

특집논문 (Special Paper)

방송공학회논문지 제30권 제5호, 2025년 9월 (JBE Vol.30, No.5, September 2025)

<https://doi.org/10.5909/JBE.2025.30.5.725>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

3D 스캐닝 기반 버추얼 프로덕션의 기술·인력 연계성과 사용자 경험 평가

조 병 철^{a)}, 김 익 태^{a)}, 장 병 민^{b)†}

Technological and Human Resource Integration in 3D Scanning-Based Virtual Production: A User Experience Evaluation

Byung Chul Cho^{a)}, Ik-Tae Kim^{a)}, and Byung-Min Jang^{b)†}

요 약

본 연구는 3D 스캔 기반 버추얼 프로덕션 시스템의 사용자 경험을 체계적으로 분석하고, 실제 방송 제작 현장에서의 기술적 효율성을 실증적으로 검증하는 것을 목적으로 한다. KBS XR 스튜디오를 활용하여 실험 콘텐츠를 제작하고 시각적 사실감, 몰입도, 존재감, 공간 감각, 전반적 품질의 다섯 가지 평가지표를 중심으로 사용자 경험 기반 평가 프레임 워크를 구축하였다. 국내 미디어 기술 및 제작 전문가 10인을 대상으로 5점 리커트 척도와 반 구조화 심층 인터뷰를 통한 정성·정량 통합 분석을 수행하였다. 분석 결과, 몰입도(4.5)와 시각적 사실감(4.3)에서 비교적 높은 평가를 받았으며, 공간 감각(3.8)은 기술적 개선이 요구되는 항목으로 나타났다. 전문가 의견을 종합한 결과, 3D 스캔 에셋의 정합성, 트래킹 연동성, 조명 톤, 매칭 등의 기술 요소가 사용자 경험 품질에 주요한 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 본 연구는 3D 스캔 기반 버추얼 프로덕션의 품질 향상 요인을 실증적으로 도출하고, 실감형 콘텐츠 제작 현장에 적용 가능한 사용자 경험 평가 모델을 정립함으로써 실무적 가이드 라인을 제시하였다.

Abstract

This study aims to systematically analyze the user experience of 3D scan-based virtual production systems and empirically validate their technical efficiency in actual broadcasting production environments. Experimental content was produced utilizing the KBS XR Studio, and a user experience-based evaluation framework was established centered on five assessment indicators: visual realism, immersion, presence, spatial perception, and overall quality. A comprehensive qualitative and quantitative integrated analysis was conducted with ten domestic media technology and production experts through 5-point Likert scale surveys and semi-structured in-depth interviews. The analysis results showed relatively high evaluations for immersion (4.5) and visual realism (4.3), while spatial perception (3.8) emerged as an area requiring technical improvement. Based on comprehensive expert opinions, technical elements such as 3D scan asset coherence, tracking interoperability, and lighting tone matching were confirmed to significantly impact user experience quality. This study empirically derives quality enhancement factors for 3D scan-based virtual production and establishes a user experience evaluation model applicable to immersive content production environments, thereby presenting practical guidelines.

Keyword : Virtual Production, 3D Scanning, User Experience, Real-time Compositing, Realistic Content

Copyright © 2025 Korean Institute of Broadcast and Media Engineers. All rights reserved.

"This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and not altered."

I. 서 론

최근 급부상하고 있는 버추얼 프로덕션(Virtual Production)은 실제 공간을 디지털 에셋(Digital Asset)으로 변환한 뒤, 이를 LED Wall 기반의 실시간 합성 기술과 결합하여 스튜디오 내에서 몰입감 있는 촬영 환경을 구현함으로써 기존 그린 스크린 방식의 한계를 극복하고 있다^[1]. 이러한 기술은 디지털 세트의 반복 활용을 가능하게 하여 세트 제작 및 철거에 따른 물리적·경제적 부담을 줄이는 동시에, 실제 로케이션 없이도 다양한 장소와 시간대를 유연하게 연출할 수 있는 장점을 제공한다. 특히 실사 수준의 실시간 그래픽 구현은 배우의 현장 몰입도를 높이고, 후반 제작 과정에서의 시각 효과 작업을 최소화함으로써 제작 기간과 비용을 획기적으로 절감할 수 있다^[2].

가령, 제작진은 벚꽃이 만발한 대학 캠퍼스에서 가을 단풍이 가득한 캠퍼스 장면까지도 실내 촬영 환경에서 고해 상도로 구현할 수 있으며, 프랑스 파리의 뒷골목에서 서울 명동의 변화가까지 시대와 장소를 넘나드는 장면을 사실감 있게 재현할 수 있다.

이러한 제작 환경에서는 공간의 시각적 사실감과 기하학적 정밀도가 고품질로 요구되며, 이를 충족시키기 위한 핵심 기술로 3D 스캐닝(3D Scanning) 기술이 주목받고 있다. 3D 스캐닝은 수작업 기반의 전통적인 3D 모델링에 비해 높은 정밀도와 사실감을 제공함으로써, 실감 콘텐츠 제작 전반에서 몰입감과 품질의 동시적 향상을 가능하게 해왔다^{[3][4]}. 즉, 버추얼 프로덕션 환경에서 최적화된 워크플로우(Workflow) 구현을 위하여 3D 스캔 에셋(3D Scan Asset)의 효과적인 최적화 기술은 방송 산업 현장 및 제작 기술 연구에서 매우 실질적인 과제로 제기되고 있다.

