

3차원 그래픽스 기반의 디지털 휴먼에 대한 시각적 리얼리즘의 기술적 구분

정적 표현 요소를 중심으로

Technical Classification of Visual Realism in 3D Digital Human

Focusing on Static Expression Elements

주 저 자 : 박가현 (Park, Gha Hyun) 오모션주식회사 연구원

공 동 저 자 : 서영호 (Seo Young Ho) 광운대학교 전자재료공학과 교수

교 신 저 자 : 오문석 (Oh Moon Seok) 광운대학교 미디어커뮤니케이션학부 교수
motion@kw.ac.kr

<https://doi.org/10.46248/kidrs.2025.1.550>

접수일 2025. 03. 28. / 심사완료일 2025. 03. 29. / 게재확정일 2025. 03. 29. / 게재일 2025. 3. 30.

본 연구는 문화체육관광부 및 한국콘텐츠진흥원의 2024년도 문화기술 연구개발사업으로 수행되었음

(과제명: 정교한 한국어 발화가 가능한 3D 애니메이션 AI를 이용한 웹툰 IP 활용 플랫폼의 개발,

과제번호: RS-2024-00397183, 기여율: 100%)

Abstract

This paper systematizes the spectrum of visual realism in digital humans into three levels: stylized, semi-realistic, and hyper-realistic, and analyzes the characteristics of each level and their implementation methods based on graphics technology. Based on this, it presents a methodology for implementing realistic and natural 3D digital humans while overcoming the uncanny valley phenomenon. As a research result, it has been confirmed that maintaining a consistent level of realism between static and dynamic elements is important in the visual representation of digital humans. Additionally, it has been verified that anatomical accuracy, intentional imperfections, and the implementation of micro-movements have a crucial impact on giving life-like qualities to hyper-realistic digital humans. This paper is expected to deepen academic understanding and provide useful guidelines for practitioners by presenting a systematic methodology in the field of realistic 3D digital human production.

Keyword

Virtual Human(가상인간), Visual Representation Spectrum(시각적 표현 스펙트럼), Expression Consistency Principle(표현 일관성 원칙)

요약

본 논문은 디지털 휴먼의 시각적 리얼리즘에 대한 스펙트럼을 스타일화, 준사실적 및 극사실적 단계의 세 가지로 수준으로 체계화하고, 단계별 특성과 그래픽스 기술 기반의 구현 방법을 분석한다. 이를 바탕으로 불쾌한 골짜기 현상을 극복하면서 사실적이고 자연스러운 3차원 디지털 휴먼을 구현하기 위한 방법론을 제시한다. 이에 연구 결과로 디지털 휴먼의 시각적 표현에 있어 정적 요소와 동적 요소의 일관된 사실성 수준 유지가 중요함을 확인하였다. 또한 해부학적 정확성, 의도적 불완전함, 미세 움직임의 구현이 극사실적 디지털 휴먼의 생명감을 부여하는데 핵심적인 영향을 미친다는 것을 확인하였다. 본 논문은 사실적인 3차원 디지털 휴먼 제작 분야에 체계적인 방법론을 제시함으로써 학술적 이해를 심화시키고, 실무자들에게 유용한 가이드라인을 제공할 수 있을 것으로 기대한다.

목차

1. 서론

- 1-1. 연구 배경 및 중요성
- 1-2. 선행 연구
- 1-3. 선행 연구의 한계 및 연구 목적
- 1-4. 논문의 구성

2. 관련 이론

- 2-1. 시각적 표현 스펙트럼의 이해
- 2-2. 불쾌한 골짜기 이론과 시각적 표현의 관계

3. 가상인간의 표현 요소

- 3-1. 가상인간의 시각적 표현 스펙트럼 분류
- 3-2. 단계별 특성
- 3-3. 가상인간의 정적 표현 요소

4. 제안하는 가상인간 평가 체계

- 4-1. 활용 사례별 요구되는 사실성 수준
- 4-2. 가상인간의 정적 표현 요소 평가 지표

5. 결론

참고문헌

1. 서론

1-1. 연구의 배경 및 중요성

디지털 시대의 도래와 함께 가상인간(virtual human)은 현대 디지털 콘텐츠 생태계의 핵심 요소로 부상하고 있다. 엔터테인먼트, 교육, 마케팅, 의료, 서비스 등 다양한 산업 분야에서 가상인간의 활용이 급속도로 확대되면서, 이들의 시각적 표현 방식에 대한 체계적인 연구의 필요성이 증대되고 있다. 특히 최근 몇 년간 인공지능, 실시간 렌더링, 모션 캡처 기술의 획기적 발전은 가상인간의 시각적 구현 가능성을 크게 확장시켜, 이전에는 상상하기 어려웠던 수준의 사실적 표현과 자연스러운 상호작용을 가능하게 하고 있다. 이러한 기술적 진보는 가상인간의 패러다임 변화를 촉진하여, 이들이 단순한 시각적 객체에서 인간과 의미 있는 상호작용을 하는 사회적 존재로 인식되는 현상을 이끌고 있다. 메타버스, 가상 인플루언서, AI 비서, 디지털 휴먼 등 다양한 형태로 등장하는 가상인간들은 각기 다른 목적과 기능을 가지며, 이에 따라 적합한 시각적 표현 방식도 달라진다. 따라서 가상인간의 시각적 표현 스펙트럼을 체계적으로 분류하고, 각 단계별 특성과 구현 방법을 분석하는 작업은 학문적으로나 실무적으로 중요한 의미를 가진다.

가상인간의 시각적 표현 연구에 있어 핵심적인 이론적 토대는 1970년 일본의 로봇공학자 모리 마사히로(森 政弘)가 제안한 불쾌한 골짜기(Uncanny Valley) 현상이다. 이 이론은 인공지능 객체가 인간과의 유사성이 증가함에 따라 초기에는 호감도가 상승하다가 특정 임계점에서 급격한 불쾌감이 발생하는 현상을 설명한다. 이러한 심리적 장벽은 가상인간 디자인에 있어 중요한 고려사항으로, 스타일화된 표현(stylized representation)과 극사실적 표현(hyper-realistic representation) 사이의 적절한 균형점을 찾는 문제를 제기한다.¹⁾

주목할 만한 점은 최근 기술의 급진적 발전으로 인해 불쾌한 골짜기 현상의 극복 가능성이 현실화되고 있다는 것이다. 특히 가상 인플루언서와 디지털 액터 분야에서는 이미 불쾌한 골짜기를 성공적으로 넘어선

사례들이 등장하고 있으며, 이는 가상인간 기술이 새로운 단계로 진입했음을 시사한다.²⁾

이러한 기술적 도약은 가상인간의 시각적 표현이 단순한 기술적 성취를 넘어 인간의 인지 및 심리적 반응을 고려한 복합적인 설계 문제임을 보여준다. 이와 맞물려 버추얼 인플루언서의 출현과 함께 이들의 경제적 효과와 화제성은 이미 무시할 수 없는 수준에 이르렀다.³⁾ 특히 코로나19 이후 비대면 소통 방식에 익숙해진 사람들 사이에서 가상인간의 발전과 보편화와 가속화되고 있으며, 이는 메타버스와 버추얼 휴먼 활용 가능성의 확대로 이어지고 있다. 글로벌 시장 전망에 따르면, 인간 인플루언서 대비 버추얼 휴먼 모델의 활용 비율은 2025년에 50%를 넘어설 것으로 예측되며,⁴⁾ 2030년까지 전 세계 가상인간 시장 규모는 약 659조 4750억 원으로 폭증할 것으로 예상된다.⁵⁾

그러나 이러한 긍정적 전망에도 불구하고, 버추얼 인플루언서가 등장하는 광고는 광고 효과 측면에서 가치가 떨어진다는 문제점이 지적되고 있다. 소비자들은 버추얼 인플루언서의 외형적 불쾌함을 경험하며, 이는 광고 효과를 저하시키는 요인으로 작용한다. 이러한 현상은 불쾌한 골짜기 이론과 밀접한 연관성을 가지며, 기술적 발전만으로는 해결되지 않는 인지적, 심리적 문제를 내포하고 있다.⁶⁾

따라서 가상인간의 시각적 표현 스펙트럼과 그 구현 방법론에 대한 연구는 점점 더 중요해지고 있다. 이는 단순히 더 사실적인 가상인간을 만드는 기술적 문제를 넘어, 인간-가상인간 상호작용의 심리, 사회 및 문화적 측면을 이해하고, 다양한 맥락과 목적에 맞는 최적의 시각적 표현 전략을 개발하는 데 필수적이다. 특히 스타일화, 준사실적, 극사실적 표현으로 이어지는 시각적

1) MacDorman, K. F., Chattopadhyay, D., 'Reducing consistency in human realism increases the uncanny valley effect; increasing category uncertainty does not', Cognition, 2016, Vol.146, p.192.

2) 김형석, '가상 인간 인플루언서에 대한 Uncanny Valley 현상에 관한 연구', 한국지식정보기술학회 논문지, 2022, Vol.17, No.4, p.746.

3) 박재의, '버추얼 인플루언서 활용 광고의 광고 효과 제고 방안 연구', 국민대학교 일반대학원 박사학위논문, 2024, pp.13-17.

4) 김미숙, '버추얼 휴먼의 사실적 표현을 위한 연출 연구 : 국내 TV 광고를 중심으로', 애니메이션연구, 2022, Vol.18, No.3, p.25.

5) 김미숙, Ibid., p.41.

6) 박재의, Op. cit. 2024, pp.36-38.

리얼리즘에 대한 스펙트럼의 각 단계가 갖는 특성과 그 구현에 필요한 기술적, 인지적 요소들을 종합적으로 분석하는 작업은 학술적으로나 산업적으로 중요한 가치를 지닌다. 이러한 분석을 통해 불쾌한 골짜기 현상을 효과적으로 극복하고, 다양한 목적에 적합한 가상인간을 디자인하기 위한 이론적 틀과 실무적 지침을 제공할 수 있을 것이다.

