음 5년 (2006~2010) 동안에는 연간 평균 2.4건으로 기사 수가 적다. 2011년 출판물 수는 이전 연도 평균에 비해 거의 4배로 증가하여 9건으로 증가했다. 다음 3년 (2011~2014) 동안 급성장 곡선 위에 표시된 바와 같이 출판물들에 급격한 변화가 있었다. 최근 2년 (2015~2016)간 전반적으로 출판물들이 크게 줄어드는 추세를 보였다.

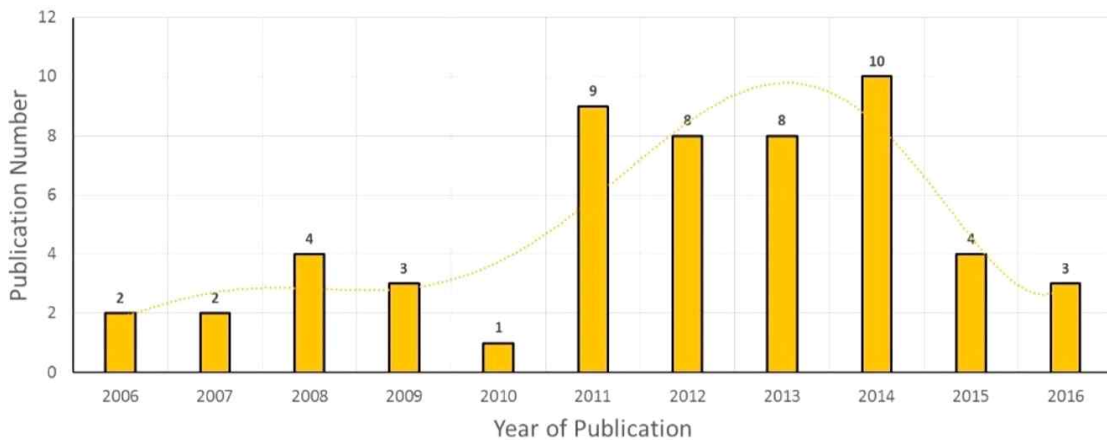


그림 3. 가상인간관련 출판물(2006-2016) 편수

또한 검색 방법으로 얻은 출판물의 수는 해당 연도 범위 내에서 저널 및 컨퍼런스별로 분류되었다. 표 3은 지난 10년간 가상인간에 대해 다룬 1개 이상의 저널과 컨퍼런스들을 보여준다. 저널 간행물의 경우, Journal of Information Technology (26.66%)에서 가장 많았고, 그 다음으로 Journals of Automation in Construction (20%) 및 Computing in Civil Engineering (20%)의 저널들에서 가상인간을 많이 다루었다.

이 3개 저널의 출판물들은 2006년 이후 8년간 지속적으로 가상인간에 대해 출판한, 찾아낸 모든 저널 간행물들 중 66.67%를 차지했다.

학술발표대회 원고들 중에서는 Construction Research (20.8 %)의 출판물들이 가장 많았고, 그 뒤를 Conference of Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe (12.5%), International Conference of on Computer Aided Architectural Design (8.3%), American Society for Engineering Education Conference and Exposition (8.3%)의 순으로 따랐다.

이는 대부분의 가상인간 관련 출판물들이 AEC 분야의 기술 관련 저널들과 교육 컴퓨팅 관련 컨퍼런스의 학술발표대회에서 다루어 졌음을 시사한다. 기타 저널들 및 컨퍼런스에서 발행된 나머지 출판물들은 AEC의 기타 분야에서 가상인간 어플리케이션에 적용할 수 있는 다 분야 및 다방면의 연구 노력들을 예증하고 있다.

표 3. 시기별 학술지 및 학술대회 발간물 편수

Journals and Conferences	Year Range	Number of Papers
Journal of Information Technology in Construction (ITcon)	2006-2011	8
Journal of Automation in Construction (ELSEVIER)	2010-2013	6
Journal of Computing in Civil Engineering (ASCE)	2012-2014	6
Construction Research Congress (ASCE CRC)	2009-2016	5
Conference of Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe (eCAADe)	2007-2008	3
International Conference on Computer Aided Architectural Design (CAADFutures)	2009-2011	2
American Society for Engineering Education Annual Conference and Exposition (ASEE)	2013-2015	2
Others	2007-2014	22
Total		54

마지막으로, 얻어낸 출판물들을 워드 클라우드(word clouds)를 이용하여 분석했다. 이 분석 방법은 단어 빈도를 시각적으로 표시하여 발생 빈도에 따라 단어에 시각적으로 가중치를 부여한다. 출판물의 저자의 성(姓)과 제목은 저자의 출판 빈도 및 제목의 단어들의 개괄적 내용을 제공하기 위해 이 방법을 이용하여 측정된다. 그림 5 (a)에서 상위의 저자들은 Li, H. (홍콩 폴리텍 대학), Lin, K. (워싱턴 대학), Goedert, JD (네브래스카 대학), Teizer, J. (Ruhr 대학)이었다.

