

포터블 디바이스 실시간 스트리밍을 활용한 산업현장 원격 모니터링의 적용 효과 및 사례 분석

남재룡, 김동균*

경북대학교

ptnn@knu.ac.kr, *dongkyun@knu.ac.kr

Application and Effectiveness Analysis of Remote Monitoring in Industrial Sites Using Portable Device Real-Time Streaming

Jaeryong Nam, Dongkyun Kim*

Kyungpook National University

요 약

본 논문은 포터블 디바이스 기반 실시간 스트리밍 기술을 산업현장에 적용하여 작업자 안전 및 공정 품질 관리를 위한 효과를 실증하고 분석하였다. 기존 CCTV 및 IoT 기반 안전 장비가 가진 사각지대와 실시간성, 객관적 한계를 보완하기 위해 안전모 탈부착형 카메라 장치를 활용한 스트리밍 시스템을 공공 인프라 유지보수 현장에 적용하였다. 실증 결과, 고소작업 및 개구부 작업 등 고위험 공정에서 사각지대 해소, 안전 분야 원격 협업 지원 등의 효과를 확인하였고, 영상 스트리밍 지연시간, 데이터 처리 성능 등 정량적 평가를 통해 영상의 NV21 포맷이 PSNR 기준 가장 효과적 품질임을 확인하였다. 실증 결과에 따라 착용자 편의성, 네트워크 안정성, 디바이스 개선 등 향후 해결 과제를 도출되었다. 본 연구는 포터블 디바이스 기반 원격 모니터링 시스템의 실효성과 향후 연구 방향을 제시한다.

I. 연구 배경

산업현장은 중대재해 발생 위험이 큰 고위험 작업환경으로, 건설, 조선, 중공업, 공공 인프라 유지보수 등에서는 실시간 모니터링을 통한 작업자 보호와 공정 품질 유지가 필수적이다. 그러나 기존의 CCTV 기반 모니터링 시스템은 시야의 제한성, 사각지대 발생, 작업자의 시점 정보 부족 등 근본적 한계가 존재한다. 또한 IoT 기반의 각종 센서, RFID 또는 바디캠 장비를 활용하고 있지만 위험 요소의 간접적 계측에 머무르고 있으며, 현장의 복잡한 상황을 직관적 실시간으로 전달하는 데 한계가 있다.

최근 웨어러블 바디캠, 스마트 헬멧 등 휴대용 장치와 이를 통한 실시간 스트리밍 기술의 발전은 이러한 문제의 대안으로 주목받고 있다[1]. 해당 기술은 작업자의 시야에서 촬영된 영상을 무선통신 기반으로 원격지 관제 시스템에 송출하고, 관리자는 이를 통해 실시간 상황 파악, 이상 징후 감지, 기록 및 교육 자료로 활용할 수 있다. 본 연구는 이러한 포터블 디바이스 기반 실시간 영상 스트리밍 기술을 실제 산업현장에 실증 적용하여 공정별 적용 효과, 한계 및 개선 방향을 분석하였다.

II. 실증 결과

연구를 위해 LTE 통신이 가능한 공공 인프라 유지 보수공사 현장을 선정하여 2개월간 실증을 진행했다. 안전모에 부착된 카메라 모듈을 통해 HD급 영상을 NV21 포맷 방식으로 수집했으며, WebRTC 스트리밍 방식과 영상 모니터링을 위해 Agora API를 활용하였다[2]. 작업 공정별로 기존 CCTV 영상과 포터블 기반 이미지를 비교하여 사각지대 해소, 공정 수준 확인 등의 적용 효과를 분석하였고, 작업 중 의사소통에 필요한 실시간 스트리밍 영상의 지연시간과 데이터베이스 서버 처리량을 측정하였다. 또한, 실시간 위험 요인 감지를 위해 딥러닝 서버를 구축하였으나 본 연구에서는 모니터링에 대한 효과와 적용 사례로 한정한다.

작업 전 TBM(Tool Box Meeting) 실시의 경우 현장과 본사가 함께 참여하여 이슈 사항을 체크할 수가 있었으며 공정에서는 특히 단구/개구부 작업, 고소작업에서 큰 효과를 보였다. 주로 안전시설과 관련된 덮개, 난간, 안전대 부착설비, 표지판, 작업 발판, 추락방지망 등의 점검 항목에 대해서 작업자와 현장 감독자의 관점에서 영상 수집이 가능하여 CCTV의 대체 효과를 보였다.

표 1. 공정별 적용 효과

구분	점검항목	위험종류	영상탐지요소	판단 기준	적용효과	
					P	C
단구/개구부	안전덮개	추락	객체	설치	●	
	안전난간	추락	객체	설치	●	
	안전대	추락	객체	설치	●	
	안전표지	추락	객체	설치	●	
	감독자 배치	추락	객체	배치	●	
용접	소화기 배치	화재	객체	배치	●	●
	비산덮개	화재	객체, 상황	사용	●	
인양	2줄걸이	낙하	객체, 상황	체결	●	●
	추락방지망	추락	객체	설치	●	
비계	안전난간	추락	객체	설치	●	
	낙하물 방지망	낙하	객체	설치	●	
	안전대	추락	객체	체결	●	
족장	고정점 결속	추락	객체, 상태	개수	●	
	로프 보호덮개	추락	객체, 상황	사용	●	
	안전대 생명줄	추락	객체, 상태	체결	●	

* P : Portable Device, C : CCTV

위와 같이 가설 작업, 고소작업, 중장비 운용 등 고위험 공정에서의 적용 유효성이 확인되었으며, 전기통신공사, 마감공사의 경우에는 작업 결과

보존, 하자보수 등의 이슈에 대응하기 위한 수단으로 활용될 수 있음을 확인하였다.

