



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공 학 박 사 학 위 논 문

스마트공장의 에너지 절감을 위한 빅데이터 분석 및 효율화 방안

지도교수 김 창 수

이 논문을 공학박사 학위논문으로 제출함.

2023년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

정보시스템협동과정

김 태 연

김태연의 공학박사 학위논문을 인준함.

2023년 2월 17 일

위원장	이 학 박사	이 경 현 (인)
위원	경영학 박사	최 태 영 (인)
위원	이 학 박사	김 대 환 (인)
위원	경영학 박사	김 종 원 (인)
위원	공 학 박사	김 창 수 (인)

목 차

표 차례	iv
그림 차례	v
Abstract	vii
I. 서론	1
1.1 연구배경	1
1.2 연구방법	4
II. 관련연구	6
2.1 에너지 절감을 위한 IoT 현황 및 스마트공장	6
2.1.1 에너지 효율화 현황	6
2.1.2 에너지 절감 IoT 연계 현황	7
2.1.3 스마트 구축 현황	8
2.2 IoT 정보수집과 빅데이터 분석 기법	10
2.2.1 IoT 플랫폼 시장 현황	10
2.2.2 빅데이터 분석 기법 현황	10
2.2.3 IoT 정보수집과 빅데이터 연계 기법	12
2.3 스마트공장 설비별 IoT 센서 플랫폼 구축	13
2.3.1 스마트공장에서 적용 기술 분류	13
2.3.2 스마트공장 요소 기술	13
2.4 스마트공장 실시간 모니터링 시스템	15
2.4.1 스마트공장 에너지 모니터링 시스템	16

2.4.2 IoT 기반 실시간 모니터링 시스템	17
2.5 에너지 절감 인공지능 기반 효율화 방안	18
2.5.1 국외 에너지 절감 기법 현황	18
2.5.2 국외 에너지 절감 기법 현황	19
2.6 단조공정의 에너지 절감 효율화 현황	19
2.6.1 단조공정 작업의 특성과 작업계획 시스템	20
2.6.2 단조공장 에너지 모니터링 시스템 구성 방법	22
2.7 IoT 기반 공장 에너지 관리 시스템	24
2.7.1 IoT 기반 에너지 관리 시스템 현황	24
2.7.2 소규모 공장 IoT 기반 에너지 관리 시스템 개발	25
2.8 스마트공장 빅데이터 분석 기술 현황	27
2.8.1 스마트공장 빅데이터 분석 플랫폼 개발 현황	27
2.8.2 제조업 스마트공장 플랫폼 구축 사례	29
III. 스마트공장의 IoT 기반 데이터 수집 플랫폼	32
3.1 스마트공장의 데이터 수집을 위한 시스템 구성	32
3.1.1 스마트공장 데이터 수집 시스템 구성	32
3.1.2 IoT기반 데이터 수집 네트워크 구성 및 서버 구성도	34
3.2 데이터 수집 및 통합 모니터링 시스템	36
3.2.1 실시간 모니터링 시스템 구성	36
3.2.2 서비스 플랫폼 서비스 시스템 구성	40
3.2.3 시스템 개발 환경	38
IV. IoT기반 에너지 절감 및 이상 감지 시스템	41

4.1 IoT기반 에너지 절감 통합 시스템	41
4.1.1 IoT기반 단조공정 통합 시스템 구성	41
4.1.2 단조공정 설비별 데이터 수집 모듈	43
4.1.3 단조공정의 데이터 수집 및 에너지 사용 분석	45
4.1.4 호기별 에너지 데이터 수집 모니터링 시스템	52
4.1.5 에너지 절감을 위한 원단위 분석	55
4.2 IoT 기반 이상감지 시스템	57
4.2.1 예측모델 기반 이상감지 모니터링 수행 시스템	57
V. IoT기반 에너지 절감 기존 연구 분석	60
5.1 제안 시스템과 기존 연구 비교 분석	60
5.1.1 제안 시스템의 개선 내용	60
5.1.2 제안 시스템과 기존 연구들과 비교 분석	62
5.1.3 제안 시스템의 성능 향상 분석	64
VI. 결론	65
참고문헌	67

표 차 례

[표 1] 2020년 스마트공장 수준 및 보급현황	3
[표 2] 주요국우 에너지원 단위(TOE/천\$ 추이(IEA))	6
[표 3] 주요 국가별 스마트공장 주요 추진 현황	9
[표 4] 스마트공장 적용 기술 분류	14
[표 5] 스마트 미터링의 특성 및 주요 기술	18
[표 6] 시스템 개발 환경	40
[표 7] 예측 모형 학습을 위해 필요한 수집 데이터	46
[표 8] 가열 공정의 가스 사용량 수집 데이터 예	47
[표 9] 가열 공정 가스 사용량 예측 모형 성능 비교	48
[표 10] 열처리 공정의 가스 사용량 수집 데이터의 예	49
[표 11] 열처리 공정의 가스 사용량 수집 데이터 예	49
[표 12] 열처리 공정의 가스 사용량 예측 모형 성능 비교	50
[표 13] 제안 시스템과 기존 연구들의 비교 분석	63

그 립 차 례

[그림 1] 산업용 IoT 적용사례 및 효율성	8
[그림 2] 국내 IoT 플랫폼 시장 전망	11
[그림 3] 스마트공장 요소기술의 구성요소	15
[그림 4] 열간 단조공정 작업 시스템 흐름도	22
[그림 5] 단조공정 에너지 모니터링 구성도	23
[그림 6] IoT기반 에너지 관리 FEMS 시스템 구성도	25
[그림 7] 소규모 공장 에너지 관리 플랫폼 구성도	26
[그림 8] 클라우드 기반 제조 데이터 수집 시스템 구성도	27
[그림 9] 스마트공장 플랫폼 주요 기능 및 데이터 흐름	28
[그림 10] 데이터 분석 소프트웨어 시스템 설계	29
[그림 11] 제조 경쟁력 강화를 위한 스마트공장 플랫폼 구성도	31
[그림 12] 단조공정에서 데이터 수집 시스템 구성도	33
[그림 13] 단조공장에서 IoT기반 모니터링 시스템 구성	34
[그림 14] IoT기반 무선 네트워크 데이터 수집 구성도	35
[그림 15] 데이터 수집을 위한 경로 선택 및 서버 구성도	36
[그림 16] 실시간 모니터링 통합 시스템 구성	38
[그림 17] 스프링스 프레임 워크 기반 시스템 서비스 기능	39
[그림 18] IoT기반 단조공정 통합 시스템 구성도	42
[그림 19] 설비별 실시간 에너지 사용량 및 통합 모니터링	43
[그림 20] 설비별 데이터 수집 시스템 구성도	44
[그림 21] 가열공정 정보 및 에너지 사용량 데이터 수집 정보	45
[그림 22] 가열공정 작업 계획을 위한 할당 순선 표현	50
[그림 23] 가열로 장입도 등록 예시	53

