

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2023.9.6.1001>

JCCT 2023-11-120

## 식품공장 수집 데이터 기반 에너지 모니터링 시스템 개발

### The Development of a Energy Monitoring System based on Data Collected from Food Factories

여채은\*, 조우진\*\*, 구재회\*\*\*

Chae-Eun Yeo\*, Woo-jin Cho\*\*, Jae-Hoi Gu\*\*\*

**요약** 전 세계적인 에너지 비용 상승과 에너지 수요 증가는 공급망 전반에 걸쳐 상당한 양의 에너지를 소비하는 식품가공·제조업에 있어 중요한 문제이다. 이에 에너지 사용을 최적화할 수 있는 실시간 에너지 모니터링 및 분석 시스템의 개발이 필요하다. 본 연구에서는 식품공장에 설치된 IoT를 기반으로 각 설비별 모니터링과 열처리 공정에 관한 에너지 공급·사용량 모니터링, 검색 기능이 포함된 식품 공장 에너지 모니터링 시스템이 제안되었다. 본 시스템은 식품가공공장의 IoT 센서를 기반으로 PLC, 데이터베이스 서버, OPC-UA서버, UI 서버 및 API 서버와 CIMON 사의 HMI 등으로 구성된다. 시스템은 식품공장의 빅데이터 구축과 함께 수집 기능을 통한 설비별 모니터링과 열처리 공정에 관한 에너지 공급·사용량 모니터링 및 검색 서비스 기능을 제공한다. 본 데이터 수집 기반 에너지 모니터링 시스템은 에너지 절감을 위한 중소기업형 공장 에너지 모니터링·관리 시스템 개발을 위한 가이드라인 역할이 될 것이다. 향후, 본 시스템을 활용하여 에너지 사용량 파악 및 분석을 통한 공정 작업이 최적화된 정량적인 에너지 절감 방안이 마련될 수 있다.

**주요어** : 에너지모니터링, 공장에너지관리시스템, 에너지절감, 데이터수집, 에너지소비량

**Abstract** Globally, rising energy costs and increased energy demand are important issues for the food processing and manufacturing industries, which consume significant amounts of energy throughout the supply chain. Accordingly, there is a need for the development of a real-time energy monitoring and analysis system that can optimize energy use. In this study, a food factory energy monitoring system was proposed based on IoT installed in a food factory, including monitoring of each facility, energy supply and usage monitoring for the heat treatment process, and search functions. The system is based on the IoT sensor of the food processing plant and consists of PLC, database server, OPC-UA server, UI server, API server, and CIMON's HMI. The proposed system builds big data for food factories and provides facility-specific monitoring through collection functions, as well as energy supply and usage monitoring and search service functions for the heat treatment process. This data collection-based energy monitoring system will serve as a guide for the development of a small and medium-sized factory energy monitoring and management system for energy savings. In the future, this system can be used to identify and analyze energy usage to create quantitative energy saving measures that optimize process work.

**Key words** : Energy Monitoring, Factory Energy Management System, Energy Savings, Data Collection, Energy Consumption

\*정회원, 고등기술연구원 에너지환경IT융합그룹 연구원 (제1저Received: October 3, 2023 / Revised: October 19, 2023  
자)  
Accepted: November 10, 2023

\*\*정회원, 고등기술연구원 에너지환경IT융합그룹 연구원 (참여\*\*\*Corresponding Author: jaehoi@iae.re.kr  
지자)  
Dept. of Energy Environment IT Convergence Group,

\*\*\*정회원, 고등기술연구원 에너지환경IT융합그룹 연구위원Institute for Advanced Engineering, Korea  
(교신저자)

접수일: 2023년 10월 3일, 수정완료일: 2023년 10월 19일

게재확정일: 2023년 11월 10일

## I. 서 론

전 세계적인 급격한 경제 성장으로 인한 에너지 비용 증가로 인한 효율적인 에너지 사용의 필요성이 대두되고 있다 [1,2,3].

최근 정부는 에너지 소비의 61.7%를 차지하는 산업 부문에 있어 에너지 절감과 효율 최적화를 위한 공장 에너지관리시스템(FEMS, Factory Energy Management System)을 지원하여 가시적인 성과를 얻고자 노력하고 있다 [4].