따라서, 본 연구는 3D 스캐닝으로 획득된 공간 데이터를 최적화한 후, 이를 실제 방송 제작 현장의 버추얼 프로덕션

환경에 적용하여 실시간 합성의 기술적 효율성과 시청각적 품질을 종합적으로 평가하는 것을 목적으로 한다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 3D 스캔 기반 버추얼 프로덕션 기술의 선행 연구를 분석하고, 사용자 경험 평가를 위한 이론적 프레임 워크를 제시한다. 특히 시각적 사실감, 몰입도, 존재감, 공간 감각, 전반적인 품질이라는 다섯 가지 핵심 지표가 버추얼 프로덕션 환경에서 사용자 경험에 미치는 영향을 체계적으로 고찰한다. 3장에서는 이러한 평가 지표를 실제 검증하기 위해 KBS XR 스튜디오의 LED Wall, 카메라 트래킹 시스템 등 기술 인프라와, 조명·합성·카메라 운용 전문가 간 협업 체계를 기반으로 실험 환경을 구축한다. 4장에서는 2장에서 제시한 다섯 가지 사용자 경험 지표를 중심으로 3장의 시스템을 통해 제작된 실감 콘텐츠에 대한 5점 리커트 척도 기반 설문과 심층 인터뷰를 활용한 정성·정량적 평가를 수행하고 그 결과를 분석한다. 구체적으로, 국내외 미디어 기술 및 제작 전문가 총 10인을 대상으로 한 반구조화된 심층 인터뷰(Semi-structured In-Depth Interview)와, 5점 리커트(Likert) 척도 기반의 품질 평가 지표를 활용한 정성적 분석(주관적 의견 요약, 공통 테마 도출)과 정량적 분석(평균, 표준편차 산출)을 병행함으로써 사용자 경험을 검토하였다.

II. 선행 연구 분석 및 이론적 프레임 워크

1. 3D 스캔 에셋 기반의 버추얼 프로덕션 기술의 선행 연구 분석

3D 스캔 에셋 기반 버추얼 프로덕션 기술에 대한 선행 연구는 실시간 상호작용 기술과 색상 재현 기술, 그리고 새로운 제작 패러다임의 등장이라는 세 가지 주요 축을 중심으로 발전해왔다. Chanpum(2023)은 버추얼 프로덕션을 영화 제작자들을 위한 상호작용적인 실시간 기술로 정의하며, 이 기술이 전통적인 후반 작업 프로세스를 근본적으로 변화시키고 있음을 강조했다^[5]. 그의 연구에 따르면, 버추얼 프로덕션은 단순한 기술적 혁신을 넘어서 창작자와 디지털 환경 간의 실시간 상호작용을 가능하게 하는 새로운 창작 도구로서의 역할을 수행한다. 특히 3D 스캔 에셋의 활용은

a) 동아방송예술대학교(Dong-Ah Institute of Media and Art)

b) 3D 모아 스튜디오(3D STUDIO MOA)

‡ Corresponding Author : 장병민(Byung-Min Jang)

E-mail: steadij@dimu.ac.kr

Tel: +82-2-781-8519

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5791-3954>

· Manuscript July 26, 2025; Revised August 23, 2025; Accepted August 25, 2025.

실제 환경과 객체를 디지털 공간으로 정확하게 변환하여 사실적인 가상 환경을 구축하는 데 핵심적인 역할을 수행하는 것으로 분석되었다.

기술적 관점에서 Gudemann, Fröhlich와 Brendel은 LED Wall 버추얼 프로덕션 스테이지에서의 색상 재현 문제를 집중적으로 연구하였다^[5]. 이들의 연구는 3D 스캔 에셋이 LED Wall 환경에서 정확한 색상 정보를 유지하기 위한 기술적 요구사항을 분석하고, 색상 일관성 유지를 위한 캘리브레이션 방법론을 제시하였다. 이는 3D 스캔 데이터의 시각적 품질이 최종 결과물의 사실성에 직접적인 영향을 미치는 핵심적인 요소임을 시사한다. Swords와 Willment는 버추얼 프로덕션 기술은 단순한 제작 도구를 넘어 미디어 생산 생태계 전반에 미치는 영향을 역설하였다^[6]. 그들의 연구는 버추얼 프로덕션이 창작자, 기술자, 그리고 관객 간의 관계를 재정의하고 있으며, 특히 3D 스캔 에셋을 활용한 실시간 제작 환경이 새로운 창작 방법론을 요구하고 있음을 지적한 것이다. 해외 대표 방송 제작 사례로는 Disney+의 『The Mandalorian』이 3D 스캔 에셋 기반 버추얼 프로덕션의 성공적인 적용 사례로 주목받은 바 있다. ILM(Industrial Light & Magic)이 개발한 StageCraft 기술은 Chanpum이 제시한 실시간 상호작용 개념을 실제로 구현한 대표 사례로 분석된다^{[7][8]}. 이 시스템은 20피트 높이의 270도 LED Wall과 1,326개의 개별 LED Wall로 구성된 75피트 직경의 공연 공간에서 3D 스캔 데이터를 실시간으로 렌더링한다. 특히 주목할 점은 카메라 움직임과 연동하여 배경 영상이 실시간으로 변화하는 기술적 구현이다. 이는 3D 스캔 에셋이 단순한 정적 배경이 아닌, 동적이고 상호작용적인 환경 요소로 활용되고 있음을 입증한다. HBO의 『House of the Dragon』은 버추얼 프로덕션 기술의 한계를 인식하고 시즌 2에서 전통적인 제작 방식으로 회귀한 대표적인 사례로 주목받고 있다^[9]. 즉, 초기 시즌에서는 3D 스캔 에셋 기반 버추얼 프로덕션을 활용되었으나, 복잡한 액션 장면과 다양한 조명 환경의 요구를 충족하는 데에는 기술적 제약이 있었던 것으로 분석된다.

이러한 실증 사례는 3D 스캔 에셋 기반 버추얼 프로덕션 기술이 모든 제작 상황에 적용 가능한 만능 해결책이 아니라, 특정 조건과 요구사항에 최적화된 도구임을 실증적으로 입증한다. 특히 Chanpum이 강조한 실시간 상호작용의

장점이 복잡한 액션 시퀀스에서는 오히려 제약 요소로 작용할 수 있다는 것이다.

