

배터리 교체 시기를 알 수 있는 도어록 관제시스템 개발 및 검증

Development and Validation of a Door-Lock Management System that Predicts Battery Replacement Timing

한대철¹

Dae-Cheol Han¹

요약

본 연구는 호텔 등 숙박시설의 도어록에서 배터리 교체 시점을 사전에 예측할 수 있는 콤비네이션 배터리(알카라인 리튬 일차전지 + 리튬이온커패시터) 기반 관제 솔루션을 제안하고, 시제품 구현 및 가속 현장 실험을 통해 성능을 검증한 결과를 제시한다. 제안 방식은 커패시터 전압과 저장 에너지의 비례 관계를 활용하여 일차전지 상태를 간접 추정하고, ESP32(Wi-Fi) 기반 모듈이 배터리·커패시터 전압을 주기적으로 측정·전송함으로써 중앙 관제시스템에서 교체 시점을 실시간으로 판단한다. 가속 실험에서는 종지전압 도달 이후에도 잔여 전력을 활용한 163일간의 안정 운용 구간과, 이후 완전 방전까지 60일의 보존 구간을 추가적으로 식별할 수 있었으며, 알카라인 전지의 사용 하한을 3.6 V에서 2.8 V로 확장함으로써 사용 기간을 2배 이상 연장할 수 있는 가능성을 확인하였다. 또한, 서울 그랜드 하얏트 현장 및 랩 환경 검증을 통해 데이터 수집·통신·관제·알람의 전 과정이 안정적으로 수행됨을 입증하였다. 본 연구는 도어록 운영의 예측적 유지보수 체계를 가능케 함으로써, 스마트 호텔 및 스마트 빌딩 관리의 효율성과 신뢰성 제고에 기여할 수 있음을 보여준다.

핵심어 : 도어록, 배터리 관리, 교체 시기 예측, 리튬이온커패시터, IoT 관제

Abstract

This study proposes a combination-battery-based monitoring solution-comprising an alkaline or lithium primary cell and a lithium-ion capacitor (LIC)-to predict battery replacement timing in hotel and lodging facility door locks, and presents the results of prototype implementation and performance verification through accelerated and field experiments. The proposed method leverages the proportional relationship between capacitor voltage and stored energy to indirectly estimate the state of the primary cell, while an ESP32 (Wi-Fi) module periodically measures and transmits the battery and capacitor voltages to a central management system, which determines replacement timing in real time. Accelerated testing identified an additional 163 days of stable operation after end-of-discharge by utilizing residual energy, followed by a

¹ Department of Highway and Transportation Research, KICT, Gyeonggi-do, Korea [Principal Researcher]
e-mail: dchan@kict.re.kr

* 본 연구는 국토교통부 한국건설기술연구원 위탁사업으로 수행되었음(과제명 : 2025년 교통량정보제공시스템(TMS) 운영 업무대행).

Received(September 12, 2025), Review Result(1st: September 30, 2025), Accepted(October 13, 2025), Published(October 31, 2025)



© 2025 The Authors. Published by NCISS.
This is an open access article licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.
To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

60-day preservation period until complete depletion. Furthermore, extending the lower operating threshold of the alkaline battery from 3.6 V to 2.8 V demonstrated the potential to more than double the usable lifetime. Field deployment at the Seoul Grand Hyatt, together with controlled laboratory trials, verified the reliability of the entire process from data acquisition and communication to monitoring and alerting. These findings demonstrate that the proposed system enables a predictive maintenance framework for door-lock operations, thereby enhancing the efficiency and reliability of smart hotel and smart building management.

Keyword : Door lock, Battery management, Replacement timing prediction, Lithium-ion capacitor, IoT monitoring

1. 서론

호텔을 비롯한 숙박시설의 디지털 도어록은 상용전원의 인입이 사실상 불가능하여, 대부분 알카라인 또는 리튬계 일차전지에 전력 공급을 의존한다. 이러한 구조적 특성 때문에 배터리가 예고 없이 방전될 경우, 즉각적인 출입 장애와 고객 불편, 나아가 호텔 운영비 증가로 직결된다. 현장에서는 돌발 장애를 예방하기 위해 시즌별 일괄 교체 등 비효율적·비과학적 관리 방식이 관행화되어 있으며, 이는 불필요한 비용 증가와 폐기물 발생을 초래하여 지속가능성과 운영 효율 측면에서 한계를 드러낸다.

