

# 헤드마운티드 디스플레이를 활용한 전방위 카메라 기반 영상 렌더링 동기화 시스템

## Omnidirectional Camera-based Image Rendering Synchronization System Using Head Mounted Display

이 승 준\* · 강 석 주†  
(Seungjoon Lee · Suk-Ju Kang)

**Abstract** - This paper proposes a novel method for the omnidirectional camera-based image rendering synchronization system using head mounted display. There are two main processes in the proposed system. The first one is rendering 360-degree images which are remotely photographed to head mounted display. This method is based on transmission control protocol/internet protocol(TCP/IP), and the sequential images are rapidly captured and transmitted to the server using TCP/IP protocol with the byte array data format. Then, the server collects the byte array data, and make them into images. Finally, the observer can see them while wearing head mounted display. The second process is displaying the specific region by detecting the user's head rotation. After extracting the user's head Euler angles from head mounted display's inertial measurement units sensor, the proposed system display the region based on these angles. In the experimental results, rendering the original image at the same resolution in a given network environment causes loss of frame rate, and rendering at the same frame rate results in loss of resolution. Therefore, it is necessary to select optimal parameters considering environmental requirements.

**Key Words** : Head mounted display, Omnidirectional camera

### 1. 서 론

한국은 지정학적으로 전력계통이 고립되어 있기 때문에 전력 수출입이 어렵다. 이에 따라 장거리 전력 수송이 필수적이기 때문에 전국을 거미줄처럼 연결하는 다중 망 형식의 송배전계통이 구축되어 있다[1]. 기존 송전망의 손실 감소와 설비 이용 효율을 증진하고 수도권 송전용량 증대에 따른 전력계통 신뢰도 향상을 위한 기술 개발이 이루어지고 있다[2]. 그 예로 고장 예방을 위하여 도심지 지하 다회선 전력구내 케이블 감시 시스템이 설치 및 운영되고 있다.

부하 중요도가 적은 154kV 이하의 옥 외형 유인 변전소의 경우 설비 보강을 통해 무인 자동화를 지속적으로 추진 중에 있다 [3]. 최근 변전소는 그 수가 지속적으로 증가하고 있기 때문에 해당 방호 체계에 대한 효율적인 관리가 필요하다. 또한 무인 변전소 화재로 인한 정전이 지속적으로 발생하여 모니터링에 대한 중요성이 높다[4]. 현재 무인변전소의 방호대책은 전력 설비 및 방법보완 상태를 화상감시시스템 또는 무인경비 용역업체를 선정하여 무인변전소 경비를 하고 있다. 통용되는 화상감시 시스템은 단순히 고정된 위치에서 제한된 범위만을 관측할 수 있으므로 전

지역에 대한 감시를 위해서는 그 수가 많이 필요하고, 모든 변전소에 무인경비 용역업체를 고용하는 것은 비효율적[5]이기 때문에 좀 더 효율적인 방호대책에 필요하다. 무인 변전소의 보다 적극적인 방호를 위해 모든 변전소를 옥 내화 하는 것은 막대한 투자비용[6]이 소모되며 인력을 동원한 방호 대책 역시 많은 비용이 필요하다. 따라서 저렴한 비용으로 실시간으로 전방위 감시 제어를 수행하는 프로그램을 통하여 무인화된 디지털 변전소를 구축하는 시스템이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 헤드마운티드 디스플레이를 활용한 전방위 카메라 기반 영상 렌더링 동기화 시스템을 제안하여 기존 감시 체계의 한계점과 비용 문제를 해결하고자 한다. 영상 촬영은 전방위 카메라로 이루어지며 카메라를 클라이언트 컴퓨터에 Universal Serial Bus(USB) 시리얼 통신으로 연결한다. 그 후, Wireless Fidelity(Wi-Fi) 네트워크 기반의 통신[7]을 통하여 클라이언트 컴퓨터에서 서버 컴퓨터로 영상 데이터를 송수신한다. 서버 컴퓨터에서는 헤드마운티드 디스플레이로 영상을 렌더링하여 사용자가 영상을 실시간으로 관측할 수 있도록 하고자 한다. 또한 사용자의 움직임 정보를 바탕으로 실제 관찰하고 있는 부분의 영상을 헤드마운티드 디스플레이에 출력시킨다.

