

화학 산업단지 FEMS 구축 연구

유수민* · 백수웅** · 임정민*** · 문채주****

A Study on Implementation of FEMS for Chemical Industry Complex

Soo-Min Yoo* · Soo-Woong Back** · Jung-Min Lim*** · Chae-Joo Moon****

요약

소규모 기업이 산재한 산업단지는 에너지 관리시스템을 구현하기가 쉽지 않아 에너지관련 데이터를 수집하여 조정하는 방법을 주로 사용한다. FEMS는 수동적 에너지 관리 방식에서 IoT와 ICT를 활용하는 능동적 에너지 관리 방식으로의 패러다임 변화 요구에 대응하는 시스템이다. 본 연구에서는 화학산업단지에 소재하고 있는 중소기업을 대상으로 공장에너지 관리시스템을 설계한다. 각 기업에 구축된 설비의 전력에너지를 대상으로 FEMS를 통하여 에너지를 절감하는 방안과 효율을 검토하여 효율성을 확인하였다. FEMS의 비용 효과성은 수용 기업의 업무 프로세스 내에서 책임과 권한이 부여된 인력에 의해 활용될 때 창출된다. 따라서 기업의 조직과 에너지 경영 목표 달성을 위한 에너지 경영 시스템의 기획, 지원, 운영 및 평가, 그리고 지속적 개선에 적용할 수 있는 EMS를 활용하는 것이 필요하다.

ABSTRACT

It is not easy to implement an energy management system in an industrial complex where small businesses are scattered, so the method of collecting and adjusting energy-related data is mainly used. FEMS is a system that responds to the demand for a paradigm shift from a passive energy management method to an active energy management method using IoT and ICT. In this study, a factory energy management system(FEMS) is designed for small and medium-sized enterprises located in chemical industrial complexes. Efficiency was confirmed by reviewing energy saving measures and efficiencies through FEMS for the electric energy of facilities built in each company. The cost effectiveness of FEMS is created when it is utilized by responsible and empowered personnel within the business processes of the host company. Therefore, it is necessary to utilize EMS that can be applied to the planning, support, operation and evaluation, and continuous improvement of the energy management system to achieve corporate organization and energy management goals.

키워드

Energy Baseline(EnB), FEMS, High Efficiency Device, Improved Energy Efficiency

에너지 베이스 라인, 공장 에너지 관리 시스템, 고효율 기기, 에너지 효율 향상

* 국립목포대학교 대학원(stick92@naver.com)

** 에너지밸리기업개발원(bsw@evedl.or.kr)

*** (사)에너지밸리산학융합원(jmlim@eiuca.or.kr)

**** 교신저자 : 국립목포대학교 전기및제어공학과

· 접수일 : 2023. 02. 17

· 수정완료일 : 2023. 03. 16

· 게재확정일 : 2023. 04. 17

· Received : Feb. 17, 2022, Revised : Mar. 16, 2023, Accepted : Apr. 17, 2023

· Corresponding Author : Chae-Joo Moon

Department of Electrical & Control Engineering, Mokpo National University,

Email : cjmoon@mokpo.ac.kr

I. 서 론

우리나라 산업분야는 핵심 글로벌 경쟁력을 갖춘 반면에 해외 수입의존도가 약 97%에 달하며 국내 총 에너지 소비량 중 전체의 62.5%를 차지하고, 전력의 54% 이상을 소비하며, 국내 배출 온실가스의 50% 이상을 차지하는 최대 에너지 소비 분야이다. 그러나 산업분야는 생산 업종별로 단위 면적당의 에너지 사용량에 큰 차이가 있고 제조 설비에 따라 에너지 절약 방안이 상이하하며 산업의 궁극 목표인 생산성 증대와 생산 안정성 확보를 위한 과잉 에너지 공급설계 등 여러 난제로 인해 에너지 절감 활동의 발골에 주로 의존하는 소극적인 에너지 관리 방안을 유지하여 왔다. 공장에너지관리시스템은 기존 설비와 사용자의 경험으로 이루어졌던 제조 과정 및 제어가 이루어졌던 과거의 형태를 탈피하여, IoT, 빅데이터, 인공지능 등의 ICT 기술과의 융합을 통한 변화를 도모하고 있다[1-3].