1-2. 선행 연구

가상인간의 시각적 표현에 관한 연구는 크게 1) 시각적 표현 스펙트럼의 이론적 분류, 2) 불쾌한 골짜기 현상의 분석과 극복 방안, 3) 기술적 구현 방법론의 세 가지 분야로 나눌 수 있다. 이러한 다양한 측면의 연구들은 가상인간의 시각적 표현 스펙트럼을 종합적으로 이해하는 데 중요한 이론적 기반을 제공한다.

1-2-1. 시각적 표현 스펙트럼의 이론적 분류

시각적 표현 스펙트럼의 이론적 분류에 관한 연구로는 스콧 맥클라우드(Scott McCloud)의 시각적 추상화 단계 이론이 중요한 기초를 제공한다. 맥클라우드는 만화 캐릭터의 시각적 표현을 현실성(Reality)과 의미(Meaning)의 관계를 통해 분석하였으며, 이러한 접근은 가상인간의 표현 스펙트럼을 이해하는 데에도 유용한 프레임워크를 제공한다.⁷⁾

그는 인간의 얼굴이 단순화될수록 보편성이 증가하여 관객의 자기 투영이 용이해지는 현상을 설명하였는데, 이는 가상인간 디자인에 있어 스타일화와 리얼리즘의 선택에 중요한 이론적 근거가 된다. 이러한 관점을 확장하여, 스티븐 프린스(Stephen Prince)는 디지털 미디어에서의 리얼리즘을 ‘지각적 리얼리즘’(Perceptual Realism)의 관점에서 재해석하였다. 그는 완벽한 물리적 모방보다는 인간의 지각 체계가 ‘현실적’이라고 판단할 수 있는 시각적 일관성과 정밀도가 더 중요함을 주장하였다. 이는 가상인간의 디자인에서 단순한 기술적 정밀도를 넘어, 인간의 인지적 특성을 고려한 설계가 필요함을 시사한다.⁸⁾

제임스 퍼워드(James Ferwerda)는 이러한 논의를 더욱 구체화하여, 컴퓨터 그래픽스에서의 리얼리즘을

물리적, 사실적, 기능적 리얼리즘으로 구분하였다. 특히 극사실적 표현을 위해서는 물리적 리얼리즘(Physical Realism)과 사진적 리얼리즘(Photorealism)의 균형이 중요함을 강조하였다. 이러한 분류는 가상인간의 시각적 표현에 있어 다양한 리얼리즘 접근법의 특성과 적용 가능성을 이해하는 데 도움을 준다.⁹⁾

1-2-2. 불쾌한 골짜기 현상의 분석과 극복 방안

칼 맥도먼(Karl F. MacDorman)과 히로시 이시구로(Hiroshi Ishiguro)는 이 현상을 인지신경과학적 관점에서 분석하여, 불쾌한 골짜기가 단순한 시각적 유사성만의 문제가 아니라 움직임, 행동, 음성 등 다양한 모달리티의 일관성과 밀접한 관련이 있음을 밝혔다. 이는 가상인간 디자인에 있어 시각적 요소뿐 아니라 행동적, 상호작용적 요소까지 통합적으로 고려해야 함을 시사한다.¹⁰⁾

이러한 다중 모달리티 관점을 더욱 발전시켜, 야리 캐츠우리(Jari Katsyri)와 타피오 타칼라(Tapio Takala)는 ‘지각적 불일치 이론’(Perceptual Mismatch Theory)을 통해 불쾌감의 원인이 다양한 시각적 요소들 간의 불일치(예: 매우 사실적인 피부 텍스처와 비사실적인 눈 움직임의 조합)에서 발생한다고 주장하였다. 이러한 이론들은 가상인간 디자인에 있어 단순히 사실성을 높이는 것보다는 다양한 요소들 간의 조화로운 통합이 중요함을 시사한다.¹¹⁾

장필식, 정우현, 현주석은 이러한 이론적 논의를 실증적으로 검증하기 위해 “3D 캐릭터 모델의 추상화와 리얼리즘이 언캐니 밸리 현상에 미치는 영향” 연구를 수행하였다. 이들은 언캐니 밸리 현상을 회피하는 방법으로 자주 언급되는 카툰-리얼리즘의 효과를 검증하였다. 흥미롭게도, 실험 결과는 만화형 3D 모델에 인간

9) Ferwerda, J., 'Three Varieties of Realism in Computer Graphics', Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 2003, Vol.5007, p.2.

10) MacDorman, K. F., Ishiguro, H., 'The uncanny advantage of using androids in cognitive and social science research', Interaction Studies, 2006, Vol.7, No.3, p.316.

11) Käsytari, J., Förger, K., Mäkäriäinen, M., Takala, T., 'A review of empirical evidence on different uncanny valley hypotheses: Support for perceptual mismatch as one road to the valley of eeriness', Frontiers in Psychology, 2015, Vol.6, pp.6-7.

7) McCloud, S., 『Understanding comics : the invisible art』, HarperPerennial, 1994, pp.51-57.

8) Prince, S., 'True lies perceptual realism, digital images, and film theory', Film Quarterly, 1996, Vol.49, No.3, pp.33-34.

피부재질을 적용할 경우 오히려 섬뚱함의 정도가 통계적으로 유의하게 증가하였고, 인간형 3D 모델에 만화형식의 피부재질을 적용할 경우 인간다움의 정도가 유의하게 낮아졌음을 보여주었다. 이러한 결과는 카툰-리얼리즘이 실제로는 큰 효과가 없으며, 오히려 지각단서의 충돌을 야기하여 언캐니 밸리를 유발할 수 있음을 시사하며, 캐츠우리 등의 지각적 불일치 이론을 실증적으로 뒷받침한다.¹²⁾

1-2-3. 기술적 구현 방법론

기술적 구현 방법론에 관한 연구는 주로 컴퓨터 그래픽스와 애니메이션 분야에서 활발히 진행되어 왔으며, 가상인간의 시각적 표현을 실현하는 구체적인 방법과 도구를 제시한다. 김효용은 "3차원 애니메이션에서의 극사실적 표현에 관한 연구 -Lighting과 Texturing을 중심으로-"에서 극사실적 표현을 위한 핵심 기술 요소를 분석하였다. 그는 디지털 리얼리즘이 단순히 현실 모방을 넘어 상상의 이미지를 실감나게 표현하는 데 기여하고 있으며, 특히 라이팅과 텍스처링이 극사실적 표현에서 가장 중요한 요소임을 강조하였다. 이 연구는 모델링, 셋업, 텍스처링, 애니메이션, 라이팅, 렌더링 등 복합적인 기술 요소들이 극사실적 가상인간 구현에 필수적임을 밝히고 있다.¹³⁾

표정과 감정 표현이라는 더 구체적인 측면에서, 김룡희는 "사실적인 디지털 휴먼 디자인을 위한 표정 정합성 비교 연구 -메타휴먼 리그와 ARkit 리그를 중심으로-"를 통해 최신 디지털 휴먼 제작 도구의 표정 구현 능력을 비교 분석하였다. FACS(Facial Action Coding System)를 기반으로 메타휴먼 크리에이터와 애플의 ARkit 기술이 인간의 표정을 얼마나 정확하게 재현할 수 있는지 검증한 결과, 단독 표정에서는 두 시스템 간 차이가 없었으나 복합 표정에서는 ARkit의 한계가 드러났다.¹⁴⁾

이는 극사실적 가상인간 구현에 있어 표정 구현 정밀도와 복합적 표현 능력이 중요함을 시사한다. 이러한 표정 구현 기술에 대한 더 넓은 맥락에서, 사미아 샤키르(Samia Shakir)와 알리 알-아자(Ali Al-Azza)는 얼굴 모델링 및 애니메이션 기술의 발전을 체계적으로 분석하였다. 이들은 얼굴 애니메이션 기술을 블렌드셰이프, 매개변수화, FACS, MPEG-4, 물리 기반 모델링, 성능 기반 애니메이션, 시각적 음성 애니메이션 등으로 분류하고 각각의 장단점을 비교하였다. 특히 이 연구는 블렌드셰이프가 영화 산업에서 현실적인 얼굴 애니메이션을 위한 일반적인 선택이지만, 충분한 타겟 얼굴 형태가 필요한 한계가 있음을 지적하였다. 또한 FACS 기반 시스템이 얼굴의 모든 움직임을 해부학적 기반으로 정의할 수 있어 정확한 표정 구현에 효과적임을 강조하였다.¹⁵⁾

더 나아가, 포루 마데크사르(Forough Madehkhaksar), 지핑 뤼(Zhiping Luo)와 니콜라 프로노스트(Nicolas Pronost)의 연구는 가상 해부학적 인간 모델링 및 시뮬레이션에 초점을 맞추고 있다. 이들은 생체역학과 컴퓨터 애니메이션의 융합 분야로서 가상 인간 모델링의 이점과 한계를 분석하였다. 특히 근골격계의 구성 요소(뼈, 연골, 인대, 근육, 힘줄 등)에 대한 이해와 3D 모델링 기술, 의료 영상의 중요성을 강조하였다. 이 연구는 물리적 시뮬레이션이 진정으로 반응적이고 현실적인 애니메이션을 가능하게 하며, 근육 기반 작동 모델이 물리 기반 캐릭터 애니메이션에서 점점 더 중요해지고 있음을 밝히고 있다.¹⁶⁾

1-2-4. 통합적 접근 연구

가상인간의 시각적 표현에 관한 최근 연구들은 앞서 살펴본 세 가지 분야를 통합하는 종합적 접근을 시도하고 있다. 서채환은 "디지털 애니메이션 캐릭터의 사실적 표현에 대한 연구"에서 디지털 기술을 기반으로 한 인간형상 재현의 역사와 발전 과정을 분석하였다. 이 연구는 디지털 캐릭터의 구성 요소와 관객의 심리적 기제, 특히 언캐니 밸리 이론과의 관계를 포괄적으

12) 장필식, 정우현, 현주석, '3D 캐릭터 모델의 추상화와 리얼리즘이 언캐니 밸리 현상에 미치는 영향', 디지털융복합연구, 2016, Vol.14, No.10, pp.283-284.

