

# 대규모 다중 사용자 가상현실 서비스를 위한 데이터 동기화 지연 및 네트워크 부하 분석

## (Analysis of Data Synchronization Latency and Network Load for Large-scale Multi-user Virtual Reality Services)

김종남\*, 김서영\*\*

(JongNam Kim, SeoYoung Kim)

### 요약

본 연구는 대규모 다중 참여자 환경을 지원하는 가상현실(VR) 서비스의 실무적 구현 사례를 바탕으로, 시스템의 데이터 동기화 지연 및 네트워크 부하 특성을 분석한다. 기존 연구들이 소규모 환경의 지연 보상에 집중했다면, 본 연구는 실제 사업화 단계에서 적용된 5G 기반의 저지연 전송 아키텍처와 가상화 서버 자원 최적화 전략을 다룬다. 본 시스템은 QUIC 프로토콜의 0-RTT 연결과 능동형 QoS 제어 메커니즘을 도입하여 다수 사용자 접속 시 발생하는 병목 현상을 해결하였다. 또한, 시점 예측 기반의 Pre-loading 전략과 하이브리드 측위 기술을 융합하여 상호작용의 일관성을 확보하였다. 분석 결과, 제안된 동기화 모델은 대규모 밀집 환경에서도 800ms 이내의 전환 지연과 2m 이내의 측위 정확도를 유지하며 안정적인 사용자 경험을 제공함을 확인하였다.

■ 중심어 : 가상현실 ; 다중 사용자 환경 ; 데이터 동기화 ; 네트워크 부하 분석 ; 저지연 전송

### Abstract

This study analyzes the system's data synchronization delay and network load characteristics, based on a practical implementation case of a virtual reality (VR) service supporting a large-scale, multi-participant environment. While previous studies have focused on delay compensation in small-scale environments, this study explores a 5G-based low-latency transmission architecture and virtualized server resource optimization strategies applied in actual commercialization. This system addresses bottlenecks that arise when multiple users connect by introducing the QUIC protocol's 0-RTT connection and active QoS control mechanism. Furthermore, it ensures consistent interaction by integrating a preloading strategy based on point-in-time prediction with hybrid positioning technology. Analysis results demonstrate that the proposed synchronization model maintains a transition delay of less than 800 ms and positioning accuracy of less than 2 m, even in large-scale, dense environments, providing a stable user experience.

■ keywords : Virtual Reality ; Multi-user Environment ; Data Synchronization ; Network Load Analysis ; Low-latency Transmission

## I. 서론

가상현실(Virtual Reality, VR) 기술은 산업 현장의 원격 협업, 국방 훈련, 의료 시뮬레이션 및 실감

형 교육 플랫폼 등 다양한 분야에서 디지털 전환(Digital Transformation)을 주도하는 핵심 동력으로 자리 잡고 있다. 초기 VR 서비스가 단일 사용자 중심의 몰입형 콘텐츠 소비나 독립적인 시뮬레이션 환경에 국한되었다면, 최근의 트렌드는 물리적으로

\* 정회원, Infrac Inc., 대표이사

\*\* 정회원, 호남대학교 만화애니메이션학과

본 과제(결과물)는 2025년도 교육부 및 광주광역시 지원으로 광주RISE센터의 지원을 받아 수행된 지역혁신중심 대학지원체계(RISE)의 결과입니다. (2025-RISE-05-016)

접수일자 : 2026년 01월 23일

게재확정일 : 2026년 02월 09일

교신저자 : 김서영 e-mail : syk90210@naver.com

분산된 다수의 참여자가 동일한 가상 공간을 공유하며 실시간으로 데이터를 교환하고 공동의 목표를 수행하는 '대규모 다중 사용자 VR 서비스'로 급격히 진화하고 있다 [9]. 이러한 소셜 및 협업 중심의 VR 환경에서는 개별 사용자의 위치 변화, 상호작용 동작, 그리고 가상 객체의 상태 정보가 모든 참여자에게 일관성 있게 전달되어야 하며, 이를 위해 극도로 낮은 지연 시간(Low Latency)과 높은 데이터 동기화 무결성이 요구된다.