최근 공장 신축부터 에너지를 효율적으로 관리하고 자동화 공정을 도입하기 위하여 스마트공장을 구축하고 있다. 3D 가상공정설계를 통해 병목 구간과 개선이 필요한 공정을 파악한 후 센서를 설치하여, 최종적으로 센서를 통해 수집된 데이터를 분석한 후 공정을 개선하고, 생산성이 향상된 스마트 팩토리를 구축하는 방안이 제시되고 있다. 스마트공장 및 제조 ICT 시스템과 관련된 일반적인 표준화 내용 및 제조 데이터를 거래시 필요한 표준에 관련된 사항도 적용되어야 스마트공장 구축 완결성을 갖는다. 하지만 중소기업의 경우, 낮은 수준의 기존 스마트 팩토리 구축레벨에서 높은 수준으로 업그레이드하는 것이 에너지 절감, 자동화로 인한 인력감축 등이 효과적이다[4-5].

스마트공장을 구축하는 경우 자동화에 필요한 여러 가지 센서의 설치 및 데이터 수집에 대한 다양한 방안이 제시되고 있다. 주거형 건물에서 에너지 소비자에게 전기 사용에 대한 실시간 정보를 제공할 수 있는 가정용 전기에너지 모니터링 시스템의 프로토타입 설계나 저전력 광역통신망은 저전력, 저용량, 저속 데이터 전송에 최적화된 서비스로 현장에서 수집된 데이터는 지정 저장서버나 클라우드 기반 데이터 플랫폼으로 전송되며, 이를 통해 데이

터 모니터링이 가능하다. 이를 구현하기 위하여 단일 디바이스로 현장 데이터를 수집하고 저전력 광역통신망을 이용하여 무선통신 사업자 클라우드 데이터 플랫폼으로 전송하는 IoT 중계기와 이를 활용한 현장 모니터링 앱을 설계하고 있다. 또한 산업분야에서 현장의 복잡한 공정이나 시공의 위험이 내포된 경우 최신의 디지털 기술을 사용한 가상복제인 디지털 트윈을 적용하는 것이 일반화되고 있다 [3], [7-8].

하지만 기존에 구축된 대규모 공장인 경우 에너지관리시스템을 도입하여 체계적인 적용이 이루어지고 있으나 소규모 기업이 산재한 산업단지는 이를 구현하기가 쉽지 않다. 가장 손쉽게 적용하는 방법은 단순하게 에너지관련 데이터를 수집하여 조정하는 방법을 주로 사용한다. 최근 IT 기술의 진전으로 소규모 공장에 표준기술을 적용한 방안이 제시되고 있으며, 주거지역과 산업단지 마이크로그리드를 적용한 최적의 에너지관리시스템에 대한 연구도 진행되고 있다[9-10].

본 연구에서는 화학산업단지에 소재하고 있는 중소기업을 대상으로 공장 에너지 관리시스템(FEMS : Factory Energy Management System)을 설계한다. 각 기업에 구축된 설비의 전력에너지를 대상으로 FEMS를 통하여 에너지를 절감하는 방안과 효율을 검토하여 효율성을 확인하고자 한다.

