

스마트공장의 IoT 센서 모니터링을 통한 에너지절감 및 안전성 향상 연구

A Study on Energy Saving and Safety Improvement through IoT Sensor Monitoring in Smart Factory

최우형¹ · 강인철² · 김창수^{3*}Woohyoung Choi¹, Incheol Kang², Changsoo Kim^{3*}¹Executive Director, Trust Managing Team, Elscom, Inc., Busan, Republic of Korea²President, Elscom Inc., Busan, Republic of Korea³Professor, Department of Computer Engineering and AI, Pukyong National University, Busan, Republic of Korea

*Corresponding author: Changsoo Kim, cskim@pknu.ac.kr

ABSTRACT

Purpose: The purpose is to conduct basic research to save energy and improve the safety of manufacturing plant infrastructure by comprehensively monitoring energy management, temperature, humidity, dust and gas, air quality, and machine operation status in small and medium-sized manufacturing plants. **Method:** To this end, energy-related data and environmental information were collected in real time through digital power meters and IoT sensors, and research was conducted to disseminate and respond to situations for energy saving through monitoring and analysis based on the collected information. **Result:** We presented an application plan that takes into account energy management, cost reduction, and safety improvement, which are key indicators of ESG management activities. **Conclusion:** This study utilized various sensor devices and related devices in a smart factory as a practical case study in a company. Based on the information collected through research, a basic system for energy saving and safety improvement was presented.

Keywords: Smart Factory, IoT, LoRa Network, Energy Monitoring, Disaster Monitoring, Carbon Emissions, ESG management

요약

연구목적: 중소기업 제조공장에서 에너지 관리, 온도, 습도, 분진 및 가스, 공기 질, 기계작동 상태 등을 통합적으로 모니터링하여 에너지 절감 및 제조 공장 인프라의 안전성 향상을 위한 기반 연구를 수행하는 것이 목적이다. **연구방법:** 이를 위해 디지털 전력량계 및 IoT 센서를 통해 에너지 관련 데이터 및 환경적인 정보들을 실시간으로 수집하였으며, 수집된 정보를 기반으로 모니터링 및 분석을 통해 에너지 절감을 위한 상황 전파 및 대응을 위한 연구를 진행하였다. **연구결과:** ESG 경영 활동의 핵심 지표에 속하는 에너지관리, 비용 절감과 안전성 향상을 고려한 적용 방안을 제시하였다. **결론:** 본 연구는 기업에서 실제적인 사례 연구로 스마트공장에서 다양한 센서 장치와 관련된 장치들을 활용하였으며, 이를 통해 수집된 정보를 기반으로 에너지 절감 및 안전성 향상에 대한 기반의 체계를 제시하였다.

핵심용어: 스마트공장, 사물인터넷, 로라 네트워크, 에너지 모니터링, 재난감시, 탄소 배출, ESG 경영

Received | 15 January, 2024

Revised | 18 March, 2024

Accepted | 19 March, 2023

OPEN ACCESS



This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in anymedium, provided the original work is properly cited.

서론

본 연구는 스마트공장에서 에너지 및 환경관리에 대한 데이터를 실시간으로 모니터링하여, 빅데이터를 확보하고 이를 바탕으로 ESG(Environment, Society, Governance) 경영 측면에서 에너지 및 환경 데이터를 분석함으로써 스마트공장의 안전성과 신뢰성 향상에 기여하는 데 그 목적이 있다. 또한 IoT 센서 기술의 일반화와 더불어 공장 에너지 모니터링 시스템(FEMS, Factory Environment Monitoring System)의 구축 필요성과 FEMS의 구축이 기업에 미치는 효용가치를 ESG경영 관점에서 해석하였다. 지속 가능한 경영 활동을 위한 비상계획(Contingency Plan)의 일환으로 환경 데이터를 수집하고 모니터링하는 것은 제조기업이 경영 활동에 있어서 환경적인 위험에 능동적으로 대응하는 방법이다. 본 연구에서는 보다 현실적인 과정과 결과를 도출하기 위하여 실증 대상 기업에 대해 단계적으로 주요 센서를 배치하였다. 온도·습도·분진 상태와 주요기기의 작동상태, 전력사용량에 대해 실시간 디지털 정보를 수집, 에너지 관리 및 절감 방안을 도출하였다. 또한, 안전관리 및 개선방안 등 스마트공장의 환경요소에 대한 인프라 관점에서 데이터를 수집하고 자료를 분석하여 현장관리 개선 결과를 도출하였다. 이러한 시도는 디지털 환경 데이터를 경험적 사례를 통하여 장단점과 효과를 제시하는 데 그 목적이 있다. 관련 연구로는 주요 센서기술과 통신기술을 참조하였으며, LoRa 통신기술을 활용한 국내외 IoT 서비스 연구, 센서를 통한 데이터센터의 감시시스템에 대한 연구와 에너지 모니터링 사례를 참조하였다.

사례 기업에 대한 연구는 대부분의 중소·중견기업에도 일반화하여 적용할 수 있으며, 다음과 같은 주요 센서와 네트워크 구성을 사용하였다. 본 연구에 적용한 센서는 1) 온도 센서, 2) 습도 센서, 3) 움직임 감지 센서, 4) 무전압접점 센서, 5) 전압 센서, 6) 압력 센서와 변류기를 포함한 디지털 전력량계, 8) 타이머이다. 통신 프로토콜은 Serial to TCP, RS-485, 4-20mA 기술과 LoRa 및 유무선 LAN으로 구성하였다. 네트워크 구성은 유선네트워크와 무선네트워크를 통합 구성함으로써 유연성과 경제성을 고려하였으며, 무선네트워크는 보안이 적용된 무선 AP와 LoRa 통신망을 적용하였다. 연구에 적용한 Fig. 1의 LoRa 모듈은 독립적인 ID를 통하여 센싱 모듈과 게이트웨이 간의 통신에 대한 보안성을 향상시켰다.