국내 대표 방송 제작 사례로는 KBS의 대하드라마 『고려 거란 전쟁』(2023)이 있다. 이 작품에서는 ‘귀주대첩’, ‘삼수채 전투’ 등 주요 전투 장면의 배경을 고증 기반의 사실성으로 재현하기 위해 3D 스캐닝 기술을 적극적으로 도입하였다. 특히 스캔된 지형 데이터는 버추얼 프로덕션 환경에서 실시간 합성용 에셋으로 활용되었으며, 최적화 과정에서는 LOD(Level of Detail) 기법, 텍스처 압축, 지오메트리 단순화 등이 종합적으로 적용되었다. 이러한 과정을 통해 4K UHD 방송 품질을 유지하면서도 실시간 합성이 가능한 제작 환경을 구축할 수 있었다^[10]. 이러한 사례는 3D 스캐닝 기반의 디지털 에셋이 단순한 형상 복원을 넘어서 콘텐츠 몰입도 향상, 제작 효율성 증대, 버추얼 프로덕션 기반의 방송 품질의 고도화 등의 실질적 성과로 이어질 수 있음을 시사한다.

2. 사용자 경험 기반 평가 프레임 워크

본 연구에서는 버추얼 프로덕션 환경의 특성을 반영한 사용자의 공간적 체험과 심리적 몰입 수준을 분석하기 위해 다음과 같은 다섯 가지 평가지표를 도출하였다.

첫째, 시각적 사실감(Visual Realism)^[11]은 3D 스캔 데이터와 실사 피사체 간의 시각적 정합성, LED Wall의 색온도 일치도, 실시간 렌더링 품질의 안정성을 평가하는 지표이다.

둘째, 몰입감(Immersion)^[12]은 실시간 카메라 트래킹의 지연 시간, LED Wall과 물리적 조명 간의 동기화 정확도, 가상 배경의 시점 전환 자연스러움을 통해 사용자 집중도를 측정한다.

셋째, 존재감(Presence)^[13]은 가상 공간 내에서 실사 피사체의 자연스러운 존재감을 평가하며, 그림자 투영의 정확성, 반사광 처리, 공간 스케일의 일관성이 핵심 요소이다.

넷째, 공간 감각(Spatial Presence)^[14]은 제한된 물리적 공간에서 무한한 가상 공간을 경험하는 인지적 확장성을 측정하며, 운동 시차 구현의 정확성과 깊이감 표현의 연속성을 평가한다.

다섯째, 전반적 품질(Overall Quality)^[15]은 앞선 네 지표

의 통합적 결과로서 버추얼 프로덕션의 실시간성과 상호작용성이 전체 시청 경험에 미치는 종합적 만족도를 나타낸다. 이러한 지표들은 가상현실(VR), 증강현실(AR), 혼합현실(MR) 연구의 측정 방식을 버추얼 프로덕션의 LED Wall 기반 실시간 합성 환경에 특화하여 재구성한 것으로, 전문가 합의 기반 검증을 통해 타당성을 확보하였다.

따라서, 본 연구에서는 사용자 경험 평가의 객관성과 타당성을 확보하고자 이러한 평가지표와 측정 항목에 대한 전문가 합의 기법을 적용하였다. 최근, Keller와 동료 연구진의 연구는 델파이 기법(Delphi Method)을 통해 전문가 합의 도출이 체계적으로 이루어질 수 있음을 입증하였으며^[16], 이러한 지표는 본 연구의 평가 지표 검증에도 활용되었다.

본 연구에서는 각 평가 지표의 중요도와 실현 가능성은 시각적으로 분석하기 위해 사분면 분석 기법(Quadrant Analysis)을 도입하였다. Al-Debei와 Avison은 사분면 분석의 전략적 유용성을 밝힌 바 있다^[17]. 본 연구는 이를 사용자 경험 평가에 확장 적용하고자 하였다.

또한, 본 연구는 정성적 평가와 정량적 평가를 통합한 혼합 방법론(Mixed-Methods Approach)을 적용하였다. Venkatesh와 동료 연구자들이 입증한 바와 같이 정성-정량 통합 접근법은 기술 수용도와 사용자 경험의 다차원적 분석에 효과적인 방법론이다^[18]. 이러한 방법론적 기반에 따라 5점 리커트 척도 기반의 설문조사와 더불어 국내외 방송 제작 및 버추얼 프로덕션 전문가를 대상으로 반 구조화된

전문가 심층 인터뷰(Semi-structured In-depth interview)를 병행하여 실시하였다. 전문가 패널의 구성은 표 1과 같이 총 10인으로, 이 중 80%는 15년 이상의 실무 경력을 보유한 중견 전문가이다. 이들은 지상파 방송사, 케이블 방송사, 콘텐츠 제작사 등 다양한 소속과 역할을 가진 현장 실무자들로, 버추얼 프로덕션의 기술 운영, 콘텐츠 촬영 및 편집, 3D 스캐닝 등 제작 전반에 대한 폭넓은 경험을 보유하고 있다. 이러한 다층적 전문성은 공간적 체험의 설득력, 평가지표의 현장 적용 가능성과 해석의 타당성을 높이는데 중요한 기반이 되었다. 다음 3장에서는 이러한 이론적 프레임워크를 실제 버추얼 프로덕션 환경에서 구현하기 위한 기술적 구성 요소와 인적 자원의 운용 방식을 구체적으로 분석하고자 한다.

III. 버추얼 프로덕션 시스템의 기술 구성과 전문 인력 협업 체계 분석

본 장에서는 KBS XR 스튜디오에 구축된 고 사양 버추얼 프로덕션 시스템을 연구 대상으로 하여 LED Wall, 카메라 트래킹 시스템, 실시간 합성 소프트웨어 등 핵심 기술 구성 요소와 제작 단계별 전문 인력의 역할 및 협업 체계를 체계적으로 분석한다.