13) 김효용, '3차원 애니메이션에서의 극사실적 표현에 관한 연구 -Lighting과 Texturing을 중심으로-', 기초조형학연구, 2003, Vol.4, No.2, pp.28-29.

14) 김룡희, '사실적인 디지털 휴먼 디자인을 위한 표정 정합성 비교 연구 -메타휴먼 리그와 ARkit 리그를 중심으로-', 커뮤니케이션디자인학연구, 2023, Vol.85, pp.40-43.

15) Shakir, S. D., Al-Azza, A. A., 'Facial modeling and animation approaches: An overview of the state-of-the art', Iraqi Journal for Electrical & Electronic Engineering, 2022, Vol.18, No.1, pp.28-33.

16) MadehKhaksar, F., Luo, Z., Pronost, N., Egges, A., 'Modeling and simulating virtual anatomical humans', 3D Multiscale Physiological Human, 2014, pp.158-161.

로 고찰하였다. 특히 디지털 캐릭터가 사실적으로 묘사 되더라도 관객은 그들의 움직임이 허상임을 깨닫고 불편함을 느낄 수 있다는 점을 지적하였다.¹⁷⁾ 또한 미래의 디지털 배우는 인공지능을 탑재하여 스스로 반응하고, 인간과의 친밀한 공존을 이룰 것으로 예상하였다.¹⁸⁾

왕혜의 "디지털 휴먼 캐릭터의 성격 특성과 안면 디자인의 관계 탐색" 연구는 가상인간의 물리적 외형을 넘어 인격적 특성과 시각적 표현의 연관성을 분석하였다. 이 연구는 에니어그램, 칼 융의 성격 유형, 사상체질 등 다양한 성격 이론을 바탕으로 디지털 휴먼의 안면 디자인을 체계화하였으며, 특히 성격 유형에 따른 안면 형태의 정합성이 사용자 경험에 미치는 영향을 강조하였다.¹⁹⁾ 이러한 접근은 극사실적 가상인간 구현에 있어 단순한 기술적 정밀도를 넘어, 심리적 설득력과 캐릭터 일관성의 중요성을 시사한다.

이상의 선행 연구들을 종합해 볼 때, 가상인간의 시각적 표현은 단순한 기술적 문제가 아닌 이론적 분류, 심리적 효과, 기술적 구현 방법이 복합적으로 얽힌 다차원적 설계 문제임을 알 수 있다. 특히 불쾌한 골짜기 현상을 극복하고 효과적인 인간-가상인간 상호작용을 설계하기 위해서는 스타일화된 표현에서 극사실적 표현에 이르는 시각적 스펙트럼의 각 단계별 특성과 적용 맥락을 체계적으로 이해할 필요가 있다.

1-3. 선행 연구의 한계 및 연구 목적

앞서 검토한 선행 연구들은 가상인간의 시각적 표현에 관한 중요한 이론적, 기술적 토대를 제공하고 있으나, 극사실적 가상인간 구현을 위한 체계적인 평가 지표를 개발하는 데 있어 아래와 같이 몇 가지 주요한 한계점을 가지고 있다.

○ 기존 연구들은 가상인간의 시각적 표현 스펙트럼을 분석하고 있으나, 이를 극사실적 가상인간 구현을 위한 체계적인 평가 지표로 발전시키지 못했다. 맥클라우드의 시각적 추상화 이론은 만화 캐릭터라는 특정 맥락에 국한되어 있으며, 퍼워드의 리얼리즘 분류는 이

론적 기반을 제공하지만, 이를 실제 디자인 과정에서 활용할 수 있는 구체적인 평가 기준으로 발전시키지는 않았다. 따라서 디자이너와 개발자들은 여전히 직관과 경험에 의존하여 가상인간의 시각적 사실성을 평가하고 있는 실정이다.

○ 불쾌한 골짜기 현상에 관한 연구들은 현상의 존재와 원인을 규명하는 데 집중하였으나, 이를 극사실적 가상인간 개발 과정에서 객관적으로 측정하고 평가할 수 있는 지표로 구체화하지 못했다. 맥도먼과 이시구로와 캐츠윌리와 타칼라의 연구는 불쾌한 골짜기 현상의 심리적, 인지적 메커니즘을 설명하고 있으나, 이를 디자인 과정에서 정량적으로 평가할 수 있는 방법론을 제시하지는 못했다. 장필식, 정우현, 현주석의 연구는 카툰-리얼리즘의 한계를 보여주었으나, 극사실적 표현을 달성하기 위한 단계적 지표를 개발하지는 않았다.

○ 기술적 구현 방법론에 관한 연구들은 주로 특정 기술 요소나 도구의 효과성을 분석하였으나, 이러한 기술 요소들이 어떻게 조합되어 극사실적 표현을 달성할 수 있는지에 대한 통합적인 평가 체계를 제시하지 못했다. 김효용의 연구는 라이팅과 텍스처링의 중요성을 강조하였고, 김룡희의 연구는 표정 구현 도구들을 비교하였으나, 이들 요소들이 종합적으로 극사실적 가상인간의 품질에 어떤 영향을 미치는지 체계적으로 평가하는 모델은 제시하지 않았다.

○ 극사실적 가상인간의 성공적 구현을 위한 단계적 접근법과 각 단계의 달성 정도를 객관적으로 평가할 수 있는 지표가 부족하다. 서채환과 왕혜의 연구는 디지털 캐릭터의 사실적 표현과 인격적 특성의 중요성을 강조하였으나, 스타일화된 표현에서 극사실적 표현으로 발전해 나가는 과정에서 각 단계의 성취도를 측정할 수 있는 구체적인 평가 지표를 개발하지는 않았다.

앞서 분석한 선행 연구의 한계점을 극복하고 극사실적 가상인간 구현을 위한 체계적인 평가 지표를 개발하기 위해, 본 논문은 아래와 같은 네 가지 목적을 가진다.

○ 가상인간의 시각적 표현 스펙트럼을 스타일화(stylized), 준사실적(semi-realistic), 극사실적(hyper-realistic) 단계로 체계화하고, 각 단계별 특성을 명확히 정의한다. 이를 통해 가상인간 디자인 과정에서 현재 구현 수준을 객관적으로 평가할 수 있는 이론적 토대를 마련한다.

○ 각 단계별로 시각적 사실성을 평가할 수 있는 구체적인 지표와 기준을 제안한다. 특히 극사실적 표현

17) 서채환, '극사실적 디지털 캐릭터를 마주하는 관객의 심리', 중앙대학교 첨단영상대학원 박사학위논문, 2012, p.61.

18) 서채환, Ibid., pp.67-68.

19) 왕혜, 장청진, '디지털 휴먼 캐릭터의 성격 특성과 안면 디자인의 관계 탐색', 한국디자인리서치, 2024, Vol.9, No.2, pp.296-298.

단계에서 필요한 세부적인 평가 항목(예: 피부 질감, 눈의 반사, 미세 표정, 움직임의 자연스러움 등)을 정의하고, 각 항목별 평가 방법을 제시한다.

○ 불쾌한 골짜기 현상을 객관적으로 측정하고 이를 극복하기 위한 단계적 접근법을 제안한다. 특히 준사실적 단계에서 극사실적 단계로 전환되는 과정에서 발생할 수 있는 불쾌감을 최소화하기 위한 구체적인 디자인 지침과 평가 방법을 제안한다.

○ 다양한 기술적 요소들(모델링, 텍스처링, 라이팅, 리깅, 애니메이션 등)이 극사실적 표현 달성에 미치는 영향을 종합적으로 평가할 수 있는 통합적 지표를 제안한다. 이를 통해 가상인간 개발 과정에서 각 기술 요소별 중요도와 우선순위를 설정하고, 리소스를 효율적으로 분배할 수 있는 기준을 제공한다.

이러한 연구 목적을 달성함으로써, 본 논문은 가상인간의 시각적 표현 스펙트럼 분석을 바탕으로 극사실적 가상인간 구현을 위한 체계적인 평가 지표를 제공하고자 한다. 이는 가상인간 기술이 급속도로 발전하고 그 활용 영역이 확대되는 현 시점에서, 디자이너와 개발자들에게 객관적인 품질 평가 기준을 제공하고, 극사실적 가상인간 개발 과정의 효율성과 효과성을 높이는 데 기여할 것이다.

2. 관련 이론

2-1. 시각적 표현 스펙트럼의 이해

가상인간의 시각적 표현을 체계적으로 이해하기 위해서는 리얼리즘과 스타일화의 개념적 정의, 그리고 이러한 표현이 인간의 지각과 심리에 미치는 영향에 대한 이론적 배경을 살펴볼 필요가 있다. 본 절에서는 가상인간의 시각적 표현 스펙트럼을 구성하는 핵심 이론과 개념을 고찰한다.

2-1-1. 맥클라우드의 시각적 추상화 이론

맥클라우드의 "Understanding Comics"에서 제시된 시각적 추상화 단계 이론은 캐릭터의 시각적 표현 스펙트럼을 체계적으로 이해하는 기초를 제공한다. 맥클라우드에 따르면, 캐릭터의 스타일화는 단순히 현실감의 부재가 아닌, 의도적인 시각적 추상화 과정을 통해 특정한 표현 목적을 달성하는 방식이다.²⁰⁾

20) McCloud, S., Op. cit. 1994, pp.45-50.

이러한 추상화는 관객의 자기 투영을 용이하게 하고, 특정 특성을 강조하는 데 효과적이다. 맥클라우드에는 인간의 얼굴이 단순화될수록 보편성이 증가하여 관객의 자기 투영이 용이해지는 현상을 설명하였는데, 이는 가상인간 디자인에 있어 스타일화와 리얼리즘의 선택에 중요한 이론적 근거가 된다.