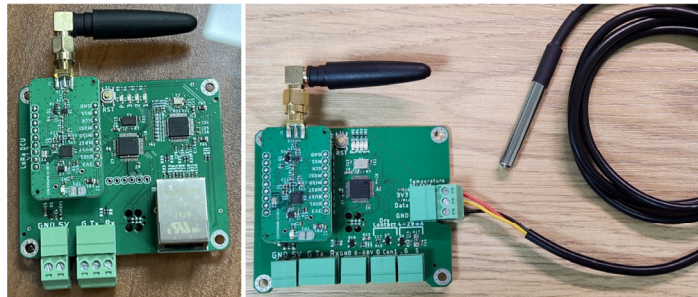


Fig. 1. LoRa gateway module and sensing module

본 연구에서는 에너지 절감과 안전성 향상을 핵심 지표로 하여 모니터링 사례를 구현하고 그 연구 결과를 도출하였다. 앞서 기술한 8종의 센서 및 장치 중에서 에너지 절감의 연구를 위해 다음 5종을 중심으로 데이터를 수집하고 활용하였다. 해당 센서 및 장치로는 디지털 전력량계, 온도 센서, 압력 센서, 무전압접점 센서, 타이머를 활용하였다. (1) 디지털 전력량계를 통한 전사적인 전력사용 데이터는 24시간, 365일 실시간은 물론 기간별 에너지 사용량을 관리하며, 이를 위하여 간선 전력공급 라인을 중심으로 변류기를 설치하여 전력 모니터링 체계를 구현하였다. 장치별·층별 전력사용량 추이 모니터링, 피크 전력 사

용 모니터링으로 전력사용 패턴을 분석하였다. 안전성 향상은 에너지관리 측면에서와 IoT 센서를 통한 환경 모니터링에서 의미 있는 결과를 도출할 수 있었다. 에너지관리 항목에서 피크 전력 시에 발생할 수 있는 전력계통의 문제를 사전에 발견하고 본 연구에서는 관련 예방조치를 시행하였다. (2) 온도 센서는 화재 창고, 조립 라인, 에폭시 수지 탱크에 대해 수분 단위의 간격으로 온도 값을 수집함으로써 근로환경, 창고환경, 화학물질 가열 환경에 대한 온도 값을 24시간 수집하였으며, 이는 냉난방기 가동과 실내온도의 상관관계 및 적도를 분석할 수 있는 기초데이터로도 유용하다. 그 뿐만 아니라 밀폐된 장소의 온도 수준이 근로자의 안전에 심각한 위협이 될 수 있음을 관리자 또는 경영자에게 인지할 수 있게 하였으며, 제조 현장의 환경 개선을 위한 근거 자료로 활용할 수 있었다. 제조 공정상 화학물질 온도 수준을 실시간으로 통합관리가 가능하게 되었으며, 이러한 데이터를 스마트 공장 제조실행시스템(MES)에 연동하여 품질향상에도 기여하였다. (3) 압력 센서의 데이터를 분석하여 공기 압축 장치의 운용실태 확인과 에너지절감 요소를 도출하였다. (4) 무전압 접점 센서를 통하여 장치의 작동상태를 실시간으로 모니터링하고, (5) 타이머와 같은 간단한 장치로 60% 이상의 에너지를 절감하는 효과를 실현하였다. 이와 같은 정보의 수집, 분석으로 에너지 절감 뿐 아니라 유효 전력값, 온도값 등에 대한 임계 수준 관리를 포함하였다. 이는 중대 재해 예방을 위해 반드시 포함해야 할 항목이다. 본 연구의 방향은 스마트공장의 환경적인 요소를 대상으로 에너지관리, 안전관리 및 비용 절감을 주요 항목으로 설정하며, 이는 IoT 센서 기술을 산업 현장에 적용하기 위한 초석이 되는 중요한 첫걸음이다. 여전히 중소·중견기업의 현장 담당자와 경영자들이 수익과 직결되는 시스템에 치중하면서 환경적인 기반구조에 대한 관심을 소홀히 하는 경향이 있다. 따라서 본 연구가 중소·중견기업의 경영 책임자들이 ESG 경영을 실제 구현해 나가는 데 있어서 에너지를 포함한 다양한 IoT 센서를 통한 환경 지표들을 실시간 관리하고 활용하는 데 도움이 되길 바란다.

관련 연구

먼저 IoT 센서의 종류와 센서 인프라 구축사례를 살펴보았다. 다양한 센서의 종류를 살펴보고 기업 환경별로 요구되는 센서를 선정하는 것이 선제적으로 필요하다. IoT를 활용한 에너지 모니터링과 분석이 재난을 사전에 예방하고 안정성 향상에 기여함을 관련 사례를 통하여 확인하였다. 또한, 기업의 효용 가치 향상 측면에서 IoT 인프라 투자가 ESG 경영의 환경/안전/에너지관리 측면에도 기여함을 확인하였다. 본 사례 연구에서는 IoT 인프라를 구성하는 센서의 종류와 IoT의 주요 무선통신 기술인 LoRa를 통한 사례 및 한정된 공간인 데이터센터의 감시시스템 사례, IoT 기반 실시간 에너지 사용에 관한 연구 등을 조사하였다.