가장 많은 출판물을 보유한 저자 인 Li, H.는 2012년과 2015년 사이에 가상인간에 관한 5개의 논문을 발표했고 그의 논문 주제는 건설 정보학, 건설 관리 및 건설 건강과 안전에 중점을 둔다. 그림 5 (b)에서 연구 제목에 포함된 가장 공통적인 단어는 "건설", "가상(Virtual)", "안전", "교육", "설계", "게임"이다. "건설"과 "설계" 부문은 가상인간과 빈번하게 관련되는 주제였다.

"안전"과 "교육"은 반복적으로 사용되는 응용 프로그램들에서 사용되었고, "가상"과 "게임"은 찾아낸 간행물들의 전체 제목들에서 컴퓨팅 기술 구성 요소들을 나타내고 있었다.



(a) Author



(b) Article Title

그림 5. 워드 클라우드

4. AEC 분야에서의 가상인간 어플리케이션

문헌 고찰을 통해 7개의 중복 범주에서 가상인간 어플리케이션들을 분류할 수 있는 성향들이 관찰되었다: (1) 비용 산정 (2) 현장 관리 (3) 일정 계획 (4) 시스템 평가 및 분석 (5) 협업과 소통 (6) 안전 (7) 교육

이러한 범주들에서는 상호작용과 대화를 통해 그 핵심 동력으로 가상인간을 활용한다. 그림 6은 어플리케이션별 분포 백분율과 해당 범주에 따라 분류된 논문 수를 보여준다.

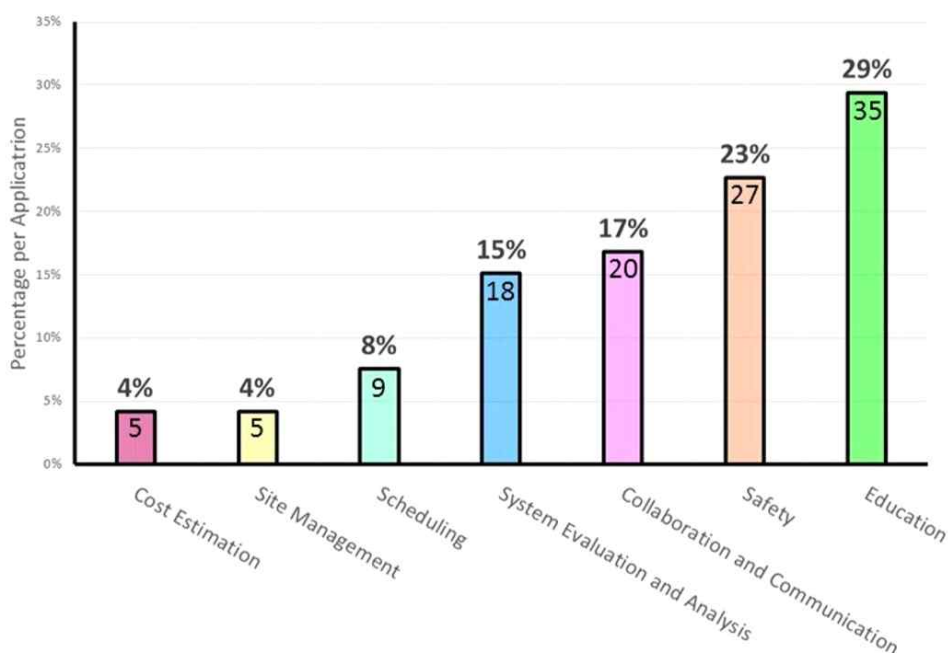


그림 6. AEC 분야에서의 가상인간 적용 사례

비용 예측 범주는 검토 논문들 중 5건의 출판물들(4%)에서 찾아냈다. 가상 인간들이 작업 비용 예측

관련 교육용 게임 시스템의 일부로 사용자와의 상호작용에 활용되었다(Shiratuddin와 Thabet 2011, Goedert 외. 2011, Goedert 외. 2013, Rokooei와 Goedert 2015, Goedert와 Rokooei 2016). 부지 관리도 5개의 출판물들 (4%)에서 검색되었다. 현장 운영 및 공정들이 안전교육(Ku et al. 2009, Li et al. 2012 (b), Lee et al. 2014), visualization of field operations (Goedert et al. 2011), 현장 운영 가시화(Goedert et al. 2011), 현장 기동 분석(field manoeuvre analysis) 시연 (Cheng and Teizer 2013) 을 위한 가상인간들에 의해 시뮬레이션 되었다.

