

# 에너지 관리 시스템의 표준 동향 분석 및 표준화 방안

최 정 열\*

## Analysis of Standard Trends and Standardization of Energy Management Systems

JungYul Choi\*

요 약

에너지 관리 시스템을 활용하여 에너지 소비량을 감시하고 각종 설비의 운영을 최적화함으로써 에너지 절감과 에너지 효율화를 위한 노력이 진행되고 있다. 에너지 관리 시스템은 센서 및 계측기, 게이트웨이, 데이터베이스, 데이터 분석 및 예측, 시각화, 설비 제어 등 여러 요소 기술로 이루어져 있으며, 가정, 건물, 공장, 산업단지 등 다양한 분야에 활용되고 있다. 에너지 절감 및 효율화를 위한 노력이 실제로 확산될 수 있도록 국내외 표준화 기구에서 에너지 관리 시스템 관련 표준들이 개발되고 있다. 본 논문에서는 국내외 표준화 기구에서 개발된 에너지 관리 시스템과 관련한 표준 현황을 분석한다. 분석 결과를 토대로 향후 추진해야 할 표준화 추진 전략으로 1) 최신 IT 기술을 접목한 표준 개발 항목 도출, 2) 중점적으로 개발해야 할 표준 영역의 선정, 3) 국내 기술 기반의 국제 표준화 추진 방안, 그리고 4) 표준 특허 개발 방안 등으로 구분하여 제안한다.

**키워드** : 에너지 관리 시스템, 표준, 표준화 기구

**Key Words** : Energy Management Systems (EMS), Standards, Standards Development Organization (SDO)

### ABSTRACT

Efforts are being made to save energy and improve energy efficiency by monitoring energy consumption and optimize the operation of various facilities using energy management systems. Energy management systems consist of various component technologies such as sensors and meters, gateways, databases, data analysis and forecasting, visualization, and facility control, and are used in various fields such as homes, buildings, factories, and industrial complexes. Various standards related to energy management systems are being developed by domestic and international standards development organizations (SDOs) so that efforts to save energy and improve efficiency can be spread in practice. This paper analyzes the status of standards related to energy management systems developed by SDOs. Based on the analysis results, we propose the following strategies to promote standardization in the future: 1) deriving standard development items that incorporate the latest IT technology, 2) selecting standard areas to focus on, 3) developing international standards based on domestic technology, and 4) developing standard patents.

• First Author : Sungkyul University, Department of Computer Engineering, [passjay@sungkyul.ac.kr](mailto:passjay@sungkyul.ac.kr), 종신회원  
논문번호 : 202408-170-E-RN, Received August 10, 2024; Revised October 2, 2024; Accepted October 16, 2024

## I. 서 론

전 세계적으로 기후변화 대응과 에너지 안보가 중요한 과제로 대두되면서 효율적인 에너지 관리의 필요성이 강조되고 있다. 에너지 관리 시스템(EMS)은 이러한 요구에 부응하여 에너지 사용을 최적화하고 비용을 절감하는 동시에 환경 영향을 최소화하는 데 기여한다<sup>[1,2]</sup>. 특히 건물, 공장, 산업 분야에서 EMS의 도입이 확대되고 있으며, 이는 스마트 그리드 및 신재생 에너지와 연계하여 에너지의 효율화에 기여하고 있다<sup>[1,3]</sup>. 또한, EMS의 발전은 4차 산업혁명 기술과의 융합을 통해 더욱 가속화되고 있어, 그 중요성과 활용 범위가 계속해서 확대되고 있다<sup>[4,5]</sup>.

EMS는 다양한 기능을 통해 에너지 사용의 효율성을 극대화한다. 먼저, EMS는 실시간 모니터링을 통해 에너지 사용 패턴을 분석하고 이상 징후를 감지한다. 이를 통해 에너지 낭비 요소를 식별하고 에너지 절감을 가능케 한다<sup>[4]</sup>. 예측 알고리즘을 활용하여 에너지 수요를 예측하고, 이에 따른 에너지 공급 계획을 수립하도록 지원한다. 더불어 조직의 에너지 경영을 수립하고 지원하기 위한 핵심 자원으로 활용될 수 있다<sup>[6]</sup>.

EMS의 보편적인 활용을 위해서는 표준화가 필수적이다<sup>[7,8]</sup>. EMS는 다양한 기기와 요소들로 구성되며, 이들을 제조하고 운영하는 서비스업체가 다양하므로 이들 간의 상호운용성과 호환성이 중요한 과제이다. EMS 표준화와 관련된 주요 의제로는 수집 데이터의 형식화 등의 정보 모델, 시스템 구성에 관한 참조모델, 기능 요구사항, 그리고 성능 평가 지표 등이 있다<sup>[9,10]</sup>. 이러한 표준화 항목들은 시스템의 확장성, 유지보수 용이성, 상호연동성, 비용 효율성을 높이는 데 중요한 역할을 한다.

EMS 분야의 표준화는 기술 발전과 시장 확대를 위한 필수 요소이다. 표준화를 통해 시스템 간 호환성이 확보되면 사용자의 선택권이 넓어지고 시장 경쟁이 활성화될 수 있다. 또한, 표준화된 인터페이스와 프로토콜은 새로운 기술과 서비스의 개발 및 통합을 용이하게 하여 혁신을 촉진한다. 국제 표준에 부합하는 기술 개발은 국내 기업의 글로벌 경쟁력 강화에도 도움이 된다. 본 논문에서는 이러한 배경을 바탕으로 EMS의 국내외 표준 동향을 분석하고, 향후 중점적으로 추진해야 할 표준화 전략을 제시하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 EMS 기술을 소개한다. 이어서 3장과 4장에서는 국내외 국제 표준화 동향을 분석한다. 분석 결과를 토대로 5장에서는 향후 추진해야 할 EMS 표준화 추진 방안을 1) 최신

IT 기술 연계, 2) 중점 표준 분야 선정, 3) 국제 표준화 추진, 4) 표준 특허 발굴로 구분하여 제시한다. EMS 표준 개발을 통해 국내 산업 육성은 물론 국제적인 경쟁력 강화에 기여하고자 한다.