† Corresponding Author : Dept. of Electronic Engineering, Sogang University, Korea.  
E-mail: sjkang@sogang.ac.kr

\* Dept. of Electronic Engineering, Sogang University, Korea.  
Received : February 9, 2018; Accepted : May 2, 2018

### 2. 제안하는 방법

제안하는 시스템의 전체 구성은 그림 1과 같다. 클라이언트에

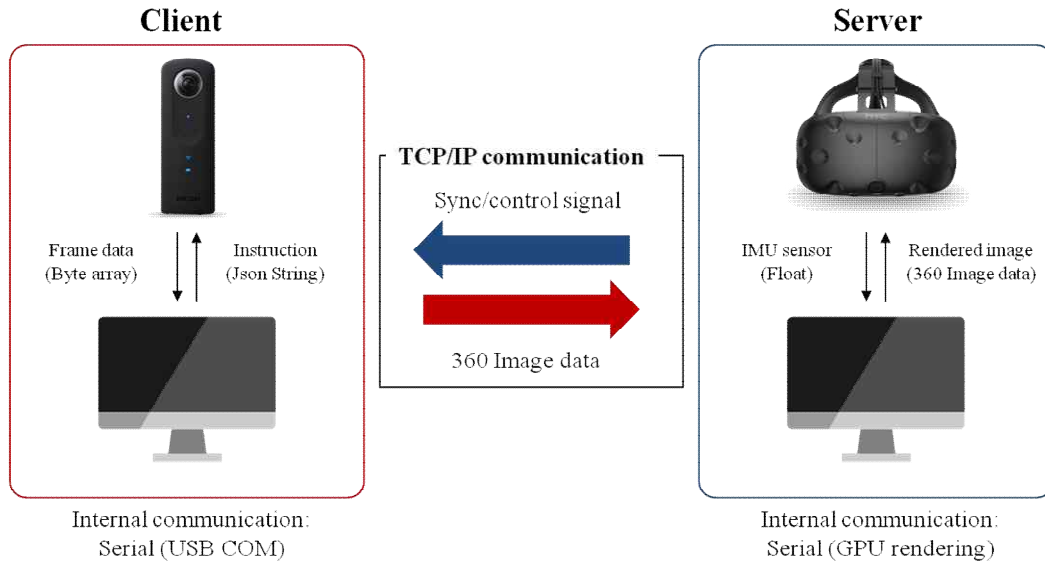


그림 1 헤드마운트 디스플레이를 활용한 전방위 카메라 기반 영상 렌더링 동기화 시스템 전체 개념도

Fig. 1 Concept of the omnidirectional camera-based image rendering synchronization system using head mounted display

서 전방위 카메라로 촬영한 영상을 취득한 후, 서버로 전송하여 헤드마운트 디스플레이에 렌더링한다. 서버에서는 헤드마운트 디스플레이의 IMU 센서로부터 자세 정보를 얻어 영상의 출력할 부분을 결정하게 된다. 또한 싱크 신호를 클라이언트로 전송하여 동기화가 이루어진다. 구체적인 내용은 다음과 같다.

### 2.1 촬영 영상의 실시간 헤드마운트 디스플레이 렌더링

촬영 영상의 실시간 헤드마운트 디스플레이 렌더링 동작은 영상 취득 및 데이터 전 처리, TCP/IP 통신 기반 데이터 송수신 그리고 헤드마운트 디스플레이를 활용한 영상 렌더링의 세 가지 단계로 나눌 수 있다.

#### 2.1.1 영상 취득 및 데이터 전 처리

영상 취득을 위해 사용한 전방위 카메라는 RICOH 사의 Theta S 모델이다. Theta S 모델은 그림 2와 같이 서로 반대 방향을 향하고 있는 두 개의 어안 렌즈로 촬영을 한다. 일반 카메라로 전방위 영상을 취득하기 위해서는 방향을 바꾸어 가면서 사방을 촬영해야 하지만, Theta S 모델은 화각이 180도를 넘는 두 개의 어안 렌즈를 활용하여 한 번의 촬영으로 전방위 영상을 취득할 수 있다. 촬영된 두 어안 영상은 카메라 내부 프로그램에 의해 2차원 구면 이미지로 stitching 된다[8]. USB 시리얼 통신을 사용하여 컴퓨터와 카메라를 직접 연결하였다. 촬영 중인 영상을 실시간으로 컴퓨터에서 확인할 수 있고 이 영상은 1920 × 960의 해상도와 15 Frame per second(FPS)의 프레임 레이트를 가진다. 영상의 프레임 데이터들을 가능한 빠른 속도로 송수신하고 헤드마운트 디스플레이에 렌더링함으로써 복원 영상이 원본 영상의 해상도와 프레임 레이트에 필적할 수치를 가지게 하는 것을 성능



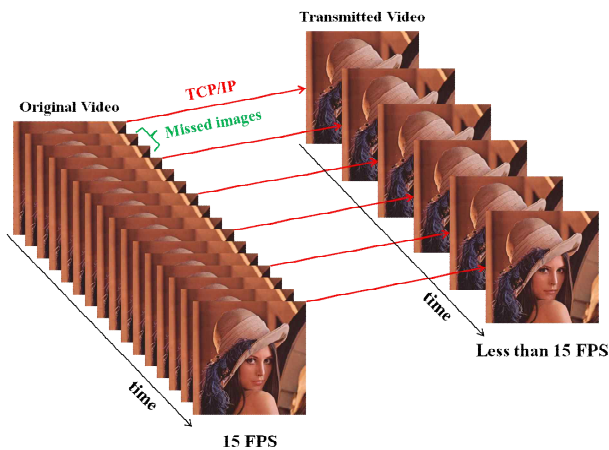
그림 2 Theta S 모델의 촬영 방식과 촬영 영상

Fig. 2 shooting method and image of Theta S model

면에서의 최고 목표로 한다.