센서의 종류 및 적용 통신기술

IoT 통합 모니터링 환경 구현을 위해 먼저 센서의 종류와 역할을 살펴보는 것이 필요하다. 또한, 대상 환경의 모니터링 필요사항을 정리하고 그 효과를 분석해 보는 것이 순서이다. 오늘날 산업현장에 적용하는 센서를 매우 다양하며, 그중에서 많이 적용하는 센서의 종류를 살펴보면 다음과 같다. 대부분의 센서 종류는 다음의 범주 즉, 광 센서, 온도 센서, 압력 센서, 초음파 센서, 자기 센서, 습도 센서, 가스 센서, 유량 센서, 변위 센서, 자동화 센서, 비전 센서, 스마트 센서, IoT, 바이오 센서들 중 하나에 해당한다(Kim, 2023).

주요 적용 통신 기술들은 LoRa, MQTT, WiFi와 같으며, 연관 네트워크 기술은 LoRa LPWAN(Low Power Wide Area Network)으로 광역, 대규모의 센서를 접속하기 위해 IoT를 구현하기 위한 저전력 장거리 무선네트워크 기술이다(Kim et al.,

2018). 특히 LoRa(Long Range)는 IoT(Internet of Things), 즉 사물인터넷을 구현하는 대표적인 프로토콜이다. 다양한 네트워크 기술이 활용되고 있으며, 상호 보완적인 관계를 통하여 IoT를 구현하고 있다. 그중에서도 LoRa는 저전력, 광대역이라는 장점과 함께 낮은 비용으로 구현할 수 있어 대규모 IoT 네트워크 구축에 유리하다. IoT 시스템의 이해를 위하여 대표적인 주요 프로토콜별 특징을 살펴보면 다음과 같다.

MQTT(Message Queuing Telemetry Transport)는 M2M, IoT 통신에 사용되는 ISO/IEC 20922:2016 표준(ISO/IEC 20922:2016 Information technology - Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) V3.1.1”. June 15, 2016) 기반의 가벼운 메시징 프로토콜이다(Ko et al., 2018).

LoRa망 구축을 통한 해외 공공 서비스 사례

센서들을 통하여 수집한 데이터를 효율적이고 경제적으로 중앙에 전달하는 프로토콜 또한 중요하다. 이에 IoT 기술의 한 축을 담당하고 있는 LoRa 통신 기술을 적용한 국가별 활용 사례를 고찰하였다(Mah, 2019; Park et al., 2023). 다음은 유럽의 공공인프라 기반의 IoT 사례 대한 것이며, 요약하면 Table 1과 같다.

Table 1. Examples of overseas LoRa services (Mah, 2019)

국가	활용 사례	국가	활용 사례
네덜란드	수해 감시 - 수위감시, 농작물 도난방지 등	루마니아	가로등 제어 - 스마트 가로등 제어 서비스
벨기에	가스 검침 - 스마트 미터링	크로아티아	수자원 및 전기자원 관리 - 기업, 농업생산
프랑스	IoT 서비스 - 폐기물양, 제설 작업, 폭염 통보	아일랜드	도어개폐 모니터링 - 항만컨테이너
헝가리	가로등 관리 - 밝기 조절, 원격제어	불가리아	스마트 도시 - 물 소모량, 주차공간 탐색 등
에스토니아	스마트 선착장 - 방파제 조명 조절, 무단 활동	스코틀랜드	위치 추적 - 치매환자 행동, 쓰레기차 위치
스위스	스마트 주차 - LoRa 스마트 파킹 시스템	핀란드	전력 분석 - 도시 전력 분석
체코	스마트 벤치 - 소음 센서값, 비상 버튼	스페인	물측정 - LoRa망 이용 물 측정기
영국	스마트 주차 - 대기 오염 및 연료 비용 줄임		

국내외 공공 LoRa적용 사례는 도시 환경을 개선하고 편리하게 하는 부분도 있지만 수해 감시, 낙뢰 감시, 수질 감시와 같은 안전에 대한 부분이 다수 포함되어 있다.

센서를 통한 통합 감시시스템 관련 연구

통합 감시시스템의 범주에서 본 의제를 살펴보았다. 데이터센터 환경을 위한 통합감시시스템 구축(Choi, 2013; Choi et al., 2015)에 관한 연구는 위험을 조기에 발견하고 즉시 통보하는 체계에 관한 것이다. 기업 또는 조직의 가장 중요한 정보자산을 저장하고 서비스를 하는 전산 설비들이 모여 있는 데이터센터의 보호를 위한 감시는 안전 모니터링을 위한 중요한 행위이며, 이에 대한 지속적인 연구는 현재도 진행형이다. 다양한 센서 구성과 발전된 네트워크 인프라를 통하여 기업의 다양한 기반시설에 확대 적용할 수 있다. IoT 기반의 실시간 에너지 사용 데이터 수집(Hwang, 2019)과 관련된 연구에서 확장된 공간을 배경으로 센서를 통한 정보 수집에서 전송 및 저장, 분석에 이르는 시스템 아키텍처를 체계적으로 연구하였다.