이러한 분석은 후속 장에서 제시될 사용자 경험 지표와의 연계성을 확보하고, 기술 시스템의 구조적 완성도와 인

표 1. 전문가 심층 인터뷰 대상자 구성
Table 1. List of in-depth expert interview positioning

Experts	Expert Career	Institution Type	Task
Expert 01	10-15 years	Content Production Company	Technical Supervisor
Expert 02	5-10 years	Content Production Company	Content Editing Director
Expert 03	10-15 years	Content Production Company	3D Scanning
Expert 04	20 years more	Cable and Satelite Broadcaster	Technical Supervisor
Expert 05	15-20 years	Cable and Satelite Broadcaster	Content Editing Director
Expert 06	20 years more	Public Broadcaster	Technical Supervisor
Expert 07	20 years more	Public Broadcaster	Virtual Production Technical Supervisor
Expert 08	20 years more	Public Broadcaster	Virtual Production Technical Supervisor
Expert 09	20 years more	Public Broadcaster	3D Scanning
Expert 10	20 years more	Public Broadcaster	Content Cinematographer

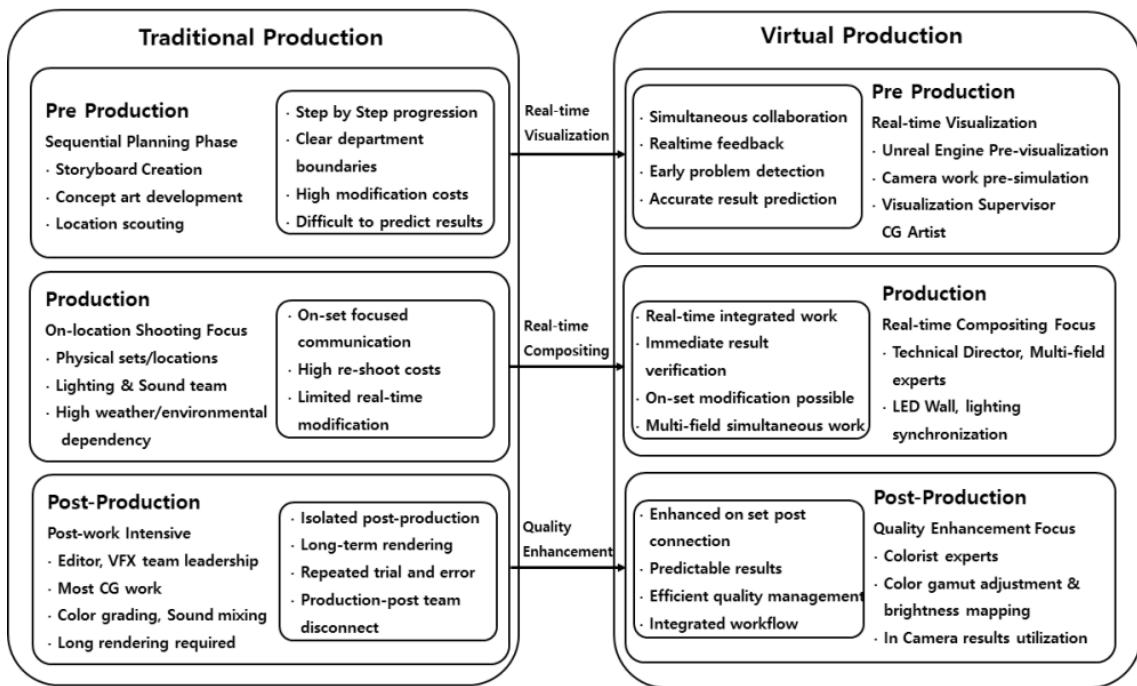


그림 1. 제작 방식에 의한 협업 시스템의 비교

Fig. 1. Comparison of Collaboration Systems by Production Method

적 자원의 효율적 운용 방식을 통합적 관점에서 고찰하는 것을 목적으로 한다. 버추얼 프로덕션 환경은 단순한 물리적 장비와 소프트웨어의 조합을 넘어서, 각 기술 구성 요소가 전문 인력 간의 유기적 협업을 통해 상호작용하는 통합적 제작 생태계(Integrated Production Ecosystem)로 정의된다. 그림 1은 전통적 제작 방식과 버추얼 프로덕션의 협업 체계를 대조 분석한 결과를 도식화하여 제시한 것이다. 전통적 제작 방식이 프리 프로덕션, 프로덕션, 포스트 프로덕션의 선형적 순차 진행 구조를 갖는 반면, 버추얼 프로덕션은 각 제작 단계에 특화된 전문 기술 인력 간의 실시간 통합 협업을 기반으로 운영된다. 특히 버추얼 프로덕션에서는 시각화 감독(Visualization Supervisor)과 VFX 아티스트(VFX Artist)의 사전 시각화(Pre-Visualization) 단계, 기술 감독(Technical Director)과 다분야 전문가들의 실시간 합성 단계, 그리고 후반 제작진의 품질 보완 단계가 비선형적이며 동시 병행되는 유기적 연동 방식으로 운영된다. 이러한 단계 간 통합적 협업 체계는 제작 과정에서의 피드백과 수정을 가능하게 하여 최종 콘텐츠의 품질 제고에 실질적

기여를 한다.

첫째, 프리 프로덕션 단계에서는 시각화 감독과 VFX 아티스트를 중심으로 언리얼 엔진 기반의 사전 시각화 워크플로우가 구축된다. 이 과정에서 3D 스캔 기술로 획득된 고해상도 공간 데이터를 활용하여 촬영 시나리오, 카메라 동선, 조명 설계를 가상 환경에서 사전 검증하며, 후속 실시간 합성 과정의 정확도 향상을 위한 기술적 토대를 마련한다. 구체적으로는 고해상도 3D 스캔 자산을 기반으로 한 카메라 경로, 조명 배치, 가상 환경 구성의 사전 시뮬레이션과 함께, Pixotope XR 엔진과의 실시간 동기화를 위한 자산 최적화 작업이 병행된다. 이러한 작업은 고성능 GPU 워크스테이션을 활용하여 렌더링 품질과 시스템 성능 간의 최적 균형점을 도출하는 것을 목표로 한다. 이 과정은 고성능 GPU 워크스테이션과 실시간 렌더링 시스템에 의해 지원되며, 3D 자산과 조명 조건 간의 일관성을 사전에 확보하는 데 기여한다.

