

스마트폰 기반 불법 주차 퍼스널 모빌리티 실시간 모니터링 관리 시스템 설계

장명근*¹, 홍성용*², 김현수*³, 한승원*⁴, 김현민*⁵, 이동현*⁶

Design of a Smartphone-based Real-Time Monitoring and Management System for Illegally Parked Personal Mobility Vehicles

Myeong-Guen Jang*¹, Seong-Yong Hong*², Hyeon-Su Kim*³, Seung-Won Han*⁴,
Hyeon-Min Kim*⁵, and Dong-Hyun Lee*⁶

이 성과는 정부 (과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (RS-2024-00337584). 또한 2025년도 교육부 및 경상북도의 재원으로 경북RISE센터의 지원을 받아 수행된 지역혁신중심 대학지원체계(RISE)-(지역성장 혁신LAB)의 결과임 (2025-rise-15-105)

요약

최근 퍼스널 모빌리티(PM, Personal Mobility) 기기의 무분별한 불법 주차가 도시 내 보행 환경과 교통 질서를 저해하는 주요 문제로 대두되고 있다. 기존의 CCTV 기반 인공지능 감지, 시민 신고 애플리케이션, 빅데이터 분석 등의 접근 방식은 실시간성, 접근성 및 운영 효율성 측면에서 한계를 지닌다. 본 연구에서는 스마트폰 기반 실시간 불법 주차 모니터링 및 관리 시스템을 설계하였다. 제안 시스템은 사용자가 Capture App으로 불법 주차 PM을 촬영하면 이미지와 GPS가 Firebase 클라우드 서버로 전송되고, Monitor App에 알림이 전달되어 즉각적인 조치가 가능하다. 교내 실험을 통해 위치 정확도와 알림 지연 시간 측면의 실시간성 및 기본적 사용자 편의성을 확인하였다. 제안된 시스템은 시민 참여형 교통 질서 개선에 기여하고, PM 관리의 효율성과 신속성을 향상시킬 것으로 기대된다.

Abstract

Illegal parking of Personal Mobility (PM) devices increasingly undermines pedestrian safety and traffic order in cities. Current countermeasures –CCTV-based AI detection, citizen-reporting apps, and big-data analytics –often lack real-time responsiveness, accessibility, or operational efficiency. We propose a smartphone-based, real-time monitoring and management system for illegally parked PM. A user photographs a violation with a Capture app; the image and GPS metadata are uploaded to a Firebase cloud server, and a Monitor app receives a push notification to enable intervention. A campus pilot test showed practical location accuracy and short notification latency, supporting real-time feasibility and basic usability. The system can support citizen-participatory enforcement and improve the timeliness and efficiency of PM parking management.

Keywords

personal mobility, illegal parking, smartphone monitoring, real-time reporting, citizen participation

* 국립금오공과대학교 전자공학부(*⁶ 교신저자)
- ORCID¹: <https://orcid.org/0009-0006-0628-3226>
- ORCID²: <https://orcid.org/0009-0000-5581-0447>
- ORCID³: <https://orcid.org/0009-0006-1750-4581>
- ORCID⁴: <https://orcid.org/0009-0006-7739-1566>
- ORCID⁵: <https://orcid.org/0009-0008-1279-4377>
- ORCID⁶: <https://orcid.org/0000-0002-9372-3333>

· Received: Nov. 17, 2025, Revised: Jan. 02, 2026, Accepted: Jan. 05, 2026
· Corresponding Author: Dong-Hyun Lee
School of Electronic Engineering and Department IT Convergence Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Korea
Tel.: +82-54-478-7474, Email: donglee@kumoh.ac.kr

1. 서 론

최근 퍼스널 모빌리티(PM, Personal Mobility) 기기의 이용이 급격히 증가함에 따라 불법 주차가 새로운 도시 교통 문제로 대두되고 있다. 실제로 국민권익위원회의 전국 민원 분석에 따르면, 2022년 6월부터 2025년 5월까지 집계된 관련 민원은 27,423건에 달하며 2024년 월평균 민원은 전년 대비 1.83배 급증하였다[1]. 도심 내 곳곳에 무분별하게 방치된 전동 킥보드나 전동 스쿠터는 보행을 방해하고, 보행자와의 충돌 사고 등 안전 문제를 유발할 뿐 아니라 도시 미관과 교통 흐름에도 부정적인 영향을 미친다[2][3].

특히 지정 주차구역의 부족과 공간적 불균형으로 인해 주차 인프라 자체가 한정되어 있으며, 이로 인해 불법 주차는 보도, 횡단보도, 버스 정류장, 자전거 도로 등 보행자나 다른 교통수단과의 상충이 잦은 장소에 집중적으로 발생하고 있다. 이러한 문제는 단순한 시민 불편을 넘어 심각한 안전사고의 위험을 가중시키는 요인으로 작용한다[4][5].

현재 대부분의 지방자치단체는 시민 신고 애플리케이션을 활용하여 불법 주차를 관리하고 있으나, 지역별로 신고 절차가 상이하고 사진 촬영, QR 코드 입력 등 복잡한 단계를 거쳐야 하는 불편함이 존재한다. 이로 인해 이용 편의성이 낮고 신고율이 저조하며, 행정 대응에도 지연이 발생하는 한계가 나타나고 있다.

이에 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 스마트폰 GPS와 Firebase 클라우드를 활용한 Capture-Monitor 앱 기반의 실시간 불법 주차 모니터링 시스템을 제안한다. 제안 시스템은 사용자가 불법 주차된 PM을 촬영하면 위치 정보와 함께 관리자에게 즉각 전달되어 실시간 조치를 가능하게 한다. 아울러 교내 파일럿 운용을 통해 데이터 전송 지연과 위치 정확도를 정량적으로 검증함으로써, 본 시스템이 기존 신고 방식의 절차적 복잡성을 해소하고 도시 교통 안전과 시민 참여 효율성을 동시에 향상시킬 수 있음을 논의한다.