센서 장치 기반 에너지 모니터링 연구 사례

센서를 기반으로 인체의 움직임 또는 주변 환경(온도/습도)에 따른 에너지 효율화 연구는 상당한 연구가 진행되어 왔고, 빌딩의 화장실, 회의실 등에 다양하게 적용되고 있다. 특히, 공공기관 등의 화장실에는 인체 센서를 통한 전등 점등, 소등으로 에너지 절감 체계를 갖추어 가고 있으며, 외부의 날씨 정보 및 조도 정보에 연동하여 자동으로 조명의 조도가 조절 되도록 구현하는 사례가 늘고 있다. 연구 사례로 미팅룸의 조명, 빔프로젝터, 전동 커튼 제어에서 인체의 움직임을 감지하여 미팅룸을 제어하는 경우 편의성과 에너지 절감의 목적을 동시에 달성하려는 시도가 의미가 있다(Um et al., 2014). 다만, 해당 연구는 Zigbee 통신을 기반으로 하고 있으며 최근의 IoT는 Bluetooth, Zigbee, LoRa를 포함한 다양한 무선 센서 네트워크를 활용하고 있다. 최근의 기술은 원거리, 대규모 센서 네트워크 구현이 가능한 LoRa 네트워크를 핵심으로 하며, 안정적인 유선망과 고속의 LTE 또는 5G 망을 기간망으로 통합 구성할 수 있다. LoRa, Zigbee와 같은 IoT를 위한 무선통신 프로토콜의 선택은 현장의 상황에 맞게 선택하여 구성하는 것이 효율적이다. 최근에는 지속적인 연구와 개발이 이루어지면서 이종의 네트워크와 프로토콜을 통합 구성하며, 다양한 유무선 네트워크의 통합 구성은 공간적인 확장과 비용 절감에도 크게 기여한다. LoRa 기반 실내 공기질 모니터링, 환기를 통한 근무환경 개선 사례에 대한 2022년 연구에 따르면 실내 공기질 알림 발송에 따라 근로자의 자발적 환기를 유도함으로써 실내공기 오염시간이 31% 수준 감소하는 결과를 확인하였다(Kim et al., 2022). 단지 공기질을 모니터링하고, 상태를 알려주는 행위만으로도 상당한 개선의 효과를 가져올 수 있음을 증명한 사례이다. 기타의 사례로 IoT 센서를 활용하여 움직임을 감지하여 출입현황을 감시, 방문객 재실 여부 모니터링에 적용하는 연구가 있다(Shin et al., 2019). 블루투스를 이용하여 스마트공장의 환경 모니터링 시스템을 구성한 사례(Lee et al., 2021)가 연구되었으나, 짧은 무선통신 조건에 한하여 적용할 수 있을 것으로 본다.

이와 같이 본 논문과 관련된 연구조사를 통하여 유사한 사례의 구현과 기대효과를 확인할 수 있었다. LoRa 네트워크를 통한 다양한 구축사례 연구를 통하여 공공분야, 스마트공장, 빌딩 등에서 센서 네트워크를 활용하고, 에너지 모니터링, 에너지 절감, 위험 감지, 위험 예방의 효과를 가져오고 있다. 센서를 통한 실시간 환경 데이터(온도, 습도, 진동 등의 정보)를 수집하고 서버에 전송하는 것은 새로운 형태의 의사소통 수단(Cho, 2017)으로서도 의미가 크다. 또 다른 연구 사례에서 보면 에너지 관리와 LoRa 네트워크를 통한 건물 전체의 온도 및 각종 장비의 동작 상태를 모니터링 하는데 있어서, 기존 관련 연구에서 확인한 에너지 관리 / 절감과 위험의 예방에 대하여 높은 기대효과를 나타내고 있다. 작업자의 안전을 위한 스마트 안전관리 시스템의 중요성 연구(Kim et al., 2019)에서도 재난안전에 대한 IoT의 역할을 제시하고 있다. 위험의 사전예방과 안전성 향상에의 기여가 기업의 경영 활동에 있어서의 매우 중요한 요소이며, 지속 가능한 계속기업을 위하여 반드시 필요하다.

본론

스마트공장의 에너지관리 및 안전성 향상 연구를 위해 본 논문의 실증연구 과정은 A 기업을 대상으로 2021년부터 2023년까지 3개년 동안 관찰하였다. 여기에서 확보한 데이터를 분석한 자료를 바탕으로 연구목적인 에너지 절감과 안전성 향상 측면의 유효한 결과를 도출하기 위하여 디지털 전력량계와 온도 센서, 먼지 센서, 압력 센서, 무전압 점점 센서를 선정하였으며, 이들 센서로부터 수집된 정보를 분석함으로써 Table 2의 역할과 기대효과를 도출하였다. 세부적으로는 생산현장(조립라인), 사무환경(사무실), 설비환경(에폭시 디스펜서의 주재 탱크)에 대해 각각 LoRa 통신 모듈을 적용한 온도 센서를 설치하였으며, 주요 항목별 에너지 사용량 파악을 위하여 디지털 전력량계를 통하여 실시간 전력 정보를 수집하였다. 화학물질 취급 및

보관 장소의 경우 가스 센서 등 보다 적합한 센서를 선정하여 능동적인 모니터링을 할 것을 권장한다. 이는 기업의 안전성 향상과 현장 종사자의 안전보전에 관한 사항으로도 중요하며, 화학물질 누설에 따른 사고를 미연에 방지하는 데 필요하다.

IoT 센서의 역할과 기대효과

본 연구를 위하여 현장에 구현한 지표로서의 주요 IoT 센서의 역할과 기대효과는 Table 2와 같다.