일정 계획은 9건의 연구 출판물(8%)에서 검색되었다. 프로젝트 요소를 구축하는데 필요한 절차와 단계들이 어떤 환경을 검토하고 그 환경과 상호작용(Dickinson 외 2009, Ku와 Mahabaleshwarkar 2011, Miller 외. 2012)하거나 프로젝트의 시공간적 변화를 가시화(Goedert 외. 2011, Park과 Kim 2013, Goedert 외. 2013, Sacks 외. 2014, Rokooei와 Goedert 2015, Goedert와 Rokooei 2016)하는 가상인간의 활용을 통한 조사에서 강조되었다. 시스템 평가와 분석을 위한 범주는 18개 논문들 (15%)에서 검색되었다. 가상인간들은 최종 사용자 경험을 개선하고 (Wokseep와 Olofsson 2006, Christiansson 외. 2011, Boeykens 2011, Oerter 외. 2014) 화재 대피 계획을 검토하거나 (Møi 외. 2008, Aizhu 외. 2008, Wang 외. 2014) 시뮬레이션된 설계물을 통한 분석을 수행 (Yan과 Liu 2007, Indraprastha와 Shinozaki 2008, Dickinson 외 2009, Yan 외. 2010, Shiratuddin과 Thabet 2011, Teizer 외. 2013, Cheng과 Teizer 2013, Fang과 Teizer 2014, Fang 외. 2014, Sacks 외. 2014, Edwards 외. 2015)하기 위한 설계물의 일부로 사용되었다.

협업과 소통 범주는 20개의 검토 논문들(17%)에서 검색되었다. 협업 설계와 시공 도구로 등장한 가상인간들(Rosenman 외 2006, Nederveen 2007, Chase 외 2008, Gu 외 2009, Merrick 외 2011, Arain과 Burkle 2011, Ku와 Mahabaleshwarkar 2011, Le와 Park 2012, Le 외 2014) 은 컴퓨터 게임 "Second Life" (Linden Lab 2003)에 의해 창조된 가상 환경에서 구현되었다. 게임 플랫폼은 아바타들이 음성채팅과 인스턴트 문자 메시지들을 활용하여 소통하면서 설계 및 건설업 전반에 걸쳐서 여러 분야간 협력할 수 있는 공간을 제공했다. 이러한 특성들은 플랫폼이 유사 어플리케이션들을 탐색할 수 있도록 하는 사용자 채널들을 구현하면서 사용자들이 가상공간에 그들의 아이디어와 요구 사항들을 표출함으로써 시설물의 설계 검토 과정 중에 기여할 수 있도록 하였다 (Christiansson 외 2011, Shiratuddin과 Thabet 2011).

거래 간의 의사소통 촉진을 위해 가상환경을 사용하는 개념이 "Second Life" 게임 플랫폼 외부에서 다른 게임 플랫폼들로 옮겨졌다 (Guo 외 2012, Li 외 2012, Miller 외 2012, Fang과 Teizer 2014, Fang 외 2014, Edwards 외 2015, Fallahi 외 2015, Du 외 2016).

Andersonand Dossick (2014)은 3D 가상세계에서 협업하면서 건물정보모델(BIM)의 문제점들을 탐색하기 위해 유사한 게임 프레임 워크를 활용했다. 이러한 소통 매체는 물리적 세계의 일부만 모사하지만 아바타 사용으로 제공되는 상호작용에 의해 참여자들이 BIM 모델들의 이용을 최대화할 수 있는 추가적 이점을 갖는다 (Anderson 외 2014).

검토된 원고들 중에서 가장 많은 출판물을 갖는 2개의 범주는 안전(23%, 27개 논문)과 교육(29%, 35개 논문)이었다. 표 4에서와 같이 안전 관련 출판물들은 모두 교육 관련 논문들과 직접 중복되었다. 이러한 중복은 사용자가 물리적 제약들로부터 벗어날 수 있는 가상인간 기술의 고유한 이점들에서 비롯된다.

표 4. 교육과 안전 범주의 중복

Educational Topic	Number of Publications	Area of Application
Safety-related	27	Hazard Recognition, and Hands-On Safety Training
Non-Safety Related	8	Design Education, Collaborative Education, and Project Planning

검토된 출판물들은 잠재적으로 개인을 위험에 노출시키지 않는 안전과 관련된 개념을 가르치기 위한 교육체계의 일부로 발간되었다. 교육도구로서의 가상인간들은 건설 안전 산업에서 광범위하게 채택되었다. 위험 인지 (Ku et al. 2009, Lin et al. 2011, Ku and Mahabaleshwarkar 2011, Le and Park 2012, Tepe et al. 2012, Zhao et al. 2012, Liaw et al. 2012, Miller et al. 2012, Park and Kim 2013, Chen et al. 2013, Tixier et al. 2013, Greuter et al. 2013, Greuter and Tepe 2013, Albert et al. 2014, Lee et al 2014, Le et al. 2014, Bhide et al. 2015, and Kiral et al. 2015)와 안전 실습 교육 (Dickinson, et al. 2011, Guo et al. 2012, Li et al. 2012 (a), Li et al. 2012 (b), Teizer et al. 2013, Cheng and Teizer 2013, Fang and Teizer 2014, Fang et al. 2014, Fallahi et al. 2016)이 가장 잘 알려진 안전 교육에서 가상인간 어플리케이션들이다.