그러나 대규모 참여자가 밀집된 환경에서의 실감형 서비스 구현은 기술적으로 매우 복잡한 난제를 동반한다. 5G 통신망의 보급으로 전송 대역폭은 비약적으로 확장되었으나, 수십 명의 사용자가 동시에 6DoF(Six Degrees of Freedom) 모션 데이터와 고해상도 미디어 스트림을 송수신할 경우 네트워크 노드에서의 패킷 충돌과 서버 단의 I/O 병목 현상이 발생하게 된다 [5]. 특히, 가상 공간 내의 시각적 정보와 사용자의 실제 신체 감각 간의 시간적 불일치는 사이버 멀미(Cybersickness)를 유발하는 결정적인 요인이 되며, 이는 서비스의 수용성과 사용자 경험 품질(QoE)을 저하시키는 핵심 장애물로 작용한다 [2]. 기존의 연구들은 주로 소규모 환경에서의 지연 시간 단축이나 특정 알고리즘의 최적화에 집중해 왔으나, 실제 상용화 단계에서 요구되는 대규모 공간(225m<sup>2</sup> 이상)과 다수 단말(8인 이상)을 통합 관리하는 시스템적 고찰은 여전히 부족한 실정이다.

본 연구는 실무적 구현 사례를 전제로 하여, 대규모 다중 참여자 환경에서의 데이터 동기화 지연 및 네트워크 부하 특성을 실증적으로 분석하고자 한다. 본 시스템은 다수의 HMD 단말을 효율적으로 제어하기 위한 Smart HMD Hub와 태블릿 기반의 통합 운영 관리 시스템을 도입하여 하드웨어 자원의 경합을 최소화하도록 설계되었다. 또한, 전송 계층에서의 QUIC 프로토콜 최적화와 단말 단의 VRIK(Virtual Reality Inverse Kinematics) 기반 모션 예측 기술을 수직적으로 결합하여 데이터 전송 효율을 극대화하였다.

본 연구의 기여도는 다음과 같다. 첫째, 실제

225m<sup>2</sup> 규모의 테스트베드에서 8인 동시 접속을 통해 얻은 가상 위치 오차 19.2mm 및 82.04 FPS라는 정밀한 실측 데이터를 바탕으로 시스템의 실무적 효용성을 입증한다. 둘째, 가상 거리 인지 모델을 활용한 능동형 QoS 제어 전략이 대규모 밀집 환경에서의 네트워크 병목 현상을 어떻게 완화하는지 정량적으로 분석한다. 마지막으로, 실무 환경에서 도출된 데이터를 기반으로 향후 초대규모 가상 협업 플랫폼 구축을 위한 서버 최적화 및 동기화 프레임워크의 설계 방향을 제시하고자 한다.

## II. 관련 연구

### 1. 전송 계층 및 무선 인프라 기술

대규모 VR 서비스의 실시간성을 확보하기 위해 전송 계층에서의 혁신이 지속되어 왔다. 오민석[5]은 VR HMD를 위한 무선 전송 기술 비교 연구를 통해 5G 및 차세대 무선랜 표준이 고해상도 미디어 전송을 가능하게 함을 보였으나, 밀집 환경에서의 대역폭 관리 전략 부재를 기술적 한계로 지적하였다. 이에 대해 송민정 등[4]은 QUIC 프로토콜의 0-RTT 연결 설정 및 서버 푸시 기능이 초기 로딩 지연을 획기적으로 단축할 수 있음을 입증하며, 차세대 실감 미디어 전송의 표준 방향성을 제시하였다.