둘째, 프로덕션 단계에서는 기술 감독, 트래킹 엔지니어(Tracking Engineer), LED Wall 운영자, 조명 감독(Lighting Supervisor) 등 다분야 기술 전문가들이 실시간

합성을 핵심으로 하는 통합적 협업 체계를 구축한다. 이들은 물리적 촬영 장비와 가상 환경 간의 동기화를 정밀하게 조정하여, 시각적 일관성과 몰입도를 확보하는 데 중추적 역할을 수행한다. OptiTrack 시스템은 카메라의 6자유도(6DOF) 위치 정보를 실시간 추적하여 Pixotope Live Link를 통해 가상 카메라와 동기화함으로써 정밀한 시차(Parallax) 효과와 공간 일치성을 구현한다. 이는 물리적 촬영 공간과 가상 환경 간의 시각적 통합성을 보장하는 핵심 기술적 기반이 된다. 이 정보는 Pixotope Live Link를 통해 가상 카메라에 연동되어 정밀한 시차 효과와 심도 표현을 구현한다. LED Wall 운영자와 조명 담당자는 DMX512/RDM 기반 조명 동기화 시스템을 통해 현실 조명과 가상 조명의 일체감(Lighting Cohesion)을 유지하며, 촬영 환경의 시각적 정합성을 실시간으로 조율한다.

셋째, 포스트 프로덕션 단계에서는 후반 제작 감독(Post-production Supervisor), 색 보정 전문가(Colorist), VFX 아티스트, 사운드 디자이너(Sound Designer)로 구성된 학제적 팀이 인 카메라(In-Camera) 합성 결과물의 품질 향상과 실시간 처리 한계로 인해 미완성된 요소들의 고해상도 후처리 작업을 담당한다. 이들은 인 카메라 합성 결과물의 품질을 보완하고, 실시간 처리되지 않은 시퀀스를 고해상도로 추가 렌더링하여 시각적 완성도를 높인다. 특히 색 보정(Color Grading) 과정에서는 LED Wall의 광출력 특성과 촬영 스튜디오 내 조명 간의 상호작용을 정밀하게 분석한 후, 색역(Color Gamut) 조정과 밝기 매핑을 수행함으로써 전체 시각 톤의 일관성과 사실감을 보장한다. 음향 후반 작업에서는 촬영 당시 수집된 무선 마이크 신호와 Foley, 배경음 등이 조화롭게 통합된다.

본 장의 분석 결과, KBS XR 스튜디오의 기술 구성과 전문 인력 협업 체계는 제2장에서 제시된 다섯 가지 사용자 경험 지표를 구현하기 위한 기반 구조를 형성하는 것으로 확인되었다. 고해상도 3D 스캔 데이터 처리는 시각적 사실감에, OptiTrack 기반 실시간 트래킹 시스템은 몰입감과 존재감에, DMX512 조명 동기화는 공간 감각에, 전문 인력 간 협업은 전반적 품질에 각각 직접적 영향을 미친다. 이러한 기술-인력 통합 시스템의 효과성을 검증하기 위해 구체적인 콘텐츠 제작 사례를 통한 실증적 평가가 필요하다. 다음 4장에서는 실감형 콘텐츠를 대상으로 각 기술 요소

가 사용자 경험 지표에 미치는 영향을 정량적·정성적으로 분석하여 실증적 평가를 실시하고자 한다.

IV. 버추얼 프로덕션 시스템의 사용자 평가 지표 분석 결과

본 장에서는 2장에서 제시한 다섯 가지 사용자 경험 평가 지표(시각적 사실감, 몰입감, 존재감, 공간 감각, 전반적 품질)를 기반으로 제3장의 KBS XR 스튜디오 시스템을 실제 콘텐츠 제작에 적용하여 그 효과를 실증적으로 검증한다. 이를 통해 기술적 인프라와 평가 체계 간의 연계성을 확인하고, 각 기술 요소가 사용자 경험에 미치는 영향을 분석한다. 실험 콘텐츠로는 교육기관 홍보 영상을 선정하여 실사 인물과 3D 스캔 기반 가상 배경을 실시간 합성한 콘텐츠를 제작하였다.

1. 실감 콘텐츠 구성 전략

실험 콘텐츠는 그림 2와 같이 동아방송예술대학교의 주요 교육 공간과 미디어 인프라를 소개하는 약 5분 분량의 홍보 영상으로 제작되었다. 본 콘텐츠는 실제 물리적 로케이션 촬영 없이 3D 스캔 데이터를 기반으로 사실적인 공간 표현이 가능한지를 실증하는 것을 목적으로 하며 총 네 개의 주요 장면으로 구성되었다.

첫째, KBS XR 스튜디오 내에서 진행되는 기획 회의 장면으로 시작되며, 버추얼 프로덕션 기반 제작 환경의 특성과 콘텐츠 구성 방향을 논의하는 과정을 시각적으로 구현하였다.

둘째, 캠퍼스 투어 형식의 장면에서는 본관, 지성관, 종합 촬영소, HD 스튜디오, 송출탑 등 동아방송예술대학교의 핵심 교육 시설들을 가상 공간 내에서 순차적으로 소개하였다.

셋째, 방송 제작 실습 환경을 조명하는 파트에서는 스튜디오 촬영 장비, 편집 공간 등 미디어 교육 인프라의 기술적 전문성과 교육 활용도를 부각하였다.

마지막으로, 송출탑 앞에서 촬영된 클로징 장면에서는 사회자가 학교의 비전과 교육 철학을 전달하며 콘텐츠를 마무리하였다.



그림 2. KBS 버추얼 프로덕션 기반 실감 콘텐츠 제작 과정

Fig. 2. KBS Virtual Production-Based on Realistic Content Production

전체 영상 중 약 70%는 3D 스캔 기반 가상 배경을 활용한 실시간 합성 화면으로 구성되었으며, 나머지 30%는 정보 전달의 명확성을 제고하기 위해 2D 인서트(Insert) 화면으로 보완되었다. 이러한 구성 방식은 버추얼 프로덕션 시스템이 현실감 있는 공간 재현과 콘텐츠 기획의 유연성을 동시에 확보할 수 있는 전략적 설계로 평가될 수 있다.