안전과 무관한 다른 교육용 가상인간 어플리케이션들도 있다. 설계 교육 (Yan과 Liu 2007, Yan 외 2010)과 협업 교육 (Gu 외 2009, Arain과 Burkley 2011), 프로젝트 기획(Goedert 외 2011, Goedert 외 2013, Rokooei와 Goedert 2014, Goedert와 Rokooei 2016)이 문헌에서 확인된, 안전과 무관한 3가지 분야들이다.

설계 교육은 시스템 평가와 시뮬레이션 분석을 통해 수행된다. 유사하게 협업 교육은 시공간적 맥락에 대한 아이디어들을 전달하기 위해 다른 객체들과 시스템들과 함께 다른 가상인간들과의 상호 작용을 활용한다. 마지막으로, 프로젝트 기획에 대한 교육은 학생들이 프로젝트의 몇 가지 특징들(비용, 시공가능성, 스케줄 등)을 평가해야하는 프로젝트를 시뮬레이션하면서 가상인간, 객체, 시스템 상호간의 상호작용을 통합하는 것으로 수행된다.

5. 가상 연속체(continuum) 내의 가상인간

5.1 아바타와 에이전트의 명칭

AEC 문헌에서 가상인간에 대한 명명 규칙들은 단편적이고 때로는 혼용된다. 1990년대 이후에 활용된 가상인간의 개념과 분류법은 컴퓨터 과학 분야에서 유래한다. 게다가 아바타와 에이전트의 정의는 연구논문의 몇몇 저자들에 의해 바뀌거나 재명명 되기도 했다. 종종 “아바타”라는 용어는 게임 산업 및 그와 관련된 컴퓨터 과학 단체에서 유래했기 때문에 적절하게 활용되어왔다. AEC 분야에서 가상인간의 유명한 초기 구현은 가상환경과 상호작용하는 아바타를 이용하는 “Second Life” 플랫폼의 활용을 통해서였다 (Rosenman 외 2006, Nederveen 2007). 이러한 추세는 사용자가 가상 환경과 상호 작용할 수 있는 다양한 플랫폼을 사용하여 현재까지 지속되었다 (Du 외, 2016).

주요한 불규칙성들은 에이전트(Agent)의 명명 규칙에서 발생된다. 검토된 문헌들에서 에이전트라는 용어는 다른 키워드들로 대체되었다(표 5). 하지만, 에이전트 실체의 본질은 명명 방식을 초월하여 모든 출판물들에 남아있다. 가장 많이 사용되는 용어는 어떤 에이전트로 언급되는 키워드의 정의를 대체하는 “아바타”이고 두 번째로 많이 사용된 용어는 에이전트가 나타내는 일반적 실체인 “작업자(worker)”이다.

표 5. 문헌에서 찾아낸 에이전트 명칭

Keyword	Frequency
Avatar	6
Workers	5
Animated Game Character	3
Consultant	3
Virtual Humans	1
Virtual Users	1

5.2 상호작용

이 연구에서 상호작용은 정보를 전달하거나 가상환경과 실제 인간들 사이에 소통하기 위해 가상인간을 사용하는 메커니즘이다. 이러한 메시지 전달 방식은 말하기, 몸짓, 문자, 오디오 또는 그들의 조합을 포함한다. AEC는 집단 네트워크들이 일시적이고, 고유하고 불연속적인 프로젝트 기반의 산업이다. 이러한 프로젝트들에서 사람들 간의 상호연관성은 역동적인 작업공간의 특성으로 인해 지속적으로 변한다. 모든 프로젝트는 고유한 특징들을 갖고 특수하고 유한하게 참여하는, 수많은, 상호 연관된 개인들을 동반한다. (Dainty 외 2006). 가상 인간들은 현실과 가상환경 사이에서 이러한 상호작용과 소통과정을 촉진하기 위해 사용되어왔다. 따라서 가상인간에 대한 현재의 정보전달 기술들을 조사하는 것은 관련성이 있다. 이러한 특성과 메커니즘들은 집단 네트워크와 인간에 대한 가상의 상호작용의 복잡성을 재현하는 연구자들에 의해 시험되어왔다. Milgram 등 (1994)은 실제 환경과 가상 환경 간의 상호 작용을 설명하는 가상 연속체(Virtual Continuum)의 개념을 탐구했다. 이 개념은 가상인간들이 아바타나 에이전트의 형식으로 존재하는 상호작용물들로 외삽(外挿, extrapolation, 역자주: 해석학에서 어떤 그래프 등의 자료에서 나와 있지 않은 부분을, 그 부분에 가까운 부분에서 이어나가는 추정하는 방법)될 수 있다. 가상 연속체 속의 인간, 아바타, 에이전트 간의 상호작용(그림 7)이 AEC 분야에서 조금씩 연구되어 왔다. 전반적으로 모든 상호 작용의 유형들이 아바타와 에이전트들 간의 직접적인 상호작용을 제외하고 AEC 분야에서 활용되었다.