이러한 제도는 주로 정유, 화학, 금속, 시멘트 등의 대규모 장치산업이자 소수의 사업체로 운영되는 대기업 위주로 도입이 확산되어 왔다. 중소기업형 에너지 다소비 업종 또한 에너지 소모량이 많은 다양한 공정과 설비를 가지나, 상대적으로 에너지 절감 기술 도입 측면에서 낙후되어 있다 [5].

에너지 사용 및 에너지 효율성 평가에 관한 투명성을 높이기 위한 에너지 모니터링 솔루션이 선호되어 왔다. 에너지 절감을 위한 관련 데이터 수집과 처리는 지속적 에너지 효율 개선을 위한 필수적인 단계이다 [6,7].

대부분의 중견·중소기업들은 경제적 부담으로 인한 체계적인 모니터링 시스템 환경 구축이 어려운 실정이다. 시스템 환경이 미비한 제조 기업은 일 단위로 작업자가 작업시간, 작업온도, 중량 등의 작업 정보를 수기로 기입하고 관리하며 원단위 분석을 수행하고 있다. 이러한 에너지 관련 정보의 수기 집계는 제품별·공정설비별 세분화된 에너지 사용량 비교 분석을 통한 공장 에너지 최적화를 기대하기는 어렵다 [8].

공장 내 제조 현장에서의 에너지 낭비를 줄이고 최적화하기 위한 첫 번째 단계는 에너지 사용 현황을 파악하는 것이다. 따라서 주요 공정별 에너지 사용 현황을 확인하고 집계 및 분석하기 위한 공장 에너지 모니터링 시스템 구축이 필요하다 [9].

따라서, 본 연구에서는 중소기업이 대부분인 제조업 중 중 식품가공 분야에 해당하는 육가공류 식품 공장을 테스트베드로 한 공장 에너지 모니터링 시스템 개발 내용을 정리하였다.

본 시스템의 개발 목적은 식품공장에서 과다 소비되고 있는 에너지 사용량 현황을 실시간으로 파악하여 공정설비별 세분화된 에너지 소비 분석을 통한 정확하고

정량화된 에너지 절감 방안을 수립하기 위함이다. 본 연구에서는 IoT 센서를 기반으로 에너지 관련 데이터를 수집하였고, 열처리 공정에 특화된 에너지 모니터링 시스템의 설계를 위한 시스템 업무 계층도가 제시되었다. 시스템 구현을 위한 데이터 수집 및 모니터링 구축 환경, 그리고 데이터베이스 구조를 나타내었다. 또한, 이를 기반으로 구현된 공장 에너지 모니터링 시스템의 공정설비별 모니터링, 검색, 그리고 에너지 소비 분석 내용을 가시화하였다.

논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 실시간 모니터링 시스템의 관련 연구로 공장에너지관리시스템, 실시간 모니터링 시스템에 대하여 설명하고 3장에서는 식품 공장을 대상으로 하는 모니터링 시스템 설계에 대하여 제시하였다. 4장에서는 모니터링 시스템 구현에 대해 기술하였다. 5장은 앞의 내용을 정리하여 결론을 제시하였다.

## II. 관련 연구

### 1) 스마트 공장 (Smart Factory)

스마트 공장은 “제품의 기획·설계, 생산, 유통·판매 등의 전 과정을 디지털 자동화 솔루션이 결합된 정보통신기술을 적용하여 최소의 비용과 시간으로 고객맞춤형 제품을 생산하는 미래형 공장”으로 정의된다 [10].

스마트 공장 구축의 요소 기술은 사물인터넷 기반의 디바이스 기술, 수집된 데이터를 처리·분석, 모델링하는 플랫폼 기술, 그리고 기존 어플리케이션과의 연동 등에 관한 제조 어플리케이션 기술로 구분할 수 있다. 에너지 절감 및 최적화를 위한 초기 단계 시스템은 IoT 기반 센서로부터 에너지 사용량을 수집하여 실시간으로 데이터를 확인하고 분석 및 진단 결과를 제공하는 시스템으로 볼 수 있다 [8].

### 2) 공장에너지관리시스템

에너지관리시스템(EMS, Energy Management System)은 정보통신(ICT) 기술과 제어 기술을 활용하여 빌딩, 공장, 주택 등을 대상으로 하여 에너지 흐름과 사용의 가시화·최적화를 위한 통합 에너지 관리 솔루션을 의미한다 [11].