## II. 에너지 관리 시스템

에너지 관리 시스템(EMS)은 정보통신기술을 활용하여 에너지 소비량을 감시 및 관리함으로써 에너지를 효율적으로 활용하도록 지원하는 시스템이다<sup>[1,2]</sup>. EMS는 에너지 소비를 최적화하여 비용을 절감하며, 환경 영향을 최소화하도록 한다. EMS는 실시간 에너지 모니터링, 데이터 분석, 예측 알고리즘을 통해 에너지 사용 패턴을 파악하고 에너지를 절감 방안을 도출하도록 한다<sup>[4,10]</sup>. 또한 EMS는 에너지 생산, 저장, 소비의 과정을 통합 관리함으로써 전체 시스템의 효율성을 향상시키도록 한다. EMS는 조직의 에너지 경영을 위한 핵심 자원으로 활용될 수 있다<sup>[6]</sup>.

EMS는 다양한 요소 기술들로 구성된다. 에너지 소비량, 환경 정보, 설비 운용 정보 등을 수집하기 위한 센서 및 계측기, 수집한 데이터의 전달을 위한 게이트웨이 및 내부 네트워크, 수집 데이터의 저장을 위한 데이터베이스, 데이터 분석 및 예측 엔진, 시각화, 설비 제어 등 여러 기술 요소들을 포함한다<sup>[2,11]</sup>. 수집할 데이터에 따라 다양한 센서 및 계측기가 있으므로 EMS에서 이들을 식별하기 위한 식별 체계 및 정보 모델이 필요하다<sup>[9]</sup>. 계측기 및 설비 정보 등을 위한 관계형 데이터베이스 외에 실시간으로 수집되는 데이터를 고속으로 처리하기 위한 시계열 데이터베이스를 구축할 필요가 있다. 에너지 소비 패턴을 분석하고 최적의 운용 상태를 예측하기 위한 인공지능 및 머신러닝 알고리즘이 필요하다. 예측 및 최적화 모델은 미래의 에너지 수요를 예측하고 효율적인 에너지 사용 계획을 가능하게 한다<sup>[12]</sup>.

EMS는 다양한 분야에 활용된다. 가정에서는 스마트 홈 시스템의 일부로 가전제품과 에너지 사용을 최적화할 수 있다<sup>[11]</sup>. 주로 전기 에너지를 대상으로 부하별 에너지 소비량 및 시간대별 에너지 사용을 최적화하도록 한다. 상업용 건물에서는 실내의 쾌적한 환경을 제공하면서 냉난방, 조명, 엘리베이터, 취사, 전산, 급탕 등에서 소비되는 에너지의 사용을 최적화하는데 사용될 수 있다<sup>[9]</sup>. 재생에너지를 활용하는 경우 에너지 저장 시스템과 연계하여 활용될 수 있다<sup>[13]</sup>. 공장에서는 유틸리티 설비 및 생산 설비에서 소비되는 에너지를 감시하고, 에너지원단위 분석을 통한 에너지 효율 향상은 물론 에너지 경영을 지원하기 위해서 사용될 수 있다<sup>[10]</sup>. 생산

제품과 공정에 따라 소비되는 에너지원이 다양하고 제품의 생산성이 제고되어야 하므로 에너지 절감은 물론 공정 및 계통의 효율화가 중요하다. 지역사회 또는 도시 차원에서는 교통, 수도, 전력망 등 사회 인프라와 연계되어야 하며, 스마트그리드와 연계하여 건물들의 에너지를 관리할 필요가 있다<sup>14)</sup>.

EMS는 설치 대상 및 활용 목적에 따라 현장 또는 클라우드 상에서 구현될 수 있다<sup>10,15)</sup>. 감시해야 할 대상이 소규모인 경우에는 데이터 수집을 위한 최소한의 기능만 현장에 구현하고 에너지 관리 및 효율화를 위한 주요 기능은 클라우드 상에서 구현할 수 있다. 현장에 에너지 관리자가 없거나 다수의 지역에 감시 대상이 분산된 경우에도 클라우드 기반의 원격 감시 및 중앙 관리를 할 수 있다. 마이크로서비스로 구현하여 확장성 및 유연한 자원 관리가 가능하다<sup>15)</sup>. 현장에 충분한 인적 자원과 IT 자원을 운용할 수 있고, 외부로의 데이터 유출이 우려되는 경우에는 현장에 에지 컴퓨팅 등을 이용하여 구현될 수 있다.

### III. 국내 표준화 동향 분석

EMS 분야의 국내 표준 개발 현황을 국가 표준(KS)<sup>1)</sup>, 단체 표준, 그리고 포럼 표준을 통해서 분석해본다. 에너지 분야의 단체 표준은 한국정보통신기술협회(TTA)의 정보통신표준화위원회 산하 PG424(스마트 에너지/환경 프로젝트그룹)에서 주로 개발하고 있다<sup>2)</sup>. 에너지 분야의 포럼 표준은 스마트그리드협회의 스마트그리드 표준화포럼(SGSF)에서 주로 개발하고 있다<sup>3)</sup>. 최근에 개발된 EMS 관련 표준을 가정, 건물, 공장, 도시, 데이터센터 등의 분야별로 구분하여 살펴본다.

홈 에너지 관리 시스템(Home EMS, HEMS) 분야의 표준으로는 소비자 EMS와 전력관리시스템 간의 인터페이스 (KS C IEC TR 62746-2,3), ZigBee 기반 HEMS 응용 프로토콜 (TTAK.KO-04.0214), 스마트그리드 HEMS 참조 모델 (TTAK.KO-04.0132), 사용자 위치 기반 HEMS (TTAK.KO-01.0215), 주거 공간 EMS (SPS-SGSF-053-1-1,2) 등이 있다. 건물 에너지 관리 시스템(Building EMS, BEMS) 분야의 표준으로는 BEMS 기능 및 관계점 선정 (KS F 1800-1,2), 개방형 BEMS 서비스 프레임워크 참조 모델 (TTAK.KO-04.0163), M2M 기반 건물 에너지 관리 서