2. 리커트 척도별 분석

본 연구는 버추얼 프로덕션 환경에서의 3D 스캔 애셋 활용에 대한 전문가 10인의 평가를 통해 시각적 사실감, 몰입도, 존재감, 공간 감각, 전반적 품질 등 다섯 개 항목에 대해 표 2와 같이 리커트 척도 기반 분석을 수행하였다. 모든 항목에서 평균 4.0 내외의 긍정적 평가 결과가 도출되었으며, 특히 콘텐츠 몰입도(평균 4.50)는 시점 동기화와 카메라 트래킹의 안정성으로 가장 높은 점수를 기록하였다.

시각적 사실감(평균 4.30)과 전반적 품질(평균 4.20)은 합성 영상의 정합성 및 디테일 구현의 완성도가 높게 평가된 결과로, 전반적으로 긍정적인 반응을 이끌어 냈다. 반면, 공간 감각(평균 3.80)은 다섯 항목 중 가장 낮은 점수를 기록하였으며, 이는 깊이감 표현의 단조로움과 운동 시차 구현의 미흡함이 주요 한계로 지적된 결과이다.

존재감(평균 4.0)은 조명, 그림자, 반사광 등 실사 피사체

와 가상 배경 간의 물리적 속성이 효과적으로 정합됨으로써 인물이 실제 공간에 존재하는 듯한 인지적 인상을 형성하는 데 기여한 결과이다. 그러나 일부 전문가들은 바닥 영역에 대한 텍스처 처리 및 그림자 투영의 정밀도가 부족하여, 피사체와 공간 간의 통합성이 저하되고 공간 내 존재감 전달이 제한된다고 평가하였다. 아울러 콘텐츠 몰입도 항목의 표준편차(± 0.71)는 다른 항목에 비해 상대적으로 높게 나타나, 전문가 간 몰입 경험의 편차가 존재함을 시사하며, 이는 향후 시청환경, 연출 방식, 개인의 인지 특성 등을 고려한 후속 연구의 필요성을 의미한다.

3. 전문가 심층 인터뷰 분석 : 기술·제작·운용 측면의 고도화 전략

전문가 합의 수준과 의견 긍정성을 기준으로 한 사분면 분석 결과, 콘텐츠 몰입도($M=4.50 \pm 0.71$)와 시각적 자연스러움($M=4.30 \pm 0.67$)은 높은 합의와 긍정적 평가를 동시에 받아 버추얼 프로덕션 스튜디오 핵심 기술적 강점으로 도출되었다. 공간 감각($M=3.80 \pm 0.63$)은 전문가들 간 합의도가 낮고 부정적 평가를 보여 의견 분산이 큰 개선 필요 항목으로 분류되었다. 반면, 원거리 배경 처리 및 발밀 표현 문제는 전문가들 간 높은 합의도를 바탕으로 우선 개선 과제로 도출되었다.

표 2. 리커트 척도별 평균과 표준편차

Table 2. Mean and standard deviation by Likert scale

Evaluation Index	Visual Realism	Immersion	Presence	Spatial Presence	Holistic Quality
Mean	4.30	4.50	4.00	3.80	4.20
Standard Deviations	0.67	0.71	0.47	0.63	0.42

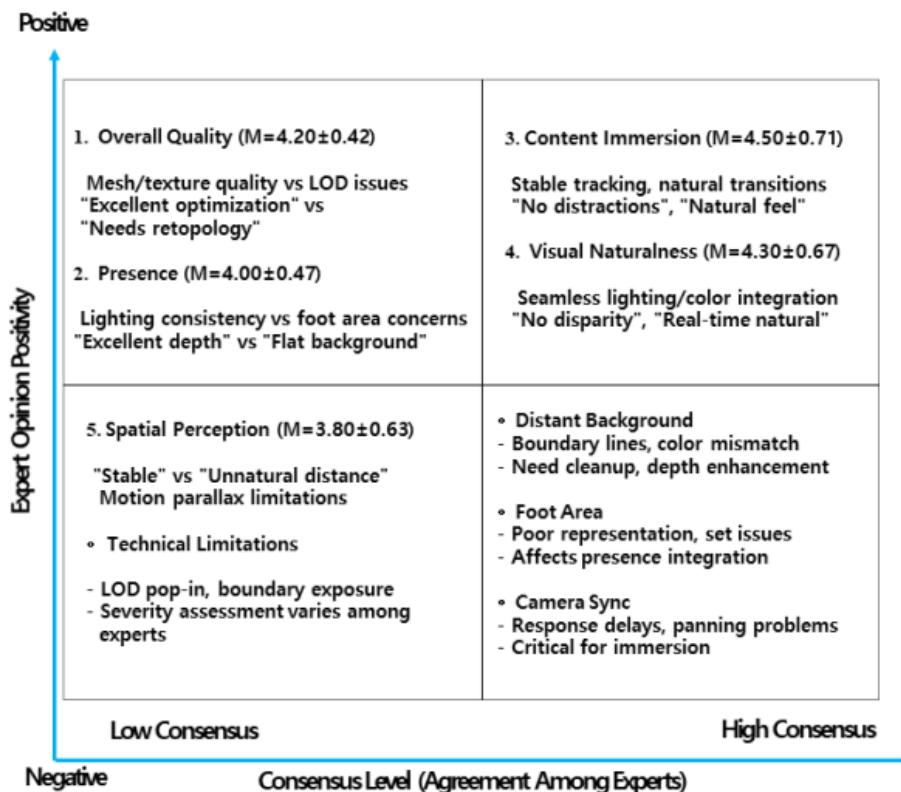


그림 3. 전문가 합의 분석 다이어그램
Fig. 3. Expert Consensus Analysis Diagram

이러한 결과는 콘텐츠 품질 향상을 위한 단계별 접근 전략 수립에 있어 전문가 합의 수준을 고려한 우선순위 설정의 중요성을 제시한다. 그림 3은 전문가 합의 분석 다이어그램을 나타낸 것이다.