그 중에서도 FEMS는 공장 내 에너지 사용량을 추적하여 비이상적으로 사용되는 에너지를 줄이기 위해

생산라인 설비뿐만 아니라, 배전, 공조, 조명 등에 대하여 에너지 공급과 사용, 가동 현황을 모니터링하고 제어하는 시스템이다 [12].

FEMS의 단계는 1) 모니터링: 실시간 계측을 통한 에너지 데이터 수집, 2) 현황 분석: 제품 생산 현황 분석을 통해 원단위, 효율 등의 성능지표를 제공함, 3) 수요예측, 그리고 4) 공급·수요 최적화로 이루어져 있다 [4].

최근 들어 공장 에너지 최적화를 위한 FEMS 개발에 관한 연구는 활발히 수행되고 있다. 공정 단위에서의 에너지의 모델 및 예측을 통한 공정 내 에너지 흐름을 최적화하고 생산성을 유지하는 하에 공장 내 에너지 사용량을 줄이고 에너지 비용을 감소시킬 수 있는 기술이 연구되고 있다 [5,13,14,15].

### III. 모니터링시스템 설계

작업일지 관리는 공장 내 생산공정에 관한 작업일지의 디지털화 단계이다. 제품의 생산 과정에서 열처리 공정(가열, 열수살균 등)에 관한 공정별 작업시간, 작업온도, 제품명(종류) 등에 관한 정보를 관리한다. 실시간 모니터링은 스팀 사용량, 온도, 압력 등의 계측 데이터와 더불어 에너지 사용량에 관한 모니터링 프로세스가 수행된다. 공정 설비별 센서 현황은 센서로부터 실시간으로 계측되는 계측값을 표출하여 확인할 수 있다. 공정별 에너지 사용량은 일별·월별 등 단위 기간별 누적 사용량을 확인할 수 있도록 하며 설비 별 모니터링 기능이 포함된다. 또한 LNG-스팀 보일러로부터 공급되는 에너지에 관한 모니터링 기능이 제공된다. 각 생산 공정 별 에너지 사용에 관한 정보가 제공된다. 수집 및 변환된 에너지 사용량 데이터는 지정 기간(예: 일, 월) 단위의 사용 이력 검색이 제공된다. 또한 열처리가 수행되는 설비 내 구간별 승온 패턴데이터가 모니터링된다. 데이터 분석 단계에서는 단위 공정별 사용된 에너지를 분석하여 에너지 소비분석 및 소비과잉율, 배출에너지량 등의 정보가 제공된다. 에너지 소비분석은 공정 내 승온 패턴 및 열전달 방식이 상이한 제품군별로 분류되어 수행된 분석 결과가 반영된다 [15].

수집된 에너지 사용량 데이터를 지정 기간별로 검색하고 확인할 수 있는 프로세스로 구성된다. 기준정보는 회사 및 설비, 그리고 계측기 정보를 확인할 수 있는

기능이다. 관리자는 주요 공지사항, 시스템 계정 관리, 그리고 공장 내 제품 생산량 정보를 관리한다.

### IV. 모니터링시스템 구현

본 논문에서 제안하는 식품FEMS는 식품가공공장 내 스팀이 사용되는 열처리 공정에 적용하여 데이터를 획득 및 분석한다. 이때, 열처리 공정은 열수살균, 가열, 굽기 공정으로 구성되며, 열처리 작업을 거쳐 육가공류 가공 제품을 생산한다.

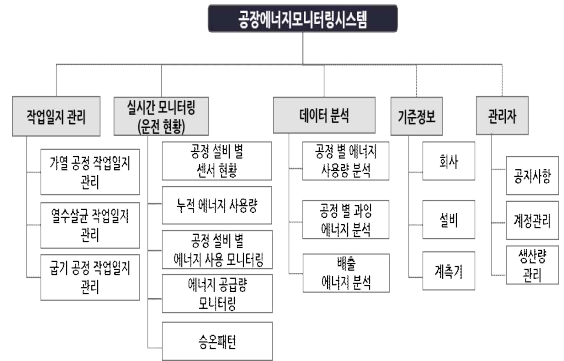


그림 1. 식품공장 에너지 모니터링 시스템 업무 계층도  
 Figure 1. Hierarchy of food factory energy monitoring system