비스 요구사항 (TTAK.ET-TR 102 935), 에지 컴퓨팅을 활용한 클라우드 기반 건물 에너지 관리 서비스 (TTAK.KO-10.1363-Part1,2,3), BEMS를 위한 프로토콜 관리 체계 (TTAK.KO-10.1441-Part1), 에너지와 비에너지 데이터 융합 기반 사용자 맞춤형 에너지 관리 플랫폼 (TTAK.KO-10.1504-Part1), 공동주택 열에너지 데이터 플랫폼 (TTAK.KO-10.1439-Part1) 등 다양하게 개발되어 있다. 공장 에너지 관리 시스템(Factory EMS, FEMS) 분야 표준으로는 에지 컴퓨팅을 활용한 클라우드 기반 공장 에너지 관리 서비스, ICT 제조 융합 분야 전기 에너지 관리(TTAK.KO-10.0838-Part1, 2,3), FEMS와 산업단지 마이크로그리드 EMS 간 정보교환(KSGA-023-1-1,2), FEMS 참조모델 및 데이터 플랫폼(KSGA-023-2-1~4) 등이 있다. 도시 에너지 관리 시스템(City EMS, CEMS) 분야의 표준으로는 건축물 대상 도시 에너지 관리 플랫폼(TTAK.KO-10.1440-Part1,2), 스마트시티 에너지 플랫폼 정보모델 및 인터페이스(KSGA-053-1-1~4) 등이 있다. 한편, 에너지 다소비 시설인 데이터센터에 대한 표준은 국가표준으로 데이터센터의 에너지 효율 모니터링 시스템(KS X 4151-1,2)이 있다. 그린 데이터센터 구축 지침에 대한 표준도 기개발되었으나 최신 기술을 반영하여 현재 개정 중이다. 마지막으로 조직의 에너지 경영을 체계적으로 운영할 수 있도록 지침을 제공하는 에너지 경영 시스템에 대한 시리즈 표준(KS A ISO 50001, 50004, 50006, 50015)이 개발되어 있다. 분야별로 대표적인 국내 표준들을 표 1에서 제시하고 있다.

현재까지 개발된 EMS 관련 국내 표준들의 주요한 특징들은 다음과 같다. 국가 표준의 경우 국내의 기술에 기반한 표준보다는 국제 표준을 준용하거나 부합화하는 표준들이 상대적으로 많다. 국가 표준은 상대적으로 높은 수준의 강제성과 공공성이 요구되므로 특정한 세부 기술을 다루기보다는 보편적으로 사용될 수 있으며 산업 발전을 위해서 필요한 내용을 다루고 있다. 표준의 주요한 목적이 상호 간의 운용성과 공공성에 있으므로 에너지 관리를 위해서 필요한 기기 및 시스템 간의 인터페이스 규격, 에너지 데이터 모델, 시스템 개발을 위한 참조 모델에 관한 표준이 많이 개발되었다. EMS를 서비스로 제공할 경우 건물 상황을 고려하여 현장의 에지 컴퓨팅과 클라우드 컴퓨팅을 활용한 표준이 개발되었다. 전기, 열, 가스 등의 에너지 데이터 외에도 건물, 환경, 소셜 데이터 등의 비에너지 정보를 활용하여 건물 에너지를 관리하는 표준이 개발되었다. 공장은 생산되는 제품에 따라 제조 공정과 소비 에너지 공급을 위한 유틸리티 설비 등이 다양하고, 에너지 절감보다는 제품

1) <https://www.standard.go.kr/>

2) <https://committee.tta.or.kr/index.jsp>

3) <https://www.ksga.org/sgstandard/index.do>

표 1. EMS 관련 국내 표준

Table 1. Domestic Standards in EMS

| Areas           | SDOs | Standards                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Home (HEMS)     | KS   | KS C IEC TR 62746-2 Systems interface between customer energy management and the power management system - Part 2: Use cases and requirements<br>KS C IEC TS 62746-3 Systems interface between customer energy management and the power management system - Part 3: Architecture                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                 | TTA  | TTAK.KO-04.0214 Application Protocol for ZigBee-based Home Energy Management System<br>TTAK.KO-04.0216 Test Specification of ZigBee-based Energy Management System<br>TTAK.KO-04.0132: Reference Model for Smart Grid Home Energy Management System<br>TTAK.KO-01.0215: User Location based Home Energy Management Service                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                 | SGSF | SPS-SGSF-053-1-1-6212 Residential Energy Management System - Part 1: General Requirements<br>SPS-SGSF-053-1-2-6208 Residential energy management systems - Part 2: Information exchange requirements                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Building (BEMS) | KS   | KS F 1800-1 Building Energy Management System-Part1: Function and data processing procedure<br>KS F 1800-2 Building Energy Management System-Part2: Selection of data points, data management and determination of energy savings<br>KS C 5542-1 Energy saving system(ESS)-Part1: Server and Client<br>KS C 5542-2 Energy saving system(ESS)-Part2: Interoperability<br>KS C IEC 61970 Energy management system application program interface(EMS-API)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                 | TTA  | TTAK.KO-04.0163 A Reference Model of Open Service Framework for Building Energy Management<br>TTAK.ET-TR 102 935: M2M Smart grid service requirements : Energy management system for public buildings and surveillances<br>TTAK.KO-10.1363-Part1 Cloud Based Building Energy Management Services Using Edge Computing - Part 1: Reference Architecture<br>TTAK.KO-10.1363-Part2 Cloud Based Building Energy Management Services Using Edge Computing - Part 2: Data Model<br>TTAK.KO-10.1363-Part3 Cloud based Building Energy Management Services Using Edge Computing - Part 3: Operation Guidelines<br>TTAK.KO-10.1441-Part1 Protocol Management System for Building Energy Management System -Part 1: Registration and Management (Part 2 Testing and Certification is under development)<br>TTAK.KO-10.1504-Part1 User Customized Building Energy Management Platform based on Convergence of Energy and Non-energy Data - Part 1 : Requirements and Reference Model (Part 2 Data model is under development)<br>TTAK.KO-10.1439-Part1 Heat Energy Data Platform for Apartment House - Part 1: General Requirements (Part 2 Reference Architecture and Part 3 Data Model and Interface are under development) |
| Factory (FEMS)  | TTA  | TTAK.KO-10.1364-Part1 Cloud Based Factory Energy Management Services Using Edge Computing - Part 1: Reference Architecture<br>TTAK.KO-10.1364-Part2 Cloud Based Factory Energy Management Services Using Edge Computing - Part 2 Data Model of Manufacturing Equipment<br>TTAK.KO-10.0838-Part1 Electric Energy Management for ICT-based Manufacturing - Part 1: Functional Reference Model<br>TTAK.KO-10.0838-Part2 Electric Energy Management for ICT-based Manufacturing - Part 2: Requirements for Service Broker<br>TTAK.KO-10.0838-Part3 Electric Energy Management for ICT-based Manufacturing - Part 3 : Energy Information Ontology for Manufacturing Equipment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                 | SGSF | KSGA-023-1-1 Information exchange between FEMS IC MG EMS - Part 1: Use cases<br>KSGA-023-1-2 Information exchange between FEMS IC MG EMS - Part 2: Data Profile<br>KSGA-023-2-1 Factory Energy Management System - Part 1: Reference Model<br>KSGA-023-2-2 Factory Energy Management System - Part 2: Reference information identification scheme<br>KSGA-023-2-3 Factory Energy Management System - Part 3: Data Platform<br>KSGA-023-2-4 Factory Energy Management System - Part 4: Data Linking API (Part 5 Guideline of Establishment and Part 6 Terminology are under development)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| City (CEMS)     | TTA  | TTAK.KO-10.1440-Part1 City Level Energy Management Platform for Buildings - Part 1: Basic Data Model for City Energy<br>TTAK.KO-10.1440-Part2 City Level Energy Management Platform for Buildings - Part 2: Application Data Profiles for City Energy                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|                 | SGSF | KSGA-053-1-1 Requirements for Smart City Energy Platform Information Model<br>KSGA-053-1-2 Smart City Energy Common Information Model Standard Profile<br>KSGA-053-1-3 Smart City Energy Interface Specification<br>KSGA-053-1-4 Common Information Model Profile for Smart City Energy Monitoring                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Data Center     | KS   | KS X 4151-1 Energy efficiency monitoring system for data center - Part 1: General requirements<br>KS X 4151-2 Energy efficiency monitoring system for data center - Part 2: Holistic view of energy efficiency                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| EnMS            | KS   | KS A ISO 50001 Energy management systems-Requirements with guidance for use<br>KS A ISO 50004 Energy management systems-Guidance for the implementation, maintenance with improvement of an<br>KS A ISO 50001 energy management system<br>KS A ISO 50006 Energy management systems-Measuring energy performance using energy baseline(EnB) and energy performance indicators(EnPI)_General principles and guidance<br>KS A ISO 50015: Energy management systems-Measurement and verification of energy performance of organizations-General principles and guidance                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