Table 2. Role and expected effects of each case implementation sensor

센서의 종류	주요역할	기대효과
디지털 전력량계	각 분전반 전력량 모니터링	단위별 전력사용량 관리
온도 센서	근무환경 온도 건조용 챔버 온도 에폭시 주재 탱크 온도 에폭시/경화제 공정 온도 모니터링 창고 실시간/기간 온도 모니터링	실내외 온도 관리를 통한 냉난방기 가동 기준으로 활용 건조장치 온도 관리를 통한 품질관리 기초 데이터로 활용 화학물질(에폭시) 탱크 온도 실시간 모니터링 에폭시 작업공정 온습도 관리 및 로그 기록을 통한 품질관리 부품/제품 창고 온습도 실시간 모니터링
먼지 센서	미세먼지 센서	근로환경 실내 먼지 농도 모니터링으로 근로 환경 개선을 위한 지표로 활용하며, 현장의 분진의 정도를 알 수 있음.
압력 센서	공기 압력 센서	공기압축 장치의 에어탱크 압력 상태 모니터링으로 적절한 공기압의 유지 확인과 장애 유무 확인, 불필요한 시간대의 가동제어를 통한 에너지 절감
기타	Dry-Contact DC Voltage Door Sensor	공기압축 장치 마그네트 작동 감시 DC 입력 전압 모니터링 중요시설 출입문 개폐 여부 감시

제조 현장의 환경 데이터는 센서를 통하여 수집되고 서버로 보내져서 분석한다. 생산 품질에 대한 검사 판정(Kim et al., 2015)하는 사례는 스마트공장을 구현하고 운영하는 좋은 방법 중의 하나이다. 특히 연속 생산 공정이나 특정 품목에 대하여 지속적인 생산 및 검사가 이루어지는 공정에서 경제적 기대효과가 크게 나타난다.

에너지 및 환경 정보의 통합 모니터링을 통한 비용 절감 효과 분석

에너지관리 및 온도/압력/기계 동작과 같은 요소들을 통합적으로 모니터링하는 것은 기업의 주요 정보인 에너지 및 환경적인 수집을 통하여 비용 절감을 위한 대응을 할 수 있을 뿐만 아니라 안전성 향상에도 크게 기여한다. Fig. 2 및 Fig. 3의 환경감시 소프트웨어 화면(Sisnetinfo Inc.)은 본 연구에서 수집한 정보를 잘 표현하도록 조정하고 화면 구성을 재배치하였다. 연구 대상 A기업의 에너지관리에 관한 주요 항목은 건물의 가동 냉난방기, 승객 및 화물 엘리베이터, 생산설비, 전등 및 업무용 전원, 전기동력, 배터리 충전설비이며 연간 소요 전력비용은 2023년 기준 월평균 380만 원으로 나타났으며, 에너지 사용량은 월평균 20,000kWh이다. 부하별 전력소비량과 유효전력의 관리를 통하여 에너지 절감 방안 수립은 물론 과부하에 대한 위험 요소도 예방할 수 있다. 이에 다음의 실제 구현 사례 연구를 기준으로 도출한 결과를 살펴보자.



Fig. 2. Information of energy and environment

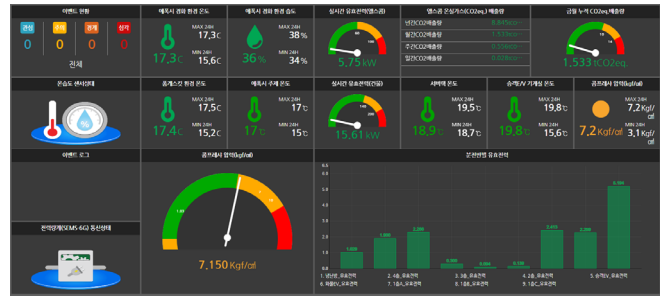


Fig. 3. Safety management through environmental monitoring

에너지관리 영역의 설계

분전반의 배선용 차단기(MCCB, Molded Case Circuit Breaker)별 전력사용 모니터링을 위하여 냉난방기, 엘리베이터, 제조설비와 같은 항목별 대상을 분리하도록 설계하였다. 설계 방식은 메인 변전시설에서 분기되는 차단기별로 변류기를 설치하여 수집 데이터를 전송함으로써 분산된 현장의 분전반에 전력량계를 설치하는 경우 발생하는 비용 발생의 수준을 낮추었다. 이는 공사 기간, 설치비용, 소요 장치 비용을 줄이는 효과가 있어서 경제적인 측면과 관리적인 측면에서 높은 이점이 있다.

전력사용의 위험 수준 관리

유효전력 모니터링을 통한 전력사용 위험 수준 관리를 구현하였다. 분전반 기준 최대 유효전력 수준을 관리하여 과부하에 따른 전력 차단 위험을 사전에 방지하는 것이 중요하다. 전력사용 통제를 하지 않은 상태에서의 차단기 트립 사고 사례를 통해 전력사용 수준 모니터링이 얼마나 중요한지 알 수 있다. A 사 냉난방기 메인 차단기 용량은 380V 3상 250A로 설치되어 있으며, 이때 A 사 냉난방기(산업용 8대, 사무용 10대)의 부하시 운전전류는 실외기 난방 시 운전 전류 131.5A(26.3A/대, 5대), 산업용 냉난방기 실내기 운전 전류 18.4A(2.3A/대, 8대), 사무실 난방 시 운전 전류 42A(4.2A/대, 10대), 공기압축장치 운전전류 11.2A(5.6A/대, 2대)이다. 이에 분전반에 부하를 주는 사용 난방 운전 전류는 공기압축장치를 포함하여 203.1A이다. A사의 경우 동절기(2021년 12월) 메인 분전반의 배선용 차단기가 과부하에 의해 내려갔는데, 차단기 용량의 80%인 200A 값을 일정시간 넘어섰기에 때문이다. 이와 같이 동절기 난방기 동시 사용에 의한 차단기 트립 현상은 연구 대상 기업 뿐만 아니라 다수의 환경에서 나타날 수 있다. 사례연구 기업의 냉난방용 전원 차단기가 과부하에 의해 트립이 되는 사고가 발생한 것은 차단기 용량과 냉난방기의 총 부하를 상호 고려하지 않은 결과이다.