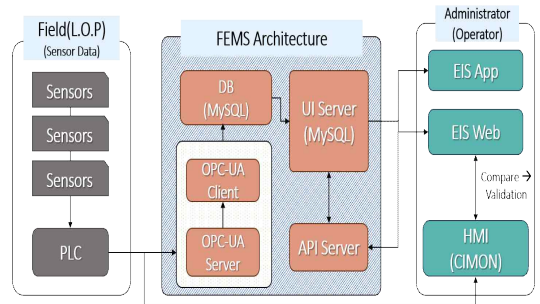


그림 2. 식품공장 에너지 모니터링 시스템 구조  
 Figure 2. Architecture of food factory energy monitoring system

#### 1) 데이터 수집 및 모니터링 구축 환경

FEMS Architecture를 갖는 에너지 모니터링 시스템은 그림 2와 같이 구성되어 있다. 식품공장 에너지 모니터링 시스템을 운용하기 위한 3 종류의 Server가 구성되었다. 각 서버는 가시화를 위한 UI Server, 표준화 통신을 위한 OPC Server, 그리고 IoT에서 샘플링된 데이터 수집을 위한 Database Server로 이루어진다. 이때, OPC Server는 OPC Client로 구성되며, OpenSource 기반으로 DB에 데이터를 전달한다.

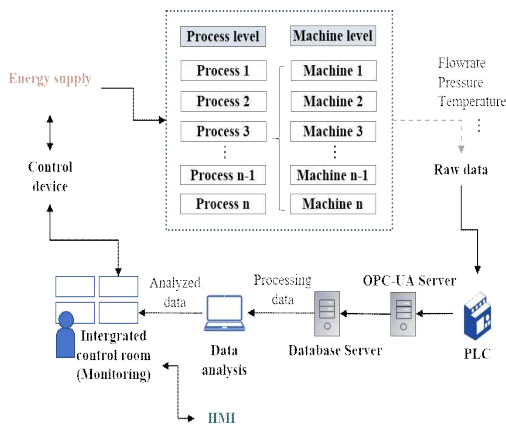


그림 3. 데이터 수집 및 분석 시스템 구조  
Figure 3. Structure of data collection and analysis system

식품공장 제조 현장의 에너지 분석을 위한 관제점은 약 80point이며, 모니터링 되는 센서는 유량, 온도 그리고 압력 등으로 구성된다. 센서 데이터는 PLC의 I/O Port로 전달되며, 센서로부터 획득된 데이터는 PLC를 통해 OPC-UA Server를 거쳐 데이터베이스에 적재된다. 데이터베이스 서버부에서는 전처리 작업 후 데이터를 저장하며, 모니터링부에서는 제안된 시스템에서 수집되는 데이터의 정합성을 확인하기 위해 CIMON사의 HMI (Human-Machine Interface)을 두어 지속적인 데이터 교차 검증을 수행한다. 이때, 신호는 우선으로 수집되므로 100m 간격으로 리피터(신호증폭기)를 배치하여 신호를 전송하였다.

식품가공공장의 에너지 모니터링을 위한 데이터 수집 및 분석 시스템의 구조는 그림 3에 나타내었다.

모든 서버는 Linux기반 Ubuntu 20.04로 설치 및 운영하고, 관제점에서 PLC로 수집되는 데이터의 간격은 100ms~1,000ms이며 DB적재 간격은 1,000ms이다. 수집 데이터베이스는 관계형 데이터베이스인 MySQL가 활용되었다. 각 서버간의 데이터 송·수신은 쿼리의 결과 값이 매우 클 때 발생하는 문제를 미연에 방지하기 위한 데이터베이스에 직접 접근 방식(Direct Access)이 활용되었다.

## 2) 데이터베이스 구조

해당 모니터링 시스템은 실시간 IoT 데이터를 수신하지만, 1초당 100개 전후의 데이터만 입력된다. 따라서 낮은 쓰기 부하를 지니기 때문에 NoSQL을 선택하지

않았다. 또한, 향후 에너지 모니터링 시스템에서 에너지 관리 시스템의 여러 기법들을 활용하기 위해 중요한 부분 중 하나인 데이터 조회 성능을 데이터 삽입에 특화된 다른 데이터베이스들에서는 큰 손해를 보는 경우가 많기 때문에 그 부분을 고려하여 MySQL의 선택을 진행하였다. 수집한 데이터의 접근 빈도와 데이터 관리 오버헤드를 줄이기 위해 하나의 테이블로 데이터를 구성 및 관리하였다.