영상 관제 시 송신 측과 수신 측 프레임 발생 타임스탬프 차이를 비교한 결과 2,000ms 이하로 측정되었다. 또한 JMeter를 이용한 DB 서버의 QPS(Queries Per Second)를 측정한 결과 초당 30건의 쿼리가 처리되는 수준으로 구현한 결과 단일 현장에서의 실증이 원활한 수준을 보였다.

특수 제작된 장치에서 무선방식으로 영상 데이터를 전송하기 위해 안드로이드 USB 카메라를 사용했으며, 얻을 수 있는 h264, RGBA, NV21 영상 프레임 포맷 중 AgoraSDK가 지원하는 포맷 범위에서 지연시간과 영상 품질을 비교하여 최적의 방식을 선택하였다.

또한 PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio) 방식으로 원본 프레임과 변환된 프레임의 픽셀값을 비교하여 영상 품질을 측정한 결과 상대적인 절대값은 낮으나 전송속도, 변환 비용 등 종합적 특성을 고려했을 때 NV21 방식을 사용하는 것이 최적의 결론으로 도출되었다.

표 2. 영상 포맷별 지연시간 및 품질

	지연시간	PSNR
NV21	0.693s	30
RGBA => i420	1.173s	41
NV21 => i420	0.714s	46

현장 실증 결과 불안정한 통신환경과 시제품 장치의 성능 및 최적 사용성 문제점이 일부 도출되었다. 이러한 결과를 토대로 안전모 부착형과 가슴, 어깨 등에 부착하는 바디캠 방식 장비 등 다양한 포터블 장치의 사용성 비교검토가 요구된다.

표 3. 실증 결과 도출에 따른 문제점 및 해결 방안

문제점	원인분석	해결방안
불안정한 스트리밍	<ul style="list-style-type: none"> - 특정 지역 통신 품질 저하 - 기지국 영향 - 주변환경 간섭 	<ul style="list-style-type: none"> - 다중 무선통신기술 적용 - 현장 중계기 설치 - QoS(Quality of Service) 기반 데이터 우선순위 전송 - 데이터 압축 최적화
착용자 불편	<ul style="list-style-type: none"> - 자체 제작된 시제품의 발열 및 무게 	<ul style="list-style-type: none"> - 경량화 설계 및 소재 개선 - 저전력 SoC 채택 - 효율적 전력 관리 기술 적용 - 상용 장비 커스터마이징
영상 흔들림 및 초점 불일치	<ul style="list-style-type: none"> - 사용자 이동 및 진동 - 자동 초점/안정화 기능 부족 	<ul style="list-style-type: none"> - OIS(Optical Image Stabilization) 및 EIS (Electronic Image Stabilization) 적용된 디바이스 사용 - AI 기반 실시간 영상 보정

III. 결론 및 시사점

본 연구에서는 포터블 디바이스 기반 실시간 스트리밍 시스템을 산업현장에 적용하여, 공정별 효과와 기술적·운영적 가능성을 분석하였다. 가설, 고소작업, 중장비 운용 등 고위험 공정에서의 유효성이 확인되었으며, 실시간 대응과 기록 자동화를 통해 기존 감독 방식의 한계를 보완할 수 있음을 확인하였다.

향후 AI 이벤트 탐지[3], 실시간 쿼리 기반 영상 검색, LLM 기능 등의 확장 기능과 연계 가능성 검토가 필요하다[4]. 실증에서 도출된 문제점(네

트워크, 장비 착용 불편 등)은 사용자의 의견을 수렴하여 기술 수용도를 높이는 것이 중요하므로 하드웨어 최적화, 네트워크 계층 개선, 영상 품질 보정 기술, 실시간 분석 및 협업 시스템 등 종합적 접근과 기술적 보완을 통해 해결할 수 있으며, 해당 기술은 산업 전반에 걸쳐 스마트 안전관리를 위한 핵심 도구로 기능할 수 있다[5].

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원-지역지능화혁신인재양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임. (IITP-2025-RS-2022-00156389)

참 고 문 헌

- [1] Gerald Pirkl, Peter Hevesi, Orkhan Amarislavov and Paul Lukowicz "Smart Helmet for Construction Site Documentation and Work Support", UbiComp '16: Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing, pp. 349-352, September 2016.
- [2] Zanyar Omar Abdullah, Tahir Çelik and Tolga Çelik, "Proposing an Affordable Real-Time Camera-Based Safety and Quality Management Framework for Construction Industries in Developing Countries", Buildings, 15(2), 156, January 2025.
- [3] Shuai Tang, Mani Golparvar-Fard, Milind Naphade and Murali M. Gopalakrishna, "Video-Based Motion Trajectory Forecasting Method for Proactive Construction Safety Monitoring Systems", Journal of Computing in Civil Engineering vol. 34, Issue 6, July 2020.
- [4] Jingjing Guo, Lu Deng, Pengkun Liu and Tao Sun, "Egocentric-video-based construction quality supervision (EgoConQS): Application of automatic key activity queries", Automation in Construction, vol. 170, February 2025.
- [5] 김덕진, 박광역, "스마트 건설 안전관리통합관제시스템 기대효과 제안" 한국정보처리학회 학술대회논문과제집 30권 2호 644-647, November 2023.