II. 공장 에너지 관리시스템

2.1 대규모 공장 에너지관리시스템 구성

대규모 공장의 FEMS는 조선업이나 제조업 등 생산시설에서 사용하는 에너지 성능의 최적화를 위한 관리시스템으로 생산 활동 및 시설 유지에 사용되는 에너지를 모니터링, 분석, 원격 제어함으로써 에너지의 효율적인 사용을 도모하는 IT기반의 에너지 절약기술을 말한다. 종래부터 진행되어오던 에너지 절약 활동인 고효율 기기 도입 및 교체 등의 방법에 추가적으로 공장에서 생산설비의 에너지 사용 상황 및 가동상황을 파악하고 에너지사용의 합리화 및 공장 내 설비, 기기의 통합 라이프사이클 관리 최적화를 도모하기 위한 보다 능동적인 공장의 에

너지관리시스템이라고 말할 수 있다. FEMS는 그림 1과 같이 모니터링-현황분석-수요예측-시물레이션-최적화의 에너지 관리 프로세스에 따라 구축되며, 기능적으로는 설비의 정보를 취합하는 기기·설비검침 물리계측과 수집된 정보를 기반으로 에너지 절감을 도출하는 운영단계, 개선과제 및 성과관리가 이루어지는 관리단계로 구성된다.

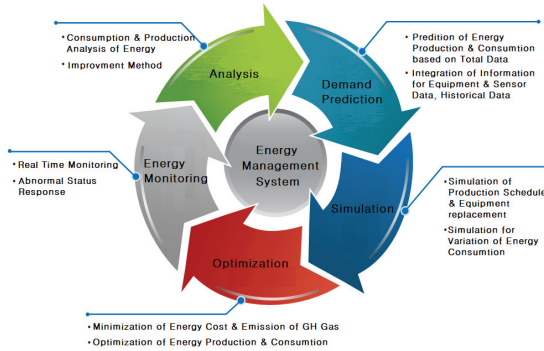


그림 1. 에너지관리 프로세스
Fig. 1 Energy management process

FEMS는 계층구조를 이루고 있는데, 전사적 자원관리(ERP : Enterprise Resource Planning), 공급망관리(SCM : Supply Chain Management), 제품수명관리(PLM : Product Lifecycle Management), 고객관계관리(CRM : Customer Relationship Management) 등으로 구성된 상위 시스템에 비해 인간-기계 인터페이스(HMI:Human Machine Interface), 감시제어 및 데이터 수집시스템(SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition), PLC(Programmable Logic Controller), 분산제어시스템(DCS:Distributed Control System), CMS:(Control Monitoring System), 관리대장 등을 활용하고 있는 하위 시스템은 통상적으로 상위 시스템에 비해 정보 활용기술에 있어 부족하다. 그 중간단계에서 제조실행시스템인 MES:(Manufacturing Execution System), 제조 및 ERP 운영을 능률화하고 품질 문제를 비용 효율적으로 관리하는데 필요한 절차인 QMS:(Quality Management Systems), 자산의 자금 계획부터 조달, 설치, 성능, 유지보수, 규제 준수, 리스크 관리, 폐기에 이르는

전체 수명주기에 걸쳐 회사가 소유한 실물 자산의 관리와 유지보수를 통합하는 EAM(Enterprise Asset Management) 등이 있다. FEMS는 이러한 상위 시스템과 하위 시스템의 중간에서 전체 시스템의 연계 및 확대 역할을 수행하게 되며 적용되는 공장의 에너지원별 절감 기술은 비조업시간은 무부하 차단기술을 적용하고 조업시간은 프로세스 요소별 최적화 기술을 적용한다[1].