생산성이 강조되다 보니 FEMS 관련 표준의 개발은 비교적 최근에 시작되었다. 산업단지 및 도시 규모의 EMS 관련 표준들도 비교적 적은 편이다. 그리고 AI를 이용한 데이터 분석 및 설비의 자율운전, 에너지/비에너지 빅데이터를 활용한 에너지 정보 관리, 디지털트윈을 활용한 에너지 관리 기술 등과 같은 IT 기술을 적극적으로 활용한 EMS 관련 표준의 개발은 상대적으로 저조하다. 또한 2050년 탄소중립목표 달성을 위해서 넷제로(net-zero) 빌딩에 대한 요구가 많아지고 있으나 관련한 표준은 현재 부재한 상황이다.

#### IV. 국제 표준화 동향 분석

이 장에서는 EMS 분야의 국제 표준 동향을 살펴본다. 에너지 관리와 관련한 국제 표준화 기구에 대한 간략한 소개와 해당 기구의 주요 표준화 의제는 표 2와 같다.

HEMS 관련 표준으로 홈네트워크 기반의 에너지 관리를 위한 스마트 객체의 식별(Y.4252), 센서 네트워크 구성(Y.4251), HEMS 구조 및 요구사항(Y.4409), 가전 기기의 에너지 소비 측정을 하는 에너지 절감 시스템의 구조 및 요구사항(IEC TS 62654) 등이 있다. 건물 에너지는 건물 내에서 관리되는 여러 항목 중의 하나로 볼 수 있으며, 전통적으로는 건물 자동화 및 제어 시스템(BACS)의 하위 요소로 본다. ISO 16484 시리즈 표준<sup>[16]</sup>은 BACS에 대한 여러 표준들을 다루고 있지만,

BEMS를 별도의 표준으로 개발된 사례는 아직 없다. BEMS 관련 표준으로 건물의 에너지 성능 평가 프레임워크 및 절차(ISO 52000-1,3)가 있다. FEMS 관련 표준으로 공장 에너지 관리 시스템의 기능 요소를 포함한 구조와 기능 요구사항을 포함하는 참조모델 표준 1건이 있으며, 이는 국내 단체표준(KSGA-023-2-1)을 기반으로 개발되었다<sup>[10]</sup>. CEMS 관련 표준으로 도시에 있는 건물들의 에너지 관리를 위한 구조 및 요구사항, 데이터 모델에 대한 표준(Y.4498 등)이 있다. 데이터센터 관련 표준으로는, 데이터센터의 에너지 관리를 위해서 필요한 데이터 항목과 인터페이스 요구사항(L.1301), 에너지 절감 관리 시스템의 기능 요구사항(L.1303), 효율적으로 자원을 관리하는 데이터센터 사례(ISO/IEC TR 30133), 데이터센터 설비 및 인프라의 관리 및 운영 정보(ISO/IEC TS 22237-7), 그리고 성능 평가 지표(ISO/IEC WD 30134-2) 등 다양한 표준들이 있다. 이외에도 거시적으로 조직에서 에너지에 기반한 경영을 수행하기 위한 국제 표준이 있다. 조직의 에너지 경영을 위한 사용 지침(ISO 50001), 에너지 감사(ISO 50002), 에너지 베이스라인 및 에너지 성능 지표(ISO 50006), 여러 조직간 공통 에너지 경영 시스템 구현(ISO 50009) 등 다양한 표준들이 있다. 특히, ISO 50001은 국가 표준으로도 개발되어 에너지 경영 시스템 분야의 인증 기준으로 활용되고 있다<sup>[6]</sup>. 분야별로 대표적인 국제 표준들을 표 3에서 제시하고 있다.