[그림 24] 가열로별 데이터 수집 현황 예시	53
[그림 25] 호기별 가열 시간 및 홀딩 시간 정보 수집 현황	54
[그림 26] 호기별 공정작업 검색 현황	55
[그림 27] 에너지 집계 분석을 위한 원단위 분석 예	56
[그림 28] 설비별 에너지 소비 분석 패턴 분석 예	56
[그림 29] 예측모델 기반 이상감지 모니터링 수행 예	58
[그림 30] 실시간 호기별 이상탐지 예측 모니터링	59



Big Data Analysis and Efficiency Measures for Energy Saving in Smart Factories

Tae Yeon Kim

Information system interdisciplinary course, The Graduate School
Pukyeong National University

Research and interest in manufacturing innovation and energy saving in smart factories applying advanced ICT technologies such as IoT, big data and artificial intelligence are increasing. In particular, for small and medium-sized manufacturing companies, productivity improvement and abnormality detection through manufacturing innovation are essential to realizing smart factories. Most of the existing studies focus on building an integrated platform for productivity improvement and abnormality detection by attaching IoT sensors to equipment at the production site of the manufacturing industry. However, this thesis proposes the development of an integrated platform for energy saving and anomaly detection targeting the forging process among smart factories in the manufacturing industry.

Most of the existing studies are related to smart factory construction for general manufacturing industries, but this thesis is proposed integrated system for data collection and productivity improvement for energy saving and anomaly detection detection by attaching IoT devices necessary in the actual field of a forging factory.

We propose a system in terms of energy saving, anomaly detection, and productivity efficiency for the collected big data from smart factories based on IoT. First, our system is designed element technologies for configuring an integrated system for data collection in smart factories, and based on these contents, we propose a system that provides necessary information to managers and expresses various information. Second, based on the data collected by the proposed integrated system, we propose the improvement method of energy efficiency through basic unit analysis for energy saving. Third, we also propose a design method for detecting anomalies targeting data collected by each facility in the forging process.

Similar to previous studies, our research has similar energy saving and anomaly detection methods for smart factories, but the advantage of our research is based on data transmitted in real time based on IoT for forging factories, and we propose an integrated system by designing our own model for energy reduction and anomaly detection for energy saving of each unit.

Keyword : Smart factory, Energy Saving, Big data analysis, IoT.

I. 서론

1.1 연구배경

4차 산업혁명과 제조업의 디지털 트윈 정책 전환 등으로 제조업의 스마트 공장(Smart Factory)으로 전환은 매우 빠르게 발전하고 있다. 스마트공장은 기존 제조업의 다양한 공정들의 자동화를 넘어서 생산과정 전반에 걸쳐서 디지털화 및 인공지능 기능을 도입한 생산성 향상에 초점을 맞추고 있다.

한국 전력 공사 「한국전력통계」, 에너지 경제 연구원 「에너지 수급 통계」에 따르면 대한민국의 1인당 전력 소비량은 매년 증가하고 있다. 1990년 2,202kWh에서 지속해서 증가하여 2000년에는 5,067kWh, 2010년 8,883kWh, 2019년 10,039kWh로 연평균 1.5% 씩 증가하고 있다. 한국의 1인당 전기 사용량 증가세가 빠르게 증가하고 있음을 확인할 수 있다.

이러한 에너지 낭비를 줄이고자 다양한 ICT 기술이 접목되고 있다. 특히, 사물인터넷(Internet Of Things) 기술과 연계된 에너지 및 전력 산업에 관한 기술이 연구되고 있다. 이미 오래전부터 공장, 산업체, 빌딩 등 다양한 건물 내 에너지 관리를 위한 IoT 센서를 설치하여 데이터 수집, 에너지 정보 관리 등을 지원하는 서비스들이 연구되고 있다.

발전량과 전기요금을 결정하는 중요한 요인 중 하나는 전력 피크(Peak) 값이다. 부하 이전을 통해 전력 피크 값을 줄이고 경부하 시 발생하는 유휴 전력을 최대한 활용하게 된다면 전력의 수급 균형과 에너지 효율을 높일 수 있다. Peak shaving을 통한 부하 평균화가 이루어진다면 전기요금 절감 효과 또한 가져올 수 있다. 이러한 전력 시스템에 사물인터넷과 센서를 결합하게 되면 보다 효율적인 전력 그리드의 운용을 기대할 수 있다[1].

본 연구는 IoT(Internet of Things) 기반 에너지 절감을 위한 빅데이터 분

석 및 효율화를 위한 공정 데이터 분석 및 운영 최적화 기술의 연구 방향을 설정하고, 현장에서 적용가능한 연구가 될 수 있는 것을 고려하고 있다. 이를 위해서 IoT 기반 공장 효율화를 위한 데이터 분석 및 운영 최적화 기술에 초점을 맞추고자 한다.

4차 산업혁명과 디지털 트윈 기술 개발 환경으로 IoT 관련 기술이 급부상하고, 기존의 국내 제조업과 관련된 공장 자동화에 대한 위기론이 대두되면서, 제조업의 위기를 극복하기 위해 스마트공장으로 전환하기 위한 연구와 개발들이 빠르게 진행되고 있다.