영상의 프레임 데이터 송수신시, 통신 지연 시간으로 인한 프레임 데이터 손실이 그림 3과 같이 일어날 수 있다. 원본 영상의 해상도를 유지한 상태로 영상 송수신을 진행하였을 때, 원본 프레임 레이트를 온전히 복원하지 못한다면 영상의 해상도를 낮추어 송수신할 각 프레임 데이터의 크기를 줄여 데이터 송수신 속도의 상승 및 렌더링 영상의 프레임 레이트 상승을 기대할 수 있다.

전방위 카메라의 실시간 촬영 영상 캡처를 위하여 C# Wrapper인 Emgu Computer Vision(EmguCV)를 사용하였다[9]. 캡처된 영상은 최초 Bitmap 데이터 형태로 입력되며, 이를 백업 저장소가 메모리인 Memorystream에 Joint photographic coding experts group(JPEG) 포맷으로 저장한다. 원본 영상의 해상도가



**그림 3** 통신 지연 시간으로 인한 프레임 손실  
**Fig. 3** Frame loss caused by communication delay

1920×960 이므로 그 보다 낮은 해상도를 가지는 영상들에 대해 복원 영상 프레임 레이트를 분석하는 실험을 진행하기 위해 다양한 크기의 영상 크기 조정을 진행한다.

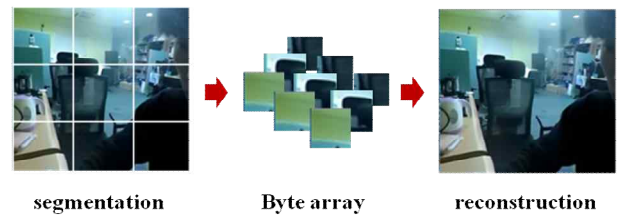
이후 Memorystream에 저장된 프레임 데이터를 byte 배열 형태로 변환한다. 배열로 저장된 하나의 프레임 데이터는 클라이언트에서 서버로 TCP/IP 송신될 준비가 완료되며 적당한 크기의 패킷으로 나누어 송신되며 서버에서 그 데이터를 수집하게 된다.

### 2.1.2 TCP/IP 통신 기반 데이터 송수신

헤드마운티드 디스플레이에서 원격으로 실시간 전방위 영상을 관측하기 위해서는 해당 영상 데이터에 대한 안정적인 네트워크의 데이터 송수신 시스템이 필요하다. 이를 구축하기 위해 소켓 프로그래밍 기법을 사용하여 Transmission Control Protocol / Internet Protocol(TCP/IP)[10] 통신을 구축하였다.

Byte 배열 형태로 저장된 하나의 프레임 데이터는 한 번의 데이터 송수신으로 전송될 패킷 데이터를 설정한 후, 전체 프레임 데이터가 모두 송수신될 때 까지 패킷 데이터를 송수신하는 것을 반복한다. IP 구조체의 전체 패킷 크기를 저장하는 필드가 16 비트로 이루어져 있어 TCP 헤더, IP 헤더를 제외한 65496 byte까지 패킷 데이터 크기 설정이 가능하다. 그러나 TCP가 한 번에 전송하는 메시지의 크기 Maximum segment size(MSS)는 클라이언트와 서버가 다를 수 있는 가장 큰 IP datagram 보다는 작아야 한다[11]. 본 시스템에서는 IPv6의 host를 사용하기 때문에 1280 octets에서 TCP 헤더(40 byte)와 IP 헤더(20 byte)를 제외한 1220 octets의 MSS를 한 번에 송수신할 수 있다. 따라서 본 시스템에서는 프레임 데이터를 분할할 각 패킷 크기를 1024 byte로 설정하여 반복 송수신 한다.

클라이언트에서 1024 byte의 프레임 데이터 패킷을 보내고 서버에서 그 데이터를 수집하여 배열에 쌓는 작업을 반복한다. 모든 데이터의 송수신이 완료되면 서버에서는 이미지 데이터를 복원하여 헤드마운티드 디스플레이 상에 렌더링 한다. 이 과정을 그림 4에 직관적으로 표현하였다. 서버가 렌더링 작업을 수행하



**그림 4** 프레임 데이터 송수신 과정  
**Fig. 4** Frame data communication process

고 다시 데이터 수신을 함으로써 위의 동작이 지속적으로 반복되어 여러 프레임 데이터에 대한 통신이 이루어진다. 각 프레임 데이터의 송신과 수신은 오류 없이 이루어지도록 서버가 수신 준비가 될 때까지 클라이언트가 대기하도록 동기화 작업[12]을 적용한다.