특히 특급호텔과 같은 고급 숙박시설에서는 수백~수천 개의 도어록이 동시에 운영되기 때문에, 단일 객실의 장애도 고객 경험에 중대한 영향을 미친다. 이에 따라 배터리 교체 시점을 과학적이고 정밀하게 예측·관리하는 기술의 필요성이 급격히 증가하고 있다. 하지만 기존 도어록 시스템은 배터리 잔량 경고 기능이 제한적이거나 부정확하여, 관리자와 사용자가 방전 상황을 사전에 인지하지 못하는 구조적 한계를 가지고 있다. 이러한 배경은 배터리 상태를 실시간으로 모니터링하고 교체 주기를 정량적으로 예측할 수 있는 관제시스템의 필요성을 강하게 시사한다.

본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해, 콤비네이션 배터리(알카라인·리튬 일차전지 + 리튬이온커패시터) 기반 전원 구조와 웹 기반 도어록 관제시스템을 통합 설계하였다. 제안된 시스템은 커패시터 전압과 저장 에너지 간의 비례 특성을 활용하여 일차전지의 상태를 간접적으로 추정하고, ESP32(Wi-Fi) 기반 모듈을 통해 주기적으로 측정된 데이터를 서버로 전송함으로써, 중앙 관제 시스템에서 교체 시점의 사전 판단을 가능케 한다.

또한 본 연구는 제안된 시스템의 시제품을 제작하고, 이를 대상으로 한 가속 실험과 실제 호텔 환경 실증을 수행하여 성능을 검증하였다. 가속 실험에서는 중지전압 도달 이후에도 잔여 전력을 활용할 수 있는 구간과 완전 방전에 이르는 보존 구간을 추가적으로 식별하였으며, 알카라인 전지의 사용 전압 범위를 확장하여 사용기간을 2배 이상 연장할 수 있는 가능성을 확인하였다. 아울러 실제 호텔 환경에서의 현장 검증을 통해 데이터 수집-통신-관제-알람의 전 과정이 안정적으로 수행됨을 입증하였다.

2. 관련 연구

2.1 스마트 도어록 연구

스마트 도어록 분야는 지난 10여 년간 접근통제 보안 강화(지문, 얼굴, 모바일 인증 등)와 무선 연결성 확대(BLE, NFC, Wi-Fi)를 중심으로 발전해 왔다. 예를 들어, BLE와 안드로이드 앱을 이용해 자동 잠금, 스케줄 잠금, 액세스 관리 기능을 제공하는 설계 및 시제품 보고가 다수 제시되었으며, 응답 시간과 신뢰성을 실험으로 검증하였다 [1]. 대규모 사무환경에서 수만 대의 네트워크형 도어록을 중앙집중형 서버로 관리하는 시스템도 제안되어, 낮은 패킷 손실과 빠른 응답, 원격 업데이트 및 유지보수 용이성을 보였다 [2]. 다만 이들 연구의 초점은 인증·네트워킹·관리 규모화에 치우쳐 있고, 배터리 상태 진단·교체 시기 예측과 같은 에너지 관리는 보조 항목에 그치는 경우가 많다. 본 연구는 이러한 공백을 메우기 위해 전원 구조(콤비네이션 배터리)와 관제 로직을 결합해 교체 시점 예측을 목표로 설정하였다.