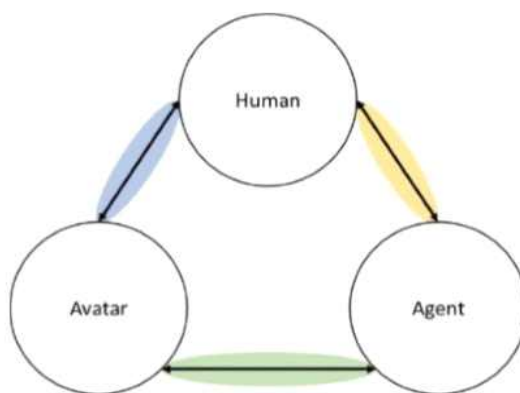


그림 7. 가상인간 상호작용

아바타들은 가상 연속체 내에서 정보가 흘러가는 방향에 따라서 인간들과의 세 가지의 가능한 상호작용들의 집합체를 갖고 있다 (그림 8).

첫째, 연속된 정보는 가상 환경에서 개체(entity)의 행동을 지시하면서 인간에서 아바타 (인간→아바타)로 이동할 수 있다. 이러한 상호작용의 유형은 가상환경을 탐색하고 가상환경과 상호작용하는 아바타의 모든 행동을 지시하는 인간이 아바타를 통제하는 Woksepp와 Olofsson (2006)의 연구에서 관찰될 수 있다. 7가지 인간→아바타의 상호작용들이 검토 논문들에서 확인되었다. 둘째, 의사결정을 위한 가상환경으로부터 정보를 얻기 위해 연속적 정보가 인간에서 아바타로 아바타에서 인간 (인간→아바타→인간)으로 전달될 수 있다. 이러한 유형은 안전 관리자가 실시간으로 안전 위험 정보를 작업자들에게 제공하기 위해 아바타를 이용한 Park과 Kim (2013)의 연구에서 관찰될 수 있다. 이 방식은 실행의 어려움으로 오직 2개의 출판물들만 인간→아바타→인간의 상호작용물들에 대한 내용을 담고 있는 것으로 밝혀졌다. 셋째, 연속적인 정보는 아바타를 이용해서 인간에서 인간으로 전달될 수 있다 (인간↔아바타↔아바타↔인간). 일례로 Anderson과 Dossick (2014)은 아바타들을 통한 인간 사용자들의 소통과 상호작용을 위한 CyberGRID® 플랫폼을 이용했다. AEC 문헌에서 인간↔아바타↔아바타↔인간은 서로 떨어져있는 사용자들이 프로젝트 협업을 수행하도록 하는 인간과 아바타 간 상호작용의 가장 공통적인 유형이다 (27개 논문).

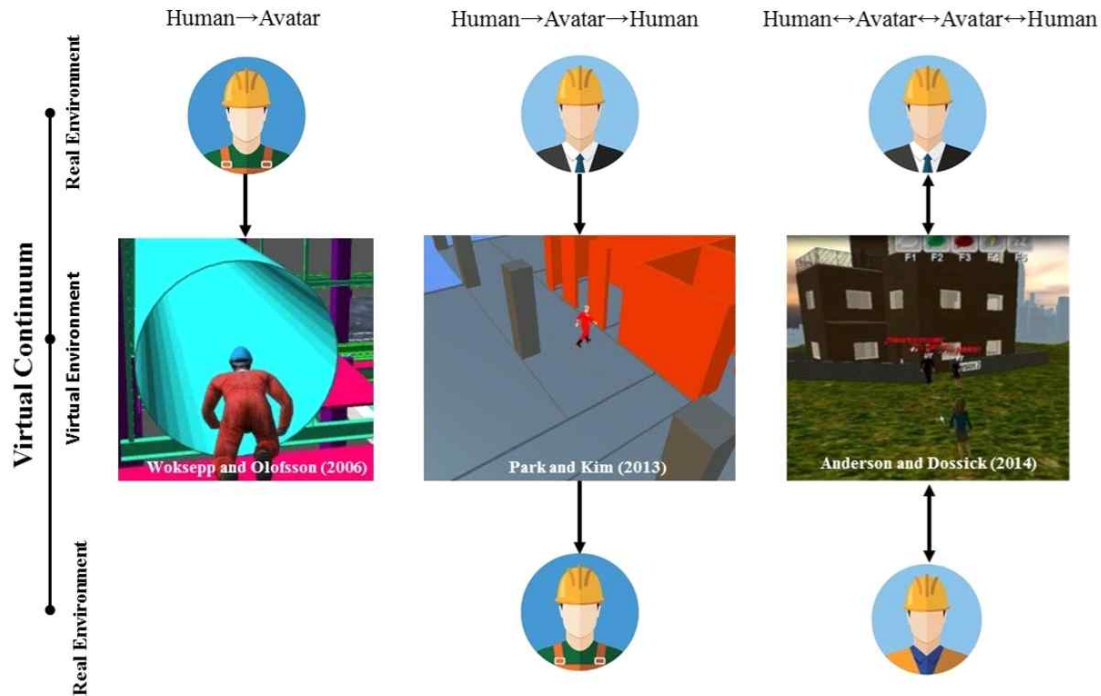


그림 8. 인간과 아바타의 상호작용 유형

검토된 AEC 문헌에서 에이전트들은 정보가 가상 연속체 속에서 전달되는 방향에 따라 인간과의 3가지의 가능한 상호작용들에서도 사용되었다 (그림 9).