II. 관련 연구

기존의 PM 관리 체계는 CCTV 기반 인공지능(AI) 감지 기술, 시민 참여형 신고 시스템, 그리고 GPS 빅데이터 기반 분석 연구의 세 가지 방향으로 발전해왔다. 본 절에서는 이러한 기존 접근 방식을 검토하고, 표 1과 같이 각 기술의 특징과 한계를 분석하여 본 연구의 차별성과 필요성을 논의한다.

표 1. 기존 연구와 제안 시스템의 특징 비교
Table 1. Comparison of characteristics between existing studies and the proposed system

Category	Key characteristics
CCTV based AI	Precise detection, but blind spots exist due to fixed sensors
Citizen app	High manual effort required: QR scan, upload, and input
GPS big data	Good for macro analysis, but post-processing limits real-time use
Proposed system	Ensures real-time response via auto-mapping and one-touch send

2.1 CCTV기반 AI 감지기술

최근 PM 불법주차 문제 해결을 위해 공공 CCTV에 영상 AI 및 딥러닝 기반 객체 검출 모델을 결합하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 이에 따라 지자체에 설치된 CCTV 영상을 활용하여 PM을 실시간으로 자동 감지하는 기술이 개발되었으며, 이 기술은 단순한 PM 객체 식별을 넘어 ‘넘어짐’과 같은 주차 상태 및 위험도를 함께 판별함으로써, 단속의 효율성과 정밀도를 제고하는 것을 목표로 한다[6][7].

이러한 AI 기반 단속 체계는 행정 효율성과 실시간 대응 능력을 향상시킬 잠재력이 있으나, 국내 PM 보급 대수가 많은 서울특별시 강남구를 대상으로 경제성을 평가하는 등 아직은 실증 및 도입을 논의하는 단계에 머물러 있다[8]. 또한 도시 전역을 포괄하기에는 고정된 설치 위치로 인한 시야각의 한계와 사각지대가 존재하며, 시민이 직접 단속 과정에 참여하기 어려운 구조라는 점에서 접근성과 참여성 측면의 한계가 존재한다. 따라서 AI 기반 단속 체계는 행정적 효율화 측면에서 의미가 크지만, 이를 보완하기 위해 시민 참여형 또는 모바일 기반 접근이 병행될 필요가 있다.

2.2 시민 참여형 신고 시스템

불법 주차 문제의 광범위한 특성상 시민 참여 기반 관리 체계 또한 주요 대응 수단으로 활용되고 있다. 서울시는 2025년 ‘서울스마트불편신고’ 애플리케이션 내에 PM 불법 주차 전용 메뉴를 신설하여, 시민이 전동키보드의 QR 코드를 스캔하고 위치를 선택해 신고할 수 있도록 시스템을 개선하였다.

이러한 접근은 시민 접근성을 높이고 행정기관의 대응 속도를 향상시키는 측면에서 긍정적으로 평가된다. 그러나 신고 과정에서 회사 선택, QR 코드 스캔, 사진 촬영, 위치 입력 등 여러 단계를 거쳐야 하므로, 사용자 경험(UX) 측면에서 불편함이 존재하며 시민의 지속적 자발 참여를 유도하기 어렵다는 구조적 한계를 지닌다.

2.3 GPS 빅데이터 기반 분석 연구

최근에는 공유형 PM 서비스 업체들이 보유한 GPS 기반 빅데이터를 활용하여 이용 패턴 및 주차 분포를 분석하는 연구가 활발히 진행되고 있다[9]. 예를 들어, 공유 PM의 통행 특성, 주차 행태, 위험 운전 패턴 등을 공간 분석 기법으로 파악하고, 이를 바탕으로 주차 관리, 보도 주행 개선, 통행 안전성 강화 등의 정책 방안을 제시하는 사례가 보고된 바 있다. 그러나 이러한 연구들은 도시 단위의 거시적 통행 특성 분석과 장기적 정책 설계에는 유용하지만, 실시간 모니터링이나 즉각적인 대응보다는 사후적 통계 분석 수준에 머무르고 있다는 한계를 가진다.

2.4 제안 시스템의 차별성

이상의 기존 기술들은 각각의 장점을 지니고 있으나, 실시간성과 시민 참여의 편의성을 동시에 만족시키기 어렵다는 공통된 한계를 공유한다. 이에 본 연구에서는 스마트폰의 카메라와 GPS 기능, 그리고 Firebase 기반 서버리스(Serverless) 아키텍처를 통합 활용한 ‘Capture - Monitor’ 시스템을 제안한다. 이는 기존 시스템의 한계를 보완하여 사용자 개입을 최소화한 실시간 신고를 가능하게 하며, 지연 시

간 측정 등 시스템 성능에 대한 정량적 분석을 포함함으로써 효율적이고 참여 친화적인 도시 교통 관리 체계를 구현하고자 한다.

III. 시스템 설계 및 앱 UI

3.1 시스템 구조 및 데이터 흐름

본 연구에서 제안하는 시스템은 사용자용 Capture App, 클라우드 백엔드 모듈(Firebase Integrated Platform), 그리고 관리자용 Monitor App으로 구성된다. 전체 구조는 이벤트 기반 클라우드 아키텍처로 설계되어 데이터 업로드, 처리, 알림 전송이 자동화되고 실시간으로 동기화된다. 그림 1은 제안된 시스템의 전체 구성도와 데이터 흐름을 나타낸 것이다. Capture App에서 생성된 신고 데이터는 Firebase 통합 플랫폼을 거쳐 Monitor App으로 전달되며, 이를 통해 사용자 신고부터 관리자 검증에 이르는 전 과정이 실시간으로 자동화된다.