### 2.1.3 헤드마운티드 디스플레이를 활용한 영상 렌더링

TCP/IP 통신을 통해 각 프레임 데이터가 연속적으로 서버에서 수신될 때 마다 통신과는 별개로 프레임 데이터를 헤드마운티드 디스플레이에 렌더링 하는 동작을 수행한다. 헤드마운티드 디스플레이에 적합한 SDK를 제공하는 Unity 3D 환경에서 본 동작을 구현하였다. Unity 3D에서는 헤드마운티드 디스플레이와 프로그램간의 연동이 가능하도록 하는 Steam VR plugin SDK[13]를 제공한다. 이를 통해 Unity 3D의 메인 카메라가 보는 시야를 헤드마운티드에서 그대로 관측할 수 있다. 서버에서 수신한 프레임 이미지를 구형 오브젝트에 삽입하고, 구 내부 중심에 카메라를 위치시켜 구 표면에 씌워지는 영상을 내부 카메라로 볼 수 있도록 한다. 이를 헤드마운티드 디스플레이를 착용한 상태에서도 관측할 수 있다. Ricoh theta S 카메라로 촬영되어 서버로 송수신된 영상은 그림 2에서 볼 수 있듯이, 단순히 그대로 관측하기에는 다소 왜곡된 2차원 구면 이미지이다. 이 영상을 구 표면에 덮어씌움으로 구 내부에서 관측했을 때 비로소 공간감과 사실감을 느낄 수 있는 영상을 관측할 수 있다. Unity 3D 프로그램 내부에서는 구형 오브젝트에 구면 이미지를 첨부할 때, 머케이터 프로젝션을 사용하여 구면 상의 픽셀 위치에 올바른 좌표를 할당한다[14]. 이미지를 텍스처로서 구면 물체에 wrapping하여 방향과 화각을 지정하여 로컬 영상을 관측할 수 있다. 그림 5에 표현된 것처럼 Unity 3D 상에 구형 오브젝트를 만들고 그 표면에 전방위 영상의 샘플 이미지를 wrapping 하였다. 비교 분석을 위하여 평면 오브젝트에도 샘플 이미지를 wrapping 한다. 관측 카메라의 위치를 그림 6와 같이 바꾸어가면서 구 안에서 관측한 영상과 평면 이미지를 그대로 관측한 영상을 비교 분석한다. 평면 오브젝트에 투자해 관측한 영상은 건물의 난간이나 주변 사물에서 왜곡이 있음을 확인할 수 있다. 이에 비해 구체에 투자된 이미지의 관측은 실제로 보는 시야와 흡사하고 왜곡된 느낌을 주지 않는다.

결과적으로 클라이언트에서 촬영된 영상의 프레임 데이터를 지속적으로 TCP/IP 통신으로 서버로 송신하고, 그 프레임 이미지

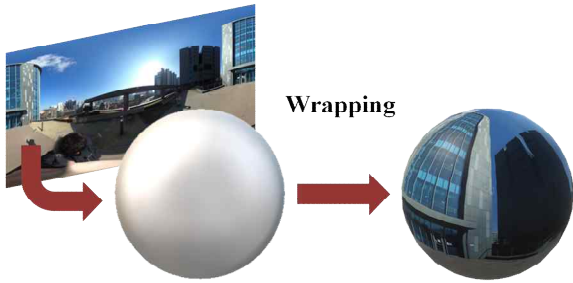


그림 5 전방위 영상의 구형화  
 Fig. 5 Spherical mapping of omnidirectional image

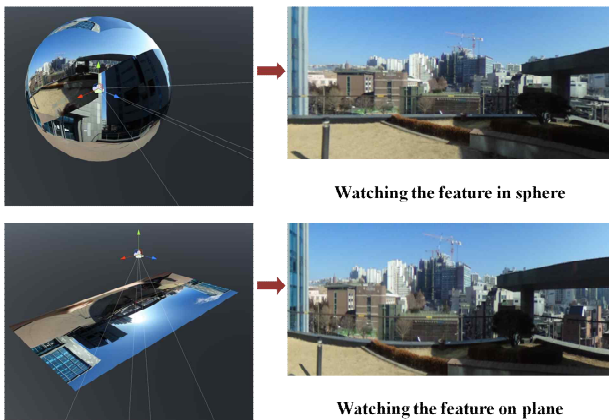


그림 6 구형화된 영상과 기존 영상의 관측 비교  
 Fig. 6 Comparing spherical image with original image

들을 연속으로 헤드마운티드 디스플레이에 렌더링 하여 시스템을 구현한다.