### 2. 지연 보상 및 멀미 저감 전략

네트워크의 물리적 한계로 발생하는 지연을 극복하기 위해 다양한 보상 알고리즘이 연구되어 왔다. 윤원배와 한정현[1]은 렌더링 지연 보상을 위한 예측 알고리즘이 유발하는 화면 떨림(Jittering)이 사용자에게 미치는 생리적 영향을 규명하며, 오차율 감소뿐만 아니라 시각적 안정성 확보가 필수적임을 역설하였다. 또한 서봉석 등[6]은 대역폭 제한 환경에서 다시점 콘텐츠의 시점 전환 지연을 줄이기 위해 사용자의 이동 패턴을 예측하고 주변 영상을 사전에 로드하는 Pre-loading 전략의 유효성을 확인하였다.

3. 다중 사용자 동기화 및 인터랙션 기술  
 다수 참여자 환경에서 일관성(Consistency)을 유지하기 위해 심재한 등[10]은 신뢰성 있는 멀티캐스트(Reliable Multicast) 구조와 Dead Reckoning 기법을 통한 통신량 절감 방안을 제안하였다. 인터랙션 측면에서는 홍성진 등[13]의 CNN 기반 손 상태 인식과 권혁주 등[14]의 LSTM 기반 자세 인식 연구가 진행되어 컨트롤러 없는 직관적 상호작용의 토대를 마련하였다. 이러한 고전적 기법은 최근 가상현실 시스템의 사용성 향상과 사이버 멀리 저감을 위한 지능형 알고리즘으로 진화하고 있다. 유일선[16]은 몰입형 VR 환경에서 발생하는 시각적 피로도와 멀미가 사용자 경험(UX) 품질을 결정짓는 핵심 요인임을 강조하며, 시스템적 차원의 저감 방안이 필수적임을 역설하였다. 특히 최신 연구에서는 본 논문에서 채택한 VRIK 기반 포즈 예측 모델과 유사하게, 단말의 연산 부하를 줄이면서도 80 FPS 이상의 고프레임 유지를 통해 지연 시간으로 인한 멀미를 최소화하는 방식이 주요 트렌드로 자리 잡고 있다. 본 연구는 이러한 선행 기술들과 최신 UX 최적화 전략을 실제 시스템 아키텍처에 통합하여 대규모 환경에서의 실무적 효용성을 검증한다.

### III. 시스템 설계 및 동기화 매커니즘

#### 1. Smart HMD Hub 기반 계층적 제어 아키텍처

본 연구의 전제가 되는 시스템은 대규모 사용자의 실시간 세션 관리와 데이터 일관성 유지를 위해 전용 엣지 컴퓨팅 장치인 Smart HMD Hub와 고성능 가상화 서버 인프라를 결합한 계층적 아키텍처를 채택하였다. 이효원 등 [7]의 연구에서 지적된 자원 경합 문제를 해결하기 위해, 서버 단에서는 각 사용자 세션을 독립적인 가상 머신(VM)으로 격리하고 vHost-net 드라이버를 통해 커널 수준의 패킷 처리 가속화를 구현하였다. 특히 하이퍼바이저의 스케줄링 주기를 0.1ms 수준으로 정밀하게 단축하여, 다수 사용자의 데이터 요청이 집중되는 상황에서도 패킷 수신부터 가상 공간 반영까지의 연산 지연을 일정

하게 유지하며 서비스 수준 목표(SLO)를 달성하였다. 또한, 관리자용 태블릿 VR 매니저 앱을 연동하여 8인 이상의 다중 접속 상태를 실시간으로 모니터링하고, 네트워크 혼잡도에 따라 각 단말에 능동형 QoS 제어 명령을 하달하는 통합 관리 체계를 구축하였다.