사용자 경험의 질적 향상을 위한 고도화 전략은 크게 기술적 정교화, 제작 공정의 체계화, 운용상의 인터랙션(Interaction) 최적화의 세 가지 축으로 구분할 수 있다¹⁾.

첫째, 기술적 정교화 측면에서는 실사와 가상 배경 간의 색감과 조명 톤의 매칭, 메시와 텍스처의 디테일, 그리고 LOD 전환의 자연스러운 처리 등에서 일정 수준의 기술적 완성도를 달성한 것으로 평가되었다. 그러나 원거리 배경에서의 경계선 노출, 색 톤 불일치, 팝인 현상 등의 세부적 한계가 지적되었으며, 이는 스캔 데이터의 후처리 고도화,

리토폴로지(Retopology) 강화, 그리고 깊이 요인(Depth Cue)을 보강하는 기술적 개선이 요구되는 영역으로 나타났다.

둘째, 제작 공정의 체계화는 콘텐츠의 몰입도와 존재감 강화를 위한 전략과 연계된다. 전문가들은 카메라 트래킹의 안정성, LED Wall 콘텐츠의 싱크, 조명과 그림자의 일관성 등에서 높은 평가를 내렸으나, 일부 구간에서의 반응지연, 카메라 워크의 제한, 그리고 반복적 정보 전달로 인한 시청 경험의 단조로움을 개선해야 한다고 역설하였다. 이에 따라 제작 과정에서는 카메라 움직임의 리드미컬한 설계, 동적 조명 및 오브젝트 배치의 다변화, 그리고 스토리텔링의 다양화가 필수적이다. 또한, 인물과 배경의 통합적 연출을 통해 버추얼 프로덕션 환경에서의 존재감을 실질적으로

1) Al-Debei, M. M., & Avison, D. "Developing a unified framework of the business model concept". European Journal of Information Systems, Vol.19, No.3, pp.359-376, 2010. 제인용

로 강화할 필요가 있다.

셋째, 운용상의 인터랙션 측면에서는 공간 감각과 인터랙션의 현실감을 높이기 위한 운용 전략이 제시되었다. 배경의 깊이감과 방향성, 운동 시차의 표현 등은 대체로 안정적이었으나, 실사 기반 배경의 깊이감 한계와 공간 변화의 부자연스러운 연결이 존재감을 약화시키는 요소로 평가되었다. 이에 대한 보완으로 대기 원근법의 적용, 동적 인터랙션 요소의 추가, 밸 밀 표현 및 인물의 그림자 표현의 정교화가 제안되었다. 이러한 기술·제작·운용의 세 측면에서의 고도화 전략은 향후 버추얼 프로덕션 기반 콘텐츠의 품질을 체계적으로 향상시키는 데 중요한 함의를 제공한다.

V. 결 론

첫째, 본 연구는 3D 스캔 기반 버추얼 프로덕션 기술의 제작 워크플로우와 전문 인력 간 협업 체계를 체계적으로 분석하고, 이를 실제 방송 제작 현장에 적용함으로써 기술 구현 가능성과 운용상의 적합성을 실증적으로 확인하였다.

특히 프리 프로덕션 단계에서의 스캔 데이터 정합성, 실시간 합성 기술의 안정성, 그리고 다학제적 협업 구조가 콘텐츠 제작의 품질과 효율성에 미치는 영향을 실증적으로 분석함으로써 버추얼 프로덕션의 통합적 실행 구조를 이론적으로 정립하였다.

둘째, 사용자 경험에 대한 정성적·정량적 분석을 위해 시각적 사실감, 몰입도, 존재감, 공간 감각, 전반적 품질의 다섯 가지 평가지표를 중심으로 종합적 검증을 수행하였다. 그 결과, 고해상도 3D 애셋의 정교화와 실시간 합성 기술의 정합성, 그리고 제작자 간 유기적 협업 체계가 사용자 경험의 질적 향상에 주요한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 특히 몰입도와 시각적 자연스러움 측면에서의 높은 평가는 시청각적 완성도에 대한 정량적 근거로 작용하며, 버추얼 프로덕션 기술의 콘텐츠 품질 개선 효과를 실증하였다.

셋째, 본 연구는 이론적·실무적 측면에서의 통합적 기여를 통해 학술적 의의를 확보하였다. 이론적으로는 3D 스캔 기반 버추얼 프로덕션의 제작 메커니즘과 사용자 경험 분석 틀을 제시하였고, 실무적으로는 방송 및 콘텐츠 제작 현장에 적용 가능한 실감 콘텐츠 평가 체계를 정립하였다. 그

러나 본 연구는 사용자 경험 분석이 전문가 집단에 한정되어 있다는 점에서 일반 대중의 인지적 반응과 사용성 평가를 충분히 반영하지 못한 한계를 갖는다. 향후 연구에서는 인터랙션 기술과 공간 감각 관련 기술의 고도화를 통해, 일반 시청자를 포함한 다양한 사용자군이 경험하는 현실감 및 몰입도의 질적 변화를 체계적으로 분석할 필요가 있다.