## 2.2 관측 방향에 따른 렌더링 영상의 출력 영역 조정

### 2.2.1 헤드마운티드 디스플레이의 방향 획득

서버 컴퓨터에 USB 시리얼 통신 및 High-Definition Multimedia Interface(HDMI) 영상 출력으로 연결된 헤드마운티드 디스플레이는 HTC사의 VIVE 모델[15]을 사용하였다. Unity 3D의 Steam VR plugin SDK를 사용하여 헤드마운티드 디스플레이의 방향 데이터를 실시간으로 갱신하여 얻을 수 있다. 이 데이터는 HTC VIVE 제품 내부에 존재하는 관성 측정 센서로부터 측정된 값이다. 시스템 동작의 최초 단계에서는 사용자가 착용하고 있는 헤드마운티드 디스플레이의 방향 데이터 수집이 서버 컴퓨터에서 이루어진다. 방향 데이터는 오일러 각 원리[16]에 의거한 수치이며 Yaw, Pitch, Roll의 세 값을 가진다. 각각 Y축, X축, Z축의 회전 각도를 표현한다. 각 축의 회전 각도가 0° ~ 360° (degree)로 데이터가 수집되기 때문에 Yaw의 경우, 고개를 우측에서 좌측으로 회전시킬 때 정면을 지나는 지점에서 0°에서 360°로 급상승한다. 이를 좀 더 직관적으로 이해할 수 있는 값으로 바꾸기 위해 회전 각도의 범위를 0° ~ 360°에 -180° ~

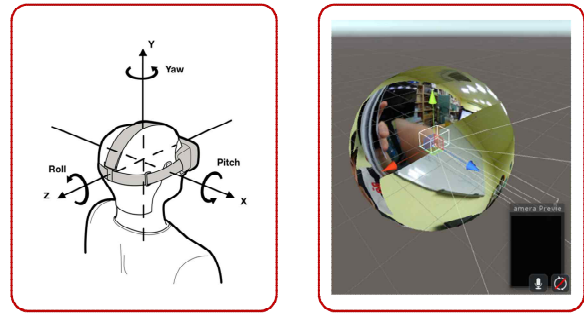


그림 7 헤드마운티드 디스플레이 방향 데이터의 수집  
 Fig. 7 Collection of direction data of head mounted display

180°로 변환한다. 결과적으로 Yaw, Pitch, Roll에 대한 시계 반대 방향 회전을 음수 값, 시계 방향 회전을 양수 값으로 얻을 수 있다. 그림 7과 같이 헤드마운티드 디스플레이를 착용한 채로 원하는 관측 방향을 향하여 고개를 움직인다. 이후, 수집된 방향 데이터를 Unity 3D의 관측 카메라에 적용하여 관측 방향에 따른 영상을 헤드마운티드 디스플레이에 출력할 수 있다.

### 2.2.2 UNITY 3D 관측 카메라의 관측 방향 변경

헤드마운티드 디스플레이로부터 수집된 방향 데이터들은 사용자가 바라보고 있는 방향을 담고 있다. 촬영된 영상은 전방위 영상이기 때문에 그 영상 전체를 헤드마운티드 디스플레이에 렌더링할 필요가 없고, 렌더링했을 때, 사용자가 실제 현장에 있는 것 같은 느낌을 받을 수가 없다. 따라서 헤드마운티드 디스플레이로부터 수집된 방향 데이터들을 UNITY 3D의 관측 카메라에 적용하여 구형화된 영상의 특정 부분을 관측 방향 및 관심 영역으로 지정해줄 필요가 있다. 관측 카메라의 관심 방향이 변경됨에 따라 그림 8과 같이 관측 카메라는 구형화된 영상의 일부분을 가리키게 된다. 해당 관심 영역을 헤드마운티드 디스플레이에 렌더링 함으로써 결과적으로 사용자가 관측하고 싶은 방향으로 고개를 움직임에 따라 디스플레이에 출력되는 영상이 관심 영역에 맞추어 변하게 된다.

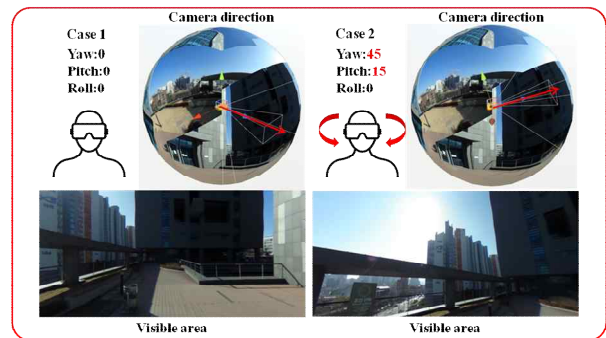


그림 8 관측 방향에 따른 디스플레이 상 출력 영상  
 Fig. 8 Output images of HMD according to the observation direction