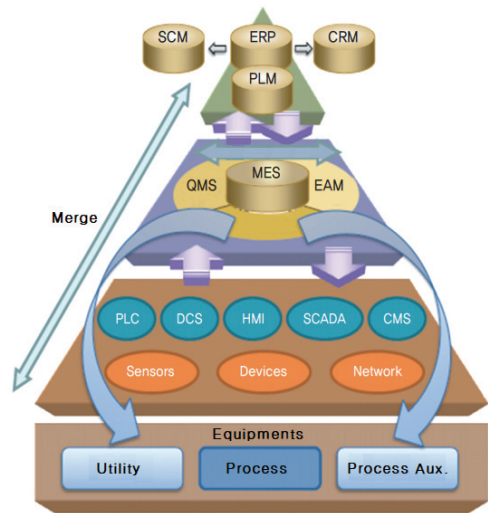


그림 2. FEMS 계층구조
Fig. 2 Hierarchical structure of FEMS

2.2 소규모 공장 에너지관리시스템 구성

소규모 공장의 에너지 관리시스템은 그림 3과 같이 데이터 수집 관점과 최소한의 운전이 가능하도록 사용량 정보를 수집할 수 있는 미터링 기기, 소규모 공장에 주로 구성되는 다양한 현장 정보 수집 기기, 그 외 공장운영과 관련된 설비에 대한 세부정보를 수집할 수 있는 센서와 이러한 정보를 수집하여 시스템까지 전달해 주는 통신모뎀과 게이트웨이 등이 기반 인프라로서 구성된다. 특히, 게이트웨이의 경우는 다양한 환경에 적용하기 위한 유/무선 기술의 복합 적용과 IoT 표준기술을 수용하고 있다. 스마트배전반, 공조시스템, 조명 및 생산라인 설비에 대해 에너지 사용 및 운전상황을 모니터링하고 제어하는 에너지관리시스템이다.

2.3 에너지절감 및 검증방법

한국에너지공단은 2015년 에너지 효율 사업의 성과 산정을 위하여, 베이스라인 에너지 대비 사업 후 에너지에 대한 비교 평가방식의 절감량 산정 가이드라인을 최초 제정하였으며, 2021년 7월, 조명기기, 동력기기, 냉난방설비, 가전기기, 열손실 개선, 행동변화로 구분 총 17개 품목에 대하여 절감량 성과측정 검증 기준 및 고려사항, 측정을 기반으로 한 사업별 모니터링 및 절감량 산정 방법 등으로 구성된 가이드라인 4.0을 제시하였다.

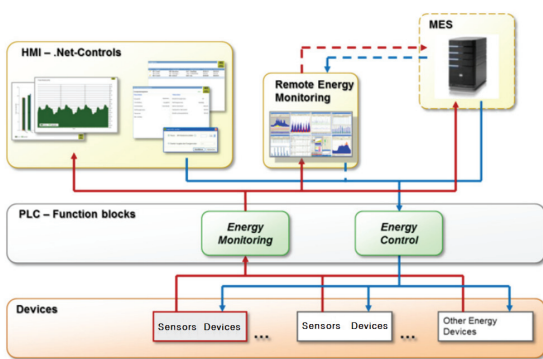


그림 3. 소규모 FEMS 구성
Fig. 3 Overview of the small scale FEMS

FEMS에 의해 생산 운휴 시간에 작동하고 있는 생산 설비의 적출 (불필요한 공회전, 수요가 없는 공장으로 공급되는 압축 공기의 차단 등), 동종 또는 동일 설비의 상호 및 상대 판정 기준인 EnB(Energy Baseline)으로서 축 정렬 불량, 펌프 흡입측 스트레이너의 막힘, 집진기 필터 백의 눈막힘과 흡입과 관련 없는 프레스 공기 유입의 적출, 생산 활동에 요구되는 적정 압력 보다 높은 압력의 압축 공기를 공급하는 공기 압축기의 적출 등으로부터 소비전력의 절감에 따른 자본적 투자를 요구하지 않는 높은 수준의 에너지 절감이 가능하다.

이와 같이 여러 에너지 절감 설계기법에 대한 방법론은 구체화하여 시행되고 있으나 이를 검증하는 제도는 아직 미흡하다. 이에 따라 온실가스 및 에너지검증 전문기관인 한국품질재단, 녹색건축에너지센터는 M&V(Measurement & Verification) 교육 및 에너지효율화 연구를 수행하고 있다.