2.2 IoT 기반 에너지/배터리 모니터링 연구

IoT 센서·통신을 이용해 전압·전류·온도 등 배터리 파라미터를 클라우드로 전송하고, SoC/SoH를 추정하여 운영 효율을 높이는 연구가 활발하다. 예를 들어, PLOS ONE(2003)은 GSM/IoT 기반 원격 모니터링·관리 아키텍처에서 SoC/SoH 추정과 다배터리 충전 제어를 통합하고, 임베디드 센서를 통해 주기적 상태 진단과 경보를 구현하였다 [3]. 이처럼 IoT-BMS 융합은 대형 설비·EV 등에서의 실효성이 입증되고 있으나, 공간 제약이 큰 소형 도어록에 바로 적용하려면 초저전력 동작과 현장 무선망 제약(호텔 객실 Wi-Fi 등), 형상 호환성을 동시에 만족해야 한다. 본 연구는 ESP32 저전력 계측·전송, 관제 대시보드, 전압 구간 기반 교체 의사결정을 소형 도어록 맥락에 맞춰 최적화하였다.

2.3 예측 유지보수(Condition-Based Maintenance, CBM)

CBM은 상태 데이터 기반으로 고장 징후를 조기 탐지하고, 정비/교체 시점을 최적화하는 프레임워크로, 표준·실무 적용 방법론과 함께 방대한 문헌이 축적되어 있다. 4,000편 이상을 계량 분석한 대규모 리뷰는 센서링·진단·예후(잔여수명)·운영 의사결정으로 이어지는 CBM 파이프라인을 정리한다 [4]. 또 다른 종합 리뷰는 예후 모델(통계/물리/데이터 기반)과 부품관리·생산계획 연계 등 운영적 측면을 상세히 체계화했다 [5]. 제조 현장 관점의 최신 리뷰는 노이즈·도메인 일반화·데이터 수집 제약 등 데이터 기반 PdM의 한계와 도전과제를 요약한다 [6]. 본 연구는 해당 CBM 원리를 도

어록 배터리는 소형 임베디드 영역에 적용하되, 커패시터 전압-에너지 비례성을 이용해 일차전지 상태를 간접 추정하고, 이를 구간화된 수명 단계(정상-잔여활용-보존/고갈)에 맵핑하여 교체 시점을 실시간 판단한다. 이는 CBM의 상태 측정→예후→작업지시 순환을 도어록 도메인에 경량·저전력으로 이식하는 접근 방식이다.

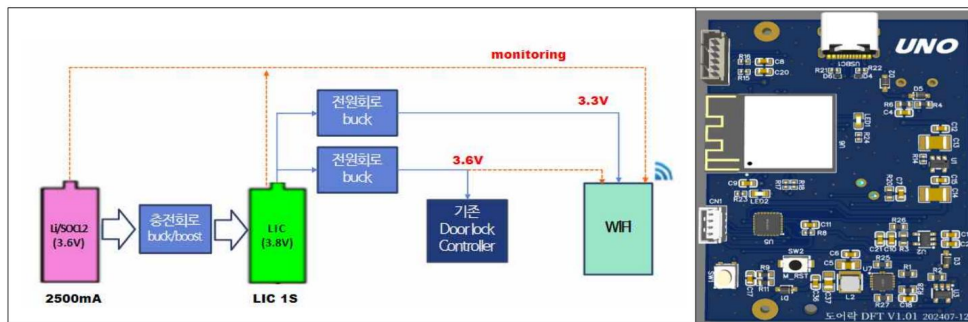
3. 시스템 설계 및 구현

3.1 콤비네이션 배터리 시스템

도어록은 상용전원 인입이 불가능하여 대부분 알카라인 건전지에 의존한다. 그러나 기존 방식은 셀 간 성능 편차로 인해 보유 전력을 끝까지 활용하기 어렵고, 예기치 못한 방전으로 출입 장애가 발생하는 한계가 있다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 리튬 일차전지와 리튬이온커패시터(LIC)를 결합한 콤비네이션 배터리 시스템을 제안하였다.

제안된 구조는 LIC가 도어록에 직접 전력을 공급하고, 리튬 일차전지가 LIC를 주기적으로 충전하는 방식으로 동작한다. 따라서 LIC 전압 변화를 통해 일차전지의 잔량을 간접적으로 추정할 수 있다. 전체 구조와 동작 원리는 [그림 1]의 콤비네이션 배터리 시스템(리튬+LIC)에 제시되어 있으며, 이중 전원 구조를 통해 전력 안정성과 교체 편의성이 강화된다.