그림 4. 에너지 공급 모니터링 화면  
Figure 4. Monitoring screen for energy supply

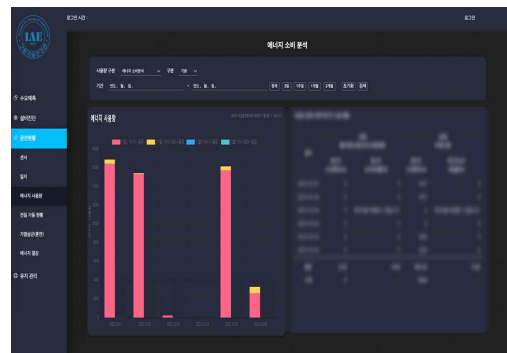


그림 5. 에너지 사용량 분석 화면  
Figure 5. Monitoring screen for energy consumption

## 3) 에너지 공급 모니터링

그림 4 는 열에너지 공급 (LNG-스팀 보일러) 라인의 흐름을 3초마다 갱신하여 실시간으로 관측할 수 있는 모니터링 화면이다. 그래프 및 테이블은 최근 일주일 간의 보일러 효율 및 LNG 사용량, 스팀 생산량 등의 정보를 수치화 및 가시화하여 표현한다. 테이블의 우측 알람은 계측기 별 특정 역치를 넘었을 때, 단계별 가이드스 기능을 한다.

## 4) 에너지 사용량 분석

그림 5는 공정별 열에너지 사용량을 분석할 수 있는 화면이다. 지정 기간 내의 데이터를 가공하여 출력하며 공장별, 공정설비별 에너지 사용량을 선택하여 확인할 수 있다. 테이블은 에너지 사용 현황을 수치로 보여준다. 구체적인 수치는 개별 관련 업체의 데이터 보안 문제로 인하여 공개되지 않는다.

#### 5) 설비별 모니터링

그림 6는 각 설비별 계측 데이터를 5초마다 서버측으로 요청하여, 실시간으로 차트를 갱신하는 공정설비별 모니터링 화면이다. 열에너지 공급 및 사용에 관련된 온도, 압력, 유량 등의 정보를 제공한다. 데이터 베이스에 데이터 저장 오류가 있을 시, 알림창이 발생한다. 화면 내 테이블은 선택 분류 기준에 따라 원하는 데이터를 분류하여 확인할 수 있도록 설계되었다.

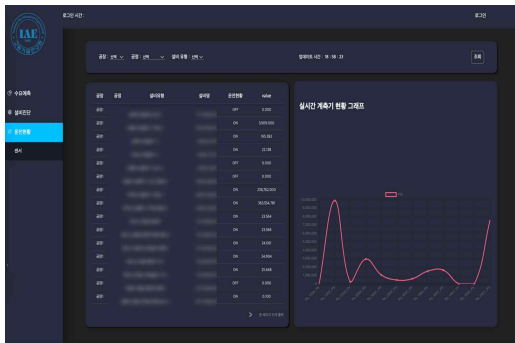


그림 6. 설비별 모니터링 화면  
 Figure 6. Monitoring screen for a facility

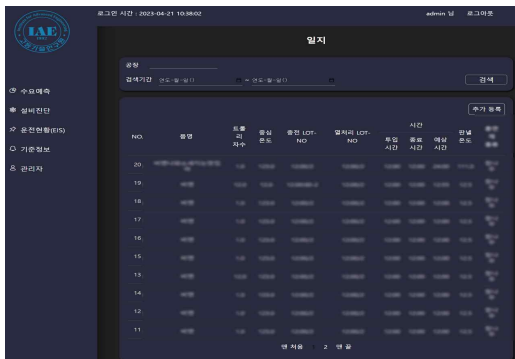


그림 7. 제품 작업 일지 검색  
 Figure 7. Search for production operation

#### 5) 작업 일지 검색

그림 7은 공정별 작업 일지에 대한 검색 화면이다. 지정 기간 동안의 제품 생산을 위한 작업 일지 기록

과를 확인할 수 있다.