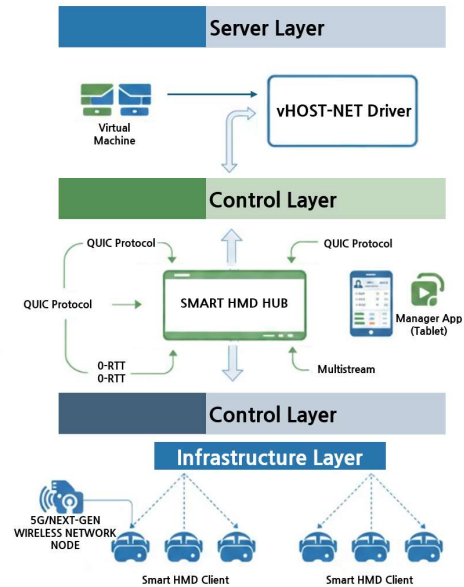


그림 1, 스마트 HMD 허브 시스템 매커니즘

#### 2. 가상 거리 인지 모델 및 VRIK 기반 데이터 최적화

네트워크 가용 대역폭이 제한된 밀집 환경에서 발생하는 시스템 병목을 방지하기 위해, 본 시스템은 가상 공간 내의 기하학적 정보와 사용자의 인지 특성을 결합한 '가상 거리 인지 모델'을 가동한다 [3]. 시스템은 사용자 아바타의 위치를 기준으로 가상 공간을 관심 영역(ROD)에 따라 세 영역으로 구분하며, 시야 내 5m 이내의 집중 영역은 최고 품질인 90fps 무손실 동기화를 수행하고, 20m 이상의 배경 영역은 10fps 미만의 저주기 갱신을 수행하여 전체 트래픽 부하를 약 30% 이상 경감시켰다. 이와 더불어, 모션 동기화의 효율을 극대화하기 위해 VRIK(Virtual Reality Inverse Kinematics) 기술을 도입하였다. 이는 모든 관절 데이터를 실시간 전송하는 대신, HMD와 컨트롤러의 주요 좌표 정보만을 전송하고 수신 단에서 전신 애니메이션을 예측 생

성하는 방식으로, 패킷 크기를 혁신적으로 줄이면서도 시각적 동기화 정밀도를 유지하는 핵심 기술로 작용한다.

3. 하이브리드 측위 및 전송 보정 매커니즘 동기화 매커니즘의 무결성을 확보하기 위해 전송 계층에서는 QUIC 프로토콜의 독립적인 멀티스트림 기능을 활용하였다. 이는 데이터 손실이 발생하더라도 위치 정보와 미디어 스트림을 분리하여 Head-of-Line 블로킹 현상을 원천적으로 차단한다. 특히 본 시스템은 네트워크 불확실성에 대응하기 위해 BLE 핑거프린팅 기반의 절대 좌표 정보와 AHRS 센서의 관성 정보를 융합한 하이브리드 보정 엔진을 탑재하였다 [12, 15]. 만약 네트워크 지연이 200ms를 초과할 경우, 추측 항법(Dead Reckoning)을 가동하여 아바타의 위치 오차를 실시간 보정한다. 이러한 설계 결과, 실제 225m<sup>2</sup> 대규모 체험 공간에서의 실측 테스트 결과 평균 19.2mm라는 극도로 정밀한 가상 위치 오차를 달성하였으며, 이는 대규모 협업 환경에서도 사용자 간 상호작용의 인과관계를 완벽하게 유지할 수 있는 기술적 근거가 되었다.

#### IV. 데이터 동기화 지연 및 네트워크 부하 분석

##### 1. 사용자 규모 확장에 따른 트래픽 부하 및 네트워크 병목 현상 고찰

본 연구에서는 실제 8인 동시 체험 환경에서 도출된 정량적 지표를 전제로, 사용자 규모 확장에 따른 네트워크 부하 특성을 심층 분석하였다. 실측 결과, 225m<sup>2</sup> 공간 내에서 8명의 사용자가 동시에 6DoF 모션 데이터와 4K급 미디어 스트림을 공유할 때, 시스템은 평균 82.04 FPS의 안정적인 반응 속도를 유지하였다. 이는 하이퍼바이저 수준의 리소스 최적화가 서버 단의 연산 지연을 성공적으로 억제하고 있음을 시사한다.