먼저, 불연속적이거나 연속적인 정보는 가상환경에서 개체(entity)의 행위를 간접 제어하기 위해 시스템 내에 데이터를 입력하여 인간에서 에이전트로 (인간→에이전트) 전달될 수 있다. 인간→에이전트 상호작용 유형은 칸막이 벽체를 세우기 위한 볼트 설치와 같은 행위를 수행하는 가상 건설 근무자를 설정하기 위한 불연속적 이벤트 시뮬레이션 시스템에 사용자가 정보를 로딩하는, Sacks 등(2014)의 연구에서 찾아볼 수 있다. 인간→에이전트 상호작용은 검토된 AEC 문헌 중 5건의 논문에서 사용되었고 주로 가상 환경 내에서 정보 전달이 인간의 작업 시뮬레이션을 촉진하는 어플리케이션에서 활용되었다.

둘째, 불연속적이거나 연속적인 정보가 의사결정을 위한 가상환경에서의 정보를 얻기 위해 에이전트에서 인간으로(에이전트→인간) 전달된다. 이러한 상호작용 유형은 사용자가 잠재적 위험을 확인하기 위해 게임 환경에서 에이전트가 행동하는, Tepe 등 (2012)의 연구에서 찾아볼 수 있다. 에이전트→인간 상호작용은 AEC 어플리케이션들을 위한 인간 에이전트 상호작용의 가장 공통적인 유형이고 (10개 논문) 사전에 로딩된 AEC 에이전트로부터 인간 사용자로의 정보 전달을 보여준다.

셋째, 불연속적이거나 연속적인 정보가 인간과 에이전트 간 양방향(인간↔에이전트)으로 전달된다. 상호작용의 마지막 유형은 인간이 에이전트 기반 시스템에게 정보를 제공하고 정보는 분석 후에 행위 시퀀싱 시뮬레이션(activity sequencing simulation)을 위한 해법을 제공하기 위해 인간에게 되돌아오는, Goedert 등 (2013)의 연구에서 찾아볼 수 있다. 사용자의 입력을 처리할 수 있는 인간↔에이전트 시스템을 생성하고 구현하는 데는 전산적으로 어려움이 많고 엄청난 데이터가 요구된다. 3건의 논문만이 이 유형을 활용했다.

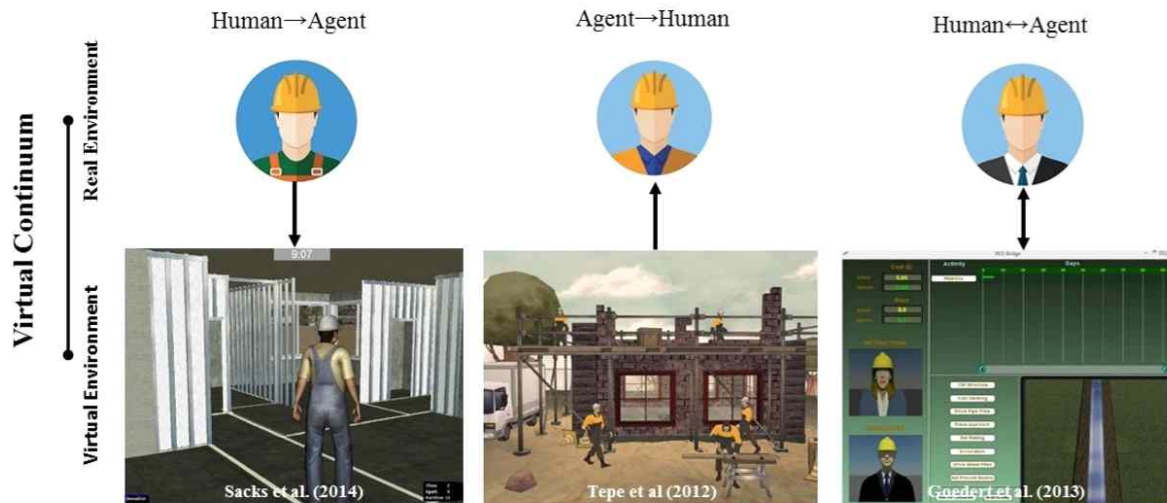


그림 9. 인간과 에이전트의 상호작용 유형

6. 디스플레이 및 입력용 하드웨어

본 연구에서는 가상인간 어플리케이션을 디스플레이와 유형에 따라 분류했다 (표 6). 많은 연구들에서 가상 환경과 상호작용할 게이트웨이 제공을 위해 전통 방식인 .모니터, 키보드 및 마우스를 사용하는 컴퓨터 설정을 이용한다. 이 유형의 디스플레이 및 입력은 40건의 검토논문들에서 사용되었다. 이러한 경향은 전통적인 컴퓨터 플랫폼을 위한 디스플레이와 입력의 제공과 관련이 있는 접근 용이성, 개발, 구현, 비용과 관련된다. 또한, 검토된 4개 연구에서는 동일한 컴퓨터 세트를 사용하되 가상세계의 탐색과 상호작용 촉진을 위해 게임패드(Xbox 컨트롤러나 Wii 컨트롤러)로 확장된 하드웨어들을 다루었으나 에이전트를 위해 사용되지는 않았다.