스마트공장 관련하여 최근 연구들은 솔루션을 제공하는 생산 계획에 따라 실시간으로 실적을 관리하는 실적 관리 플랫폼, PC 기반으로 설비를 제어하는 설비 제어 소프트웨어, 공장 전체 및 각 공정 단위로 에너지 사용량을 파악하고 에너지 사용량을 저감하기 위한 실시간 모니터링 통합 플랫폼에 대한 연구들이 진행되고 있다. 이러한 분야에는 제철공장, 화학공장, 다양한 제품을 생산하는 중견 제조업 등에서 에너지 절감을 위한 다양한 방법들을 고려하거나 새로운 기술 도입을 추진하고 있다. 이외에도 설비 관리 및 에너지 관리를 위한 기술이나 유무선 센서 네트워크 기반 생산자원 관리시스템 등의 기술에 대한 관심을 보이고 있다. 그러나 국내 제조업의 현황들을 살펴보면 기업들의 지능화 설비의 경우 주로 단위 공정의 자동화 및 설비와 관련된 CCTV, 설비 장치에 제어를 감시하는 수준에 있으며, 본 연구와 관련된 스마트공장에 대한 적합한 솔루션의 개발은 점차 확대되고 있지만, 아직도 많은 공장들이 도입을 하거나 고려하고 있지만, 실제적인 효율성에 대해서는 불확실하다.

정부는 2020년 2만개의 스마트공장 추진과 2022년 3만개의 스마트공장 추진을 계획하여 중소, 중견기업이 생산성 향상과 에너지 절감으로 제품의 경쟁력 증강을 위한 지원을 하고 있다. 그러나 중소벤처기업부의 2020년 ICT

융합 스마트공장 현황을 보면 (표 1)과 같이 2019년 기준 대부분 기초수준과 중간 1~2 단계에 있다. 물론 2022년 기준으로 확대하면 고도화 수준의 기업들도 있을 수 있지만, 대부분 아직도 중간 1~2단계에 있으며, 다양한 연구 개발로 고도화를 진행하고 있다[2,19].

[표 1] 2020년 스마트공장 수준 및 보급현황

구분	현장자동화	기업자원관리	공급 사설 관리	스마트화 수준 (14년~19년기준)
고도	IoT/IoS 기반 CPS화*		인터넷공간 CPS 네트워크 협업	
	IoT/IoS화	빅 데이터 기반 진단 및 운영	다품종 개발협업	
중간2	설비 제어 자동	실시간 제어	다품종 생산협업	1.5%
중간1	설비 데이터 집계	실시간 의사결정	단일 모기업의존	20.6%
기초	설적집계 자동	공정물류관리	전화와 이메일	77.9%
ICT미적 용	수작업	수작업	수작업	

* CPS(Cyber-Physical System) : 가상물리시스템

본 연구는 스마트공장의 단조공정 관련 내용을 포함하고 있기 때문에 단조공정에서 IoT기반 스마트공장 기술 도입을 위한 주요 내용들은 다음과 같다. 단조공정은 프레스, 열처리, 가공 등의 복잡한 과정이 절차적으로 진행되며, 생산단가에서 가스, 전기 등 에너지 비용이 높기 때문에 에너지 절감과 관련된 스마트공장 기술 도입은 가격 경쟁력과 직결된다. 그리고 단조 공장에서 에너지 절감을 위해서는 IoT 기반의 공정 데이터를 실시간으로 수집하고 분석하여 생산 현장의 동적 변화에 능동적으로 대응할 수 있는 설계와 운영 기술

이 필요하다. 이러한 운영 기술에 필요한 내용들은 최근의 IoT 기술을 활용한 에너지 소비를 효율적으로 관리할 수 있는 실시간 에너지 모니터링 및 분석 시스템을 연구하여 에너지 분석과 제조 공정에 활용할 수 있는 연구들이 필요하다.

1.2 연구 방법

본 연구는 스마트공장의 에너지 절감을 위해 단조공정을 대상으로 IoT 기반의 공정 데이터를 실시간으로 수집 및 분석하여 단조 공정의 진행 상황 변화를 인지하여 상황에 적합한 운영 방안을 제시하는데 초점을 두고 있다.

본 연구는 [표1]에서 기술하고 있는 기초 또는 중간1~2에 해당하는 기업들을 대상으로 연구 수준을 고려하고 있다. 이들 기업은 대부분 IoT 기반 실시간 모니터링 시스템 환경을 구축하고 있지 않아서 작업자가 가스 사용량, 작업시간, 중량 등을 수기로 관리하고 있으며, 일별로 에너지 사용량과 원단위 분석을 수행하고 있어 에너지 절감을 위한 정확한 정밀한 데이터 수집이 고려되지 않은 것은 물론 수기 입력에 따른 데이터 오류 발생이 발생할 수 있기 때문에 이러한 현장 상황을 고려한 시스템 모니터링을 고려하고 있다. 따라서 본 연구는 IoT 플랫폼 기반의 에너지 사용량을 실시간으로 수집하는 것으로 하여, 분석 결과를 실시간 제공하는 효과적인 설비 관리 기능뿐만 아니라, 전체 공정에서 각 공정들의 연계를 통하여 작업을 효과적으로 운영하기 위한 기본 모니터링 시스템 개발 및 적용에 대한 연구 내용을 제시한다.

그리고 단조공정의 모형 학습시스템 및 시뮬레이션을 위한 작업 계획 모델도 제시한다. 단조공정 작업계획은 가열로 및 열처리로 별 처리할 강괴 조합과 그 외 설비별 작업 순서를 결정하는 것으로 현장에서는 작업자의 경험을 바탕으로 정해진 몇 가지 규칙에 따라 작업계획을 수립하고 있는 현황을

고려하여 에너지 절감을 위한 산업 IoT기반 센싱노드를 설치하여 실시간으로 수집된 데이터에 대해 빅데이터 분석을 통한 효율적인 스마트공장 관리에 필요한 연구들을 제안한다.