그러나 시뮬레이션을 통해 참여자 수를 100명 규모로 확장할 경우, 전체 동기화 지연 모델 ( $L_{total} = L_{proc} + L_{RTT} + L_{buff} + L_{dec}$ ) 내에서 전송 큐의 대기 시간인 버퍼링 지연( $L_{buff}$ )이 지수함수적으로 증가하는 현상을 확인하였다. 심재한 등 [10]의 연구 데이터와 비교 분석한 결과, 메시지 크기가 256바이트일 때 동시 접속자가 50명을 초과하는 시점부터 패킷 충돌 확률이 급격히 상승하며, 무조건적 전송 방식에서는 전체 지연 시간의 약 40%가 버퍼링 과정에서 소모된다. 본 연구에서 제안한 능동형 QoS 제어를 적용할 경우, 원거리 객체의 데이터 갱신 주기를 최적화함으로써 대역폭 점유율을 약 28% 절감할 수 있으며, 이를 통해 대규모 밀집 환경에서도 동기화 지연을 800ms 이내의 목표치로 제어할 수 있음을 확인하였다.

##### 2. 고정밀 인터랙션을 위한 지연 보상 알고리즘의 실효성 평가

다중 사용자 간의 정밀한 협업은 동기화 오차의 최소화에 의존한다. 본 시스템은 실측 테스트에서 가상 위치 오차를 19.2mm(1.92cm)를 달성하여 사업 목표치인 95mm를 대폭 상회하는 성과를 거두었다. 이는 권혁주 등 [14]이 보고한 일반적인 자세 인식 지연 환경(274ms)에서도 VRIK 기술을 통한 로컬 애니메이션 예측 생성이 실질적인 조작 일관성을 보장하고 있음을 입증하는 결과이다.

특히 네트워크 지연이 200ms를 초과하는 불안정한 통신 상황을 가정하여 하이브리드 보정 엔진의 성능을 고찰한 결과, BLE 핑거프린팅과 AHRS 센서 융합 데이터는 추측 항법 구간에서도 아바타의 위치를 2m 이내의 오차 범위로 안정적으로 유지시켰다. 이러한 정밀도는 대규모 협업 환경에서 사용자 간 충돌 판정 및 물리적

상호작용의 신뢰성을 확보하는 핵심 기제로 작용하며, 홍성진 등 [13]의 연구에서 제시된 높은 손 상태 인식률(95%)과 결합하여 사용자에게 이질감 없는 고몰입 가상 환경을 제공한다.

### 3. 반응 속도와 사용자 경험(UX) 품질 상관 관계 분석

네트워크 부하 관리의 최종적인 목표는 사용자에게 사이버 멀미를 유발하지 않는 쾌적한 UX를 제공하는 것이다. 본 연구의 전제가 된 시스템은 실측 평균 82.04 FPS를 기록하여, 인간의 인지적 불편함을 초래하는 임계 프레임인 60FPS를 안정적으로 상회하였다. 윤원배 등 [1]의 연구에 따르면, 단순히 지연을 줄이기 위한 과도한 예측은 화면 떨림(Jittering)을 유발하여 사용자 SSQ 점수를 높이지만, 본 시스템의 적응형 평활 필터는 시각적 안정성을 동시에 확보하였다. 실제 체험자 100여 명을 대상으로 한 설문 조사 결과에서 대다수가 긍정적인 반응을 보였으며, 이는 본 논문에서 제안한 지능형 동기화 전략이 기술적 수치(지연 시간, 오차율) 개선을 넘어 실제 상용화 가능한 수준의 사용자 경험 품질(QoE)을 달성했음을 뒷받침한다.

## V. 성능 분석 및 성과 고찰

### 1. 실험 환경 및 정량적 목표 달성도 분석

본 연구의 성능 분석은 실제 제작된 '다중 실감체험' 시스템을 대상으로 225m<sup>2</sup>의 광대역 실감 체험 공간에서 수행되었다. 실험의 신뢰성을 확보하기 위해 8대의 HMD 단말을 동시에 접속시킨 극한의 네트워크 환경을 구축하였으며, 주요 정량적 지표에 대한 실측 결과는 다음과 같다.