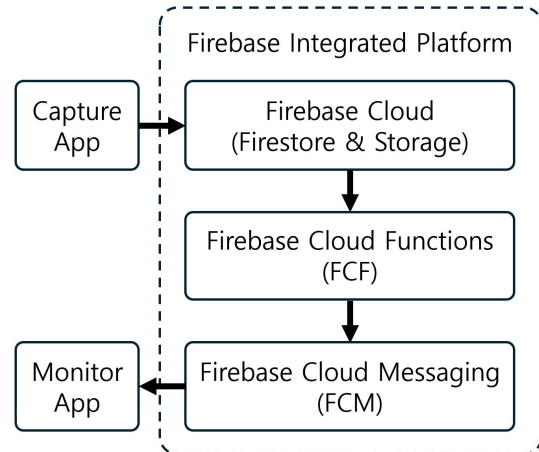


그림 1. Firebase 통합 플랫폼 기반 제안 시스템의 전체 구조도

Fig. 1. Overall architecture of the proposed system based on the Firebase Integrated Platform

Capture App은 사용자가 불법 주차차된 퍼스널 모빌리티(PM)를 촬영하고 GPS 정보를 수집하는 역할을 수행한다. 앱은 단말기의 위치 서비스(Location service)를 통해 GPS 좌표와 촬영 시각 등 메타데이터를 자동으로 획득하며, 촬영된 이미지는 Firebase

Storage에 업로드된다[10]. 동시에 이미지의 식별 정보와 메타데이터는 Firebase Firestore Database에 문서(Document) 형태로 저장된다[11]-[13].

클라우드 백엔드 모듈은 Firebase 통합 플랫폼을 중심으로 구성되며, Firestore와 Storage는 각각 메타데이터와 이미지 파일을 관리한다. Firestore는 구글 클라우드 기반의 NoSQL 데이터베이스로, 실시간 동기화 및 트리거 기능을 제공한다. 본 연구에서는 Firestore에 새로운 문서가 생성될 때 이를 자동 감지하는 FCF(Firebase Cloud Function)을 설정하였다. FCF는 서버리스 환경에서 동작하는 이벤트 기반 함수로, Firestore에 데이터가 추가되면 즉시 실행되어 FCM(Firebase Cloud Messaging)을 통해 관리자용 Monitor App으로 실시간 알림을 전송한다[14]-[16].

FCM은 Firebase의 푸시 메시징 서비스로, Android 및 iOS 기기에 데이터를 신속하게 전달할 수 있다. 본 시스템에서는 이를 활용하여 관리자가 별도의 서버 폴링(Polling) 절차 없이 새로운 신고 알림을 즉시 수신할 수 있도록 하였다. Monitor App은 수신된 알림을 통해 이미지, 위치 좌표, 촬영 시각 등의 정보를 표시하며, Google Maps API를 활용하여 해당 위치를 지도상에 시각화한다[17][18]. 관리자는 앱 내에서 신고된 이미지를 검토하고 실제 불법 주차 여부를 판단할 수 있다.

이와 같은 구조는 클라우드 서버를 중심으로 Capture App과 Monitor App이 유기적으로 연동되는 형태를 이루며, 데이터 전송의 신뢰성과 실시간성을 동시에 확보한다. 또한 Firebase의 서버리스 구조를 기반으로 별도의 물리적 서버 구축 없이도 높은 확장성과 유지보수성을 달성할 수 있다. 이러한 특성은 행정기관이나 관리업체가 추가 인프라 비용 없이 시스템을 손쉽게 도입·운영할 수 있도록 지원하며, 사용자 접근성과 관리 효율성을 향상시킨다.

3.2 앱 구성 및 인터페이스 설계

본 시스템은 Android 플랫폼을 기반으로 개발되었으며, Kotlin 언어와 Jetpack Compose UI 프레임워크를 사용하여 구현하였다. 전체 애플리케이션은 사용자용 Capture App과 관리자용 Monitor App으로

구성되며, 두 애플리케이션은 Firebase 통합 플랫폼을 통해 실시간으로 연동된다.

Capture App은 불법 주차된 PM을 촬영하고 신고를 등록하는 기능을 담당한다. 앱은 단말기의 위치 서비스를 통해 GPS 좌표와 촬영 시각을 자동으로 기록하며, 촬영된 이미지는 Firebase Storage에 관련 메타데이터(위치, 시각, 상태 등)는 Firestore Database에 저장된다. Firestore의 실시간 동기화 기능을 통해 신고 건의 상태나 추가 정보가 변경되면 즉시 반영된다.

Monitor App은 관리자 측에서 신고 데이터를 수신하고 검증하는 역할을 수행한다. 앱은 FCM을 통해 알림을 수신하고, Firestore의 실시간 리스너(Realtime Listener) 기능을 이용해 데이터 변경 사항을 자동으로 반영한다. 관리자는 인터페이스 내에서 신고 목록을 확인할 수 있으며, 특정 신고를 선택하면 Google Maps API를 통해 해당 PM의 위치를 지도 상에 시각화할 수 있다. 또한 신고 이미지를 직접 열람하거나 외부 브라우저를 통해 세부 내용을 확인할 수 있도록 설계하였다.

이와 같은 구조는 클라우드 이벤트 기반의 자동화된 데이터 흐름을 실현하여 사용자와 관리자가 동일한 정보를 실시간으로 공유할 수 있도록 한다. 결과적으로, 제안된 시스템은 사용자 편의성, 데이터 신뢰성, 그리고 관리 효율성을 동시에 확보할 수 있는 경량 서버리스 통합 구조를 제공한다.

그림 2는 제안된 시스템의 실제 애플리케이션 구현 화면으로, Capture App과 Monitor App의 주요 동작 과정을 보여준다. 그림 2(a)는 Capture App의 초기 화면, 그림 2(b)는 촬영된 PM 이미지의 업로드 완료 화면, 그림 2(c)는 FCM을 통해 Monitor App으로 전송된 푸시 알림을 나타낸다. 그림 2(d)는 알림을 통해 접근한 Monitor App의 초기 화면이며, 사용자는 이 화면에서 ‘위치 보기’ 버튼을 눌러 그림 2(e)와 같이 PM의 지도상 위치를 확인하거나, ‘사진 보기’ 버튼을 통해 그림 2(f)와 같이 촬영된 PM 이미지를 조회할 수 있다.