II. 관련연구

2.1 에너지 절감을 위한 IoT 현황 및 스마트공장

2.1.1 에너지 효율화 현황

우리나라는 2019년 기준 세계 8위의 에너지 소비 및 수입국이며, 제조업 비중이 높은 국가로 산업 분야의 에너지 소비가 국내 총 에너지소비량의 62.5%를 차지하며, 생산 전력의 54% 이상이 소비되고 있다. (표 2)는 주요국 에너지원 소비량을 나타낸 것으로, 이를 기준으로 GDP 대비 2017년 기준 에너지 소비량은 우리나라가 0.159, 미국 0.123, 독일 0.086, 일본 0.089 그리고 OECD 평균 0.105로 에너지 소비량이 많은 국가로 분류되고 있다. 이를 위해 정부는 에너지소비 감소를 위해 에너지 효율성을 높이기 위해 통합에너지 빅데이터 플랫폼 구축 및 스마트그리드, 스마트공장 활성화 등에 대한 지원과 새로운 연구 개발을 계획하고 있다[7].

[표 2] 주요국 에너지원 단위(TOE/천\$) 추이(IEA))

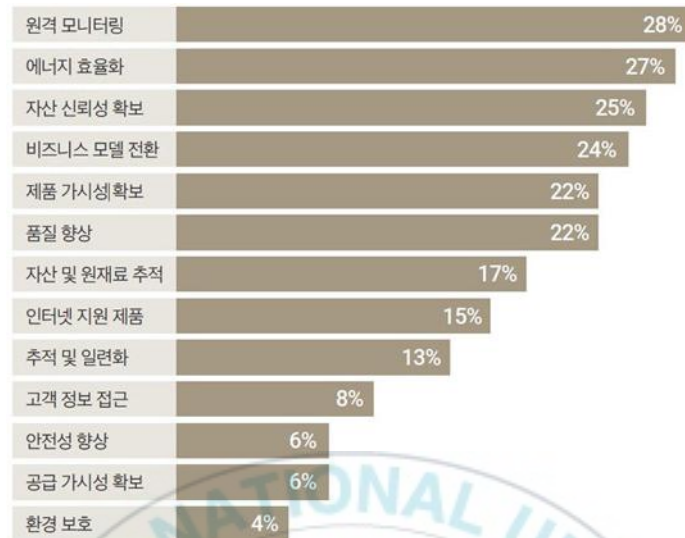
구분	00년	2005년	2010년	2015년	2019년	연평균 개선율	
						'00 →'10	'11 →'19
한국	0.121	0.104	0.095	0.090	0.084	△2.4%	△1.4%
일본	0.072	0.069	0.063	0.056	0.052	△1.3%	△2.1%
독일	0.070	0.069	0.065	0.057	0.053	△0.7%	△2.2%
미국	0.113	0.100	0.093	0.083	0.080	△1.9%	△1.7%

2.1.2 에너지 절감 IoT 연계 현황

스마트공장은 AI, 빅데이터, IoT 같은 다양한 기술의 발전과 함께 제조의 자동화, 지능적인 수정, 유지보수 등을 추구하고 있다. 더해서 위기 및 공급망 관리, 각국 정책 규제를 따르기 위한 요소까지 더해지면서 스마트공장 영역은 점점 더 확장되고 있다[13,25,28].

현재 스마트공장에서 주목받고 있는 기술들로는 빅데이터, 인공지능, 엣지 컴퓨팅, 클라우드 컴퓨팅, 5G 통신, 산업용 IoT(Industrial IoT:IIoT) 등이 꼽힌다. 특히 산업용 사물인터넷은 디지털 트윈(Digital Twin)과 CPS(Cyber Physical System) 전환을 위한 기반 기술로 적용되고, 클라우드 환경을 고려한 분산 제어 시스템(Distributed Control system) 등의 기술과 연계되어 스마트공장 효율화를 위한 기반 연구들이 진행되고 있다.

최근 시장동향을 보면 산업용 사물인터넷(IIoT) 플랫폼의 도입을 위한 움직임은 국내는 물론 세계적인 추세이다. 2020년 LNS 리서치 조사 결과에 의하면 산업용 사물인터넷 플랫폼 도입 기업의 40%는 성과 측면에서 기대 이상의 효과를 얻었다고 한다. 향후는 제조업 IoT 적용사례는 비용대비 실제적 성과를 도출할 수 있다는 점에서 앞으로 많은 기업들이 도입할 것으로 예측되고 있다. (그림 1)은 산업용 IoT 적용사례를 나타낸 것으로 원격 모니터링, 에너지 효율화, 품질 향상, 안전성 향상 등에 대한 효과를 나타내고 있다. 산업용 사물인터넷은 제조 공정 개선 및 비즈니스 전분야에 효과적이다. 생산 공정 예측, 제조 품질 향상, 지속적인 제조 공정 개선을 통해 고객 서비스가 향상되고, 신제품 수요 파악이 가능해진다. 공장의 생산 계획이 이전보다 쉬워지고 지속적인 자산실적관리 효과를 거둘 수 있으며, 제조업에 디지털 트랜스포메이션을 위한 산업용 사물인터넷 구축과 연관된 산업들과 통합할 수 있는 필수적인 요소로 볼 수 있다[3,12].



[그림 1] 산업용 IoT 적용사례 및 효율성

2.1.3 스마트 공장 구축 현황

스마트공장에 대한 정의는 국가와 연구자마다 조금씩 다르게 정의하고 있다. 한국산업표준(KS X 9001-2)에 의하면 “스마트공장이란 전통 제조산업에 ICT를 결합하여 제품의 기획, 설계, 생산, 유통, 판매 등 전 과정을 사물인터넷(IoT)·인공지능(AI)·빅 데이터와 같은 정보통신기술을 적용하여 통합, 최소비용, 최소시간으로 고객 맞춤형 제품생산을 지향하는 공장으로, 생산성 향상, 에너지 절감, 인간중심의 작업환경이 구현되고, 개인 맞춤형 제조, 융합 등 새로운 제조환경에 능동적 대응이 가능한 지능형 공장을 의미한다”라고 정의하고 있다. 또 다른 정의는 한국정보통신기술협회의는 “스마트공장은 사이버물리시스템(CPS)을 이용하여 가상공간에서 실제와 똑같이 제품에 관한 설계 및 개발을 모의 실험하여 자산을 최적화하고, 공장 내 설비와 기기 간에 IoT를 설치하여 실시간 정보를 교환하게 하여 생산성을 증가시키고 돌발 사고를 최소화하게 한다. 그리고 제품 위치, 재고

량 등을 자동 감지하여 인적, 물적 자원 절감 등 공장의 효율성을 향상시킬 수 있는 것”이라고 정의하고 있다[29].