표 6. 가상인간의 디스플레이와 입력 유형

Type of Display / Input	Number of Publications		
	Avatar	Agent	Total
Computer / Keyboard - Mouse	26	14	40
Computer / Keyboard - Mouse - Gamepad	4	0	4
Tablet Computer or Smartphone / Finger Touch	3	3	6
HMD / Keyboard - Mouse - Gamepad - Motion Tracking	2	0	2
CAVE / Keyboard - Mouse - Gamepad - Motion Tracking	1	1	2

기타 하드웨어 기술들이 가상환경에서 사용자의 몰입도를 높이는데 사용되었다, 태블릿이나 스마트폰과 같은 휴대용 장치들이 전통적 컴퓨터의 대안으로 사용되었다. 이러한 디스플레이 및 입력용 하드웨어의 유형이 6건의 검토 논문들(아바타 어플리케이션 3건, 에이전트 어플리케이션 3건)에서 사용되었다. 가장 높은 몰입도를 성취하기 위해 머리 장착용 디스플레이 (HMD, head-mounted displays)와 동굴 자동 가상 환경 (CAVE, cave automatic virtual environment)이 게임패드와 모션 추적 장치와 함께 사용되었다. 이러한 HMD의 최첨단 기술은 매우 경제적이다. CAVE 형은 가장 최신의 것으로 1인 아타바와 1인 에이전트 어플리케이션에서만 사용된다.

7. 소프트웨어 동향 및 활용

가상인간 소프트웨어 기술은 게임엔진으로 알려진 가상현실 소프트웨어 개발 키트에서 계승되었다. 게임엔진은 설계자가 단순화된 인터페이스로 렌더링, 객체, 입출력 데이터를 포함한 게임들을 개발하

게 해주는 소프트웨어 패키지이다 (Bhoir와 Esmaeili 2015). 게임 역학(game dynamics)을 모델링하기 위한 서로 다른 전문 수준의 프로그래밍 기술이 필요한 시장에서 몇 가지 게임엔진들이 유용하다. 이 연구에서는 검토된 논문에서 사용된 게임엔진들을 집계하여 용도를 조사하였다. 표 7은 사용된 게임엔진의 사용빈도 및 사용년도를 보여준다.

Unity®는 그 유명세, 용이성, 게임 설계의 자유도로 인해 가장 많이 사용된 게임엔진으로 밝혀졌다 (Li 외, 2012). 이 게임엔진을 이용한 연구들은 2008년부터 2016년 사이에 수행되었고 전체 검토논문들 중 24%에 달했다. 그 뒤를 이어 2006년부터 2014년 사이에 수행된 연구에서 이용된 Havok®은 20%의 빈도를 나타냈는데 “Second Life” 플랫폼을 개발하기 위해 사용된 게임엔진이다. XNA® (비율: 9%, 시기: 2007–2013) 와 Torque 3D® (6%, 2011–2012) 는 완전 무료인 기타 유명 엔진이다. Unreal Engine® (9%, 2008–2015)은 전체 소스 코드와 도구들에 대한 접근이 완전히 가능하며 학술용은 무료 배포한다. 다른 게임 엔진들은 1~2건 정도만 AEC 문헌에서 논의될 정도로 유명하지 않은 것들이었다. 게임엔진을 사용했지만 그 세부 내용을 밝히지 않은 9개의 논문들이 있었다. 게임엔진 소프트웨어는 AEC 어플리케이션들을 개발하는 데 사용된 독점적 유형의 소프트웨어가 아니었다. Autodesk Revit, Autodesk Navisworks, Autodesk 3D Studio Max, Google SketchUp, Trimble 3D 등의 소프트웨어 도구들은 모델은 모델링, 렌더링, 가상환경 통합을 위해 게임엔진과 함께 사용되어 왔다.