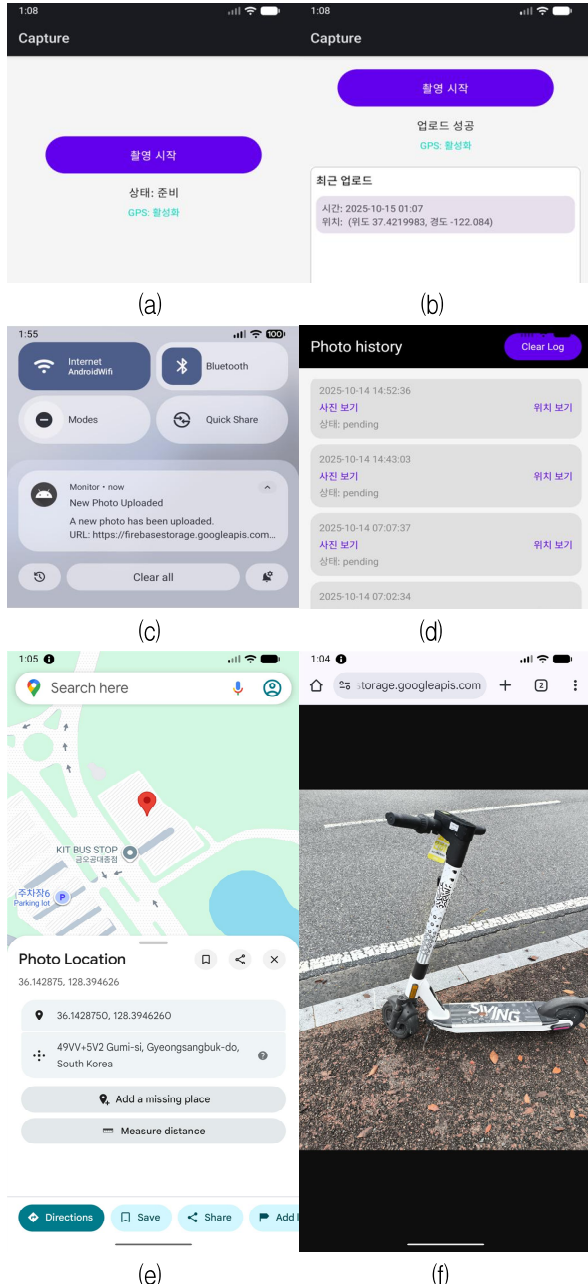


그림 2. 제안 시스템의 애플리케이션 화면 구성

(a)(b) Capture App의 PM 촬영 및 업로드,
 (c) FCM을 통한 푸시 알림, (d)(e) Monitor App의 신고
 이미지 및 지도 위치 표시, (f) 관리자 검증

Fig. 2. Application interfaces of the proposed
 Firebase-based monitoring system (a)(b) Capture App for
 PM image capture and upload, (c) Push notification via
 FCM, (d)(e) Monitor App showing the reported image and
 its map location, (f) Administrator view for verification

IV. 실험 및 동작 검증

4.1 시범 운용 및 기본 동작 검증

본 연구에서 제안한 시스템의 실시간 연동성과
 데이터 처리 정확성을 검증하기 위해 교내 지역을
 대상으로 시범 촬영 및 위치 전송 실험을 수행하였
 다. Wi-Fi 환경에서 진행된 해당 실험은 총 8대의
 PM을 대상으로 진행되었으며, 각 PM의 위치에서
 Capture App을 이용해 2m 거리 내에서 이미지를 촬
 영하고 GPS 좌표 및 촬영 시각 정보가 포함된 메
 타데이터를 함께 획득하였다. 촬영된 데이터는
 Firebase Cloud 환경을 통해 자동으로 업로드되었으
 며, FCF 트리거에 의해 관리자 측 Monitor App으로
 실시간 알림이 전송되었다.

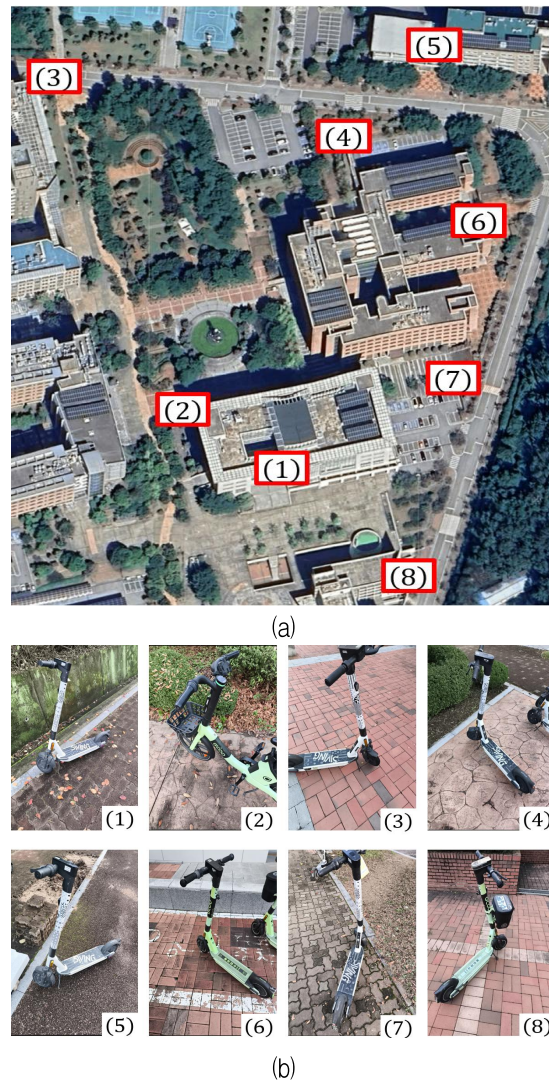


그림 3. 교내 지역에서 수행된 시범 실험 결과.
 (a) PM의 위치를 시각화한 위성 지도 화면, (b) 각 위치
 (1)~(8)에서 촬영된 PM 이미지

Fig. 3. Experimental results obtained from the campus test
 area (a) Satellite map visualized via Google Maps API
 showing PM locations, (b) PM images at each location (1)~(8)

Monitor App에서는 촬영된 퍼스널 모빌리티(PM)의 이미지, 위치, 시간 정보를 실시간으로 수신하였으며, 수집된 8개의 좌표 데이터를 Google Maps API를 이용하여 시각화하였다. 그림 3은 Capture App을 통해 촬영된 PM의 지도상 위치와 해당 PM의 이미지를 나타낸다. 또한 Monitor App을 통해 수신된 GPS 좌표 및 서버 트리거 지연 시간은 표 2에 정리하였다.