### 3. 실험 결과 및 분석

실험 결과는 표 1, 그림 9와 같다. 제한한 시스템의 성능 평가를 위해 원본 영상(해상도 1920×960)을 표 1의 degradation rate(열화율) 만큼 열화 시켜 무선 Wi-Fi 네트워크를 통해 240(송신)/240(수신) Mbps의 데이터 송수신 속도 환경에서 실험을 진행한다. degradation rate는 원본 영상의 1을 기준으로 하여 n 배 만큼 영상의 width 와 height 수치를 줄인 것을 의미한다. 헤드마운티드 디스플레이에 렌더링시킨 프레임 데이터를 저장하고(각 해상도에 대해 500개의 프레임 데이터) 평균 크기를 계산하여 표 1의 data size에 기록하였다. 또한 서로 다른 해상도를 가진 영상들에 대해 실험을 진행하면서 하나의 프레임 데이터의 수집, 송수신을 거쳐 렌더링을 하는 동작과 다음 프레임 데이터의 수집을 시작하기까지의 소요 시간을 측정하고 평균을 계산하여 time step에 기록하였다. 원본 영상과 렌더링 영상의 프레임 레이트를 비교하기 위해 time step을 역수로 계산하여 프레임 레이트를 획득하여[17] 기록하였다. 실제 촬영 영상의 time step

(1/15ms ≃ 66.67ms)과 헤드마운티드 디스플레이 렌더링 영상의 time step의 차이는 동기화 과정에서의 지연 시간을 의미한다. 따라서 동기화 성능을 평가하기 위해 synchronization delay를 목표 time step과 실험 time step의 차이로써 정의하고 계산하여 표에 기록하였다. synchronization delay의 값이 0ms에 근접할수록 목표 동기화 성능을 만족하여 구현한 것으로 해석할 수 있다.

실험 결과로 얻은 헤드마운티드 디스플레이에 렌더링 된 영상을 시각적으로 비교 분석하기 위해 영상의 프레임 데이터에서 국소 부위를 확대하여 비교분석하였다. 그림 9의 좌측의 Intact frame data는 촬영 영상의 전체의 모습을 나타낸다. 각 해상도의 영상 품질을 더 명확하게 비교하기 위해 붉은색 박스로 표시된 영역을 확대하여 각 해상도 별 헤드마운티드 디스플레이 상의 관측 영상을 Local Region image에 높은 해상도부터 내림차순 순서로 정리하였다. 영상의 열화율을 높여 송수신하는 영상의 해상도가 낮아질수록 헤드마운티드 디스플레이를 통해 육안으로 관측한 영상의 품질도 현저히 낮아짐을 알 수 있다[18].

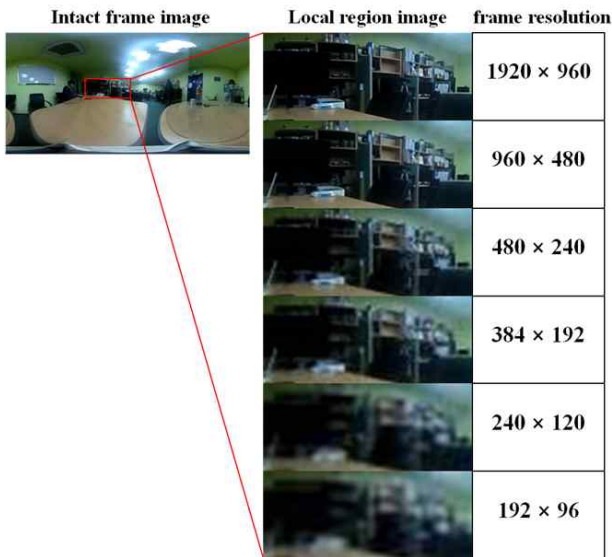


그림 9 서로 다른 해상도의 국부 영상 비교  
 Fig. 9 Comparing of local images which have different image resolutions

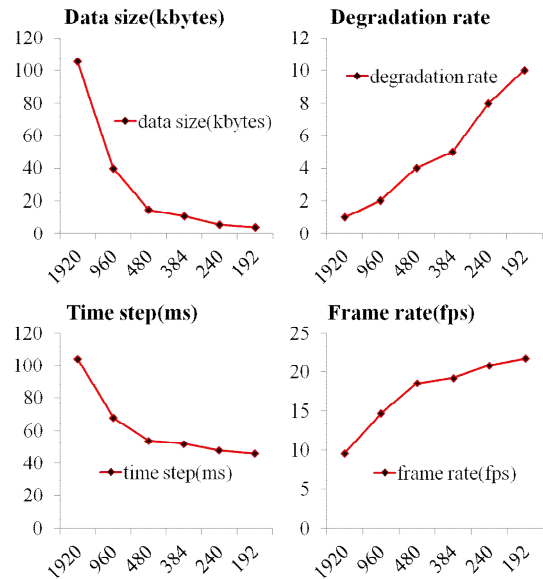


그림 10 여러 요인들의 해상도에 따른 변화량 분석  
 Fig. 10 Analysis of variation according to resolution for various factors