2-1-2. 프린스의 지각적 리얼리즘 개념

프린스가 제안한 '지각적 리얼리즘'(Perceptual Realism) 개념은 디지털 가상인간의 표현에 특히 중요한 통찰을 제공한다. 디지털 미디어에서의 리얼리즘은 전통적 예술 운동을 계승하면서도, 기술적 한계와 매체적 특성에 의해 새롭게 재해석된다.²¹⁾

지각적 리얼리즘은 단순히 물리적 현실의 완벽한 모방을 추구하기보다는, 인간의 지각 체계가 '현실적'이라고 판단할 수 있는 수준의 시각적 일관성과 정밀도를 갖추는 것을 의미한다. 이는 가상인간 디자인에 있어 기술적 완벽함보다 인지적 설득력이 더 중요할 수 있음을 시사한다.

2-1-3. 퍼워다의 지각적 리얼리즘 개념

퍼워다는 컴퓨터 그래픽스에서의 리얼리즘을 [표 1]와 같이 세 가지 유형으로 체계적으로 분류하였다.²²⁾ 이러한 분류는 가상인간의 시각적 표현에 있어 다양한 리얼리즘 접근법의 특성과 적용 가능성을 이해하는 데 도움을 준다.

[표 1] 퍼워다에 의한 리얼리즘의 분류 방법 및 특성

분류	특성
물리적 리얼리즘	실제 물리 세계의 광학적 현상을 정확히 시뮬레이션하는 접근법으로, 빛의 반사, 굴절, 산란 등 물리적 정확성을 추구. 가상인간의 피부, 머리카락, 눈 등의 미세한 시각적 특성 구현에 초점
사진적 리얼리즘	사진과 구별할 수 없는 이미지를 생성하는 것을 목표로 하며, 카메라의 특성과 한계(예: 초점 심도, 모션 블러, 렌즈 플레어)를 포함한 시각적 표현을 추구. 가상인간이 실제 영상 속 인물과 자연스러운 조화에 초점
기능적 리얼리즘	시각적 정보가 실제 환경에서와 동일한 기능을 수행할 수 있도록 하는 접근법으로, 정보 전달의 효율성 강조

21) Prince, S., Op. cit. 1996, pp.33-34.

22) Ferwerda, J., Op. cit. 2003, pp.2-4.

2-2. 불쾌한 골짜기 이론과 시각적 표현의 관계

앞서 살펴본 시각적 표현 스펙트럼의 이해를 바탕으로, 가상인간의 시각적 표현에서 중요한 심리적 경계인 불쾌한 골짜기 이론과 그 관계를 살펴보겠다. 불쾌한 골짜기 이론은 가상인간의 시각적 표현에 있어 중요한 심리적 경계를 제시한다. 1970년 일본의 로봇공학자 모리 마사히로가 제안한 이 이론은 인공적으로 제작된 인간형 객체가 인간과의 유사성을 높여갈수록 초기에는 호감도가 상승하다가, 특정 임계점을 넘어서면 급격히 불쾌감으로 전환되는 심리적 현상을 설명한다.²³⁾

2-2-1. 불쾌한 골짜기의 기본 개념

모리의 이론이 제시하는 핵심적 통찰은 인간과의 유사성이 증가함에 따라 친밀감이 선형적으로 증가하지 않는다는 점이다. 대신, 특정 임계점에서 급격한 불쾌감이 발생하며, 이후 완전한 인간과의 구분이 불가능한 수준에 도달해야만 다시 친밀감이 회복된다. 이러한 현상은 가상인간의 시각적 표현 스펙트럼 내에서 중요한 전환점을 형성하며, 극사실적 가상인간 구현을 위한 평가 과정에서 반드시 고려해야 할 심리적 장벽이다. 이 현상은 단순한 학술적 개념을 넘어 실제 디자인 과정에서 중요한 고려사항이 된다. 예를 들어, 2004년에 개봉한 로버트 저메키스(Robert Zemeckis)감독의 애니메이션 영화 <폴라 익스프레스(Polar Express)>는 모션 캡처 기술을 사용해 사실적인 인간 캐릭터를 구현했지만, 많은 관객들에게 불편하고 섬뜩한 느낌을 주었다.²⁴⁾ 이는 캐릭터가 불쾌한 골짜기 영역에 위치했기 때문으로, 가상인간 개발에서 이론적 이해를 넘어 실질적인 디자인 의사결정에 영향을 미치는 중요한 사례이다.



[그림 1] 영화 "Polar Express" (2004)²⁵⁾

2-2-1. 불쾌한 골짜기 현상의 원인과 메커니즘

불쾌한 골짜기 현상의 원인에 대해서는 여러 이론적 설명이 제시되어 왔다. 맥도먼과 이시구로의 연구에 따르면, 이 현상은 단순히 시각적 유사성만의 문제가 아니라, 움직임, 행동, 음성 등 다양한 모달리티의 일관성과 밀접한 관련이 있다. 이는 가상인간의 시각적 표현이 정적 요소뿐만 아니라 동적 요소까지 포괄적으로 고려해야 함을 시사하며, 극사실적 가상인간 평가 지표에 다중 모달리티 요소를 포함해야 할 필요성을 제기한다.²⁶⁾

캐츠윌리와 타칼라는 이러한 관점을 더욱 발전시켜 '지각적 불일치 이론'(Perceptual Mismatch Theory)을 제안했다. 이 이론에 따르면, 불쾌감의 원인은 단순한 인간 유사성의 정도가 아니라, 다양한 시각적 요소들 간의 불일치에서 발생한다. 예를 들어, 매우 사실적인 피부 텍스처와 비사실적인 눈 움직임의 조합은 인지적 불일치를 야기하여 강한 불쾌감을 유발할 수 있다. 이 이론은 극사실적 가상인간 구현에 있어 부분적 완성도보다 전체적 일관성이 중요함을 강조한다.²⁷⁾

특히 주목할 점은 불쾌한 골짜기 현상이 단순히 전체적인 사실성의 문제가 아니라, 다양한 표현 요소 간의 일관성 문제라는 것이다. 안젤라 틴웰(Angela Tinwell)은 가상인간의 얼굴 표정에서 눈과 입의 움직임 간 비동기화가 심각한 불쾌감을 유발한다는 실험 결과를 제시했다.²⁸⁾

25) Design Review, 'Design Lessons from Movies: The Polar Express', 12.04. (2025.02.17.)
www.designreview.byu.edu/collections/design-lessons-from-movies-the-polar-express

26) MacDorman, K. F., Ishiguro, H., Op. cit. 2006, p.308.

27) Kätysri, J., Förger, K., Mäkräinen, M., Takala, T., Op. cit. 2015, pp.6-7.

28) Tinwell, A., 『The Uncanny Valley in Games and Animation』, A K Peters/CRC Press, 2014, pp.72-73.

23) IEEE Spectrum, 'The Uncanny Valley: The Original Essay by Masahiro Mori', 2012.06.12. (2025.02.15.)

www.spectrum.ieee.org/ocean-engineering

24) 서재환, Op. cit. 2012, pp.5-6.

이는 미세 표정의 정확한 구현과 동기화가 극사실적 가상인간 평가에 중요한 지표가 되어야 함을 시사한다. 유사하게, 준이치로 세야마(Jun'ichiro Seyama)와 루스 나가야마(Ruth S. Nagayama)는 얼굴의 비례가 약간만 왜곡되어도 사실적인 텍스처와 결합될 경우 강한 불쾌감을 유발한다는 사실을 밝혔다. 이러한 연구 결과들은 극사실적 가상인간 구현에 있어 해부학적 정확성과 비례의 중요성을 강조한다.²⁹⁾

2-2-3. 불쾌한 골짜기 극복을 위한 접근법

최근 연구들은 불쾌한 골짜기 현상이 절대적이거나 불가피한 것이 아니라, 기술의 발전과 적절한 디자인 원칙의 적용을 통해 극복 가능한 도전이라는 관점을 제시하고 있다. 특히 표현 요소 간의 일관성을 유지하고, 각 요소의 사실성 수준을 조화롭게 맞추는 접근법이 효과적이라는 증거가 늘어나고 있다.³⁰⁾

장필식, 정우현, 현주석의 실증적 연구는 이러한 일관성 원칙의 중요성을 뒷받침한다. 이들의 연구에서는 카툰-리얼리즘(만화형 3D 모델에 인간 피부재질을 적용하거나, 인간형 3D 모델에 만화형식의 피부재질을 적용하는 방식)이 실제로는 언캐니 밸리를 해소하는 데 큰 효과가 없으며, 오히려 지각단서의 충돌을 야기하여 불쾌감을 증가시킬 수 있다는 결과를 보여주었다.³¹⁾

이는 표현 일관성 원칙의 중요성을 실증적으로 뒷받침하는 증거로, 가상인간 디자인에서 모든 시각적 요소가 일관된 스타일과 사실성 수준을 유지해야 함을 시사한다.

2-2-4. 표현 일관성 원칙과 극사실적 가상인간 평가

이상의 이론적 고찰과 실증적 연구 결과를 종합하여, 본 논문에서는 불쾌한 골짜기 현상을 효과적으로 극복하고 극사실적 가상인간을 구현하기 위한 핵심 원칙으로 '표현 일관성 원칙'(Expression Consistency Principle)

을 제안한다. 이 원칙은 가상인간의 모든 시각적 표현 요소(형태, 텍스처, 움직임, 표정 등)가 일관된 사실성 수준을 유지해야 한다는 것을 강조한다. 표현 일관성 원칙은 극사실적 가상인간 구현을 위한 평가 지표 개발에 직접적인 영향을 미친다. 각 시각적 요소의 사실성 수준뿐만 아니라, 요소 간의 일관성과 조화를 측정하고 평가하는 지표가 포함되어야 한다. 이는 특정 부분의 기술적 완성도를 높이는 것보다, 모든 요소가 균형 있게 발전하며 일관된 사실성 수준을 유지하는 것이 불쾌한 골짜기를 효과적으로 극복하는 핵심 전략임을 시사한다. 이러한 접근은 가상인간 개발 과정에서 단계적 평가와 피드백의 중요성을 강조하며, 특히 준사실적 단계에서 극사실적 단계로 전환되는 과정에서 불쾌한 골짜기를 성공적으로 통과하기 위한 체계적인 평가 체계의 필요성을 제기한다.