표 2. GPS 좌표 및 서버 트리거 지연 시간
Table 2. GPS coordinates and server trigger latency

No.	Latitude	Longitude	Latency (sec)
1	36.14571	128.39380	0.043
2	36.14597	128.39330	0.048
3	36.14756	128.39265	0.053
4	36.14727	128.39410	0.043
5	36.14768	128.39455	0.048
6	36.14687	128.39479	0.048
7	36.14612	128.39467	0.039
8	36.14519	128.39441	0.050

각 촬영 지점에서 획득된 PM 이미지와 위치 정보는 정상적으로 업로드 및 전송되었으며, 측정된 평균 트리거 지연 시간은 약 0.05초 이내로, 데이터 업로드 후 알림 전송까지의 과정이 실시간으로 수행됨을 확인하였다. 이를 통해 Capture App에서 업로드된 이미지와 메타데이터가 Firebase를 경유하여 Monitor App으로 안정적으로 전달됨을 검증하였다.

4.2 중단 지연시간 측정 실험

본 절에서는 사용자가 Capture App을 통해 불법 주차된 PM을 촬영한 시점부터, 클라우드 서버가 관리자에게 FCM 푸시 알림을 발송할 준비가 완료되는 시점까지의 중단 지연을 정량적으로 분석한다. 이를 위해 전체 지연 시간을 업로드 지연과 서버 처리 지연으로 세분화하고, 무선 네트워크 환경에 따른 성능 차이를 비교 분석하였다. 지연 시간 산출에 사용된 수식은 식 (1)과 같다.

$$\begin{aligned}
 d_{upload} &= t_{srv} - t_{cap} \\
 d_{server} &= t_{send} - t_{srv} \\
 d_{total} &= t_{send} - t_{cap}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

위 식에서 t_{cap} 은 사용자가 Capture App을 통하여 촬영 버튼을 누른 시각, t_{srv} 는 Firestore 컬렉션에 메타데이터 쓰기 요청이 도달한 시각, t_{send} 는 문서 생성 직후 FCF가 FCM 트리거를 발생시킨 시각을 의미한다. 또한 d_{upload} 는 단말에서 클라우드까지의 데이터 전송 시간, d_{server} 는 서버 내부의 트리거 및 처리 시간을 나타내며, d_{total} 은 이들의 합으로 정의된다.

실험은 교내 시범 운용 구역 인근의 개방된 야외 공간에서 진행되었다. 단말기는 Android 기반의 스마트폰을 사용하였으며, 촬영 해상도와 피사체 거리는 4.1절의 실험 조건과 동일하게 유지하였다. 데이터셋은 동일한 피사체에 대하여 Wi-Fi와 Cellular 환경에서 각각 50회씩, 총 100회의 촬영을 수행하여 구축하였으며, 수집된 데이터(촬영 시점, 이미지 크기, 네트워크 유형, SHA-256 해시값 등)은 Firestore에 저장되어 이를 바탕으로 데이터 분석을 진행하였다.

그림 4는 네트워크 유형에 따른 지연 시간의 구성 비율과 총량을 시각화한 결과이다. 그래프에서 확인할 수 있듯이, 두 네트워크 환경 모두에서 전체 지연 시간의 대부분(약 96~98%)은 고용량 이미지 데이터 전송에 따른 d_{upload} 가 차지하였으며, 상대적으로 d_{server} 이 차지하는 비중은 미미한 것으로 나타났다. 특히, Cellular 환경은 Wi-Fi 환경에 비해 업로드 지연 시간이 현저하게 높게 측정되어, 무선 네트워크 대역폭이 시스템 성능의 주요 병목 구간임을 확인할 수 있다. 이러한 성능 차이의 통계적 유의성을 검증하기 위해 독립 표본 t-검정(Independent two-sample t-test)을 수행하였으며, 그 상세 결과는 표 3과 같다.

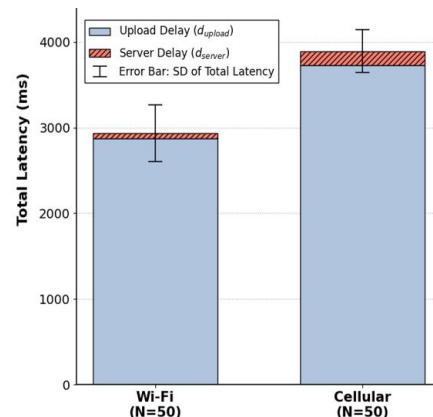


그림 4. 네트워크 유형에 따른 중단 간 지연 시간 분석
Fig. 4. Analysis results of End-to-End Latency by network type

표 3. 네트워크 유형별 지연 시간 성능의 통계적 비교
Table 3. Statistical comparison of latency performance between network types.

Classification	d_{upload}	d_{server}	d_{total}
Wi-Fi (ms)	2,875.56± 310.65	59.54 ± 51.75	2,935.10 ± 333.22
Cellular (ms)	3,730.38 ± 51.75	162.38 ± 31.29	3,892.00 ± 248.10
t-value	-15.26	-12.02	-16.29
p-value	< 0.001	< 0.001	< 0.001

표 3의 분석 결과, Wi-Fi 환경의 평균 종단 지연 시간은 2,935.10 ms로, Cellular 환경의 3,892.00 ms에 비해 약 1초가량 빠른 성능을 보였다. t-검정 결과, d_{upload} (t=-15.26)과 d_{server} (t=-12.02) 및 d_{total} (t=-16.29) 모든 항목에서 Wi-Fi와 Cellular 간의 성능 차이(p-value < 0.001)는 통계적으로 매우 유의미하게 나타났다. 이는 제안 시스템이 네트워크 환경에 따라 성능 편차가 발생할 수 있음을 시사하며, 향후 상용망 적용 시 이미지 압축 기술 적용 등 최적화가 필요함을 의미한다. 한편, 실험에 사용된 이미지의 평균 크기는 Wi-Fi 환경에서 2.64 MB, Cellular 환경에서 2.58 MB로 측정되어, 데이터 크기에 의한 편향은 배제되었다.