또한 시스템은 기존 알카라인 모듈과 동일한 크기로 제작되어 장시간 운용이 가능하며, 교체 시 리튬 일차전지 단셀만 교체하면 된다. 약 3배 이상의 에너지 밀도를 지닌 리튬 일차전지를 적용하여 사용 기간도 크게 연장하였다. 아울러 -10°C 저온에서도 안정적으로 동작하며, 알카라인+LIC 대안형 구조를 추가 검증하여 화재·폭발 위험을 최소화하였다.



[그림 1] 콤비네이션 배터리 시스템(리튬+LIC)

[Fig. 1] Combination Battery System(Lithium+LIC)

[표 1]은 콤비네이션 배터리 시스템(리튬+LIC) 규격 및 주요기능은 시제품의 세부 사양을 정리

한 것이다. 리튬 일차전지(SB-AA11, 3.6 V 2500 mAh)와 LIC(VEL1335, 3.8 V 90 mAh)가 결합되었으며, ESP32 모듈이 계측·통신을 담당한다. 방전 전류는 60mA 이하로 제한되며, 하루 1회 약 3~5mA 수준으로 동작해 소비 전력이 최소화되었다. 완전 방전 이후에도 최소 10일 이상 안정 동작이 가능하며, 단셀 교체만으로 유지보수가 가능하다.

[표 1] 콤비네이션 배터리 시스템(리튬+LIC) 규격 및 주요기능
[Table 1] Specifications and Key Features of the Combination Battery System(Lithium+LIC)

Category	Lithium Primary Battery	Lithium-Ion Capacitor(LIC)	CPU/Communication Module
Specifications	SB-AA11(P) (3.6 V 2500 mA)	VEL1335 (3.8 V 90 mAh)	ESP 32 (WiFi)
Key Features	-For charging the lithium-ion capacitor -Same capacity as three alkaline cells -Changed to pulse type *Current limited to below 60mA *Operates once per day at approximately 3~5mA	-3.8 V 90 mAh, single cell -Power supply for the door lock -Buck mode	-Operates once per day -Charge control -Voltage measurement -Data transmission
Performance	-Battery lifespan: 2 years. Only the lithium primary cell needs replacement at end-of-life -After complete discharge of the lithium primary cell, maintains normal operation for at least 10 additional days -Same size as conventional alkaline battery modules		

3.2. 도어록 관제시스템

본 연구에서 제안한 도어록 관제시스템은 단순한 배터리 잔량 표시 수준을 넘어, 실시간 모니터링·예측적 알람·통계적 분석·운영 관리 최적화를 유기적으로 결합한 지능형 통합 플랫폼이다. 이는 기존 호텔 도어록 관리에서 흔히 발생하는 돌발 방전과 비효율적 교체 문제를 근본적으로 개선하고, 스마트 빌딩 에너지 관리 체계로 확장 가능한 구조를 지향한다.

시스템 아키텍처는 [그림 2]의 도어록 관제시스템 페이지 구성에 도식화되어 있으며, 하드웨어적으로는 ESP32 기반 무선 통신 모듈이 객실 Wi-Fi망을 통해 서버와 연동된다. 서버는 각 도어록 배터리 및 커패시터 상태 데이터를 수집·분석하여 웹 기반의 대시보드로 시각화하고, 관리자가 직관적으로 접근할 수 있는 인터페이스를 제공한다.