3. 가상인간의 시각적 표현 스펙트럼과 표현 요소

디지털 환경에서의 리얼리즘과 스타일화는 이분법적 관계가 아닌, 연속적인 스펙트럼으로 이해되어야 한다. 이 스펙트럼 상에서 가상인간은 그 목적, 맥락, 기술적 제약, 그리고 예술적 의도에 따라 다양한 위치를 점유할 수 있다. 특히 현대의 디지털 기술은 이 스펙트럼을 더욱 세분화하고, 혼합적 접근을 가능케 함으로써 새로운 표현의 가능성을 열어주고 있다. 이러한 스펙트럼적 접근은 단순히 가상인간의 시각적 표현을 분류하는 것을 넘어, 극사실적 가상인간을 개발하는 과정에서 각 단계별 특성과 평가 기준을 체계화하는 데 중요한 이론적 토대를 제공한다. 특히 스타일화 단계에서 준사실적 단계를 거쳐 극사실적 단계로 발전해 나가는 과정에서, 각 단계별로 중요시되는 시각적 요소와 기술적 요구사항을 이해하는 것은 효과적인 가상인간 개발 전략을 수립하는 데 필수적이다.

3-1. 가상인간의 시각적 표현 스펙트럼 분류

앞서 분석한 이론적 배경을 바탕으로, 본 논문은 [표 2]와 같이 가상인간의 시각적 표현 스펙트럼을 다음과 같이 세 단계로 체계적으로 분류한다.

29) Seyama, J., Nagayama, R. S., 'The Uncanny Valley: Effect of Realism on the Impression of Artificial Human Faces', PRESENCE: Teleoperators & Virtual Environments, 2007, Vol.16, No.4, pp.345-347.

30) Geller, T., 'Overcoming the Uncanny Valley', IEEE Computer Graphics and Applications, 2008, Vol.28, No.4, pp.12-13.

31) 장필식, 정우현, 현주석, Op. cit. 2016, pp.283-284.

[표 2] 본 논문에서 제안하는 가상인간의 시각적 스펙트럼 분류

리얼리즘 분류	정의
스타일화 표현 (Stylized Representation)	인간의 본질적 특성을 단순화하고 과장하여 표현하는 방식으로, 기능적 리얼리즘이 강조된 표현방법 인간의 기본적인 형태와 특성은 유지하되, 의도적인 단순화와 과장을 통해 특정 메시지나 감정을 효과적으로 전달하기 위한 방식 예시) 디즈니 애니메이션 캐릭터나 소셜 미디어용 가상 아바타
준사실적 표현 (Semi-realistic Representation)	인간의 기본적 특성을 보존하면서도 특정 요소를 미학적으로 강조하는 방식 기능적 리얼리즘과 사진적 리얼리즘이 균형을 이루는 표현 방법 인간과의 유사성이 높으면서도 여전히 디지털 매체의 특성을 의도적으로 활용하는 하이브리드적 접근을 취하는 시각적 표현 예시) 파이널 판타지의 캐릭터나 메타휴먼 크리에이터로 제작된 초기 단계의 캐릭터 등
극사실적 표현 (Hyper-realistic Representation)	물리적 리얼리즘과 사진적 리얼리즘이 결합된 인간의 모든 시각적 특성을 정밀하게 재현하는 방식 실제 인간과 구별하기 어려운 정도의 높은 시각적 정밀도를 추구하며, 미세한 피부 질감, 눈의 반사, 자연스러운 표정 변화 등의 세밀한 표현 예시) 최신 디지털 영화의 CG 인물이나 고도로 발전된 AI 생성 가상인간 등

3-2. 단계별 특성

가상인간의 시각적 표현 스펙트럼은 그 사실성과 스타일화 정도에 따라 크게 스타일화, 준사실적 표현, 극사실적 표현의 세 단계로 구분할 수 있다. 각 단계는 고유한 미학적 원칙과 기술적 요구사항, 그리고 활용 범위를 가지고 있으며, 디자인 목적과 맥락에 따라 적합한 표현 단계가 달라진다. 이러한 단계별 특성에 대한 이해는 가상인간 디자인의 목적과 맥락에 따른 최적의 접근법을 선택하는 데 중요한 지침을 제공한다.

3-2-1. 스타일화 표현의 특성

본 논문에서 제안하는 스타일화된 가상인간은 인간의 본질적 특성을 보존하면서도 단순화와 과장을 통해 특정 특성을 강조하는 표현 방식이다. 이는 퍼워다의 기능적 리얼리즘에 가장 가깝게 위치하며, 실제 인간의 정확한 모방보다는 의미 전달과 정서적 연결을 우선시한다. 스타일화된 가상인간은 불쾌한 골짜기 현상이 발생하기 이전 단계에 위치하여, 사용자와의 친밀감과 공감함을 형성하는 데 유리하다.

본 논문의 분석에 따르면, 스타일화된 가상인간은 [표 3]와 같은 핵심 시각적 특성을 가진다.

[표 3] 본 논문에서 제안하는 스타일화된 가상인간의 핵심 시각적 특성

특성	설명
단순화된 형태	불필요한 디테일을 과감히 생략하고 핵심적인 특징만을 강조
과장된 비례	해부학적 정확성보다는 캐릭터의 성격이나 역할 강조(예: 더 큰 눈, 작은 코)
명확한 윤곽선	형태를 더 명확히 인식할 수 있도록 윤곽선 사용
단순화된 질감	세부적인 미세 질감보다는 전체적인 색감과 재질감에 초점
제한된 색상 팔레트	복잡한 색조 변화보다는 명확하고 일관된 색상 사용

스타일화된 가상인간의 기술적 구현은 [표 4]와 같이 상대적으로 단순하면서도 효과적인 방법을 활용한다.

[표 4] 본 논문에서 제안하는 스타일화된 가상인간 구현 기술

기술	설명
저밀도 폴리곤 모델링	복잡한 형태보다는 단순화된 기하학적 구조 사용
카툰 셰이딩 (Toon Shading)	그라데이션이 적은 평면적 셰이딩 기법
적은 수의 블렌드셰입	극도로 세분화된 표정보다는 핵심적인 표정 표현에 집중
스타일화된 텍스처 맵핑	사실적 디테일보다는 일러스트레이션 스타일의 텍스처 활용
과장된 애니메이션	물리 법칙보다는 표현력과 가독성을 우선시하는 애니메이션 원칙 적용

이러한 스타일화된 표현이 사용자의 자기 투영과 감정적 연결을 촉진하는 데 효과적임을 확인하였다. 특히 교육, 소셜 미디어, 게임 등의 맥락에서 스타일화된 가상인간이 사용자 경험을 향상시키는 데 중요한 역할을 한다는 점을 강조한다.

3-2-1. 준사실적 표현의 특성

본 논문의 분류 체계에서 준사실적 가상인간은 스타일화와 극사실화 사이의 전환점에 해당한다. 이는 인간과의 유사성이 높아지면서도 여전히 디지털 매체의 특

성을 의도적으로 활용하는 하이브리드적 접근이다. 본 논문에서는 이 단계가 불쾌한 골짜기 영역과 가장 많이 겹치는 구간으로, 표현 요소 간의 일관성 유지가 특히 중요한 단계임을 강조한다.

본 논문에서 분석한 준사실적 가상인간의 특성은 [표 5]와 같다.

[표 5] 본 논문에서 제안하는 준사실적 가상인간의 주요 특성

특성	설명
선택적 디테일	모든 요소를 똑같은 수준의 디테일로 표현하지 않고, 중요한 특징(예: 얼굴, 눈)에 더 많은 디테일 부여
약간 이상화된 비례	완전히 해부학적으로 정확하지는 않지만, 스타일화보다는 현실에 더 가까운 비례
정교한 질감	상당한 수준의 질감 디테일 포함, 그러나 모든 미세 불규칙성까지 재현하지는 않음
자연스러운 움직임	물리적으로 타당한 움직임을 기본으로 하되, 가독성과 표현력을 위한 약간의 과장
조화로운 전체성	모든 요소가 비슷한 수준의 사실성을 유지하여 일관된 시각적 경험 제공

준사실적 가상인간의 기술적 구현은 스타일화 단계보다 복잡하지만, 극사실적 단계보다는 효율적인 [표 6]과 같은 방법을 활용한다.

[표 6] 본 논문에서 제안하는 준사실적 가상인간 구현 기술

기술	설명
미세 디테일의 정밀한 구현	피부의 모공, 주름, 홍조, 머리카락의 한 올 한 올까지 재현
정확한 해부학적 구조	근육, 뼈, 지방 분포 등 인체의 해부학적 구조를 정확히 반영
물리 기반 재질 표현	빛의 반사, 투과, 산란 등 실제 물리 현상에 기반한 정밀한 재질 표현
정밀한 움직임 역학	근육의 수축과 이완, 관절의 움직임, 피부의 미세한 변형을 물리적으로 정확하게 시뮬레이션
복합적 감정 표현	FACS에 기반한 정밀한 표정 제어를 통해 미세하고 복합적인 감정 표현

본 논문의 분석에 따르면, '조화로운 전체성'은 불쾌한 골짜기를 효과적으로 관리하기 위한 핵심 전략으로, 준사실적 단계에서 특히 중요한 요소임을 확인하였다.

준사실적 가상인간은 게임, 가상 인플루언서, 엔터테인먼트 등의 분야에서 유용하게 활용될 수 있다.

3-2-1. 준사실적 표현의 특성

본 논문의 스펙트럼에서 최종 단계인 극사실적 가상 인간은 물리적 리얼리즘과 사진적 리얼리즘이 결합된 최고 수준의 사실적 표현을 추구한다. 이 단계는 불쾌한 골짜기를 성공적으로 건너 실제 인간과 구별하기 어려운 정도의 높은 시각적 정밀도를 달성한 상태를 의미한다. 본 논문에서는 이러한 극사실적 표현의 성공적 구현을 위해서는 모든 시각적 요소의 일관된 사실성과 해부학적 정확성, 그리고 생명감을 부여하는 미세 변화의 구현이 필수적임을 주장한다.