에너지 효율 사업은 지속적 활동으로서 설비 자산의 설치 및 검증 활동 이전에 관련 변수에 대한 선정, 그리고 베이스라인에 근거한 모니터링과 성과 측정이 요구된다. 에너지 관리 시스템은 에너지 효율 향상과 에너지 절약을 목표로 IT(Information Technology) 소프트웨어를 이용하는 시스템으로서 다른 ICT(Information & Communication Technology) 시스템과 연계하여 실시간으로 에너지 소비량을 체크하고, 대기전력을 차단하는 등 지속적이고 체계적인 에너지 관리를 가능하게 하는 ICT로서 설비 자산이 에너지를 얼마나 사용했는지 현황 파악한 후, 에너지 수요를 예측하여, 에너지 사용과 비용의 최적 설계와 운영으로서 에너지 비용을 최소화하고, 설비 운전 경향의 분석으로 설비 자산의 전 생애 비용과 수명 최적화에 활용할 수 있다. 공장의 최하위 망단의 공정데이터를 측정하고 검증하는 작업은 그림 4와 같은 M&V 절차에 근거하여 추진하며, 화학산업단지의 FEMS 구축 사업은 그 자체의 단기 성과보다 최신 기술을 도입하여 자원 소비와 환경 오염을 최소화하고, 지능형 건물, 스마트 그리드, 자동화된 생산 시스템 등을 적용하여 생산성을 향상시키는 스마트 그린산단을 향한 장기계획으로 추진하는 것이 바람직하다.



그림 4. FEMS의 M&V 절차
Fig. 4 M&V Process of FEMS

III. 공장 에너지 관리시스템 구축 및 시험

3.1 전력에너지 사용량 조사

산업단지 수용 기업의 FEMS 구축 전의 전력에너지 사용 현황은 표 1과 같이 조사되었다.

표 1. 기업의 전력에너지 사용량
Table 1. Power Meterage of Companies

No	Meterage	Unit	Toe	Cost (Million won)
1	48	MWh	11	10
2	213	MWh	49	24
3	78	MWh	18	13
4	152	MWh	35	17
5	2,729	MWh	625	300
6	1,288	MWh	295	142
7	4,349	MWh	996	480
8	10,034	MWh	2,298	1,003
9	4,362	MWh	999	480
10	406	MWh	93	236
11	22	MWh	5	15
12	349	MWh	80	77
13	4,545	MWh	1,041	650
Sum	24,030		6,545	2,797

3.2 공장모니터링 시스템 설계 및 시공

본 연구에서는 화학산업단지의 590 여개 기업중 단순 교반공정부터 반응공정을 보유한 기업까지 기계제작, 설치공사 및 화학기업으로 구성된 13개 기업을 선정하여 공장 에너지 관리시스템 구축을 위한 센서를 구축하였다. 설계된 계측 인프라는 크게는 원격제어반, 모터센서, 주전력계측기, 부하 전력계측기, 클라우드 감시/제어반 등으로 그림 5와 같이 구분된다.

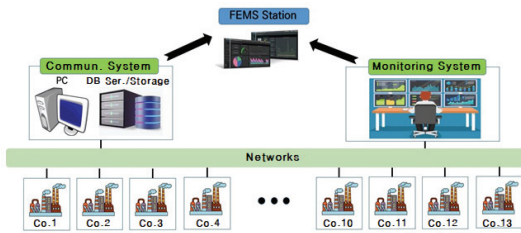


그림 5. 화학산업단지 FEMS 구조
Fig. 5 FEMS Structure of Chemical Industry Complex

전력에너지를 절감하기 위한 화학 산업단지 수용 기업에는 전력량계, ABB사 CT(Current Transformer), PLC(Programmable Logic Controller) 등 현장 데이터를 수집하거나 제어하기 위한 다양한 장비들이 설치되었으며, 그림 6은 전압과 전류의 측정을 위한 설치 현황을 보여준다. 그림 7은 ABB사의 자료저장장치 마스터와 슬레이브의 설치 현황이다.