4.3 사용자 경험(UX) 평가

제안 시스템의 실효성을 사용자 관점에서 검증하기 위하여 소규모 사용자 경험(UX) 평가를 수행하였다. 피험자는 20 - 30대 성인 8명으로 구성되었으며, 실험 절차는 다음과 같다. 먼저 참여자는 일상생활에서 발견한 키보드를 가정하여, Capture App을 이용해 불법 주차된 PM을 촬영하고 신고하는 시나리오를 2회 이상 수행하였다. 이후 연구자의 안내에 따라 관리자용 Monitor App 화면을 관찰하며 신고 접수 및 처리의 전체 워크플로우를 경험하도록 하였다.

평가 지표는 유용성(Useful), 사용성(Usable), 접근성(Accessible), 검색 가능성(Findable), 신뢰성(Credible), 매력성(Desirable)의 6가지 범주로 구성된 5점 리커트 척도(5-point Likert scale)를 사용하였으며 각 범주별 상세 설문 문항은 표 4에 제시하였다.

표 4. 사용자 경험(UX) 평가를 위한 설문 문항
Table 4. Questionnaire items for UX evaluation

Category	Content
Useful	1. 불법 주차 PM 신고의 신속성 2. 기존 방식 대비 업무 처리 효율성
Usable	1. 촬영 및 신고 절차의 직관성 2. 화면 구성 및 버튼 배치의 직관성
Accessible	1. 설치·실행 등 기술적 제약 부재 2. 네트워크 환경 무관한 동작 안정성
Findable	1. 목록 내 특정 신고 건 검색 용이성 2. 지도·이미지 활용한 현장 파악 신속성
Credible	1. 기록 정보(위치·시간)의 정확성 2. 행정 처리 근거 자료로서의 신뢰성
Desirable	1. 시각적 디자인(색상·아이콘) 만족도 2. 전반적인 사용자 경험(UX) 만족도

각 항목은 2개의 세부문항으로 구성하여 평균점수를 산출하였으며, 그 결과는 그림 5와 같이 레이더 차트로 시각화하였다. 평가 결과, 6개 항목 중 5개 항목에서 4.0점 이상의 높은 점수를 기록하여 제안 시스템이 전반적으로 긍정적인 사용자 경험을 제공함을 확인하였다. 특히 검색 가능성(4.8점)과 신뢰성(4.8점) 항목이 가장 높게 평가되었는데, 이는 사용자가 Monitor App을 통해 신고 위치와 현장 이미지를 직관적으로 파악할 수 있고, 위조 불가능한 메타데이터(위치, 시간)가 시스템에 대한 신뢰도를 높인 결과로 해석된다. 반면, 매력성(3.8점)은 상대적으로 가장 낮은 점수를 기록하여, 시각적 디자인(UI)과 인터랙션 요소의 개선이 필요한 것으로 분석되었다.

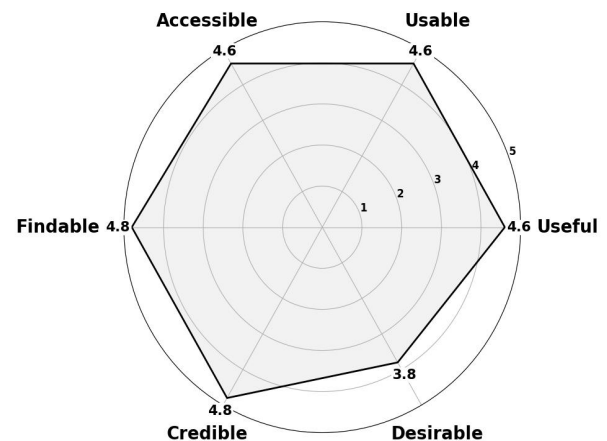


그림 5. 제안 시스템에 대한 사용자 경험(UX) 평가 결과
Fig. 5. Evaluation results of User Experience (UX) for the proposed system

정량적 평가 외에 수집된 개방형 응답에서는 다음과 같은 구체적인 개선 요구가 도출되었다. 첫째, 검색 편의성 측면에서 ‘미확인 신고’와 ‘처리 완료된 신고’를 리스트 상에서 명확히 구분해 달라는 의견이 있었다. 둘째, 사용성 측면에서 버튼 조작 시 햅틱(Haptic) 피드백이나 애니메이션 효과가 부족하여 조작감이 다소 투박하다는 지적이 있었다. 셋째, 신뢰성 측면에서는 오컬영된 이미지가 즉시 전송되는 것을 방지하기 위해, 전송 전 사용자가 이미지를 최종 검토(Confirm)할 수 있는 단계의 추가가 요구되었다. 이러한 피드백은 향후 시스템 고도화 과정에서 UI/UX 개선을 위한 핵심 요구사항으로 반영될 예정이다.

V. 결 론

5.1 연구 요약 및 기여

본 연구에서는 개인형 이동장치(PM)의 불법 주차 문제를 효율적으로 관리하기 위하여, 사용자 신고용 Capture App, 관리자용 Monitor App, 그리고 Firebase 기반의 클라우드 백엔드로 구성된 스마트폰 기반 실시간 모니터링 시스템을 설계 및 구현하였다. 제안 시스템은 PM 이미지, GPS 좌표, 촬영 시각 등의 데이터를 Firestore와 Storage에 저장하고, Firestore의 문서 생성 이벤트를 FCM이 감지하여 FCM을 통해 관리자 단말로 즉시 알림을 전송하는 이벤트 기반 서버리스(Event-driven Serverless) 구조를 채택하였다. 이를 통해 별도의 물리 서버 구축 없이 데이터의 수집·저장·처리·알림 전송에 이르는 전 과정을 자동화하였으며, 이미지 파일 크기, 네트워크 유형, SHA-256 해시값 등을 메타데이터로 기록함으로써 전송 경로상의 데이터 무결성 검증과 환경별 성능 분석이 가능하도록 설계하였다.