본 논문에서 제안하는 극사실적 가상인간의 핵심 특성은 [표 7]와 같다.

[표 7] 본 논문에서 제안하는 극사실적 가상인간의 핵심 특성

특성	설명
미세 디테일의 정밀한 구현	피부의 모공, 주름, 홍조, 머리카락의 한 올 한 올까지 재현
정확한 해부학적 구조	근육, 뼈, 지방 분포 등 인체의 해부학적 구조를 정확히 반영
물리 기반 재질 표현	빛의 반사, 투과, 산란 등 실제 물리 현상에 기반한 정밀한 재질 표현
정밀한 움직임 역학	근육의 수축과 이완, 관절의 움직임, 피부의 미세한 변형을 물리적으로 정확하게 시뮬레이션
복합적 감정 표현	FACS에 기반한 정밀한 표정 제어를 통해 미세하고 복합적인 감정 표현

극사실적 가상인간의 기술적 구현은 최첨단 기술의 집약체로, [표 8]와 같은 방법을 사용한다.

[표 8] 본 논문에서 제안하는 극사실적 가상인간 구현 기술

기술	설명
고밀도 폴리곤 모델링	수억 개의 폴리곤을 활용한 극도로 세밀한 형태 구현
고급 스캐닝 기술	포토그래메트리, 3D 스캐닝, FACS 기반 표정 캡처 등을 통한 정밀한 데이터 수집
물리 기반	실제 물질의 광학적 특성을 정밀하게

렌더링(PBR)	시뮬레이션
서브서피스 스캐터링	다중 산란 모델을 통한 피부의 복잡한 광학적 특성 재현
물리 기반 헤어 시뮬레이션	개별 모발의 물리적 특성과 상호작용을 시뮬레이션
근육 기반 리깅 시스템	실제 근육의 작용을 시뮬레이션하는 정교한 리깅
미세 표정 캡처 및 합성	고프레임 레이트 퍼포먼스 캡처를 통한 미세 표정 구현

본 논문의 분석 결과, 이러한 특성들은 서로 유기적으로 연결되어 있으며, 모든 요소가 일관된 수준의 사실성을 유지하는 것이 극사실적 가상인간의 성공적 구현을 위한 핵심임을 확인하였다. 특히 본 논문에서는 해부학적 정확성과 의도적 불완전함의 균형이 생명감 있는 극사실적 가상인간 구현의 핵심 요소임을 강조한다.

3-4. 가상인간의 정적 표현 요소

본 논문에서는 가상인간의 시각적 표현 요소를 정적 요소와 동적 요소로 구분하여 체계화한다. 정적 표현 요소는 움직임이 없는 상태에서 관찰되는 시각적 특성으로, 가상인간의 기본적인 외형과 구조를 정의하며 동적 표현의 토대가 된다. 본 연구에서는 극사실적 가상인간 구현의 핵심 기반이 되는 정적 표현 요소에 집중하여 심층적으로 분석하고자 한다. 동적 표현 요소(애니메이션, 표정 변화, 실시간 상호작용 등)는 별도의 복잡한 기술적 접근과 평가 체계가 요구되므로, 본 연구의 범위를 넘어서는 부분으로 후속 연구를 통해 체계적으로 다룰 예정이다. 본 논문에서는 정적 표현 요소를 인지적 측면과 기술적 측면으로 나누어 분석함으로써, 가상인간 구현의 효과성을 높이기 위한 체계적인 접근법을 제시한다.

3-4-1. 인지적 측면

인간의 가상인간 인식은 복잡한 신경인지적 메커니즘에 기반한다. 뇌의 방추상회 얼굴 영역(Fusiform Face Area)과 상측두구(Superior Temporal Sulcus)는 얼굴 인식과 사회적 신호 처리를 담당하는 특화된 영역으로, 가상인간의 사실성 판단에 직접적인 영향을 미친다.³²⁾ 본 논문의 분석에 따르면 이러한 인지적 처리

과정에서 세 가지 중요한 원칙이 도출된다:

○ 의도적 불완전함 원칙: 본 논문에서는 완벽한 대칭이나 균일함보다 적절한 불완전함이 인간다움의 인식에 기여한다는 것을 확인하였다. 인위적으로 완벽해 보이는 가상인간보다 미세한 불완전함(피부 색소 침착의 자연스러운 변이, 약간의 비대칭, 모공과 미세 주름 등)을 가진 가상인간이 더 '인간적'이고 '생명감 있게' 인식된다.

○ 통합적 지각 원칙: 인간의 지각 시스템은 시각적 요소들을 독립적으로 처리하지 않고, 전체적 맥락 속에서 통합적으로 해석한다. 캐츠위리와 타칼라의 '지각적 불일치 이론'을 확장하여, 본 논문에서는 모든 정적 요소(형태, 질감, 재질 등)가 동일한 수준의 사실성과 스타일을 유지해야 함을 제안한다.

○ 미세 변화 감지 원칙: 본 논문에서는 인간의 지각 시스템이 정적인 상태에서도 미세한 변화와 변이를 감지하도록 진화했음을 주목한다. 이러한 미세 변이의 적절한 구현은 가상인간에 "생명감"을 부여하는 핵심 요소이다.

3-4-2. 기술적 측면

본 논문에서는 정적 표현의 기술적 요소를 형태구현, 질감구현, 재질구현의 세 가지 핵심 영역으로 체계화한다. 이러한 분류는 가상인간 구현 과정에서 각 요소별 최적화된 접근법 개발을 가능하게 한다.

○ 형태구현: 극사실적 가상인간 구현의 핵심은 정확한 해부학적 구조의 이해와 재현이다. 본 연구에서는 단순히 외형적 유사성을 모방하는 것이 아닌, 내부에서 외부로 구현하는 레이어드 접근법(layered approach)의 중요성을 강조한다. 이는 골격 구조, 근육 체계, 피하 지방, 피부 구조 등의 해부학적 정확성을 바탕으로 가상인간의 형태를 구현하는 방식이다.

본 논문에서는 형태 캡처를 위한 최적화된 기술로 다음과 같은 방법을 제안한다:

- ① 고해상도 3D 스캐닝과 포토그래메트리 기술의 통합적 활용
- ② 캡처 데이터의 위상 재구성(topology reconstruction)을 통한 최적화

32) Knowing Neurons, 'Facing the Uncanny Valley: Pareidolia and Face Recognition', 2023.11.07, (2025.02.16.)

www.knowingneurons.com/blog/2023/11/07/facing-the-uncanny-valley-pareidolia-and-face-recognition/

③ 해부학적 정확성을 보존하는 동시에 애니메이션에 적합한 토폴로지 구조 개발

○ 질감구현: 본 논문에서는 인간 피부의 복잡한 질감을 구현하기 위해 다층 텍스처링 기법이 필수적임을 확인하였다. 다층 텍스처링 접근법은 피부의 서로 다른 특성을 여러 레이어로 분리하여 구현하는 방식으로, 정교한 제어와 사실적인 결과를 가능하게 한다.

본 논문에서 제안하는 완전한 다층 텍스처 세트는 [표 9]와 같다:

[표 9] 본 논문이 제안하는 완전한 다층 텍스처 세트

텍스처 맵 유형	기능 및 역할
베이스 컬러/알베도 맵(Base Color/Albedo Map)	피부의 기본 색상 정의
서브서피스 맵(Subsurface Map)	피부의 반투명도와 산란 특성 정의
범프/노멀 맵(Bump/Normal Map)	미세한 표면 구조의 기하학적 특성 표현
디스플레이스먼트 맵(Displacement Map)	실제 메시 형태를 변형시키는 높이 정보
스페큘러/러프니스 맵(Specular/Roughness Map)	표면의 반사 특성과 미세 거칠기 정의
앰비언트 오클루전 맵(Ambient Occlusion Map)	표면의 오목함에 의한 간접 조명 차단 시뮬레이션
캐비티 맵(Cavity Map)	미세한 틈새와 주름에서의 그림자 효과 강화

○ 재질구현: 본 논문에서는 극사실적 가상인간의 최종 시각적 품질을 결정하는 요소로 물리 기반 렌더링(Physically Based Rendering, PBR)이 핵심적임을 확인하였다. 특히 다음과 같은 첨단 기술의 통합적 적용을 제안한다:

① 미세표면 이론(Microfacet Theory)을 통한 거칠기와 반사율 관계의 정확한 모델링

② 서브서피스 스캐터링(Subsurface Scattering)을 통한 피부의 반투명성 구현

③ 환경 기반 조명(Image-Based Lighting)을 통한 자연스러운 통합

본 논문의 분석 결과, 정적 표현 요소의 성공적 구현을 위해서는 인지적 원칙과 기술적 요소들이 유기적으로 통합되어야 한다. 특히 모든 요소가 일관된 수준의 사실성을 유지하는 것이 중요하다. 이러한 발견을 바탕으로 본 논문에서는 '표현 일관성 원칙'을 제안하

며, 이 원칙을 정적 표현 요소 구현에 적용함으로써 불쾌한 골짜기 현상을 효과적으로 극복할 수 있음을 확인하였다.

4. 제안하는 가상인간 평가 체계

본 장에서는 앞서 분석한 시각적 표현 스펙트럼의 이론적 배경과 선행 연구 결과를 바탕으로, 가상인간의 사실성 수준을 객관적으로 평가할 수 있는 체계적인 지표를 제안한다. 이 평가 체계는 가상인간 제작 과정에서 현재 구현 수준을 진단하고, 극사실적 표현을 위한 구체적인 기술적 목표를 설정하는 데 실질적인 가이드라인을 제공하고자 한다.

특히 본 논문에서는 정적 표현 요소를 중심으로 사실성 평가 지표를 구체화하여, 다양한 산업 분야에서 활용 목적에 맞는 적절한 사실성 수준을 선택하고 구현할 수 있도록 하였다. 이러한 평가 체계는 디자이너와 개발자들이 프로젝트의 요구사항과 기술적 제약을 고려하여 최적의 리소스 분배 전략을 수립하는 데 도움을 줄 수 있을 것이다.