스마트공장 구축을 위한 연구들이 선진국 중심으로 진행되어 왔으며, 독일은 세계 최초로 스마트 팩토리를 도입한 국가로 알려져 있으며, 우리나라를 비롯 미국, 일본, 중국 등 전통 제조 강국들은 제조 기업의 경쟁력 강화를 위해 스마트공장 도입을 적극적으로 추진하고 있다. (표 3)는 주요 국가별 스마트공장 추진 현황을 나타낸 것이다[3,4].

[표 3] 주요 국가별 스마트공장 주요 추진 현황

국가	사업명	주요 내용
독일	Industry 4.0	• High-Tech Strategy 2020 for Germany : CPS로 네트워크화된 스마트 제조 및 수출 전략 • Industry 4.0 : 산업계 중심 인더스트리 4.0 플랫폼 구축
대한민국	제조업 혁신 3.0	• 2024년 제조업 4강 도약/ 스마트산업단지 프로젝트 추진
미국	Remarking America	• 산업계 중심 SMLC(Smart Manufacturing Leadership Coalition) 발족
일본	Industry Renewal Plan	• 개혁 2020(Strategic Innovation Promotion Program)
중국	Manufacturing 2025	• 제조업과 IT융합으로 제조 강국 업그레이드

제조업 경쟁을 위한 주요 내용에서 스마트공장 구축은 주요 요소중의 하나이다. 최근에도 빅데이터, 인공지능, 엣지컴퓨팅 등의 새로운 기술들이 정착되면서 스마트공장에 대한 수요는 지속적으로 증가할 것으로 예측된다. 스마트공장로의 발전은 사회가 점차 고령화, 저출산으로 생산인력 인

구 비중이 낮아짐으로써 생산방식이 부분적인 자동화에서 사물 인터넷을 기반으로 다품종 대량생산이 가능한 자동 생산 방식으로 전환되면서 세계적인 추세를 가지고 있다.

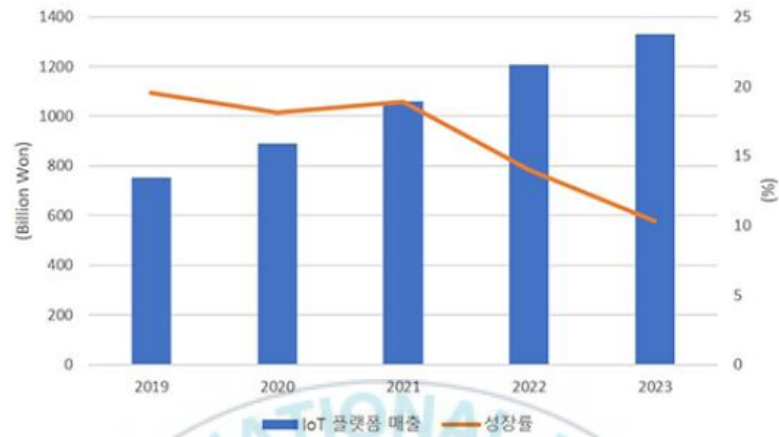
2.2 IoT 정보수집과 빅데이터 분석 기법

2.2.1 IoT 플랫폼 시장 현황

세계 최고 IT 시장분석 및 컨설팅 기관인 한국 IDC는 최근 발간한 “국내 IoT 플랫폼 시장 전망 보고서”를 통해 2019년에 국내 IoT 시장 규모는 7,540 억원으로 이전 대비 19.5% 증가하였으며, 2023년까지 1조 3,308억원에 이르는 연평균 16.1% 성장할 것으로 내다봤다(그림 2). 리포터에 따르면 IoT 플랫폼을 사물인터넷 도입의 출발점으로 인식하면서 기업들이 해당 시장의 확장에 기여할 것으로 보인다. 이러한 현상은 사물인터넷과 관련된 각종 자산 및 인프라 관리, 빅데이터 분석을 통한 고도화된 분석 기능과 인공지능(AI), 머신러닝, 증강현실(AR), 보안 등 차세대 기술을 흡수하게 되면서 더욱 확대될 것으로 예상된다. 따라서 기업들이 더욱 적극적으로 디지털 변환을 가속화하고 사물인터넷 기술 생태계 플랫폼의 역할이 확대되면서 국내 사물인터넷 플랫폼 시장은 2023년 이후에도 계속 성장세를 보일 것으로 보고 있다[9].

2.2.2 빅데이터 분석 기법 현황

마이닝 (Mining) 기법은 다량의 데이터에 숨겨진 패턴과 관계 등을 파악하여 미래를 전망하는 정보를 추출하는 다양한 기술들이 적용될 수 있다. 다음은 이와 관련된 내용들을 설명하면 다음과 같다[2,11,30-35,39] .



[그림 2] 국내 IoT 플랫폼 시장 전망

- 1) 텍스트 마이닝 : 대량의 텍스트에서 의미 있는 정보를 추출하는 것으로, 비정형 또는 반정형 텍스트에서 자연어 처리 기술을 기반해서 가치 있는 정보를 추출 및 가공하는 기술.
- 2) 오피니언(Opinion) 마이닝 : 소셜 미디어와 웹사이트에서 특정한 주제에 대한 정보 글이나 여론을 수집·분석해 결과를 도출하는 기법으로, 신상품의 시장 반응을 예측하거나 소비자 반응에 대해 파악이 가능하다. 이는 소셜미디어나 블로그 글 등에 기록되어있는 사용자들의 의견을 수집하여 서비스나 제품에 대한 감성을 파악하여 유용한 정보로 재가공하는 기술.
- 3) 웹 마이닝 : 이용자가 인터넷을 쓰는 과정에서 생성하는 웹 로그 정보나 검색어로부터 정보를 추출하여 비정형 또는 반정형 링크 구조를 형성하여 새로운 정보를 분석하는 기법.
- 4) 리얼리티(Reality) 마이닝 : 휴대 전화기를 사용한 인간관계와 행동 양태 추론. 통화 위치, 통화량, 통화 대상, 내용 등을 분석하여 사용자의

인간관계, 행동 특성 등 정보를 수집.