모니터링의 목적은 유효전력 수준의 위험 관리를 위하여 냉난방기의 부하전력 수요량과 차단기 용량을 비교하여 임계 유효전력에 도달할 시 트립의 위험을 사전 공지함으로써 전기 안전사고를 사전에 예방하고 적정 기준의 설정을 통하여 에너지 절감에도 기여할 수 있다. 본 연구사례의 경우에는 하절기 및 동절기에 각 층별 냉난방기 가동 지침을 명확히 함으로써 에너지 절감과 사고 예방의 두 가지 목적을 동시에 달성하도록 하였다. 전력 부하 설계의 오류에도 불구하고 동일 공간에서 두 대를 초과하는 냉난방기 동시 가동이 필요한 경우에는 전기안전 관리자의 지침을 받도록 하였으며, 적정한 냉난방기 가동 기준을 지키도록 하여 과부하에 따른 전기안전 사고를 예방하도록 하였다. 제조기업의 전기 안전 관리는 특히 중요하다. 가동 중인 기계설비의 안정적인 전원공급은 근로자의 안전에도 필수적이며 기업의 설비자산에 대한 고장방지 및 생산성 유지에도 주요한 항목이다.

Table 3. Analysis of power demand for charging

분전반	MCCB 용량(1) 변전소저압부	MCCB 용량(2) 브랜치분전반	충전기 수량(개)	충전기당 소요전력(kW)	최대부하전력 (충전기정격)	부하율	실제부하전력
1A	75A	75A	80	0.4kW	32kW	50%	16kW
1B	75A	75A	0	0	0	0	0
1C	150A	150A	900	0.4kW	360kW	50%	180kW

Table 3은 대상 부하측 분전반의 총수요 부하전력 대비 공급 가능 용량을 비교하였다. 부하와 공급에 대한 차단기별 임계치 관리를 통하여 전력 사용 경고 및 안전사고 예방을 위하여 배선용 차단기를 적정 용량을 설치하는 것과 함께 상시 사용 모니터링을 하는 것이 중요하다.

유효전력 모니터링과 안전성 향상의 관계는 밀접한 상관관계가 있다. 에너지 관리에 있어서 사용 전력량을 관리하고, 에너지 사용 절감을 위하여 낭비요소를 발견, 개선하는 것 또한 중요하며, 이때 유효전력 및 피크전력의 관리를 통하여 사고를 사전에 예방할 수 있다. Fig. 4는 분전반 별로 공급되는 전력의 유효전력 값을 그래프로 나타낸 변화 그래프이다.



Fig. 4. Real-time active power monitoring (based on the load of three distribution boards)

Fig. 4에서와 같이 분전반 A, B, C의 유효전력(차단기 용량) 값은 최대 A=30kW, B=8kW, C=33kW이며, 3개 분전반의 사용 유효전력의 최대값 합은 71kW이다. 본 연구에서는 수전 전력 290kW를 9개 분전반으로 나누어 공급하며, 산술 할당량 97kW 대비 73% (71 ÷ 97)를 점유하고 있다. 이때 유의할 점은 각 분전반 별 실시간 유효전력의 합이 수전 전력보다 낮아야 한다. 모니터링에서 중요한 것은 주의 및 심각 단계에 대한 임계치의 설정과 이의 통보체계이다. 전력 모니터링은 국가 및 공공 전력관리뿐만 아니라 제조 공장에서도 마찬가지로 중요하다.

냉난방기 사용 시 요구되는 유효전력의 경우 외부요인인 너무 높은 온도 또는 너무 낮은 온도에 대해 실내온도를 유지하기 위하여 Fig. 5와 같이 요구 유효전력이 급격히 변화하게 된다. A 사의 경우 2021년 12월, 공장동에 있는 층별 냉방기기를 모두 가동한 후, 메인 차단기가 내려가는 사고를 경험하였다. 차단기 용량보다 부하측의 냉방기 총 수요량이 크기 때문에 일어난 사고였으며, 전력사용 모니터링을 하기 이전에 발생한 본 전력사고에 대비하여 실시간 유효전력 모니터링을 통하여 위험 수준의 부하전력 발생 시 긴급 공지하고 과도한 전력 부하가 발생하지 않도록 모니터링 및 통보체계를 세우도록 하였다. 긴급 통보체계는 SMS 문자, E-Mail, 전화와 같은 위험정보 전달 방식을 사용하며, 즉시성과 동시 전송이 가능한 문자(SMS) 전송 방식을 권고한다.