4-1. 활용 사례별 요구되는 사실성 수준

가상인간의 사실성 요구 수준은 활용 맥락과 목적에 따라 크게 달라진다. 본 논문에서는 대표적인 활용 사례를 중심으로 각 맥락에서 요구되는 사실성 수준과 기술적 우선순위를 분석한다.

4-1-1. 영화 및 엔터테인먼트

1) 극사실적 표현 적용 사례

클로즈업이 많은 주연급 디지털 휴먼의 경우 극사실적 표현이 필수적이다. 특히 실제 배우를 대체하거나 함께 출연하는 디지털 휴먼은 관객의 면밀한 관찰 속에서도 실제 인간과 구분되지 않아야 한다. 영화 <제미니 맨(Gemini Man)> (2019)의 젊은 윌 스미스 캐릭터나 <로그 원: 스타워즈 스토리(Rogue One: A Star Wars Story)> (2016)의 그랜드 모프 타킨과 같이 관객들이 잘 알고 있는 인물을 재현할 때 이 수준의 사실성이 요구된다.



[그림 2] 영화 <Gemini Man> (2019) 중 배우 윌 스미스(Will Smith)의 디지털 더블³³⁾

2) 준사실적 표현 적용 사례

액션 시퀀스가 많거나 특수한 외형을 가진 캐릭터의 경우 준사실적 표현이 효과적이다. 이는 인간적 특성과 비현실적 요소를 균형 있게 조합해 시각적 효과를 극대화하면서도 기술적 효율성을 유지할 수 있다. <아바타(Avatar)> (2009)의 나비족 캐릭터들이나 <앨리타: 배틀 엔젤(Alita: Battle Angel)> (2019)의 메인 캐릭터와 같이 인간적이면서도 판타지적 요소가 가미된 캐릭터에 적합하다.



[그림 3] 영화 <Alita: Battle Angel> (2019)³⁴⁾

3) 스타일화 표현 적용 사례

애니메이션이나 패밀리 엔터테인먼트에서는 의도적으로 스타일화된 가상인간이 선호된다. 이는 강한 개성과 감정 표현을 통해 관객과의 정서적 연결을 강화하

는 데 효과적이다. 픽사나 디즈니의 3D 애니메이션 캐릭터들이 대표적인 예로, 과장된 특징과 표현력을 통해 높은 공감대를 형성한다.



[그림 4] 영화 <Coco> (2017)³⁵⁾

4-1-1. 광고 및 마케팅

광고와 마케팅 분야에서는 브랜드 아이덴티티와 목표 소비자층의 특성에 따라 가상인간의 사실성 수준이 전략적으로 선택된다.

1) 극사실적 표현 적용 사례

럭셔리 브랜드나 첨단 기술 기업의 마케팅에서는 극사실적 가상인간이 브랜드의 프리미엄 이미지와 기술적 우수성을 강조하는 데 활용된다. 예를 들어, 명품 시계나 자동차 광고에서 인간과 구분하기 어려운 가상 모델을 활용하여 제품의 정교함과 품질을 간접적으로 전달할 수 있다. 특히 하이엔드 제품의 디테일이나 섬세한 질감을 표현할 때 극사실적 가상인간과의 상호작용은 제품의 고급스러움을 효과적으로 강조한다.



[그림 5] 가상 슈퍼모델 'Shudu'³⁶⁾

33) Esquire Middle East, 'Will Smith will fight a younger Will Smith clone in Gemini Man', (2025.03.15.)
www.esquireme.com/culture/film-and-tv/37360-will-smith-will-fight-a-younger-will-smith-clone-in-gemini-man

34) Kung Fu Kingdom, 'Alita: Battle Angel (2019)', 2019.11.05. (2025.03.14.)
www.kungfukingdom.com/alita-battle-angel-movie-review/

35) 조선일보, '디즈니 '코코' 할머니, 신년 앞두고 사망 비보 "마마코코 안녕"', 2024.01.01. (2025.03.14.)

www.chosun.com/entertainments/enter_general/2024/01/01/A6BSHWJPQ2NU76Y4JDBFIOMYLQ/

36) Adspyhub, 'Shudu Gram the world's first virtual supermodel doesn't want real models to shoot'

2) 준사실적 표현 적용 사례

대중 소비재나 패션 브랜드에서는 준사실적 가상인간을 통해 트렌디하면서도 접근성 있는 브랜드 이미지를 구축한다. 이는 현실적이면서도 이상적인 요소를 적절히 조합해 소비자의 관심을 끌고 브랜드와의 감정적 연결을 형성하는 데 효과적이다. 가상 인플루언서 '릴 미켈라(Lil Miquela)'와 같이 실제 인플루언서와 같은 활동을 하면서도 디지털 정체성을 유지하는 캐릭터가 이 범주에 속한다. 이러한 준사실적 가상인간은 다양한 디지털 플랫폼에서 활용하기에 적합하며, 브랜드 메시지를 자연스럽게 전달할 수 있다.



[그림 6] 가상 인플루언서 '릴 미켈라(Lil Miquela)'³⁷⁾

3) 스타일화 표현 적용 사례

MZ세대를 타겟으로 하는 브랜드나 소셜 미디어 중심의 마케팅에서는 개성 있고 친근한 스타일화된 가상인간이 효과적이다. 이는 높은 식별성과 기억성을 제공하여 브랜드 인지도를 높이는 데 기여한다. 삼성의 가상인간 비서 '샘'과 같이 뚜렷한 시각적 정체성을 가진 캐릭터들이 이에 해당한다. 이러한 스타일화된 가상인간은 브랜드 마스코트로서 장기적인 소비자 관계 구축에 유리하며, 다양한 콘텐츠와 상품으로 확장이 용이하다.

ads', (2025.03.15.)
www.adspyhub.com/guest-post/Shudu-Gram-the-world-s-first-virtual-supermodel-doesn-t-want-real-models-to-shoot-ads

37) 뉴시스, '[가상인간 전성시대@]'백억대 연수익?...가상인간 얼마나 벌까, 2022.04.30. (2025.03.15.)
www.mobile.newsis.com/view/NISX20220429_0001853482#_PA



[그림 7] 삼성전자 가상비서 '샘'³⁸⁾

이러한 사례 분석을 통해 알 수 있듯이, 가상인간의 사실성 수준은 단순한 기술적 선택을 넘어 전략적 커뮤니케이션 도구로서 중요한 의미를 가진다. 본 논문에서 제안하는 평가 체계는 이러한 다양한 활용 맥락에 맞는 최적의 사실성 수준을 선택하고 구현하는 데 실질적인 가이드라인을 제공할 수 있을 것이다.

4-2. 가상인간의 정적 표현 요소 평가 지표

앞서 살펴본 영화, 엔터테인먼트, 광고, 마케팅 등 다양한 분야의 활용 사례에서 알 수 있듯이, 가상인간의 사실성 수준은 그 목적과 맥락에 따라 차별화되어 적용된다. 본 논문에서는 이러한 다양한 요구사항에 맞게 가상인간의 정적 표현 요소를 체계적으로 평가할 수 있는 기술적 지표를 제안한다. 영화 속 주연급 디지털 휴먼에 요구되는 극사실적 표현부터, 럭셔리 브랜드의 마케팅에 활용되는 준사실적 표현, 그리고 MZ세대를 겨냥한 친근한 스타일화 표현까지, 각 단계별로 필요한 기술적 명세를 네 가지 주요 영역으로 [표 12]와 같이 분류한다.

[표 12] 본 논문이 제안하는 정적 표현의 기술적 요소 평가 지표

모델링	극사실적	준사실적	스타일화
모델링	- 블렌드 셰입 100개 이상 - 실제 배우 수준의 표정 연기 - 완벽한 립 싱크	- 블렌드 셰입 80-100개 - 세밀한 감정 표현 - 정확한 발음 구현 - 미세한 표	- 블렌드 셰입 15-20개 - 기본 감정 표현 (기쁨, 슬픔, 화남 등) - 간단한 입모양

38) 나무위키, 'SAM(캐릭터)', 2021.06.06. (2025.03.15.)
www.namu.wiki/w/SAM%28%EC%BA%90%EB%A6%AD%ED%84%B0%29?uuid=1ff3efb7-c150-4103-a96e-0ec6402ba620

매터리얼과 텍스처	- 감정의 미세한 뉘앙스까지 표현	정 변화 가능	- 기초적인 움직임
	- 폴리곤 수 100만 이상 - 극도로 섬세한 디테일 표현 - 클로즈업 촬영용 디지털 휴먼 - 피부 모공까지 지오메트리로 표현	- 폴리곤 수 20-100만 - 영화급 캐릭터 수준 - 근접 촬영에도 문제 없는 디테일 - 세밀한 의상이나 악세서리 표현 가능	- 폴리곤 수 1-5만 - 기본적인 형태 표현만 가능 - 모바일 게임이나 저 사양 환경에 적합 - 멀리서 보는 캐릭터에 적합
	- UV 섹션 : 12개 이상 - 극도로 정밀한 텍스처 맵핑 - 각 부위별 최고 해상도 보장 - 완벽한 디테일 표현	- UV 섹션 : 8-12개 - 고해상도 텍스처 맵핑 - 부위별 독립적 디테일 - 효과적인 텍스처 메모리 관리	- UV 섹션 : 2-4개 - 얼굴, 몸통, 팔다리 기본 분할 - 단순한 텍스처 맵핑 - 제한된 해상도 분배
	- 근육 구조 : 전신 근육/피부 시스템 - 완벽한 해부학적 시뮬레이션 - 실시간 근육/피부 상호작용	- 근육 구조 : 상세 근육 시스템 - 해부학적 정확성 - 자연스러운 근육 변형	- 근육 구조 : 기본 본(bone) 구조 - 단순한 변형만 가능 - 기초적인 관절 움직임
매터리얼과 텍스처	- 8K 픽셀 이상의 해상도를 활용하여 극도로 정밀한 표면 디테일을 구현 - 극도로 정교한 물리적 특성 시뮬레이션 - 맵 종류 : 8개 이상	- 4K 픽셀 해상도를 활용하여 적절한 수준의 표면 디테일을 구현 - 기본 PBR 맵 사용 - 일반적인 물리 기반 재질	- 2K 픽셀 해상도를 활용한 기본적인 텍스처링 방식 - 기본 컬러 맵만 사용 - 단순한 물리 기반 표현
	- Base Color, Normal, Roughness, Metallic, Ambient Occlusion, Height, Subsurface Scattering, Displacement, Cavity	- 맵 종류 : 4-6개 - Base Color, Normal, Roughness, Metallic, Ambient Occlusion, Height	- 맵 종류 : 2-3개 - Base Color, Normal, Roughness