메인 화면은 객실 단말기의 IP, 장치 ID, 배터리 잔량 등을 주기적으로 갱신하며, 교체 시기 임박·통신 오류 등 핵심 알람을 실시간으로 제공한다. 대시보드는 객실별 1차전지·LIC 전지·전체 전력 수준을 직관적으로 비교할 수 있는 색상 기반 인터페이스를 제공하여, 관리자가 위험 수준을 신속히 파악할 수 있도록 지원한다. 또한, 작업지시서 및 결과 입력 기능은 교체 대상 객실을 자동으로 리스트업하고, 현장 교체 후 결과를 기록·저장함으로써 유지보수 이력의 체계화를 달성한다. 장비상태 이력관리와 통계이력은 전압 변화 패턴, 알람 발생 빈도, 평균 교체 주기 등을 분석하여

장기적인 성능 관리 및 정책 수립에 기여한다. 마지막으로, 알람이력·사용자/단말기 정보 편집·알람 설정 기능을 통해 시스템 보안성과 운영 유연성을 강화하였다. 특히 관리자·사용자 권한 구분, SMS 알람 연동, 임계값 사용자 정의 기능은 실무 활용성을 높였다.

종합적으로, 본 시스템은 도어록 유지보수를 기존의 경험·정기교체 중심에서 데이터 기반 예측 유지보수 체계로 전환할 수 있음을 입증하였으며, 장기적으로는 스마트 빌딩 지능형 에너지 관리 플랫폼으로 확장될 수 있는 잠재력을 보여준다.

Main Screen	Main Screen	Display each Room status in text format
	Dashboard	Visualize each Room status graphically
File Management	Work Order	Display Door Lock information for scheduled replacement
	Work Result Input	Record and output results after Door Lock battery replacement
History Management	Device Status	Query Door Lock device status by location and Room
	Statistics	Show Room status, alarm frequency, replacement counts, etc.
	Alarm	Record alarms such as low battery, replacement time, and communication errors
System Settings	User Information	Manager user ID, name, authority level, etc.
	Device Information	SITE, Floor/Room, Door Lock Device
	Alarm Settings	Input alarm conditions and thresholds

[그림 2] 도어록 관제시스템 구성

[Fig. 2] Configuration of Door Lock Monitoring System

4. 실험 및 검증

4.1 가속 실험(시뮬레이션 환경)

본 연구에서는 도어록 배터리 시스템의 장기 운용 특성을 단기간에 검증하기 위해 가속 실험을 수행하였다. 시뮬레이션 조건은 “1일 = 35일”에 해당하는 시간 축 압축 방식을 적용하였으며, 하루 동안의 주요 동작은 다음과 같이 설정하였다.

- 통신 1회 (15초 지속)
- 도어 개폐 20회
- 충전 1회

해당 조건은 [표 2]의 가속 실험 조건에 요약되어 있으며, 도어록의 평균 사용 패턴을 반영하여 실제 환경과 유사한 부하를 구현하였다.

[표 2] 시제품 가속실험 조건 및 검증 내용

[Table 2] Prototype Accelerated Test Conditions and Verification Items

Applied Product	-Configured with 3 series-connected Alkaline AA batteries+Lithium-Ion Capacitor (60mAh)
Accelerated Test Conditions	-Battery system operation designed with 1 day = 35 days assumption -Daily door lock battery usage: ·1 communication cycle (15 seconds), 20 door lock operations (open/close), 1 charging cycle (Alkaline → Lithium-Ion Capacitor)
Verification Items	-Validation of normal operation and system stability of the combination battery system ·Battery-to-battery charging and stable power supply to the system ·Pre-detection of Alkaline battery full discharge and advance identification of battery replacement timing -Confirmation of the operating lifetime of the combination battery system → verification of economic feasibility

가속 실험 결과는 [그림 3]의 가속 실험 결과 곡선에 나타나 있다. 그림에서 확인할 수 있듯, 실험 결과는 크게 세 구간으로 구분된다.

- 구간 1: 종지전압(End-of-discharge voltage)에 도달하기 전까지 약 1,384일 동안 안정적으로 동작하였다. 이 구간은 정상적인 배터리 사용기간을 의미한다.
- 구간 2: 종지전압에 도달한 이후에도 LIC에 축적된 잔여 에너지를 기반으로 충전이 가능하여 추가로 약 163일 동안 동작하였다.
- 구간 3: 완전 방전 직전 구간으로, 약 60일 동안 전압 변화 추이를 통해 잔여 사용기간을 예측할 수 있었다. 특히 알카라인 배터리의 사용 전압 범위를 3.6 V에서 2.8 V까지 확장함으로써 사용 가능 기간을 약 2배 이상 연장할 수 있는 가능성이 확인되었다.