참 고 문 헌 (References)

- [1] MD. Silva Jasaui, et al., “Virtual Production: Real-Time Rendering Pipelines for Indie Studios and the Potential in Different Scenarios,” *Applied Sciences*, Vol. 14, No. 6, 2024. (accessed on May 13, 2025) doi: <https://doi.org/10.3390/app14062530>
- [2] O. Priadko, M. Sirenko, “Virtual Production: a New Approach to Filmmaking”. *Bulletin of Kyiv National University of Culture and Arts. Series in Audiovisual Arts and Production*, Vol.4, No.1, pp.52-58, 2021. (accessed on May 20, 2025) doi: <https://doi.org/10.31866/2617-2674.4.1.2021.235079>
- [3] P. Milgram, F. Kishino, “A taxonomy of mixed reality visual displays,” *IEICE Transactions on Information Systems*, E77-D(12), p.1321, 1994.
- [4] T. Kohler, J. Fueller, K. Matzler, D. Stieger, J. Fuller, “Co-creation in Virtual Worlds: The Design of The User Experience”, *MIS Quarterly*, Vol.35, No.3, pp.773-788, Sep. 2011. (accessed on May 21, 2025) doi: <https://doi.org/10.2307/23042808>
- [5] L. Gudemann, J. Fröhlich, and H. Brendel, “Color reproduction in LED Wall Virtual Production stages,” *Color and Imaging Conference*, Vol. 30, pp. 109 - 117, Nov 2022. (accessed on Jun 13, 2025) doi: <https://doi.org/10.2352/CIC.2022.30.1.21>
- [6] J. Swords and N. Willment, “The emergence of Virtual Production – a research agenda,” *Convergence: The International Journal of Research into New Media Technologies*, Vol. 30, no. 2, May 2024. (accessed on Jun 16, 2025) doi: <https://doi.org/10.1177/13548565241253903>
- [7] P. Chanpum, “Virtual Production: Interactive and Real-Time Technology For Filmmakers”, *Humanities, Arts and Social Sciences Studies*, Vol.23, No.1, pp.9-17, 2023. (accessed on Jun 15, 2025) doi: <https://doi.org/10.14456/hasss.2023.2>
- [8] M. Seymour, “Art of LED Wall Virtual Production, Part one: Lessons from the Mandalorian, Fxguide”, 2022. <https://www.fxguide.com/fxfeatured/art-of-led-wall-virtual-production-part-one-lessons-from-the-mandalorian/> (accessed on Jun 21, 2025)
- [9] C. Giardina, Too Much Volume? The Tech Behind ‘Mandalorian’ and ‘House of the Dragon’ Faces Growing Pains, *The Hollywood Reporter*, 2022. <https://www.hollywoodreporter.com/business/digital-volume-house-of-the-dragon-stage-mandalorian-1235244158/> (accessed on Jun 21, 2025)
- [10] KBS News, <https://news.kbs.co.kr/news/pc/view/view.do?ncd=7826>

882 (accessed on November 27, 2024)

- [11] B. Mullen, N. Davidenko, K. Woodard, and S. W. Lazar, "Perspective: Does realism improve presence in VR? Suggesting a model and metric for VR experience evaluation", *Frontiers in virtual reality*, Vol.2, 2021. (accessed on Jun 22, 2025)
doi: <https://doi.org/10.3389/fvrir.2021.693327>
- [12] 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, 2019. (accessed on Jun 23, 2025)
doi: <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2017.12.007>
- [13] M. Wilkinson, S. Brantley, and J. Feng, "A mini review of presence and immersion in virtual reality", *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, Vol.65, No.1, pp.528-532, 2021. (accessed on Jun 24, 2025)
doi: <https://doi.org/10.1177/1071181321651148>
- [14] T. Hartmann, et al. "The spatial presence experience scale (SPES)", *Journal of Media Psychology*, Vol.28, No.1, pp.1-15, 2015. (accessed on Jun 25, 2025)
doi: <https://doi.org/10.1027/1864-1105/a000137>
- [15] Y. Georgiou, and E. A. Kyza, "A holistic quality taxonomy for virtual reality experiences", *Frontiers in virtual reality*, Vol.5, 2024. (accessed on Jun 24, 2025)
doi: <https://doi.org/10.3389/fvrir.2024.1434016>
- [16] J. Keller, et al. "How Delphi studies in the health sciences find consensus: a scoping review", *Systematic Reviews*, Vol.14, 2025. (accessed on Jun 26, 2025)
doi: <https://doi.org/10.1186/s13643-024-02738-3>
- [17] M. M. Al-Debei, and D. Avison, "Developing a unified framework of the business model concept", *European Journal of Information Systems*, Vol.19, No.3, pp.359-376, 2010. (accessed on Jun 26, 2025)
doi: <https://doi.org/10.1057/ejis.2010.21>
- [18] V. Venkatesh, et al. "User acceptance of information technology: Toward a unified view", *MIS Quarterly*, Vol.27, No.3, pp.425-478, 2003. (accessed on Jun 27, 2025)
doi: <https://doi.org/10.2307/30036540>

저자 소개

조병철



- 2004년 : 광운대학교 전자공학과 공학박사
- 2019년 : 고려대학교 영상문화학과 문학박사
- 2002년 ~ 현재 : 동아방송예술대학교 콘텐츠학부 교수
- 2019년 ~ 현재 : 한국방송미디어공학회 상임이사
- 2022년 ~ 현재 : 메타버스 미래포럼 콘텐츠 분과위원장
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-4552-1534>
- 주관심분야 : Technology Policy, Technical Aesthetics, Art & Technology, XR, AI Ethics

김 익 태



- 1998년 : 한양대학교 기계공학과 학사
- 2000년 ~ 2005년 : 현대 데이터넷
- 2005년 ~ 2008년 : 스토리지밸리
- 2008년 ~ 2010년 : IMA
- 2011년 ~ 현재 : 쓰리디스튜디오모아
- ORCID : <https://orcid.org/0009-0001-3047-0500>
- 주관심분야 : 3D Scanning and Photogrammetry, Virtual Production and Digital Asset Optimization, Immersive Content and Digital Place-Making

장병민



- 2020년 : 서울과학기술대학교 방송통신정책전공 정책학박사
- 1991년 ~ 2022년 : KBS 영상제작국 총감독
- 2023년 ~ 현재 : 동아방송예술대학교 콘텐츠학부 교수
- ORCID : <https://orcid.org/0009-0002-5791-3954>
- 주관심분야 : Advanced Video Production, Aerial & Stabilization Technologies: Drone and Gimbal Studio and Outside Broadcasting Production Systems, Artificial Intelligence in Media Creation