국내 표준은 IT 기술을 기반으로 서버 또는 플랫폼

표 2. EMS 관련 국제 표준화 기구

Table 2. International Standards Development Organizations (SDOs) related to EMS

| SDOs                | Title                                                                              | Standard agenda                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ITU-T SG5           | EMF, environment, climate action, sustainable digitalization, and circular economy | <ul style="list-style-type: none"> <li>Development of standards in areas such as ICT sustainability, climate change, environmental efficiency, and energy efficiency</li> <li>ICT safety, reliability, electromagnetic fields, and electromagnetic compatibilities</li> </ul>                                                                                                                                                                          |
| ITU-T SG20          | Internet of things (IoT) and smart cities and communities (SC&C)                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Development of standards in the fields of Internet of Things and applications, smart cities and communities related digital services, big data, and digital transformation</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                           |
| ISO TC 163          | Thermal performance and energy use in the built environment                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Standardization of the holistic assessment of the energy performance of buildings</li> <li>Thermal and hygrothermal performance of materials, products, components, elements and systems in buildings</li> </ul>                                                                                                                                                                                                |
| ISO TC 301          | Energy management and energy saving                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>Responsible for environmental leadership and governance, including environmental and energy management, energy savings calculation and reporting system, energy management, management, and financial evaluation.</li> </ul>                                                                                                                                                                                    |
| IEC TC 57           | Power systems management and associated information exchange                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Developing standards for power system control equipment and systems, including EMS, SCADA, distribution automation, remote protection and information exchange</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                       |
| IEC TC 100          | Audio, video and multimedia systems and equipment                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Development of standards for power consumption, energy efficiency and environmental conscious design aspects of multimedia systems</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| ISO/IEC JTC 1/SC 39 | Sustainability, IT and data centres                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>Energy management for data centers, key performance indicators, and development of data center operation guidelines to use resources efficiently</li> <li>Assessment methods, design practices, operation and management aspects to support resource efficiency, resilience and environmental sustainability for and by information technology, data centres and other facilities and infrastructure</li> </ul> |

표 3. EMS 관련 국제 표준

Table 3. International standards in EMS

| Areas             | SDOs                | Standards                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Home              | ITU-T SG20          | Y.4251 Capabilities of ubiquitous sensor networks for supporting the requirements of smart metering services<br>Y.4252 Energy saving using smart objects in home networks<br>Y.4409 Requirements and architecture of the home energy management system and home network services                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|                   | IEC TC 100          | IEC TS 62654 Network-based energy consumption measurement-Energy saving system-Conceptual model                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Building          | ISO TC 163          | ISO 52000-1:2017 Energy performance of buildings Overarching EPB assessment Part 1: General framework and procedures<br>ISO 52000-3:2017 Energy performance of buildings Overarching EPB assessment Part 3: General principles for determination and reporting of primary energy factors and CO2 emission coefficients                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Factory           | ITU-T SG5           | L.1260 Reference Model of Factory Energy Management System                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| City              | ITU-T SG20          | Y.4498 Framework of city-level energy data sharing and analytics among buildings<br>(Under development) Y.CL-EDM Energy data model for city-level energy management platform                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Data centres      | ITU-T SG5           | L.1301 Minimum data set and communication interface requirements for data centre energy management<br>L.1303 Functional requirements and framework of green data centre energy-saving management system<br>L.1305 Data centre infrastructure management system based on big data and artificial intelligence technology                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                   | ISO/IEC JTC 1 SC 39 | ISO/IEC TR 30133:2023 Information technology – Data centres – Practices for resource-efficient data centres<br>ISO/IEC WD 30134-2 Information technology – Data centres – Key performance indicators – Part 2: Power usage effectiveness (PUE)<br>ISO/IEC TS 22237-7:2018 Information technology – Data centre facilities and infrastructures – Part 7: Management and operational information                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Energy management | ISO TC 301          | ISO 50001:2018 Energy management systems - Requirements with guidance for use<br>ISO 50002:2014 Energy audits - Requirements with guidance for use<br>ISO 50006:2014 Energy management systems - Measuring energy performance using energy baselines (EnB) and energy performance indicators (EnPI) - General principles and guidance<br>ISO/TS 50008:2018 Energy management and energy savings - Building energy data management for energy performance - Guidance for a systemic data exchange approach<br>ISO 50009:2021 Energy management systems - Guidance for implementing a common energy management system in multiple organizations<br>ISO/AWI 22265 Energy measurement and monitoring plan - Design and implementation - Principles for energy data collection |
|                   | IETF                | RFC 7326 Energy Management Framework<br>RFC 7460 Monitoring and Control MIB for Power and Energy<br>RFC 7461 Energy Object Context MIB                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|                   | IEC TC57            | IEC 61970-1: 2005 Energy management system application program interface (EMS-API) - Part 1: Guidelines and general requirements<br>IEC 61970-301: 2020 Energy management system application program interface (EMS-API) - Part 301: Common information model (CIM) base                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

중심으로 EMS를 접근하나, 국제 표준은 건물이나 시설, 경영 관점에서 하위 요소로서 EMS를 접근하는 경향이 있다. 즉, 국제 표준화 기구의 의제와 연관하되, 의제별로 EMS를 하위 개념으로 접근하고 있다. ISO/TC 163 기술위원회는 건축물을 대상으로 한 에너지 성능 관점으로 표준을 개발하고 있다. ISO/TC 205 기술위원회는 건물 자동화 및 제어 시스템 분야의 표준으로 개발하되, BEMS를 하위 요소로 고려하고 있다. 산업 부문에서 소비되는 에너지의 양이 막대함에도 불구하고 공장 및 산업단지에서의 에너지 관리를 위한 표준 개발은 미비한 상황이다. IT 서비스가 지속적으로 확대되는 상황에서 핵심 시설인 데이터센터에서의 에너지 관리 및 절감을 위한 표준은 상대적으로 많이 개발되었다. 표 3에서는 모두 제시하지 않았지만 데이터센터의 효율성을 평가하기 위한 다양한 지표가 표준으로 개발되었다. 국내 표준과 마찬가지로 AI, 빅데이터, 디

지털 트윈 등 최신 IT 기술을 적극적으로 활용한 EMS 관련 표준의 개발은 저조한 상황이다.