[그림 3] 콤비네이션 배터리시스템 성능실험 결과

[Fig. 3] Performance Test Results of the Combination Battery System

이러한 결과는 콤비네이션 배터리 시스템이 기존 알카라인 대비 장기적인 안정성과 수명 예측 가능성을 동시에 제공함을 보여준다.

4.2. 개발기술 검증

4.2.1 현장 실증 진행 내용

본 연구에서는 제안된 콤비네이션 배터리 시스템 및 도어록 관제시스템의 현장 적용 가능성을 검증하기 위해 호텔 현장 및 랩 환경에서 실증 실험을 병행하였다. 먼저, 현장 실증은 2024년 12월 17일부터 2025년 1월 17일까지 약 1개월간 서울 그랜드 하얏트 내 직원 사무용 룸에서 진행되었다. 시스템은 호텔 공용 Wi-Fi 망에 연동되어 데이터 통신을 수행하였으며, 객실 환경에서 실제 도어록 사용 조건을 반영하였다. 다만 호텔의 성수기 기간으로 인해 장기적·대규모 확장은 곤란하였으므로, LAB 실험을 병행하였다. LAB 실험은 2025년 1월 17일부터 2월 20일까지 진행되었으며, 동일한 장비를 사설 Wi-Fi 망에 연결하여 데이터 송수신, 충·방전, 개폐 동작을 4배 가속 조건으로 반복 검증하였다.

4.2.2 장비 설정 내용

실증 실험은 가속 실험 방식을 적용하여 진행되었다. 실험 조건은 [표 3]의 실험 내용 및 조건에 요약되어 있다.

- 실제 적용 조건에서는 하루 1회의 데이터 통신과 충전, 현장 상황에 따른 도어록 개폐가 이루어진다.
- 현장 실증에서는 하루 4회의 데이터 통신과 충전이 수행되었으며, 도어록 개폐는 현장 상황을 그대로 반영하였다.
- LAB 실험에서는 하루 4회 데이터 통신·충전과 40회 도어록 개폐가 반복적으로 수행되었다.

[표 3] 실험 내용 및 조건

[Table 3] Experimental Contents and Conditions

Category	Actual Application	Field Demonstration	LAB Experiment
Data Communication	Once per day	4 times per day	4 times per day
Door Lock Operation	According to field conditions	According to field conditions	40 times per day
Battery Charging	Once per day	4 times per day	4 times per day

4.2.3 실증 실험 결과

실험 결과, 제안된 콤비네이션 배터리 시스템은 현장 및 LAB 환경 모두에서 정상적으로 동작함

을 확인하였다.

- 배터리 충·방전 성능: 알카라인 전지에서 LIC로의 충전이 안정적으로 수행되었으며, 알카라인 전지 전압은 시간이 지남에 따라 점차 하락하였으나, LIC 전압은 일정 범위에서 안정적으로 유지되었다.
- 도어록 구동 성능: 도어록 개폐 동작이 정상적으로 수행되었으며, 가속 조건에서도 전력 공급 불안정 현상은 발생하지 않았다.
- 데이터 통신 성능: 현장에서는 호텔 공용 Wi-Fi 망을 통해, LAB에서는 사설 Wi-Fi 망을 통해 원격 송수신이 정상적으로 수행되었으며, 수집된 데이터는 관제 대시보드에 실시간 반영되었다.
- 배터리 수명 검증: 절대적인 실증 기간의 한계로 인해 전체 사용 수명을 확인하기에는 부족하였으나, LAB 실험의 4배 가속 조건에서도 약 4.2개월 수준의 동작을 확인하였다. 이는 제안된 시스템의 장기 운용 가능성을 뒷받침하는 근거가 된다.