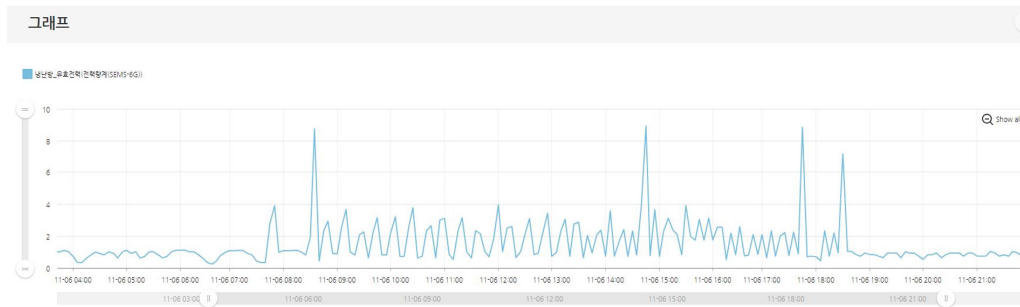


Fig. 5. Graph of cooling and heating active power monitoring

장치 가동 제어를 통한 에너지 비용 절감

공기압축장치(컴프레서) 가동 제어를 통하여 비용을 절감하였다. A 기업의 경우 5마력 공기압축장치 2대를 병렬로 연결하여 공장에 에어를 공급하는 구성에서 압축공기 누설에 따른 손실 에너지의 절감 방안을 마련하였다. 먼저, 공기압축장치의 가동 패턴 분석하였으며, 사례 기업의 경우 평균 43분에 1회 공기압축장치가 작동되며 원인은 공기압축장치에서 최종 단말까지 총 40 여개의 배관 연결 및 단말 밸브로 구성되어 있다. 설정된 공기압축장치의 7kgf/cm²의 압축 공기압에 대하여 미세한 Leak에 의해 지속적으로 공기가 누설되는 영향을 미치며, 배관 접속 부위들을 각각 점검하였으나, 공기 누설을 완전 차단하지는 못하였다. 공기압축장치 작동 시간 간격은 평균 43분당 1회이며, 이는 매일 33회~34회의 공기압축장치 작동이 지속적으로 발생, 연간 12,000여 회의 공기압축장치 작동이 발생한다. 약 6kgf/cm² 수준에서 7kgf/cm²로 공기를 압축하는 일을 반복적으로 작동하게 되며, 이러한 패턴을 센서를 통하여 추적, 확인하였다. 사용 센서는 무전압 접점을 통한 마그네트 작동감시 및 압력센서를 통한 공기압 수준을 감시하였다. 공기압축장치는 공기압 6kgf/cm² 수준에서 자동으로 공기압축장치가 작동하여 7kgf/cm²에서 멈추도록 설정되어 있다. 24시간 공기압축장치 내부 압력 변화는 Fig. 5와 같다.

Fig. 6의 그래프에서 보는 바와 같이 많은 배관 접속 및 최종 단말부의 확인되지 않은 압축공기의 누설로 공기압축장치용 탱크의 공기압이 저하되는 현상으로 일 33회~34회의 공기압축장치가 작동한다. 일과 후 에어공구 및 설비를 운영하지 않는 A 기업 현장의 특성을 반영하여 개선된 공기압축장치 작동 패턴은 일일 33회에서 12~13회로 감소하게 되었다. Fig. 7은 전력 모니터링 후, 개선책으로 타이머를 설치한 결과 63%의 작동 횟수 감소로 공기압축을 위한 실질적으로 공기압축장치 작동에 의한 전력에너지 손실의 감소 효과를 가져왔다.

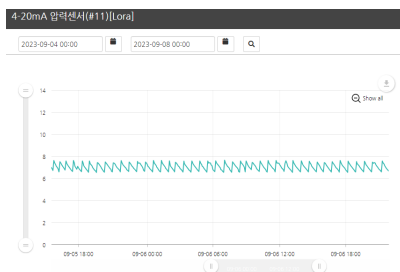


Fig. 6. Hourly change in operating status of compressor (before applying timer)

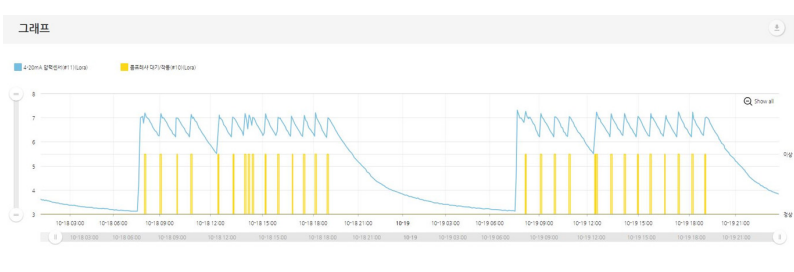





Fig. 7. Hourly operation and pressure status changes of the compressor (after applying the timer)

에너지 절감 및 안전성 효과

본 절에서는 온도 데이터 모니터링에 따른 에너지 절감 및 안전성 향상 효과를 제시한다. 온도 데이터 수집을 위하여 세계의 주요 지점에 대하여 모니터링을 실시하였다. 첫째, 제조/물류의 주요한 요소 중의 하나인 창고에 대해 온도센서를 설치하였다. 둘째, 건물의 주요 인프라 중 하나인 엘리베이터 기계실의 온도관리를 포함시켰다. 셋째, 기업의 IT 인프라의 중심인 전산실 서버랙 온도이다. Table 4는 세가지 주요 거점의 수집 온도 데이터에 대한 주요 역할 및 시사점을 나타낸다.