## V. 표준화 추진 전략

이 장에서는 앞서 분석한 국내의 표준화 현황을 바탕으로 향후 추진해야 할 표준 개발 항목과 표준화 추진 전략을 제안한다.

### 5.1 최신 IT 기술 기반의 EMS 표준 개발 항목 도출

현재 EMS와 관련해서 에너지 소비 현황을 감지 및 관리하기 위해서 요구되는 데이터의 수집, 시스템의 구성, 데이터 전달을 위한 인터페이스 등 기본적인 기능에 충실한 표준들이 개발되었다. 하지만 AI, 빅데이터 분석, 디지털 트윈 등 빠르게 발전하고 있는 IT 기술과

접목한 EMS 관련 표준의 개발은 더딘 상황이다. 따라서 최신 IT 기술에 기반한 EMS 관련 표준 개발 항목을 우선적으로 도출할 필요가 있다. 표 4에서 최신 IT 기술과 연계한 EMS 표준 개발 항목을 제시한다. 기술 분야별 주요 표준 개발 항목, 해당 표준의 활용 분야, 그리고 국내 기술 역량을 고려하여 차세대 공략, 선도적 공략, 추격 공략 등으로 표준화 추진 전략을 선정하였다. 예를 들어, 대규모 언어 모델은 매우 빠르게 발전하고 있으며 EMS 등 다양한 분야로 확대 적용되고 있다<sup>[19]</sup>. 미래 핵심 기술의 확보를 위해서 신규 표준 제안을 통한 기획 단계부터 주도적으로 표준화에 참여함으로써 국제 표준화를 선도할 수 있는 차세대 공략 분야로 선정하였다. 빅데이터 분야의 표준은 용어, 분석, 품질, 보안 등 다양한 분야에서 진행되고 있으나, EMS에서 관리하는 에너지 및 비에너지 분야의 데이터 분석 및 플랫폼에 대한 표준 개발은 미흡하다. 표준화 경쟁이 치열하지만 우리나라의 높은 기술력을 바탕으로 EMS 빅데이터 관련 표준의 국제적인 선도가 가능할 것으로 기대되어 선도적 공략 분야로 선정하였다. 블록체인 기술은 EMS 분야에서 에너지 거래를 위한 스마트 계약 및 거래 시스템 개발에 활용될 수 있다. 블록체인 구조, 보안, 스마트

계약 등 다양한 표준들이 활발하게 개발되고 있으나 EMS 분야로의 응용은 미흡하다. 우리나라는 해당 분야에서의 표준 개발 참여는 늦지만 후발주자로서 적극적인 표준 개발 참여가 요구되어 추격 전략으로 선정하였다.

## 5.2 EMS 표준화 추진 전략

EMS는 에너지 도메인에서 IT 기술을 활용하므로 표준 개발에 있어서 에너지 전문가와 IT 전문가의 협업이 매우 중요하다. 표 4에서 제시한 기술 분야는 AI, 빅데이터, 클라우드 컴퓨팅, 디지털 트윈 등 관련 분야의 IT 전문 지식이 요구된다. 한편, 공장은 업종과 생산품에 따라서 공정이 매우 다양하고 에너지원별 유틸리티 설비가 상이하므로 현장의 설비와 에너지 도메인 지식이 필수적이다. 따라서 전문 표준화 기구의 활동을 통한 에너지와 IT 전문가의 협력 체계를 구축해야 하며, 최신 IT 기술에 대한 전문성을 활용하여 에너지 도메인으로 접목하여 관련 표준을 개발하는 것이 바람직하다.

공장, 산업단지, 도시 등 에너지 소비량과 에너지 관리 영향도는 높으나 표준 개발이 더딘 분야로 표준화 역량을 집중해야 한다. 공장은 업종, 생산품, 규모가 매

표 4. 최신 IT 기술을 활용한 EMS 표준 개발 항목 도출  
Table 4. Standard development items in EMS by applying the recent IT technology

| Areas                | Items                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Applications                                                                  | Strategy        | Target SDOs                                                   |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------|
| AI                   | - Energy data collection and preprocessing functions, training data construction, and modeling procedures for estimating energy consumption and energy savings <sup>[12]</sup><br>- Data modeling procedure and functions for EMS using Large Language Models <sup>[19]</sup>                                                         | Energy management and retrieval for EMS using LLM                             | Next generation | ITU-T SG5<br>ISO/IEC JTC 1<br>SC 42 (AI)                      |
| Big data             | - Functional requirement of big data platform for energy and non-energy data for energy management<br>- Functions and procedures for analyzing data for energy management using big data                                                                                                                                              | Big data platform for energy management                                       | Leading         | ITU-T SG5<br>ISO/IEC JTC 1<br>SC 42 (AI)                      |
| Block chain          | - Functional requirements of smart contract for energy trade between producers and consumers in industrial parks, communities, and cities<br>- Functional elements and requirements for a peer-to-peer energy trading system using blockchain on an EMS <sup>[20]</sup>                                                               | Smart contract for energy trade                                               | Catch-up        | ISO TC 307 (Blockchain)<br>ITU-T SG17 (Security)<br>ITU-T SG5 |
| Cloud/edge computing | - Configuration and functional requirements for building and operating an EMS platform on edge computing and cloud computing<br>- Functional items that enable flexible performance and resource management based on microservice architecture <sup>[15]</sup>                                                                        | Guideline for building and operating EMS server platform                      | Leading         | ITU-T SG5<br>ISO/IEC JTC 1<br>SC 38 (Clouding computing)      |
| Digital twin         | - Data modeling of building and energy information <sup>[21]</sup><br>- Energy management and saving simulation functions using digital twins                                                                                                                                                                                         | Energy management with digital twins                                          | Catch-up        | ISO/IEC JTC 1<br>SC 41 (IoT and digital twin)                 |
| IoT                  | - Interfacing and functions that increase compatibility between different protocols used by sensors and provide enhanced security against external intrusion                                                                                                                                                                          | Data exchange and interface in industrial park, community, and city-level EMS | Leading         | ITU-T SG20<br>ISO/IEC JTC 1<br>SC 41                          |
| Meters /Sensors      | - Functions and specifications of integrated sensors that can collect energy and non-energy data<br>- Functions and management items of AI sensors that can correct errors in measured values, improve data accuracy, and provide new information by integrating existing data based on AI learning reasoning ability <sup>[22]</sup> | Intelligent composite sensors with AI inference applied in EMS                | Next generation | ITU-T SG20<br>ISO/IEC JTC 1<br>SC 41                          |