교내 시범 운용 결과, Capture App에서 수집된 이미지와 위치 정보가 안정적으로 업로드됨을 확인하였으며, Monitor App을 통해 실시간 알림 수신, 지도 기반 시각화, 이미지 검증 기능이 정상적으로 동작함을 검증하였다. 특히, Firestore와 Cloud Functions를 활용하여 t_{cap} , t_{srv} , t_{send} 을 단계별로 로

강하고, 이를 기반으로 d_{upload} , d_{server} , d_{total} 을 세분화하여 측정하였다. 이를 통해 Wi-Fi와 이동통신망(Cellular), 이미지 크기 조건에 따른 지연 시간 분포를 정량적으로 분석하였다. 아울러 소규모 사용자 평가를 수행하여, 제안 시스템이 기존의 민원 애플리케이션이나 유선 신고 방식 대비 신고 절차를 단축하고 인터페이스를 단순화함으로써 사용 편의성과 재사용 의도를 향상시키는 데 기여함을 확인하였다.

종합적으로 본 연구의 주요 기여는 다음과 같다. 첫째, 시민 참여형 PM 불법 주차 관리를 위한 경량화된 서버리스 통합 아키텍처를 제안하였다. 둘째, 클라우드 이벤트 로그를 활용하여 중단 지연을 구성 요소별로 정밀하게 측정할 수 있는 알고리즘과 로그 구조를 설계하였다. 셋째, 실증 실험과 사용자 평가를 통해 제안 시스템의 기술적 실효성과 향후 서비스 확장 가능성을 검증하였다.

5.2 한계점 및 향후 연구 방향

본 연구는 단일 대학 캠퍼스를 대상으로 한 파일럿 실험에 기반하고 있어, 실험의 규모와 환경적 다양성에 한계가 존재한다. 실험 과정에서 촬영 거리는 주간 야외 환경의 2m 이내 범위를 중심으로 설정되었으며, 이미지 품질과 위치 정확도는 사용 단말기의 카메라 성능 및 GPS 모듈 감도에 종속적인 결과를 보였다. 이에 따라 구형 단말기나 야간, 역광, 우천 등 열악한 촬영 환경에서의 시스템 성능은 충분히 검증되지 못하였다. 다만, 이는 제안 시스템의 구조적 결함이라기보다는 스마트폰 하드웨어 성능과 물리적 촬영 조건에 기인한 한계로 판단된다. 향후 연구에서는 다양한 단말 기종과 시간대, 기상 조건을 포함하는 확장 실험을 수행하여 오탐 및 미탐 사례를 체계적으로 수집할 예정이다. 또한, 야간 촬영 시 자동 플래시 제어, 권장 촬영 거리 가이드 제공, GPS 수신 정확도가 임계치 미만일 경우 재촬영을 유도하는 등 애플리케이션 내 피드백 기능을 강화하여 실사용 환경에서의 신뢰성을 보완하고자 한다.

보안 및 개인정보 보호 측면에서도 개선 과제가

남아 있다. 현재 프로토타입은 Firebase 기반의 TLS 암호화 통신과 데이터베이스 보안 규칙, 해시 기록을 통해 기본적인 전송 보안과 데이터 무결성을 보장하고 있으나, 촬영된 이미지 내에 보행자의 얼굴이나 차량 번호판 등 민감 정보가 포함될 가능성을 원천적으로 배제하기 어렵다. 이를 해결하기 위해 향후 온디바이스(On-device) 경량 객체 검출 모델을 도입하여, 민감 영역을 단말 내부에서 자동으로 블러링(Blurring) 처리한 후 서버로 전송하는 프라이버시 보호 모듈을 구현할 예정이다. 또한, Firebase Authentication을 통해 사용자 계정 기반의 신고 이력 관리 체계를 구축함으로써 악의적인 반복 신고를 억제하고, 신고 보상 제도와의 연동을 지원할 계획이다.

추가적으로, 지자체 통합 플랫폼 및 공유 PM 운영사의 관제 시스템과 API를 연계하여, 신고자가 기기 번호를 수동으로 입력하지 않아도 GPS 좌표 정보만으로 해당 구역의 운영사에 위반 사실을 자동 통보하는 구조로 확장하고자 한다. 이를 통해 행정기관과 운영사의 업무 부담을 경감하고, 동일 위치에서 반복적으로 발생하는 위반 사례에 대해 보다 효율적이고 즉각적인 정책적 대응이 가능하도록 시스템을 고도화하는 시스템을 개발하고자 한다.

References

- [1] Anti-Corruption & Civil Rights Commission, "Civil Complaint Alert Issued for Personal Mobility Devices: Risks of Accidents and Poor Management", Press Release, Sejong, Korea, Jun. 2025. https://www.acrc.go.kr/boardDownload.es?bid=4A&list_no=93493&seq=3. [accessed: Dec. 30, 2025]
- [2] D.-E. Ahn and K.-H. Lee, "Differing Perceptions of E-scooter Parking Between Users and Non-users and the Importance of Regulation Indicators - The Case of Seoul, South Korea", *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol. 40, No. 12, pp. 27-36, Dec. 2024. <https://doi.org/10.5659/JAIK.2024.40.12.27>.
- [3] J.-H. Kwon and S.-G. Lee, "Analysis of Influencing Factors of Unauthorized Electric Kickboard Parking by Type in Seoul, Korea", *Journal of the Korean Planning Association*, Vol. 59, No. 2, pp. 104-120, Apr. 2024. <https://doi.org/10.17208/jkpa.2024.04.59.2.104>.
- [4] D.-E. Ahn and K.-H. Lee, "Analysis of Regional Characteristics and Influencing Factors of Electric Scooters Towing Concentrated Areas in Seoul", *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol. 40, No. 8, pp. 171-181, Aug. 2024. <https://doi.org/10.5659/JAIK.2024.40.8.171>.
- [5] S. A. Moon and E. J. Shin, "Spatial Patterns, Implementation Barriers, and Facilitators in Seoul's E-scooter Parking Corral System: A Mixed-methods Analysis", *Transport Policy*, Vol. 173, Art. No. 103813, Nov. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2025.103813>.
- [6] H.-S. Park, et al., "Development of Technology to Detect Illegal Parking of Shared PM (Personal Mobility) Based on Video AI Technology", *KICT 2023-107*, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Dec. 2023. <https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchReport.do?cn=TRKO202400000379>.
- [7] H.-S. Park, J.-A. Ha, and J.-P. Kim, "Development of Shared PM (Personal Mobility) Parking Status Detection System Using Video Analysis Method", *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 25, No. 11, pp. 395-401, Nov. 2024. <https://doi.org/10.5762/KAIS.2024.25.11.395>.
- [8] H.-S. Park, "Evaluation of the Economic Feasibility of Implementing an AI-Based Video Detection System for Illegal Parking of Shared Personal Mobility Devices - A Case Study in Gangnam-gu, Seoul", *Korean Journal of Safety Culture*, No. 40, pp. 105-118, Mar. 2025. <https://doi.org/10.52902/kjsc.2025.40.105>.
- [9] J.-H. Baek, T.-G. Yun, and J.-H. Kim, "Policy Enhancement Plan Using PM Big Data", *Land*