표 7. 시기별로 사용된 게임엔진들

Game Engine	Year Range	Frequency
Unity	2008 - 2016	13
Havok	2006 - 2014	11
Unreal	2008 - 2015	5
Microsoft XNA	2007 - 2013	5
Torque 3D	2011 - 2012	3
3DVIA Virtools	2012	2
CyberGRID	2014	2
EON Studio	2014	1
MicroStation	2006	1
OpenSimulator	2012	1
Multigen Creator	2008	1
Not Specified	2009 - 2016	9

8. 요약 및 결론

가상인간은 인체를 모사하고 흉내 내고 다른 실제 또는 가상의 객체들, 인간들, 시스템들과의 상호작용을 위한 매개수단을 제공하는 컴퓨터생성 객체로 사용되어 왔다. 가상인간은 인간의 육체적 상호작용에 따른 시공의 한계를 초월하는 플랫폼을 제공한다. 이 연구는 지난 10년(2006년 1월부터 2016년 9월)에 걸친 AEC 분야의 가상인간 어플리케이션들의 현황을 다루었다. 다른 많은 체계적 검토와 마찬가지로 이 연구의 한계는 선택된 문헌 데이터베이스들과 결과물들을 판단하는데 선정된 특정 키워드와 범주이다 (Denyer와 Tranfield, 2009). 이는 다른 출판 현장의 다른 논문들도 사용가능하다는 것이다. 별개의 구분된 검색 문자열(예: '안전', '설계', '협업')을 사용함으로써 이 주제에 대한

다른 견해가 탐색될 수도 있다. 이 연구는 집중 검색을 통해서 연구 범위에 해당하는 54편의 학술발표논문과 학술지 논문들을 찾아냈다. 이들을 검토하여 가상 인간 어플리케이션은 AEC 분야에서 7개의 공통 범주(비용 예측, 부지 관리, 일정 계획, 시스템 평가 및 분석, 협업 및 소통, 안전 및 교육)에 해당된다는 것이 밝혀졌다. 이 범주 내에서 출판물들에서 관찰된 가상인간의 명명법은 ‘아바타’를 가장 적절한 개념으로 명명되었고, ‘에이전트’는 불규칙하고 비 표준화된 명칭으로 취급된 것을 보여주었다. 이는 출판물들에 다루어진 가상인간을 지칭하기 위한 용어의 통일이 필요하고 AEC 관련 문헌에서 일관된 틀을 제안하려는 동기들이 있다는 것을 시사한다. 인간, 아바타, 에이전트들 사이의 상호작용은 인간과 아바타의 상호작용은 대부분이 인간 ↔ 아바타 ↔ 아바타 ↔ 인간으로 분류되었고 인간과 에이전트의 상호작용은 절반 이상이 에이전트 → 인간으로 분류되는 것을 보여주었다. 인간 → 아바타 및 인간 → 에이전트와 같은 상호 작용 유형들은 적은 빈도였으나 AEC 어플리케이션을 위한 가상인간과 실제인간 사이의 가능한 상호작용에 대한 전체 범위를 설정하기 위한 더 많은 탐구가 필요하다. 인간, 아바타, 에이전트들이 동시에 나타나는 상호작용은 AEC 문헌에서 탐색되지 않아 추가 연구를 위한 명확한 기회가 제공되었다. 적응의 단순성, 절약되는 비용, 넓은 범용성으로 인해 대부분의 가상인간 어플리케이션에 사용된 하드웨어는 모니터, 키보드, 마우스(전통적 컴퓨터 구성)였다. 가장 많이 이용되는 게임엔진은 Unity®, Unreal Engine®, Havok®였다. 다른 지원용 소프트웨어는 가상인간이 주체가 되는 상황에서 주변의 가상환경을 모델링, 렌더링, 조합하는데 사용되었다. 스마트폰 스크린에서 가상현실 헤드 마운트 디스플레이 (HTC Vive, DAQRI Smart Helmet, HoloLens, Google Cardboard)와 CAVE 플랫폼 (EON Icube, Immersion. VisCube)에 이르기 까지 다양한 기타 플랫폼들이 몰입형 모션 추적 기술(Oculus Touch, Leap Motion, Kinect) 구현과 함께 광범위한 미개척 분야로 남아있다. 인간, 아바타, 에이전트 간의 획기적인 상호작용과 함께 가상인간들끼리 상호작용하고 그들을 보여주기 위한 하드웨어와 소프트웨어 분야에서 새롭게 출현한 기술의 통합은 AEC 분야의 향후 연구를 이끌 것이다. 가상현실과 증강현실을 이용하는 몰입형 장치들은 건설 인력의 교육훈련으로부터 건축 및 엔지니어링 분야의 복잡한 설계 시뮬레이션에 이르기까지 수많은 응용분야에 가상인간을 구현하는 방향으로 나아가고 있다. AEC 분야는 인간의 작업 모사에 대한 끊임없는 수요 증가와 집약에 중요한 신기술을 지속적으로 발전시키고 흡수하고 있으므로 미래에 대한 큰 희망이 있다. 아직 수행할 작업들이 남아있으나 이 연구는 AEC 어플리케이션에 대한 가상인간의 현재의 동향까지만 확립하여 제시한다.

<원문제목> RESEARCH TRENDS OF VIRTUAL HUMAN APPLICATIONS IN ARCHITECTURE, ENGINEERING AND CONSTRUCTION
<원문출처> Journal of Information Technology in Construction