- 5) 소셜 네트워크 분석 : 사용자의 명성 및 영향력을 측정하는 기법.
- 6) 분류: 데이터가 속할 만한 데이터군을 찾는 지도학습 방법.
- 7) 군집화 : 비슷한 특성의 데이터를 모아 군으로 분류하는 학습 방법, 비지도 방법
- 8) 기계 학습 : 결정 트리 등 기호적 학습, 유전자 알고리즘 이나 신경망 등 비기호적 학습 등의 다양한 방법들이 존재.
- 9) 감성 분석 : 문장의 의미를 파악하여 긍정/부정으로 분류함.

2.2.3 IoT 정보수집과 빅데이터 연계 기법

IoT 센서로부터 수집되는 데이터 양이 급격히 증가하는 가운데, 방대한 데이터에서 의미 있는 정보를 추출하여 유의미한 데이터들만 효과적으로 가공한 후 저장해야 한다. 따라서 실시간으로 빅데이터를 분석하고 저장하는 기술이 필요하다. 향후 제조업의 생산 현장 기계류, 가전제품, 자동차 등 대부분 생산 장치들에 센서가 부착되어 센서에서 수집되는 데이터를 이용하여 다양한 생산성 향상을 위한 자료들로 사용될 것이다. 이러한 센서 노드의 실시간 데이터 정보수집 능력과 빅데이터 분석 능력을 연계한 새로운 형태의 서비스들이 나타날 것이다[8,37].

스마트 홈(Smart Home) 분야도 에너지 절감을 위해 가전제품뿐 아니라 전력기기 및 가스 장치 등 다양한 기기들에 센싱 장치를 설치하고 이를 통합적으로 연결한 모니터링하는 기술들이 도입되고 있다. 스마트 홈 활용 가구 수는 2019년 기준 약 1억 3,400만 가구로 추산되며, 이후 가구 수는 점점 더 증가할 것으로 예측된다. 스마트 시티는 신호등, 가로등, CCTV 등 도시 관리에 필요한 장치들에 다양한 형태의 센서 장치를 부착하여 실시간으로 빅데이터 수집을 활용한 도시의 에너지 절감에 필요한 연구들이 진행되고 있다. 이

러한 분야에는 ICT 기술을 이용하여 도시 속에서 발생하는 환경 문제, 교통 문제, 주거 문제, 각종 비효율 등을 해결하고 구성원들이 쾌적하고 편리한 삶을 누릴 수 있도록 적용할 수 있다[6,36].

2.3 스마트 공장 설비별 IoT 센서 플랫폼 구축

2.3.1 스마트공장에서 적용 기술 분류

스마트공장에서 에너지 절감과 이상 감지 등의 기능을 수행하기 위해서는 산업현장의 다양한 디바이스들이 수평적/수직적 연계와 통합이 주된 연구 분야이며, 이와 관련된 다양한 스마트공장 자동화 요소기술들이 개발되고 있다. 크게 스마트공장에서 적용 기술들을 고려해 보면 현장의 디바이스, 각 장치들을 연계한 플랫폼 기술, 그리고 현장에서 사용하고 있는 응용서비스로 구분할 수 있다. 표 4는 스마트공장에서 적용하고 있는 주요 적용 기술들을 분류한 것이다. 스마트 디바이스는 다양한 제조업의 현장 시스템에 설치된 장치들에 부착되어 실시간으로 정보를 수집하여 자체 엣지 노드에서 수집된 데이터를 분석하거나 상위 계층인 통합 플랫폼 노드에 필요한 정보들을 전송하는 역할을 하게 된다. 플랫폼 계층은 스마트 디바이스에서 전송되어온 다양한 데이터들을 실시간으로 분석하여 상위계층인 응용분야에 필요한 정보들을 생성하여 필요한 정보들을 전송하는 역할을 한다[4].

2.3.2 스마트공장 요소기술

스마트공장에서 필요한 요소기술들을 중심으로 살펴보면 (그림 3)과 같이 나타낼 수 있다. 앞의 (표 3)에서는 스마트공장에서 적용기술들의 분류 관점에서 살펴본 것으로, 본 절에서는 스마트공장에서 필요한 요소기술들을 중심

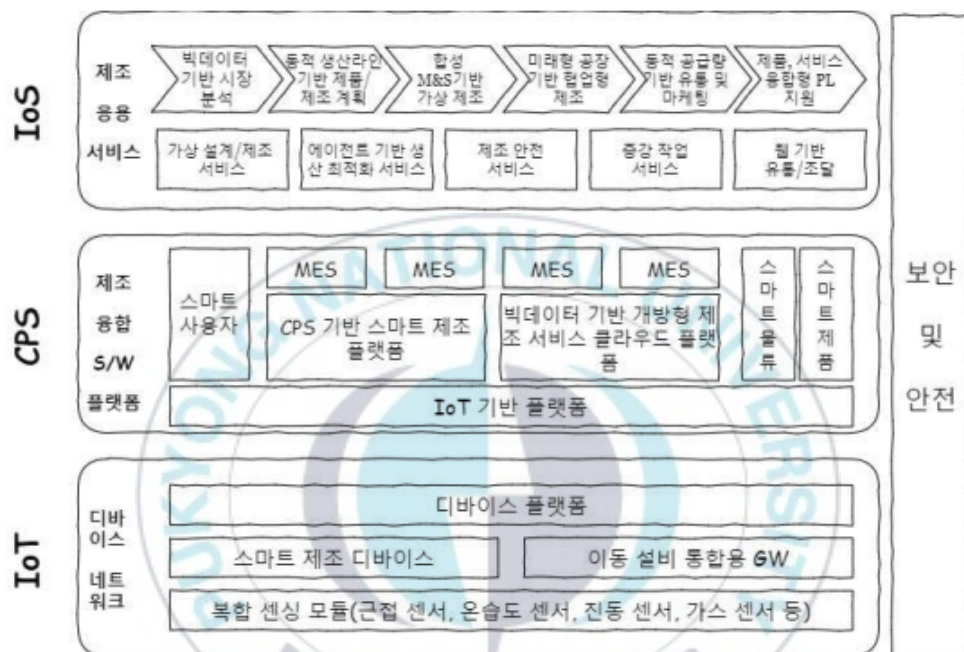
으로 분류하고자 한다[12,13,29].