- Policy Brief, No. 913, Korea Research Institute for Human Settlements, No. 913, Apr. 2023. [https://library.krihs.re.kr/\\$/10210/contents/6585995](https://library.krihs.re.kr/$/10210/contents/6585995).
- [10] M. Sheriff M, et al., "Face Authentication System Using Face Recognition and Firebase", Proc. 2024 International Conference on Smart Technologies for Sustainable Development Goals (ICSTSDG), Chennai - 600077, Tamil Nadu, India, pp. 1-6, Nov. 2024. <https://doi.org/10.1109/ICSTSDG61998.2024.11026696>.
- [11] D. Ielciu, et al., "Automating and Managing Data Using a QR Scanner App with Firebase Integration", Proc. 2025 34th Annual Conference of the European Association for Education in Electrical and Information Engineering (EAEEIE), Cluj-Napoca, Romania, pp. 1-4, Jun. 2025. <https://doi.org/10.1109/EAEEIE65428.2025.11136311>.
- [12] M. F. Younis and Z. S. Alwan, "Monitoring the Performance of Cloud Real-time Databases: A Firebase Case Study", Proc. 2023 Al-Sadiq International Conference on Communication and Information Technology (AICCIT), Al-Muthana, Iraq, pp. 240-245, Jul. 2023. <https://doi.org/10.1109/AICCIT57614.2023.10217953>.
- [13] W. K. A. Alabayechi and S. M. Hadi, "Developing a Network-Based Android Messaging Application", Proc. 2023 International Conference on Engineering Applied and Nano Sciences (ICEANS), Erbil, Iraq, pp. 44-48, Oct. 2023. <https://doi.org/10.1109/ICEANS58413.2023.10630457>.
- [14] J.-Y. Kim, "Design of Safety School Bus System Using RFID", Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, Vol. 26, No. 11, pp. 1741-1746, Nov. 2022. <https://doi.org/10.6109/jkiice.2022.26.11.1741>.
- [15] M. A. Mokar, S. O. Fageeri, and S. E. Fattoh, "Using Firebase Cloud Messaging to Control Mobile Applications", Proc. 2019 International Conference on Computer, Control, Electrical, and Electronics Engineering (ICCCEEE), Khartoum, Sudan, pp. 1-5, Sep. 2019. <https://doi.org/10.1109/ICCCEEE46830.2019.9071008>.
- [16] Y.-H. Kong, et al., "Development of Subway Information Delivery Application for Subway Passengers", The Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 25, No. 2, pp. 13-24, Apr. 2025. <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2025.25.2.13>.
- [17] R. C. Jisha, et al., "An Android Application for School Bus Tracking and Student Monitoring System", Proc. 2018 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICCIC), Madurai, India, pp. 1-4, Dec. 2018. <https://doi.org/10.1109/ICCIC.2018.8782320>.
- [18] A. Z. M. T. Kabir, et al., "A Comprehensive Smart IoT Tracker for the Children, Elder, and Luggage With the Assistance of Mobile App", Proc. 2020 International Conference on ICT for Smart Society (ICISS), Bandung, Indonesia, pp. 1-5, Nov. 2020. <https://doi.org/10.1109/ICISS50791.2020.9307591>.

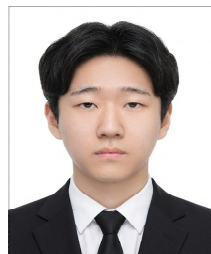
저자소개

장 명 근 (Myeong-Guen Jang)



2026년 2월 : 국립금오공과대학교
전자공학부(공학사)
관심분야 : 애플리케이션개발,
모바일 IoT

홍 성 용 (Seong-Yong Hong)



2026년 2월 : 국립금오공과대학교
전자공학부(공학사)
관심분야 : 딥러닝, 영상 처리,
패턴 인식

김 현 수 (Hyeon-Su Kim)



2026년 2월 : 국립금오공과대학교
전자공학부(공학사)
관심분야 : GNSS, 정밀 측위

한 승 원 (Seung-Won Han)



2020년 3월 ~ 현재 :
국립금오공과대학교 전자공학부
전자시스템전공 학사과정
관심분야 : 모바일 로보틱스,
자율주행

김 현 민 (Hyeon-Min Kim)



2026년 2월 : 국립금오공과대학교
전자공학부(공학사)
관심분야 : AMR, 딥러닝

이 동 현 (Dong-Hyun Lee)



2007년 2월 : 경북대학교
전자전기컴퓨터학부(공학사)
2009년 1월 : KAIST
전자전산학부(석사)
2015년 2월 : KAIST
전기및전자공학과(박사)
2016년 9월 ~ 현재 :

국립금오공과대학교 전자공학부 및 IT융복합공학과
교수
관심분야 : 모바일 로봇, 인공지능