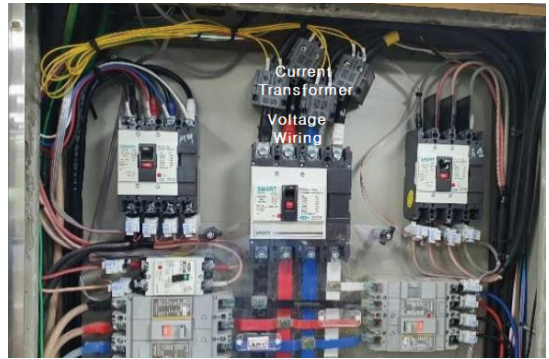


그림 6. 전압결선과 전류센서 설치
Fig. 6 Voltage Wiring and Installation of Current Transformer

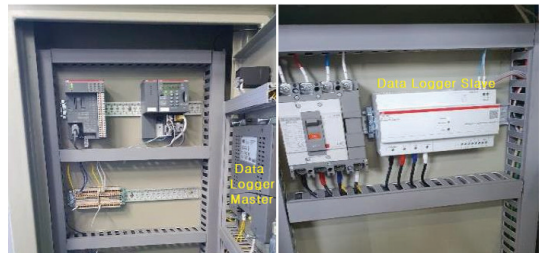


그림 7. 자료저장장치 마스터와 슬레이브 설치
Fig. 7 Installation of Master and Slave for Data Logger

3.3 FEMS 운영 결과

화학산업단지 전체 13개 수용 기업의 150개 설비에 대하여, 43개의 전력량계와 576개의 CT를 설치하여 스마트 에너지 플랫폼을 구축하였다. SEU(Significant Energy Unit) 설비 자산의 에너지 사용량을 실시간으로 모니터링하여 에너지 절감을 산출할 수 있다. EnB 대비 실제 에너지 사용량 모니터링을 통하여 과도한 에너지를 요구하는 펌프 스트레이너 막힘, 집진기 필터 눈 막힘과 찢어짐, CNC(Computer Numerical Control) 바이트의 마모, 모터의 축 정렬 불량 등 설비 자산의 고장에 선제적 대응을 수행하였다. 이와 같이 FEMS를 운영한 결과로 표 2와 같이 에너지 절감효과를 계산하였다.

표 2. 전력사용량 시험결과
Table 2. Test Results of Power Meterage

No	Meterage	Unit	Toe	Cost (Million ₩)	Reducti on rate
1	43.2	MWh	10	9	10.0%
2	192	MWh	44	22	9.9%
3	70.2	MWh	16	12	10.0%
4	139	MWh	32	16	8.6%
5	2,593	MWh	594	285	5.0%
6	1,227	MWh	281	135	4.7%
7	4,135	MWh	947	456	4.9%
8	9,532	MWh	2,184	953	5.0%
9	3,930	MWh	900	432	9.9%
10	365	MWh	84	213	10.1%
11	19.8	MWh	5	14	10.0%
12	314	MWh	72	69	10.0%
13	4,091	MWh	937	585	10.0%
Sum	26,651		6,106	3,200	6.7%

에너지 사용량을 측정하는 전력량, 전류, 전압 등은 다수의 관련 변수에 따라 변화한다. 에너지 사용량은 관련 변수의 모니터링과 관련 변수의 적절한 제어로서 절감할 수 있으며, 모니터링 되지 못하는 변수는 제어할 수 없다. 전기 모터의 회전력이 공기 압축기에 전달되고 공기 압축기는 크랭크 샤프트 회전에 따른 실린더 내부에 위치한 피스톤의 왕복 운동 또는 스크류의 회전으로 압축 공기가 생산되는데 에너지는 중대한 자본적 지출(CAPEX : Capital Expenditures)를 요구할 수도 있는 전기 모터 자체의 고효율화, 그리고 에너지가 변환되는 공기 압축기의 고효율화로부터 절감할 수 있으나, 생산 공장 단위에서 일상적인 운영과정에서 발생하는 영업비용(OPEX : Operating Expenditures) 요소로서 압축기 피스톤과 실리너, 스크류와 케이싱 외 내부 틈새, 흡입 밸브와 토출 밸브의 상태, 흡입 필터의 차압, 흡입 공기의 온도, 전기 모터와 압축기축 간의 정렬 상태 등에 대한 최적화된 설비의 자산관리가 병행이 되어야 한다.