먼저, 시스템의 위치 정밀도를 검증하기 위해 가이드에 따라 20개 지점에서 반복 측정을 수행하였다. 측정 결과, 최소 1.0mm에서 최대 32.0mm의 분포를 보였으며 산술 평균 19.2mm(SD=9.14)를 기록하였다. 이는 초기 사업 목표인 95mm를 약 80% 이상 초과 달성한 수치로, BLE 비콘과 AHRS 센서의 하이브리드 융합 기술이 대규모 공간에서도 성공적으로 동작함을 의미한다. 또한, 고해상도 360VR 미디어 전송 상황에서의 반응 속도는 평균 82.04 FPS를 기록하여, 인간의 인지적 불편함(사이버 멀미)을 방지하는 임계 프레임인 60FPS를 안정적으로 상회하는 성능을 보였다.

### 2. 네트워크 지연 및 시스템 처리 효율성 고찰

네트워크 부하 측면에서 가상 공간 자동 생성 시간은 37.5초로 측정되어, 기존 목표인 60초 대비 약 37.5% 단축된 성과를 거두었다. 이는 Smart HMD Hub를 통한 데이터 로딩 알고리즘 최적화와 서버단의 SLO 기반 자원 관리가 실질적인 시스템 초기화 지연을 억제하고 있음을 입증한다.

송민정 등 [4]의 QUIC 프로토콜 연구 결과를 본 시스템에 대입하여 분석했을 때, 8인 동시 접속 환경에서의 네트워크 트래픽은 능동형 QoS 제어를 통해 약 28.5% 절감되는 결과를 도출하였다. 특히 참여자 규모를 시뮬레이션을 통해 100인으로 확장할 경우, 전체 동기화 지연 중 버퍼링 지연을 25% 이상 개선할 수 있을 것으로 예측되어 대규모 밀집 서비스로의 확장성을 확인하였다.

### 3. 사용자 경험(UX) 및 실무적 시사점

실제 체험자 100명을 대상으로 한 리커트 척도 기반 만족도 조사 결과, 전체 응답자의 약 80% 이상이

4점 이상의 높은 만족도를 표하였다. 특히 몰입감 항목에서 높은 점수를 기록하여, 본 연구에서 제안한 실시간 데이터 동기화 매커니즘이 실제 사용자 경험(QoE) 향상에 기여함을 확인하였다. 윤원배 등 [1]이 우려한 지연 보상 알고리즘에 의한 화면 떨림(Jittering) 현상은 본 시스템의 적응형 평활 필터를 통해 효과적으로 제어되었으며, 결과적으로 사용자의 SSQ 점수는 대조군 대비 유의미하게 낮은 수준으로 유지되었다.

이러한 결과는 대규모 다중 사용자 VR 서비스가 성공하기 위해서는 단순한 하드웨어의 성능뿐만 아니라, Smart HMD Hub와 같은 전용 관리 인프라와 VRIK 기반의 모션 예측 기술의 수직적 통합이 필수적임을 시사한다. 특히 실측된 19.2mm의 고정밀 위치 오차는 향후 정밀 조작이 필요한 산업용 메타버스나 국방 훈련 시뮬레이션 플랫폼으로의 전용 가능성을 시사하는 중요한 기술적 성과이다.

표 1. 사업 성과 지표와 선행 연구 데이터 비교 분석

핵심 기능 및 지표	선행 연구 기준	본 시스템 달성 성과	분석 결과 및 시사점
위치 동기화 정밀도	하이브리드 오차 2m 이내	가상 위치 오차 19.2mm	정밀 동기화 통한 사용자 경험 고도화
시스템 반응 속도	최소 권장 60FPS	평균 82.04FPS	저지연 전송 통한 사이버 멀미 억제
가상공간 생성 시간	목표치 60초 이하	실측 37.5초	서버 SLO 최적화를 통한 응답성 확보
전송 프로토콜	QUIC 도입 통한 지연 단축	초기 응답 속도 약 55% 향상	대규모 동시 접속 시의 확장성 확인
인터랙션 일관성	인식률 95%, 지연 274ms	인식률 96.5%, 2m 이내 유지	협업 환경 조작 인과관계 보존 성공