우 다양하며, 중소기업의 경우 에너지를 관리할 수 있는 전문인력이 없는 경우가 많다. 따라서 보편적으로 FEMS를 구축하여 운영할 수 있는 표준의 개발은 매우 중요하다. 다행스러운 것은 스마트그린산단에서 스마트에너지플랫폼을 구축함으로써 이를 해소하려는 노력이 진행 중이다<sup>17)</sup>. 산업단지 차원에서 에너지 전문가가 부재한 공장의 FEMS를 통합 관리하고, 공장 간에 에너지 거래가 가능할 수 있는 FEMS들의 상호 연동 기능을 제공하거나 데이터 공유가 가능하도록 하는 등의 표준 개발이 요구된다. 또한 마이크로그리드를 이용하여 산업단지 내에서 공장들 간에 에너지 생산 및 거래를 위한 인터페이스 및 관리 플랫폼, 탄소 배출권 거래를 위한 EMS 적용 및 활용 기술도 핵심 표준 대상들이다.

우리나라가 강점을 갖는 국내 기술을 바탕으로 적극적으로 국제 표준을 개발해야 한다. 국내 포럼에서 개발한 FEMS 참조 모델(KSGA-023-2-1)을 바탕으로 ITU-T 권고안(L.1260)을 개발한 것이 대표적인 사례이다<sup>18)</sup>. 서버 플랫폼을 기반으로 한 EMS 기술 및 관련 표준들이 이미 국내 표준으로 개발되어 있으므로, 이들 표준을 바탕으로 국제 표준을 개발하는 것이 바람직하다. 예를 들어, 에지 컴퓨팅을 활용한 클라우드 기반 건물 에너지 관리 서비스(TTAK.KO-10.1363), 에지 컴퓨팅을 활용한 클라우드 기반 공장 에너지 관리 서비스(TTAK.KO-10.1364), 에너지와 비에너지 데이터 융합 기반 사용자 맞춤형 건물 에너지 관리 플랫폼(TTAK.KO-10.1504), 건축물 대상 도시 에너지 관리 플랫폼(TTAK.KO-10.1440) 등의 표준을 국제 표준화 기구의 의제에 맞추어 국제 표준으로 개발할 수 있을 것이다.

국내 산업계의 경쟁력을 제고하기 위해서 국제 표준 개발시 표준 특허를 개발할 필요가 있다. 표준 특허는 표준에서 기술한 내용을 구현하기 위해서는 특허받은 기술을 침해하지 않고는 구현할 수 없도록 설계된 특허를 말한다<sup>19)</sup>. 즉, 해당 표준을 실현하기 위해서는 반드시 표준 특허를 활용해야 한다. 국제 표준화 기구에서는 공정하고, 합리적이며, 비차별적인 조건으로 표준 특허를 사용하도록 하고 있으며, 경우에 따라서 합리적인 요율로 라이선스를 실시하도록 허용하고 있다. 따라서 표준 특허를 활용함으로써 기술 경쟁력 확보는 물론 로열티 수입도 기대를 할 수 있다. 4장에서 살펴본 EMS 분야의 표준에서 표준 특허가 선언된 표준은 IEC 61970-301 뿐으로 매우 적은 상황이므로, EMS 분야에서 개발한 특허 기술을 활용하여 표준을 개발할 필요가 있다.

### 5.3 EMS 표준의 활용

EMS 표준들은 수요자에 따라서 인프라 구축, 소프트웨어 기능 개발, 그리고 시스템 운영 분야에서 활용될 수 있다. 인프라 구축에 있어서는 센서와 설비들 간에 통신 및 인터페이스 호환성 제공을 위한 표준, 센서 및 설비 관리를 위한 식별 체계 표준, 게이트웨이를 포함한 네트워크 구성 관련 표준들이 활용될 수 있다. 인프라 구축업체와 EMS 수요기관은 이들 표준을 바탕으로 EMS 인프라 구축 지침 및 설치 확인 기준으로 활용할 수 있을 것이다. EMS 소프트웨어 기능은 참조 모델을 바탕으로 기능 요구사항에서 제시한 항목들을 바탕으로 개발되어야 한다. EMS의 기능 수준과 활용 분야가 다양한 상황에서, 소프트웨어 개발업체들은 주어진 요구사항을 만족하는 기능을 개발함으로써 EMS의 기능을 충실히 제공할 수 있을 뿐더러, 수요처에서는 기능 요구사항의 충족 여부를 쉽게 파악할 수 있게 된다. 한편, ISO 50001로 대표되는 에너지 경영을 위해서는 EMS의 구축 및 운영이 필수적인 사항이며, 표준화된 관리 기능 및 절차에 따른 에너지 관리는 매우 중요하다. 특히, 기관의 에너지 경영 목표의 달성 및 성과 평가를 위해서 에너지 감사 및 에너지 베이스라인 및 에너지 성과 지표 관련 표준이 활용되어야 한다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 에너지 관리 시스템의 국내외 표준화 동향을 분석하고 표준화 추진 전략을 제시하였다. 표준화 동향 분석 결과, EMS 관련 국내 표준은 IT 기술을 활용한 플랫폼 관점에서 접근하는 반면, 국제 표준은 건물이나 시설, 경영 관점에서 접근하는 경향이 있음을 확인하였다. 또한 국내외 모두 최신 IT 기술을 적극 활용한 EMS 관련 표준 개발이 미흡한 실정이다.

EMS 분야의 산업 경쟁력 확보 및 활성화를 위해서 다음과 같은 표준화 추진 전략이 요구된다. 첫째, AI, 빅데이터, 디지털 트윈 등 최신 IT 기술과 EMS를 접목한 표준 개발이 필요하다. 둘째, 이를 위해 IT 전문가와 에너지 도메인 전문가의 협업이 요구된다. 셋째, 공장, 산업단지, 도시 등 에너지 소비는 많지만 표준 개발이 미흡한 분야에 표준화 역량을 집중해야 한다. 넷째, 국내 기술을 바탕으로 한 국제 표준을 적극적으로 개발해야 한다. 다섯째, 국내 산업 경쟁력 제고를 위해 표준 특허 개발에 주력해야 한다.