표 1 서로 다른 해상도의 렌더링 영상의 프레임 레이트 측정

Table 1 Measuring frame rates of rendered images which have different image resolutions

Frame resolution	Data size (bytes)	Time step (ms)	Frame rate (FPS)	Degradation rate	Synchronization delay (ms)
1920×960	105280	104	9.615	1	37.33
960×480	39747	68	14.706	2	1.33
480×240	14687	54	18.519	4	-12.67
384×192	10813	52	19.231	5	-14.67
240×120	5551	48	20.833	8	-18.67
192×96	4080	46	21.739	10	-20.67

영상 해상도에 따른 데이터 송수신 속도와 렌더링 영상의 프레임 레이트를 비교 분석하기 위해 표 1에 기록한 데이터들을 그래프로 만들어 그림 10에 표현하였다. 각 그래프의 가로 축은 송수신한 영상의 해상도를 나타내고 width 수치를 기입하여 구분하였다. 15 FPS의 프레임 레이트를 가지는 원본 영상의 해상도 열화 없이 그대로 렌더링할 경우 렌더링 영상의 프레임 레이트는 9.615 FPS이다. 이는 그림 3와 같이 데이터 송수신 과정에서 지연된 시간으로 인해 누락된 프레임 데이터가 발생한 것을 뜻한다. 이 경우, 성능 지표인 synchronization delay는 37.33ms로, 프레임마다의 동기화 지연시간이 다소 존재한다. 영상 동기화 성능의 개선을 위해 원본과 비교하여 약 0.37배의 데이터 크기를 가지는 두 배 열화된 영상의 실험을 진행한다. 데이터 크기가 급격히 감소함에 따라 송수신 시간이 개선된 것을 time step에서 볼 수 있다. 프레임 레이트는 14.706 FPS로 원본 영상의 15 FPS에 근접한 수치를 얻었고, synchronization delay는 1.33ms로 동기화 성능을 향상시킨 것을 확인할 수 있다.

열화율이 2를 넘은 시점부터는 원본의 프레임 레이트를 웃도는 수치를 얻으며, synchronization delay는 음의 값을 가진다. 렌더링 영상의 프레임 레이트의 값이 원본 영상의 값인 15 FPS를 초과하여 synchronization delay 값이 음수가 되는 것은 같은 프레임을 중복하여 출력하는 것을 의미하기 때문에 성능 향상의 의미가 없다. 따라서 프레임 레이트가 15 FPS에 도달하여 synchronization delay의 값이 0ms에 근접한 값이 된 시점에서 추가적인 이미지 열화는 불필요하고, 해상도 손실이 수반된다. 열화율을 상승시키면서 실험을 진행하였을 때 렌더링 영상의 프레임 데이터 크기가 감소함에 따라 time step이 하락하고 프레임 레이트가 상승하는 경향을 보인다. 열화율의 상승과 함께, 프레임 데이터의 크기가 대폭 줄어드는 반면, time step은 약 40ms에 수렴하는 그래프 양상을 보인다. 이는 매 프레임 데이터 송수신에 대해 TCP/IP 통신 과정에서 필수적으로 이루어지는 서버와 클라이언트의 동기화 과정으로 인해 데이터 크기와 상관없이 매 프레임 송수신마다 항상 수반되는 지연 시간이 존재하기 때문이다.

결과적으로 프레임 레이트를 온전히 복원하여 실제 동기화 시스템 동작에 효율적으로 적용할 수 있는 영상은 프레임 레이트를 원본 영상과 가깝게 복원한 두 배 열화된 영상이다. 사용자의 용도에 따라 해상도와 프레임 레이트 간의 중요도를 판단하여 적절한 열화를 적용해야 할 필요가 있다. 혹은 네트워크 환경을 개선시키면 더 높은 해상도에 대해 같은 렌더링 프레임 레이트를 유지할 수 있을 것으로 기대한다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 헤드마운티드 디스플레이를 활용한 전방위 카메라 기반 영상 렌더링 동기화 시스템을 제안하였다. 실험 결과, 주어진 네트워크 환경에서의 원본 영상을 같은 해상도도 렌더링하는 것은 프레임 레이트의 손실이 있고, 같은 프레임 레이트로 렌더링하는 것은 해상도의 손실이 있다. 따라서 본 시스템의 용도 및 활용 목적에 따라 해상도와 프레임 레이트의 적절한 가중치 분배가 필요하다. 또는 네트워크 환경의 개선으로 성능을 향

상시킬 수 있다. 본 시스템을 기반으로 하여 향후 무인변전소의 모니터링 시스템에 적용할 시 기존 모니터링 시스템의 문제점과 비용 문제를 해결할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

This work is supported by the Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement(KAIA) grant funded by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport (Grant 17CTAP-C114672-02), by Korea Electric Power Corporation. (Granted number R17XA05-28), and by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning(KETEP) and the Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE) of the Republic of Korea (No. 20161210200560).