[표 4] 스마트공장 적용 기술 분류

적용기술 분류	정의	응용분야
응용서비스	- 스마트공장의 최상위 레벨로 MES, ERP, SCM 등의 각종 제조실행을 수행하는 애플리케이션 - 디바이스에 의해 수집된 데이터를 분석 및 표출할 수 있는 응용계층	- 제조실행 분석 - 설비 보전 - 안전/고객대응 등
플랫폼	- 센서장치로부터 입수한 정보를 현장에서 사용할 수 있도록 분석, 모델링, 표출 등 어플리케이션 레벨로 정보를 전달하는 계층 - 제조업 생산현장 장치들을 제어/관리하기 위한 연계 및 통합 시스템 구성	- 센싱 데이터 빅데이터 분석 - 사이버물리 기술 - 클라우드 기술 등
스마트 디바이스	스마트공장 최하위 장치들로 스마트센서를 통해 실시간 센싱 데이터, 에너지, 이상감지 등의 센싱 정보를 상위 계층에 전송할 수 있는 시스템 또는 노드 장치들	- 센싱/엣지 노드 - 로봇센서 등

스마트공장에서 필요한 정보를 수집하여 에너지 절감과 이상 감지 등을 분석하기 위해서는 다양한 요소기술들이 결합되거나 현장 상황에 따라 필요한 기술들이 고려되어야 한다. 이러한 관점에서 본 절에서는 IoT 계층, CPS(Cyber Physical Spaces) 계층, IoS((Internet of Services) 계층으로 구분할 수 있다. IoT 계층은 앞의 스마트 디바이스 계층에서 필요한 복합 센싱 모듈들로 디바이스 플랫폼은 엣지노드에서의 역할들이 포함될 수 있다. CPS 계층에서 IoT기반 플랫폼은 표 3의 플랫폼 계층에 해당하는 영역으로 볼 수 있고, CPDS의 대부분 모듈과 IoS 서비스들은 앞의 응용서비스 계층으로

구분할 수 있다. 여기서의 세분 내용들은 스마트공장에서 적용할 수 있는 요소기술들을 나타내고 있으며, 이 외에도 더 고려되어야 할 부분은 인공지능 기능과 클라우드 시스템들이 추가적으로 고려되어야 할 것이다[12,15].



[그림 3] 스마트공장 요소기술의 구성요소

2.4 스마트공장 실시간 모니터링 시스템

센서 네트워크 구축으로 IoT 기반으로 물리적인 환경을 구축한 후, 에너지 비용 절감을 위해서는 수집한 데이터를 실시간으로 집계 및 분석하여 최적의 생산 환경을 가질 수 있도록 최적화 및 현장 담당자에게 필요한 정보를 시각화하는 과정이 필요하다. 그리고 최근에는 수집된 실시간 빅 데이터들에

대해 인공지능 기반의 예측 및 감지 기능을 포함한 모니터링 시스템 연구들이 진행되고 있다.

2.4.1 스마트공장 에너지 모니터링 시스템

공장 에너지 관리시스템은 최근 제조업 현장에서는 많이 적용되고 있는 분야이다. 이러한 기술들에는 센서 네트워크 에너지 관리시스템(EMS: Energy Management System)으로 정의되기도 하는데, 센싱 노드의 데이터 수집과 ICT 기술을 연계하여 제조사업장(공장), 상업용 빌딩, 주택, 전력망, 교통망 등을 대상으로 에너지 사용량과 사용된 에너지의 시각화 및 효율화를 위한 통합 에너지 솔루션에 대한 연구들이 진행되고 있다[3,16,]. EMS는 적용 대상에 따라 공장전용의 FEMS(Factory EMS), 빌딩전용 BEMS(Building EMS), 주택전용 HEMS(Home EMS), 스마트시티 전용 CEMS(City/Community)로 활용 분야가 다양하게 적용되고 있다. 그리고 실시간 모니터링 기능을 가지기 위해 전력, 가스 등의 에너지 사용량에 대한 모니터링 기능과 설비·기기 등의 제어 기능들이 포함된다. 스마트공장에서 다양한 현장의 센서 노드를 이용하여 필요한 정보들을 수집하여 엣지 노드에서 수집된 정보를 분석 및 제어 기능들이 포함된 정보를 공장의 서버 시스템에 전달하여 현장 감시자들이 실시간으로 필요한 정보들을 관찰할 수 있는 에너지 관리 시스템을 나타내고 있다[28].

공장 EMS의 모니터링과 관련해서는 2011년 산업부가 추진한 IT기반 ESCO 시범사업을 통하여 공장에 적용한 내용을 기반으로 하여 운영을 확대하여 에너지관리공단에서 FEMS 설치 확인 기준 가이드를 제시하고 있다[6]. 특히, FEMS는 공장 에너지관리시스템으로 공장 내의 생산라인 설비뿐만 아니라, 배전, 공조, 조명 등에 대해 에너지 공급 및 사용, 가동상황을 모니터링하고 제어하는 것을 제시하고 있다[1]. 이러한 시스템에는 기본적으로

설비들로부터 값을 수집하여 현장에 정보를 보여주는 모니터링 기능과 설비들을 관리하는 공정관리, 분석기능과 제어기능 관련 데이터베이스, 기존 전사적자원계획(ERP), 제조실행시스템(MES)과 연계기능들이 포함되도록 권고하고 있다. EMS는 수집한 데이터를 이용하여 에너지 사용량을 분석하는 것은 물론 에너지를 절감하는 생산 공정 방법과 에너지 정책 등을 제안할 수 있다. 4차산업에서는 정보통신기술을 기반으로 IOT 기술, 빅 데이터, 인공지능, 클라우드 시스템 등과 융합하여 가장 효율적인 에너지 저감을 찾을 수 있는 기능들에 대한 연구들이 관심을 가지고 있다[17,20].