	y, Translucency, Detail Normal		
라이팅과 렌더링	- 레이트레이싱 : 빛의 경로를 실시간으로 추적 - 그림자 맵 : 8192px - 후처리 단계 : 7개 이상 - HDR, 렌즈 플레어, 고급 필터 등 영화급 후처리 효과 전체 적용	- 고급 PBR 라이팅 : 간접광과 전역 조명 효과 포함 - 그림자 맵 : 4096px - 후처리 단계 : 5-6개 - 모션블러, DOF, 고급 색보정 등 추가	- 기본 라이팅 : 직접광만 계산 - 그림자 맵 : 1024px - 후처리 단계 : 1-2개 - 기본적인 톤매핑과 색보정 정도만 적용
	- 색보정 LUT(Look Up Table) 크기: 256x256x256 - 컬러 채널: RGB+A +깊이+ 마스크 - 비트심도: 32bit - 피사계 심도(Depth of Field): - 블러 반경: 16px 이상 - 샘플 수: 256 이상 - 깊이 맵: 32bit	- 색보정 LUT 크기: 64x64x64 - 컬러 채널: RGB+A +깊이 - 비트심도: 16bit - 피사계 심도(Depth of Field): - 블러 반경: 8-16px - 샘플 수: 64-128 - 깊이 맵: 24bit	- 색보정 LUT 크기 : 16x16x16 - 컬러 채널 : RGB - 비트심도 : 8bit - 피사계 심도(Depth of Field): - 블러 반경 : 2-4px - 샘플 수 : 4-8 - 깊이 맵 : 8bit
포스트 프로세싱	- 앰비언트 오클루전: - 샘플 수: 256 이상 - 반경: 8m 이상 - 해상도: 4096px - 정밀도: 최고 - 모션 블러: - 샘플 수: 256 이상 - 셔터 속도: 1/240 - 벡터 맵: 4096px - 블러 강도: 최고	- 앰비언트 오클루전: - 샘플 수: 64-128 - 반경: 4-8m - 해상도: 2048px - 정밀도: 높음 - 모션 블러: - 샘플 수: 64-128 - 셔터 속도: 1/120 - 벡터 맵: 2048px - 블러 강도: 높음	- 앰비언트 오클루전: - 샘플 수 : 4-8 - 반경 : 1-2m - 해상도 : 512px - 정밀도 : 낮음 - 모션 블러: - 샘플 수 : 4-8 - 셔터 속도 : 1/30 - 벡터 맵 : 512px - 블러 강도 : 낮음

이러한 기술적 평가 지표는 앞서 살펴본 다양한 활용 사례에서 요구되는 사실성 수준에 맞게 각 기술 요소의 적절한 수준을 설정하고, 일관된 시각적 품질을 유지하는 데 중요한 기준이 될 수 있다. 본 논문에서 강조하는 '표현 일관성 원칙'에 따라 모든 기술 요소가 동일한 사실성 단계에서 구현될 때, 영화 속 디지털 휴먼이나 가상 인플루언서, 브랜드 캐릭터 등 다양한 형태의 가상인간이 불쾌한 골짜기 현상을 효과적으로 회피하고, 목적에 맞는 최적의 시각적 경험을 제공한다.

5. 결론

본 논문에서는 3차원 그래픽스 기반 디지털 휴먼의 시각적 리얼리즘에 대한 기술적 구분과 제작 방법론을 체계화한다. 디지털 휴먼의 시각적 표현 스펙트럼을 스타일화, 준사실적, 극사실적 단계로 분류하고, 각 단계별 특성과 요구되는 기술적 요소를 정의한다. 특히 불쾌한 골짜기 현상을 극복하기 위한 '표현 일관성 원칙'을 중심으로, 정적 표현 요소의 체계적인 평가 지표를 제안한다.

주요 성과로는 시각적 표현 스펙트럼의 이론적 체계화와 불쾌한 골짜기 현상의 원인 및 극복 방안 분석을 통한 '표현 일관성 원칙' 도출이 있다. 또한 디지털 휴먼의 정적 표현 요소를 인지적·기술적 측면으로 체계화하고, 영화, 엔터테인먼트, 광고, 마케팅 등 다양한 활용 맥락에 따라 요구되는 사실성 수준과 기술적 우선순위를 분석한다.

제안된 사실성 평가 지표는 개발 과정에서 객관적인 품질 평가 기준을 제공하며, 불쾌한 골짜기 현상을 회피하는 데 실질적인 지침이 된다. 이를 통해 활용 맥락에 따른 차별화된 접근과 리소스의 효율적 분배가 가능해지며, 기술 발전에 따라 지속적으로 업데이트할 수 있는 유연한 프레임워크를 마련한다.

본 논문은 디지털 휴먼의 정적 표현 요소에 중점을 두며, 향후 연구에서는 애니메이션, 표정 변화, 실시간 상호작용 등을 포함하는 동적 표현 요소에 대한 평가 체계를 개발할 계획이다. 또한 정적·동적 표현의 통합적 평가 모델을 구축하고, 실제 사용자 반응을 기반으로 한 평가 검증 연구를 진행하여 디지털 휴먼 기술의 발전과 활용 확대에 기여하고자 한다.

참고문헌

1. McCloud, S., 『Understanding comics : the invisible art』, HarperPerennial, 1994.
2. Tinwell, A., 『The Uncanny Valley in Games and Animation』, A K Peters/CRC Press, 2014.
3. 김릉희, '사실적인 디지털 휴먼 디자인을 위한 표정 정합성 비교 연구 -메타휴먼 리그와 ARkit 리그를 중심으로-', 커뮤니케이션디자인학연구, 2023.
4. 김미숙, '버추얼 휴먼의 사실적 표현을 위한 연출 연구 : 국내 TV 광고를 중심으로', 애니메이션연구, 2022.
5. 김형석, '가상 인간 인플루언서에 대한 Uncanny Valley 현상에 관한 연구', 한국지식정보기술학회 논문지, 2022.
6. 김효용, '3차원 애니메이션에서의 극사실적 표현에 관한 연구 -Lighting과 Texturing을 중심으로-', 기초조형학연구, 2003.
7. 왕혜, 장청건, '디지털 휴먼 캐릭터의 성격 특성과 안면 디자인의 관계 탐색', 한국디자인리서치, 2024.
8. 장필식, 정우현, 현주석, '3D 캐릭터 모델의 추상화와 리얼리즘이 언캐니 밸리 현상에 미치는 영향', 디지털융복합연구, 2016.
9. Ferwerda, J., 'Three Varieties of Realism in Computer Graphics', Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 2003.
10. Kätysri, J., Förger, K., Mäkäräinen, M., Takala, T., 'A review of empirical evidence on different uncanny valley hypotheses: Support for perceptual mismatch as one road to the valley of eeriness', Frontiers in Psychology, 2015.
11. MacDorman, K. F., Chattopadhyay, D., 'Reducing consistency in human realism increases the uncanny valley effect; increasing category uncertainty does not', Cognition, 2016.

12. MacDorman, K. F., Ishiguro, H., 'The uncanny advantage of using androids in cognitive and social science research', *Interaction Studies*, 2006.
13. MadehKhaksar, F., Luo, Z., Pronost, N., Egges, A., 'Modeling and simulating virtual anatomical humans', *3D Multiscale Physiological Human*, 2014.
14. Prince, S., 'True lies perceptual realism, digital images, and film theory', *Film Quarterly*, 1996.
15. Seyama, J., Nagayama, R. S., 'The Uncanny Valley: Effect of Realism on the Impression of Artificial Human Faces', *PRESENCE: Teleoperators & Virtual Environments*, 2007.
16. Shakir, S. D., Al-Azza, A. A., 'Facial modeling and animation approaches: An overview of the state-of-the art', *Iraqi Journal for Electrical & Electronic Engineering*, 2022.
17. 박재의, '버추얼 인플루언서 활용 광고의 광고 효과 제고 방안 연구', *국민대학교 일반대학원*, 2024.
18. 서채환, '극사실적 디지털 캐릭터를 마주하는 관객의 심리', *중앙대학교 첨단영상대학원*, 2012.
19. www.adspyhub.com/guest-post/Shudu-Gram-the-world-s-first-virtual-supermodel-doesn-t-want-real-models-to-shoot-ads
20. www.chosun.com/entertainments/enter_general/2024/01/01/A6BSHWJPQ2NU76Y4JDBFIO MYLQ/
21. www.designreview.byu.edu/collections/design-lessons-from-movies-the-polar-express
22. www.esquireme.com/culture/film-and-tv/37360-will-smith-will-fight-a-younger-will-smith-clone-in-gemini-man
23. www.knowingneurons.com/blog/2023/11/07/facing-the-uncanny-valley-pareidolia-and-face-recognition/
24. www.kungfukingdom.com/alita-battle-angel-movie-review/
25. www.mobile.newsis.com/view/NISX20220429_0001853482
26. www.namu.wiki/w/SAM%28%EC%BA%90%EB%A6%AD%ED%84%B0%29?uuid=1ff3efb7-c150-4103-a96e-0ec6402ba620
27. Mori, Masahiro., 'The Uncanny Valley: The Original Essay by Masahiro Mori', *IEEE Spectrum*, (2012.06.12.)
www.spectrum.ieee.org/the-uncanny-valley