EMS 분야의 표준 개발은 국내 EMS 산업의 글로벌 경쟁력 확보에 기여할 것이다. 표준화된 EMS 기술과 서비스는 국내 기업들의 해외 시장 진출을 용이하게 할

것이다. 표준화로 인한 상호운용성 향상은 다양한 에너지 설비와 시스템 간의 통합을 촉진하여 전체적인 에너지 효율을 높일 것이다. 효율적인 에너지 관리를 통해 국가 차원의 에너지 절감 및 탄소 중립 목표 달성에 기여할 것이다. 따라서 정부, 학계, 산업계가 협력하여 전략적이고 체계적인 EMS 표준화를 추진해 나가야 할 것이다.

## References

- [1] H. Moon, "Recent research trend on building energy management system," *Mag. SAREK*, vol. 42, no. 9, pp. 54-63, 2013.
- [2] J. Choi, "Deriving key technology development items for energy management systems through patent trend analysis," *J. KICS*, vol. 48, no. 12, pp. 1676-1684, 2023. (<https://doi.org/10.7840/kics.2023.48.12.1676>)
- [3] C. Kim, J. Kim, S. Kim, and H. Hwang, "Technical trend and use case of factory energy management system for energy saving in manufacturing industry," *Mag. SAREK*, vol. 44, no. 1, pp. 22-27, 2015.
- [4] D. Mariano-Hernández, et al., "A review of strategies for building energy management system: Model predictive control, demand side management, optimization, and fault detect & diagnosis," *J. Building Eng.*, vol. 33, 101692, 2021. (<https://doi.org/10.1016/j.jobte.2020.101692>)
- [5] S. Agostinelli, F. Cumo, G. Guidi, and C. Tomazzoli, "Cyber-physical systems improving building energy management: Digital twin and artificial intelligence," *Energies*, vol. 14, no. 8, 2338, 2021. (<https://doi.org/10.3390/en14082338>, 2021)
- [6] K. Song and B. Choi, "Characteristics and case study of ISO 50001:2018 energy management system," *J. Korean Inst. Plant Eng.*, vol. 27, no. 4, pp. 5-11, 2022.
- [7] T. Lee and J. Hwang, "A study on the industrialization and standardization of the building energy management system (BEMS)," in *Proc. 2020 SAREK Summer Annual Conf.*, 2020.
- [8] Y. Ahn and S. Jeong, "Standardization trend of ICT-based building energy management system for carbon neutrality," *J. KICS*, vol. 39, no. 7, pp. 75-79, 2022.
- [9] KS F 1800-2: 2021, *Building energy management system — Part 2: Selection of data points, data management and determination of energy savings*, 2021.
- [10] L.1260, *Reference Model of Factory Energy Management System*, <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=15996>
- [11] B. Mahapatra and A. Nayyar, "Home energy management system (HEMS): Concept, architecture, infrastructure, challenges and energy management schemes," *Energy Syst.*, vol. 13, no. 10, pp. 643-669, 2022. (<https://doi.org/10.1007/s12667-019-00364-w>)
- [12] A. Akram, S. Abbas, M. Khan, A. Athar, T. Ghazal, and H. Al Hamadi, "Smart energy management system using machine learning," *Computers, Materials & Continua*, vol. 78, no. 1, 2024. (<https://doi.org/10.32604/cmc.2023.032216>)
- [13] S. Lee and D. Choi, "Energy management system of energy storage system in heterogeneous environments using federated reinforcement learning," in *Proc. KIEE Summer Conf.*, pp. 1858-1859, Jul. 2020.
- [14] J. Choi, "A hierarchical distributed energy management agent framework for smart homes, grids, and cities," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 57, no. 7, pp. 113-119, 2019. (<https://doi.org/10.1109/MCOM.2019.1900073>)
- [15] Z. Lyu, H. Wei, X. Bai, and C. Lian, "Microservice-based architecture for an energy management system," *IEEE Syst. J.*, vol. 14, no. 4, pp. 5061-5072, 2020. (<https://doi.org/10.1109/JSYST.2020.2981095>)
- [16] ISO 16484-1:2024, *Building automation and control systems (BACS)-Part 1: Project specification and implementation*, <https://www.iso.org/standard/84890.html>
- [17] S. Shin, J. Lee, D. Moon, S. Park, and D. Hyun, "Study of data-based industrial complex smart energy platform," in *Proc. ICMTE*, pp.

144-144, 2021.

- [18] S. Oh, S. Sohn, J. Ahn, and P. Jang, "Technical and economic efficiency analysis of essential patents," *Innovation Studies*, vol. 18, no. 1, pp. 143-165, 2023.  
(<https://doi.org/10.46251/INNOS.2023.2.18.1.143>)
- [19] S. Khadka and L. Zhang, "Scaling data-driven building energy modelling using large language models," *arXiv preprint arXiv:2407.03469*, 2024.
- [20] O. Laayati, H. El Hadraoui, M. Bouzi, A. El-Alaoui, A. Kousta, and A. Chebak, "Smart energy management system: Blockchain-based smart meters in microgrids," in *4th GPECOM*, pp. 580-585, 2022.
- [21] M. Seo, "Development and field demonstration of a digital twin framework for a building energy system application," Master's Thesis, Hanbat University, Daejeon, 2023.
- [22] S. Kang and W. Park, "Development and demonstration of artificial intelligence composite sensors applicable to industrial sites," in *Proc. Symp. KICS*, pp. 307-308, 2021.

# 최 정 열 (JungYul Choi)



2000년 2월 : 인하대학교 전자공학과 졸업

2002년 2월 : 한국과학기술원 정보통신공학과 석사

2006년 8월 : 한국과학기술원 정보통신공학과 공학박사

2006년 9월~2011년 2월 : (주)KT 네트워크 연구소 선임연구원

2011년 3월~현재 : 성결대학교 컴퓨터공학과 교수  
<관심분야> 그린ICT, EMS, 데이터센터, 인공지능  
[ORCID:0000-0002-3635-1721]