3.4 시험결과 분석

생산 공장에서 에너지 사용량 자체는 결과적, 지연적, 반응적 데이터이며, 선행적, 예지적, 선제적 데이터는 에너지가 실질적으로 생산하는 개소인 공기 압축기, 펌프, 송풍기 등에서 관련 변수의 측정이 가능하다. 에너지 사용량의 모니터링으로 EnB 측면에서 결과적 이상과 정상상태인 변동상태를 확정할

수 있으나, 그 원인을 추적하기에 무리가 있다. 에너지 사용량 변동의 원인은 에너지가 최종 제품으로서 변환되는 설비 자산, 기능 위치에서 발생되기 때문이다. 그러므로 FEMS 데이터와 정보는 제품 생산과 관련된 MES, 설비 자산과 관련된 EAM, 제품 품질과 관련된 QMS와 연계될 때 중대한 시너지가 예상된다. 에너지 사용량 대비 에너지 비용 절감이 기대되는 영역은 최대 부하 관리, 계약 전력과 적용 전력 관리에 따른 기본 요금의 감소, 그리고 역률 관리를 통하여 절감 또는 감면이 가능하다. 고효율 공기 압축기, 고효율 조명, 고효율 모터 등, 고효율 기기의 적용에 따른 에너지 절감 가시화로 고효율 설비 투자 또는 정부 지원 프로그램을 활용하여 추진할 수 있다.

IV. 결론

FEMS는 수동적 에너지 관리 방식에서 IoT와 ICT를 활용하는 능동적 에너지 관리 방식으로의 패러다임 변화 요구에 대응하는 시스템이다. 이 방식은 에너지의 효율적인 사용을 유도하는 에너지 절약 기술입과 동시에, 생산 설비의 에너지 사용 상황과 가동 현황을 파악하고, 에너지 사용의 합리화와 공장 내 설비 자산의 통합 라이프 사이클 관리의 최적화를 도모하는 능동적인 에너지 관리 시스템이다. 전사적 관점에서 통합적 에너지 절감 방안을 도출하고, 투자 대비 효과를 극대화할 수 있는 에너지 수요와 공급 구조를 파악하여 수요에 적합한 공급이 가능한 에너지 관리 체계를 구축할 수 있다.

본 연구에서 구축한 에너지 모니터링만을 통하여 에너지절감 목표를 달성할 수 없으며, 관련 변수의 모니터링과 선행적 조치, SEU에 대한 고효율화, 실제 에너지가 사용되는 설비자산의 에너지에 영향을 미치는 모드에 대한 예지 보전과 선행적 교정을 통하여 6.7%의 에너지 절감이 가능한 것을 확인하였다. 사용 절감율은 에너지 사용량 기준이며, 수용기업의 에너지 비용 절감율은 보다 클 것으로 예상된다.

FEMS가 구축되었다고 할지라도 FEMS로부터 측정 및 수집된 데이터가 정보화되어 가치 창출 측

면의 의사결정에 활용되지 못할 때, 즉, 데이터 분석을 통하여 과도한 에너지가 소모되는 특정 영역의 발굴, 또는 에너지 절감이 가능한 낭비 요소가 시정 조치되지 못하게 되면 FEMS의 비용 효과성은 기대할 수 없다. FEMS의 비용 효과성은 수용 기업의 업무 프로세스 내에서 책임과 권한이 부여된 인력에 의해 활용될 때 창출된다. 따라서 기업의 조직과 에너지 경영 목표 달성을 위한 에너지 경영 시스템의 기획, 지원, 운영 및 평가, 그리고 지속적 개선에 적용할 수 있는 EMS를 활용하는 것이 필요하다.