## V. 결론

본 연구에서는 설비별 모니터링과 열처리 공정에 관한 에너지 공급·사용량 모니터링, 검색 기능이 포함된 식품 공장 에너지 모니터링 시스템이 제안되었다. 식품 공장의 열처리공정에서 발생하는 데이터를 수집하기 위한 모니터링 및 시스템 구조가 설명되었다. 또한 이를 바탕으로 사용자에게 제공하기 위한 공정별 에너지 사용에 관한 모니터링 및 에너지 소비 분석 서비스 기능이 개발되었다. 제안된 FEMS 시스템의 구축으로 식품가공공장의 빅데이터를 구축할 수 있다. 분석 공정별 에너지 사용량 패턴 분석은 운전 가이드를 제공할 수 있다는 장점을 갖는다. 향후 수집된 데이터를 기반으로 에너지 수요예측 시스템 기능을 구축하고자 한다. 또한, 공정설비별 에너지 원단위 실시간 결과를 조회할 수 있는 기능을 구현할 계획이다.

## References

- [1] E.A. Abdelaziz, R. Saidur, and S. Mekhilef, "A review on energy saving strategies in industrial sector," *Renewable and sustainable energy reviews*, Vol. 15, No. 1, pp. 150-168, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.003>
- [2] H. Lee, S. Yoo, and Y.W. Kim, "An energy management framework for smart factory based on context-awareness," *In 2016 18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*, pp. 685-688, 2016. DOI:10.1109/ICACT.2016.7423520
- [3] S. Lee, and B. Park, "Home Energy Management System for Residential Customer: Present Status and Limitation," *The International journal of advanced culture technology*, Vol. 6, No. 4, pp. 284-291, 2018.
- [4] C.W. Kim, J. Kim, S.M. Kim, and H.T. Hwang, "Fems technology embodiment and applied cases to save energy in manufacturing business," *Mag. SAREK*, Vol. 44, No. 1, pp. 22-27, 2015.
- [5] J. Hong, and W. Song, "A Study on the Gas furnace control technology of a process prediction based on FEMS information," *The Journal of Korean Institute of Communications and*

- Information Sciences*, pp. 455-457, 2022.
- [6] E. Abele, N. Panten, and B. Menz, "Data collection for energy monitoring purposes and energy control of production machines," *procedia CIRP*, Vol. 29, pp. 299-304, 2015. DOI:https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.01.035
- [7] R. Offermann, W. Irrek, M. Duscha, and F. Seefeldt, "Monitoring the energy efficiency service market in Germany," *Rethink, renew, restart: Eceee summer study proceedings*, pp. 3-8. 2013.
- [8] H. Hwang, and Y. Seo, "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, 2019. DOI: https://doi.org/10.9717/kmms.2019.22.3.366
- [9] D.J. Um, J.I. Choi, and I. Lee, "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, 2014. DOI:https://doi.org/10.5207/JIELE.2014.28.10.069
- [10] D.H. Kim, "Design and Implementation of Real Time Device Monitoring and History Management System based on Multiple devices in Smart Factory," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol. 25, No. 1, pp. 124-133, 2021. DOI:https://doi.org/10.6109/jkiice.2021.25.1.124
- [11] Korean Environmental Industry & Technology Institute(KEITI), "FEMS Technology Trend and Application Plan," *Konetic Report*. Vol. 36, pp. 1-10, 2015. [http://www3.konetic.or.kr/include/EU\\_N\\_download.asp?str=WEBZINE.dbo.TBL\\_REPORT&str2=1679](http://www3.konetic.or.kr/include/EU_N_download.asp?str=WEBZINE.dbo.TBL_REPORT&str2=1679)
- [12] S. Kim, M. Jung, D. Ku, S. Jeong, S. Bae, G. Seo, J. Song, and M. Kim, (2023.2) "Study on Energy balance for Factory Energy Management System (FEMS)," *Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences*, pp. 59-61, Korea, 2023.
- [13] J. Hong, and W. Song, "A Study on the Gas furnace control technology of a process prediction based on FEMS information," *Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences*, pp. 455-457, Korea, 2022
- [14] Y. Joo, S.H. Oh, M. Cho, and S.I. Kim, "Manufacturing information-based energy usage simulation for energy-intensive steel casting process," *Journal of Cleaner Production*, Vol. 379, No. 134731, 2022, DOI:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134731
- [15] C.-E. Yeo, W.-J. Cho, J.-H. Gu, and C.-Y. Lim, "Energy Consumption Analysis of Batch Type Heating Process for Energy Savings in Food Processing Plants," *The Journal of the Convergence on Culture Technology (JCCT)*, Vol. 9, No. 3, pp. 817-823, 2023. DOI:https://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2023.9.3.817

※ 본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구입니다.(No. 20202020800290)