5. 결론

본 연구에서는 호텔 등 숙박시설의 디지털 도어록에서 배터리 교체 시점을 사전에 예측할 수 있는 콤비네이션 배터리 시스템(알카라인·리튬 일차전지 + 리튬이온커패시터)과 웹 기반 도어록 관제시스템을 제안하고, 시제품 제작 및 실험·실증을 통해 그 성능을 검증하였다. 주요 결론은 다음과 같다.

첫째, 가속 실험 결과 콤비네이션 배터리 시스템은 종지전압 도달 이전 약 1,384일 동안 안정적으로 동작하였으며, 종지전압 이후에도 커패시터에 축적된 잔여 에너지를 활용하여 약 163일 추가 동작이 가능하였다. 더불어 완전 방전 직전 약 60일 동안 전압 변화 추이를 통해 잔여 사용기간을 예측할 수 있었으며, 알카라인 전지의 하한 전압을 3.6 V에서 2.8 V로 확장함으로써 사용 가능 기간을 2배 이상 연장할 수 있는 잠재력이 확인되었다.

둘째, 현장 실증 및 LAB 실험을 통해 데이터 통신·충·방전·도어록 개폐·대시보드 시각화·알람 관리의 전 과정이 정상적으로 수행됨을 입증하였다. 특히, 호텔 공용 Wi-Fi 환경과 사설 네트워크 환경 모두에서 데이터 송수신이 안정적으로 이루어졌으며, 가속 조건(일 4회 통신·충전, 40회 개폐)에서도 전력공급 불안정 현상이 발생하지 않았다.

셋째, 제안된 도어록 관제시스템은 단순 잔량 표시를 넘어, 예측적 알람·통계 분석·작업 지시 및 이력 관리 등 기능을 통합함으로써, 기존의 경험·정기 교체 중심 관리체계를 데이터 기반의 예측 유지보수 체계로 전환할 수 있음을 확인하였다.

따라서 본 연구는 도어록 운영에서의 예측 유지보수(Condition-Based Maintenance, CBM) 가능성

을 실증하였으며, 이를 통해 호텔 및 스마트 빌딩 운영의 효율성과 신뢰성을 동시에 향상시킬 수 있음을 입증하였다. 향후에는 장기 실증 데이터를 확보하여 수명 예측 알고리즘을 고도화하고, 대규모 현장 적용을 통해 시스템의 확장성 및 경제성을 추가 검증하는 것이 필요하다.

References

- [1] A. B. de Lima, B. Gurung, S. M. Farhad, “Efficient App Based Smart Door Lock System Using Bluetooth”, International Conference on Web, Artificial Intelligence and Network Applications (WAINA 2020), April 15-17, 2020, Warsaw, Poland, pp. 1046-1055, doi: 10.1007/978-3-030-44038-1_97.
- [2] A. W. Zhao, B. H. Wang, C. M. Shi, D. Y. Li, E. Y. Ma, “An Energy-Saving and Environment-Friendly Networked Intelligent Door Lock System for Offices”, International Journal of Distributed Sensor Networks, vol. 2024, January 2024, pp. 1-31, doi: 10.1155/2024/5699802.
- [3] R. Samikannu, A. Yahya, M. U. Tariq, M. Asim, M. Babar, “IoT-based battery energy monitoring and management for electric vehicles with improved converter efficiency”, PLOS ONE, vol. 18, no. 10, October 2023, pp. 1-19, doi: 10.1371/journal.pone.0286573.
- [4] M. C. Carnero, “Condition-Based Maintenance-An Extensive Literature Review”, Machines, vol. 8, no. 2, February 2020, pp. 1-28, doi: 10.3390/machines8020031.
- [5] Y. Li, S. Peng, Y. Li, W. Jiang, “A review of condition-based maintenance: Its prognostic and operational aspects”, Frontiers of Engineering Management, vol. 7, June 2020, pp. 1-15, doi: 10.1007/s42524-020-0121-5.
- [6] E. R. E. Rocha, E. Rocha, “Challenges in predictive maintenance - A review”, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, vol. 40, December 2022, pp. 53-67, doi: 10.1016/j.cirpj.2022.11.004.