한편 산단에 위치한 기업의 경우 내부 운전자료의 측정 및 계량자료는 기업의 운영현황을 나타내는 지표가 되기 때문에 공개하는 것이 매우 제한적이다. 본 연구에서도 590개 기업중 단지 13개 기업의 동의를 받아서 수행하였으며 기업공개가 가능하도록 설득 및 참여 표본을 늘리는 것이 매우 중요함을 알 수 있다.

References

- [1] C. Kim, J. Kim, S. Kim, and H. Hwang, "FEMS technical trend and application examples for energy reduction of manufacturing industry," *The Mag. of the Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea*, vol. 44, no. 1, 2015, pp. 22-27.
- [2] B. Kim, D. Kim, Y. Kim, and J. Han, "A study on the development of internet of things based factory energy management system for small factory," *Autumn Conf. of the Korea Institute of Information Scientists and Engineer*, vol. 26, no. 2, 2019, pp. 242-244.
- [3] M. Lee and K. Jung, "Design of IoT-based energy monitoring system for residential building," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 16, no. 6, 2021, pp. 1223-1230.
- [4] B. So and S. Shin, "The built of smart factory using sensors and virtual process design," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 12, no. 6, 2021, pp. 1071-1080.
- [5] W. Cho, "Development of domestic standardization in smart factory and manufacturing data," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 16, no. 5, 2021, pp. 783-788.
- [6] K. Jung, S. Choi, B. Kulvatunyou, H. Cho, and K. Morris, "A reference activity model for smart factory design and improvement," *J. of Production Planning and Control*, vol. 28, no. 2, 2016, pp. 1-31.
- [7] Y. Ju, J. Kim, and E. Kim, "Development of a system for field-data collection transmission and monitoring based on low power wide area network," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 17, no. 6, 2022, pp. 1105-1112.
- [8] Y. Jiang, S. Yin, K. Li, H. Luo, and O. Kaynak, "Industrial applications of digital twins," *J. of Philosophical Trans. of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, vol. 379, no. 2270, 2021, pp. 1-15.
- [9] B. Kim, D. Kim, T. Kim, and J. Han, "A study on the development of the factory energy management system through energy consumption monitoring," *On Line Autumn Conf. of the Korea Institute of Information Scientists and Engineer*, vol. 27, no. 2, 2020, pp. 523-525.
- [10] M. Nsir, A. Hussain, and K. Niazi, "An optimal energy management system for residential and industrial microgrids," *Energies*, vol. 15, article 6266, 2022, pp. 1-18.

저자 소개



유수민(Su-Min Yoo)

2016년 한국외국어대학교 문학사
2021년~현재 목포대학교 대학원 신
재생에너지공학 협동과정 재학중

※ 관심분야 : 전력시스템



백수웅(Soo-Woong Back)

2009년 및 2011년 목포대학교 공학
사 및 공학석사
2011년~2014 (재)녹색에너지연구
원 기술사업실 연구원
2018년~현재 에너지밸리기업개발
원 기업지원실 실장

※ 관심분야 : 전력변환시스템, 전력시스템



임정민(Joung-Min Lim)

2004년, 2006년 및 2009년 목포대
학교 공학사, 공학석사, 공학박사
2022년~현재 (사)에너지밸리산학융
합원 스마트전력연구센터 센터장

※ 관심분야 : 전력변환시스템, 전력시스템



문채주(Chae-Joo Moon)

1981년, 1983년 및 1994년 전남대
학교 공학사, 공학석사, 공학박사
1997년~현재 목포대학교 공과대
학 전기 및 제어공학과 교수
2017년~현재 에너지밸리산학융합
원장

한국전력기술(주) 책임연구원, 광주일보 테마칼럼니스트, 전력전자학회 부회장, 이투스 및 한국전기신문 칼럼니스트, 기초전력연구원 에너지밸리분원장 역임
※ 관심분야 : 풍력발전, 전력변환시스템, 전력시스템