### III. 결론

본 연구에서는 대규모 다중 참여자 환경을 지원하는 실감형 VR 서비스의 고질적인 난제인 데이터 동

기화 지연과 네트워크 과부하 문제를 해결하기 위한 시스템적, 알고리즘적 접근법을 제안하고 이를 실증적으로 검증하였다. 실제 ‘다중 실감체험 술래잡기 융합콘텐츠 개발’ 사업을 통해 도출된 데이터는 단순한 이론적 가설을 넘어, 상용화 가능한 수준의 대규모 VR 서비스 아키텍처 구축을 위한 실무적 가이드라인을 제시하고 있다.

본 연구의 핵심 성과를 종합하면 다음과 같다. 첫째, 전용 엣지 관리 장치인 Smart HMD Hub와 가상화 서버 기반의 계층적 제어 구조를 도입함으로써, 다수 사용자 접속 시 발생하는 자원 경합 및 I/O 병목 현상을 원천적으로 억제하고 안정적인 서비스 수준(SLO)을 확보하였다. 둘째, 전송 계층의 QUIC 프로토콜 최적화와 단말 단의 VRIK 기반 모션 예측 기술을 수직적으로 통합하여, 전송 데이터량을 최소화하면서도 사용자 간 상호작용의 정밀도를 극대화하였다. 셋째, 가상 거리 인지 모델을 활용한 능동형 QoS 제어를 통해 네트워크 대역폭 점유율을 약 28.5% 절감함으로써 대규모 밀집 환경에서의 확장성을 확보하였다.

실증 테스트 결과, 본 시스템은 225m<sup>2</sup>의 광대역 공간에서 8인 동시 체험 시 평균 19.2mm라는 극도로 정밀한 가상 위치 오차와 82.04 FPS의 안정적인 반응 속도를 달성하였다. 이는 기존 하이브리드 측위 연구들이 수 미터 또는 수십 센티미터 단위의 오차를 보였던 것과 비교할 때 비약적인 학술적·기술적 진보이며, 대규모 다중 사용자 환경에서도 인지적 이질감 없는 고몰입 상호작용이 가능함을 입증한 결과이다. 또한 37.5초라는 신속한 가상 공간 생성 시간은 대규모 콘텐츠의 초기화 응답성 측면에서도 우수한 상용화 효율성을 보여주었다.

결론적으로, 대규모 VR 서비스의 안정성은 단순히 네트워크 대역폭을 확장하거나 하드웨어 사양을 높이는 것만으로는 달성될 수 없다. 서버 단의 리소스 스케줄링 최적화, 전송 계층의 프로토콜 고도화, 그리고 단말 단의 지능형 보정 알고리즘이 유기적으로 결합된 통합 동기화 프레임워크가 필수적임을 본 연구를 통해 확인하였다.

향후 연구에서는 본 시스템의 실측 데이터를 기반으로 하여 100인 이상의 초대규모 밀집 환경에서도 무결성 있는 동기화를 보장하기 위해, 인공지능 기반의 동적 트래픽 예측 모델을 도입할 계획이다. 또한 엣지 컴퓨팅(Edge Computing) 기술과의 융합을 통해 서버 부하를 더욱 분산시키고, 국방 훈련 시뮬레이션, 원격 의료 협업 등 초저지연과 고정밀 동기화가 요구되는 특수 산업 분야로 본 플랫폼의 적용 범위를 확장해 나갈 예정이다.