Table 4. The role and implications of temperature data collection

구분	로그 데이터(그래프)	주요 역할 및 시사점
자재창고		자재 창고의 온습도 관리는 제조 기업의 주요자산 보호에 중요한 사항이며, 하절기높은 온도 및 동절기 너무 낮은 온도에 자재의 품질이 영향을 받지 않도록 관리하는 것이 중요하다. 습도에 의한 물성 변화 및 자재 손상을 방지하기 위하여 적정 습도를 유지하는 것은 자재 및 제품 재고자산의 치명적 손상을 방지하는 주요한 행위이다
엘리베이터 기계실		엘리베이터 기계실의 온도 관리는 엘리베이터 사용자의 안전과 관련이 있다. 높은 온도에 의한 제어 시스템의 오류 발생은 엘리베이터의 고장을 초래하며, 인명사고의 위험과도 연결될 수 있으므로, 주요 안전사고 관리 대상으로 환경에 대한 모니터링이 요구된다.
서버랙 (전산실)		데이터센터의 온습도 관리 및 서버랙의 온도 관리는 정보시스템 운용에 있어서 주요한 항목중 하나이다. 지속적인 정보시스템 서비스 유지는 운영 주체의 생산성에 지대한 영향을 미치며 안정적인 기업활동을 위하여 반드시 필요하다. 많은 중소기업들이 낙후된 환경에서 서버시스템을 관리하고 운영하고 있는 것이 현실이다. 이때 중요한 것은 항온항습 환경 뿐만 아니라 안정적인 전원 공급 및 먼지와 같은 요인들을 제거하는 것이 중요하다.

결론

본 연구에서는 스마트공장의 일환으로 기업 및 공장에 적용할 수 있는 에너지관리 및 LoRa 센서 네트워크를 이용한 안전성 향상 체계를 정립하였다. 또한, 이를 위하여 LoRa 센싱모듈, LoRa 통신모듈, LoRa 게이트웨이 보드를 개발하였다. 디지털 전력량계와 LoRa 망을 이용한 센서를 현장에 설치하여 통합 모니터링을 통한 데이터를 분석하고 에너지 관리 및 비용 절감, 위험 감시 및 상황 전파 체계를 구현하였다. 본 연구는 실증적이고 즉시 기업에 적용할 수 있는 필수 요소의 선정 및 관리를 통하여 ESG 경영의 에너지 관리, 환경적인 요소의 감시, 안전성 향상 뿐 아니라 비용절감의 데이터를 도출하였다. 이에 기업의 실질적인 에너지 비용 절감과 위험 예방 체계 구현으로 스마트공장의 성공에 기여하였다. 본 연구는 다양한 센싱 데이터와 네트워크 통합이라는 이슈에 보다 쉽게 접근하고 실증 구현함으로써 다양한 형태의 센서 모니터링을 낮은 비용, 높은 효율성이라는 목표를 이룰 수 있었다. 본 연구의 결과가 많은 제조 기업에 참조가 되어 에너지 절감 뿐만 아니라 각종 사고를 미리 감지하여 위험 요소를 제거하고 안전한 현장관리가 되기를 바란다.

References

- [1] Cho, Y.J. (2017). "Factory of things platform based on IoT." Korean Society for Precision Engineering, Fall Conference Papers, Gonjiam Resort, Gwangju-si, pp. 388-388.
- [2] Choi, W.H. (2013). The Study on the Design of the Data Center's Integrated monitoring System. M.S. Dissertation, Pukyong National University.
- [3] Choi, W.H. (2015). "The study on the design of the integrated monitoring system of facilities in data center." Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, Vol. 19, No. 4, pp. 909-916.
- [4] Hwang, H.S. (2019). "A development of real-time energy usage data collection and analysis system based on the IoT." Journal of Korea Multimedia Society, Vol. 22, No.3, pp. 366-373.
- [5] Kim, D.N. (2022). "Working environment improvement using LoRa-based real -time indoor air quality (IAQ) monitoring and ventilation alarm system." Korea Communications Society, Winter Conference, Pyeongchang Alpensia Resort, Pyeongchang, pp. 1354-1355.
- [6] Kim, H.J., Kim, Y.J., Park, J.I. (2015). "The study of building the quality-data gathering and record management using IoT." Spring Joint Academic Conference, KORMS/KIIE/ESK/KSIE/KSS, Ramada Plaza Jeju Hotel, Jeju, pp. 4027-4034.
- [7] Kim, J.H. Park, W.J., Park, J.O., Park, S.H. (2018). "LoRa LPWAN sensor network for real-time monitoring and It's control method." Computational Structural Engineering Insitute of Korea, Vol. 31, No. 6, pp. 359-366.
- [8] Kim, J.O. (2023). Easy-to-understand Sensor Technology and Applications (2nd edition). Bokdu Publishing Company, Seoul.
- [9] Kim, S.Y., Kim, D.S., Moon, B.M., Oh, S.Y. (2019). "A study on IoT/ICT convergence smart safety management system for safety of high risk workers." Journal of the Society of Disaster Information, Vol. 15, No. 1, pp. 39-48.
- [10] Ko, J.W., Kim, H.J. (2018). "Factory environmental management system based on MQTT using LoRa." The Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 18, No. 6, pp. 83-90.
- [11] Lee, H.Y., Lee, S.J. (2021). "Smart factory's environment monitoring system using bluetooth." Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, Spring Conference Paper, Yeosu Sono Calm Hotel, Yeosu, Vol. 25, No. 1, pp. 224-226.
- [12] Mah, S.H. (2019). "LoRa technology analysis and LoRa use case analysis by country." The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 19, No. 1, pp.15-20.
- [13] Park, G.J., Kim, T.H., Chae, J.G. (2023). "A study of the monitoring model for the serious civil accidents." Journal of the Society of Disaster Information, Vol. 19, No. 4, pp. 834-843.
- [14] Shin, S.J., Kim, Y.J. (2019). "Implementation and performance evaluation of smart in-out status board system in IoT environment." KIISE Transactions on Computing Practices, Vol. 25, No. 4, pp. 238-250.
- [15] Sisnetinfo Inc., <http://www.sisnetinfo.co.kr/>
- [16] Um, D.J., Choi, J.I., Lee, I.G. (2014). "Development of sensor based energy management system." Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 28, No. 10, pp. 69-74.