#### References

- [1] Sang-Tae Kim, Ji-Young Kim, Wan-Seok Song, Su-Hyung Jang, Young-Hwan Moon and Tae-Hyun Kim, "Building and Actual Proving K-WAMS in Korea Power Grid," KIEE Summer Conference, pp. 175-176, 2009, 7.
- [2] Hosung Jung, Young Park, and Sooyoung Oeu. "Derivation of Real-time Monitoring System for Power Supply System in Metro Substation." Journal of KIEEME 23.4, 333-337, 2010.
- [3] Yong-Hak Kim, Jeong-Yeol Han, Nam-Ho Lee, Byeong-Heon Kim, Nae-Ho Park and Jung-Woo Hong, "The Realization Methods of IEC 61850 Based 154[kV] Substation Automation System in KEPCO System," Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 24, No. 5, pp. 86-93, 2010, 5.
- [4] Heung-Jae Lee, Young-Moon Park, Young-Beum Yoon and Chan-Ho Lim, "Development of Restoration Expert System for 154kV Unmanned Substations," The transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 44, No. 10, pp. 1247-1251, 1995, 10.
- [5] KEPCO, "Korea Electric Power Statistics", 2015. Available: [https://home.kepco.co.kr/kepco/KO/ntcob/list.do?menuCd=FN05030103&boardCd=BRD\\_000099](https://home.kepco.co.kr/kepco/KO/ntcob/list.do?menuCd=FN05030103&boardCd=BRD_000099)
- [6] Byeong-Wook Min, Myoung-Sik Shin, Seon-Woong Bahng and Young-Dal Kim, "Application Standards for Substation Types and Facility Scales," KIEE Summer Conference, pp. 438-439, 2011, 7.
- [7] Na Seung Hwan, Lee Jang Ho and Ahn Byoung Jun, "A Study on the Deploying Cable WiFi Network," Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications

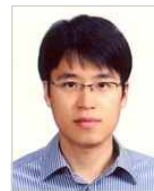
- and Information Sciences, pp. 727-728, 2010, 11.
- [8] RICOH THETA S Specifications and Features. Available: <https://theta360.com/ko/about/theta/s.html>
- [9] Wang, Yan, et al. "Image Acquisition for Digital Camera Based on Emgu CV." Dianzi Keji- Electronic Science and Technology 25.4, 31-32, 2012.
- [10] Hari Balakrishnan, Srinivasan Seshan, Elan Amir, and Randy H. Katz. "Improving TCP/IP performance over wireless networks", In Proceedings of the 1st annual international conference on Mobile computing and networking (MobiCom '95). ACM, New York, NY, USA, 2-11, 1995.
- [11] Postel, Jon. "The TCP maximum segment size and related topics.", 1983.
- [12] Eun Hee Kim, Byung Kab Choi, Eung Jae Lee, Keun Ho Ryu. "Database : Data Synchronization Among Mobile Servers in Wireless Communication", 정보처리학회논문지 D, 13(7): 901-908, 2006.
- [13] Steam VR plugin SDK 1.2.3. Available: <https://assetstore.unity.com/packages/templates/systems/steamvr-plugin-32647>
- [14] MONMONIER, Mark. Rhumb lines and map wars: A social history of the Mercator projection. University of Chicago Press, 2010.
- [15] HTC VIVE Specifications and Features. Available: <https://www.vive.com/kr/product/>
- [16] Diebel, James. "Representing attitude: Euler angles, unit quaternions, and rotation vectors." Matrix 58.15-16, 1-35, 2006.
- [17] Tsao, Jeffrey, Peter Boesiger, and Klaas P. Pruessmann. "k - t BLAST and k - t SENSE: Dynamic MRI with high frame rate exploiting spatiotemporal correlations." Magnetic resonance in medicine 50.5, 1031-1042, 2003.
- [18] Nuechterlein, Keith H., Raja Parasuraman, and Qiyuan Jiang. "Visual sustained attention: Image degradation produces rapid sensitivity decrement over time." Science 220.4594, 327-329, 1983.

## 저 자 소 개



### 이 승 준 (Seungjoon Lee)

2018년 서강대학교 전자공학과 졸업. 2018년~서강대학교 전자공학과 석사 과정. 연구 분야는 컴퓨터비전, 영상처리, 신호 및 시스템.  
Email: lsjeelsj@naver.com



### 강 석 주 (Suk-Ju Kang)

2006년 서강대학교 전자공학과 졸업. 2011년 포항공과대학교 전자전기공학과졸업 (공학박사). 2011년~2012년 LG Display 선임 연구원. 2012년~2015년 동아대학교 전기공학과 조교수. 2015년~현재 서강대학교 전자공학과 부교수. 연구 분야는 멀티미디어 영상 신호처리, 컴퓨터 비전, 영상 디스플레이 시스템.  
Email: sjkang@sogang.ac.kr