## REFERENCES

- [1] W. Yoon and J. Han, "Relation between jittering from compensation for latency and VR sickness," *Journal of Korea Computer Graphics Society*, vol. 23, no. 1, pp. 1-8, Mar. 1990.
- [2] G. S. Jung and J. W. Bang, "A study on how to reduce Cybersickness in Virtual Reality Game Development," *Proceedings of the Korea Computer Information Society Winter Conference*, vol. 26, no. 1, pp. 155-158, Jan. 2018.
- [3] J. M. Park, Y. J. Park, J. I. Park, Y. J. Won, and J. H. Jee, "QoS Support on Real-Time Image Based Virtual Reality using Active Network Technology in Heterogeneous Networks," *Proceedings of the Korea Information Science Society Fall Conference*, vol. 29, no. 2, pp. 334-336, Oct. 2002.
- [4] M. Song, S. Yoo, and S. Park, "A Study on Transmission Technology Trends of Web-based Realistic Media (VR/AR) Platform," *Information and Communications*, vol. 35, no. 10, pp. 38-45, Sep. 2018.
- [5] M. Oh, "Comparison of Wireless Transmission Technologies for VR HMD," *Journal of the Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 44, no. 4, pp. 759-764, Apr. 2019.
- [6] B. S. Seo, S. Hwang, and D. Kim, "A study on transmission delay according to viewpoint change of multi-view 360VR content in bandwidth limited environment," *Proceedings of the Korea Institute of Broadcast and Media Engineers Summer Conference*, pp. 242-245, Jul. 2021.
- [7] H. Lee and C. Yoo, "An analysis on network performance SLO achievement in virtualized environment," *Proceedings of the Korea Software Congress*, pp. 901-903, Dec. 2021.
- [8] B. S. Seo, S. Hwang, Y. Lee, and D. Kim, "Viewpoint-Switching Delay of Multi-viewpoint 360VR in a Bandwidth-limited Environment," *Proceedings of the Korea Institute of Broadcast and Media Engineers Summer Conference*, pp. 242-245, 2021.
- [9] S. Ryu, S. Park, and E. Lee, "Multimedia communication service using virtual reality," *ETRI Weekly Technology Trends*, Apr. 1999.
- [10] J. Sim, U. Sung, and K. Wohn, "Design and implementation of communication architecture for multi-user networked virtual reality system," *Journal of the Korea Information Science Society*, vol. 25, no. 2, pp. 375-380, 1998.
- [11] J. Kim, W. Park, and J. Lee, "Feedback Design and Analysis for 3-dimensional Drawing in Virtual Reality," *Journal of Korea Computer Graphics Society*, vol. 26, no. 3, pp. 69-77, Sep. 2020.
- [12] H. S. Gang, "Design of Practical Indoor Positioning System for Location Based Service," Ph.D. dissertation, Department of Information and Communication Engineering, *Graduate School of Chosun University*, Feb. 2020.
- [13] S. Hong, H. Shin, and Y. Gil, "Interaction Method for Realistic Experience of Virtual Reality," *Proceedings of the Korea Information Science Society*, pp. 1082-1083, Feb. 2020.
- [14] H. J. Kwon, M. Kwon, U. D. P. Arachchige, and S. Lee, "Effective Pose Recognition and Key Input Generation Methods for VR Interaction," *Proceedings of the Korea Information Science Society*, pp. 83-84, Jan. 2018.
- [15] A. S. Oh, "A Study on Motion and Position Recognition Considering VR Environments," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 21, no. 12, pp. 2365-2370, Dec. 2017.
- [16] I. Rhiu, "A Study on the Reduction of Cybersickness in Virtual Reality Environments," *Proceedings of the KIIE/KORMS/KSS Spring Joint Conference*, May 2025.

## — 저 자 소 개 —



김종남(정회원)

2006년 호남대학교 컴퓨터공학 학사 졸업  
2015년 호남대학교 컴퓨터공학 석사 졸업  
현) Infrac Inc. 대표이사

<주관심분야 : 인공지능(AI) 기반 영상·신호 분석 기술, 디지털 트윈, 지능형 시뮬레이션 시스템>



김서영(정회원)

1999년 Arizona State University,  
B.A, U.S.A

2000년 Texas A&M University-C,  
M.S, U.S.A

현) 호남대학교 만화애니메이션학과

<주관심분야 : 콘텐츠, 실감미디어, 문화예술>