2.4.2 IoT 기반 실시간 모니터링 시스템

스마트공장에서 에너지 사용이 점점 증가함에 따라 에너지 절감을 위해 IoT 기술과 빅데이터 및 인공지능 기술을 연계하여 에너지 소비량을 줄이고자 에너지 사용 관리시스템 구축에 대한 연구가 진행되어 왔다[8]. 이러한 연구 분야로는 IoT와 스마트 그리드, 엣지 노드와 연계한 플랫폼 구축, 에너지 빅데이터 정보시스템, 인공지능 기반 자동제어 기술에 대한 연구들이 포함된다. IoT 기반 실시간 모니터링 플랫폼 서비스는 센서로부터 실시간으로 데이터를 받아서 사용자에게 필요한 정보를 추출하여 유용한 정보를 서비스하는 것은 물론 시계열 통계정보, 데이터 기반 안전관리 정보 등을 제공하는 기능들이 포함된다. 영국의 Centrica사는 스마트 미터(Smart Meter)를 사용하여 사용 에너지를 30분마다 수집하여 실시간으로 소비자에게 필요한 정보를 제공한다. 이러한 시스템을 통해 사용자들은 전기 및 가스 사용량을 실시간으로 파악할 수 있게 되어, 에너지 절감을 위한 정보를 기반으로 에너지 비용을 절약할 수 있는 정보를 모니터링 할 수 있으며, 이는 본인의 과거와 현재 에너지 사용량 비교뿐만 아니라 향후 에너지 사용 동향을 예측할 수 있도록 하여, 에너지 절감을 위한 다양한 정보를 제공할 수 있는 환경을 제공하고

있다.

스마트 미터링은 전기, 수도, 가스, 난방 등 가정의 에너지 계량 시스템에 대해 ICT 융합기술을 적용하여 에너지 관리정보를 수집 및 분석하여 능동적인 에너지관리 체계 및 효율화를 위한 통합적인 모니터링 시스템이다. 이러한 스마트 미터링 영역은 스마트 미터링 시스템, 스마트 그리드 시스템, 홈 오토메이션 시스템 등이 연계된다. (표 5)는 스마트 미터링 산업의 특성과 관련 기술들을 나타내고 있다. 이러한 기술들은 유럽을 중심으로 다양한 연구들이 진행되어 왔으며, 스마트 미터링 기술과 특성들은 스마트공장 에너지 절감에도 유사하게 적용할 수 있다[16,23].

[표 5] 스마트 미터링의 특성 및 주요 기술

특성	산업	기술
• 에너지 효율화 및 절감 • 공급망 안전 및 지속성 • 새로운 기술 적용	• 스마트공장 • 가정용 에너지 절감 홈 오토메이션 • 에너지 절감 플랫폼 기술	• ICT, 빅데이터, 인공지능 기술 • 보안 및 안전 기술 • 클라우드 및 공공 플랫폼 서비스

2.5 에너지 절감 인공지능 기반 효율화 방안

에너지 관리 시스템(EMS, Energy Management System)은 에너지 사용자가 과학적으로 에너지를 관리하고 절약할 수 있도록, 공장 위치·용도별 에너지소비 측정, 흐름 제어를 통해 사용량을 최적화하는 에너지관리 통합 모델이다. 최근에는 인공지능과 IoT를 결합하여 에너지 효율화를 극대화하려는 관련 연구와 기술개발이 활성화되고 있다.

2.5.1 국내 에너지 절감 기법 현황

국내 에너지 절감 관련 연구들은 케이티(KT)가 인공지능(AI) 기반 에너지 관리 시스템인 기가 에너지 매니저(Giga Energy Manager)”를 개발하여 건물에 적용하고 있다. 이는 에너지 효율화에 필요한 기능을 제공하여 2018년에서 2019. 9월까지 3곳에 실증을 진행해 약 10%의 전력 절감 효과를 제시하고 있다. 다음으로 에스케이텔레콤(SKT)이 인공지능 기반 에너지 관리 시스템으로 E-Optimizer 개발하여 460여 곳에 사용하여 에너지 절감을 위한 현장에 사용하고 있다. 다음은 스타트업 크로커스에너지가 인공지능 기반 EMS 아셀로를 개발하여 설비의 사용량을 예측하여 이를 기반으로 전력을 절감시키는 기술을 적용하고 있다.

2.5.2 국외 에너지 절감 기법 현황

국외 에너지 절감 기술 개발은 알파고(AlphaGo)로 유명한 구글 자회사 딥마인드(Deepmind)가 인공지능(AI) 기술력을 바탕으로 EMS에 활용되는 에너지 절감 알고리즘을 개발하여 구글의 데이터 센터에 적용하여 냉각시스템을 제어한 결과, 전년 대비 약 30%의 에너지를 절감 효과를 제시하고 있다. 그리고 스위스 설비 기업 아세아브라운보버리(ABB, Aesa Boveri)는 인공지능 기술을 적용한 EMS를 개발하여 전력 사용량을 예측하는 모니터링 시스템을 제시하고 있다. 이는 예측되지 않은 전력사용 데이터가 발견될 때 이를 줄이도록 하고, 이 외에도 장비 결함으로 발생된 에너지 사용 낭비들을 탐지해 사용량을 최소화하는 기능을 제안하고 있다.

2.6 단조공정의 에너지 절감 효율화 현황

2.6.1 단조공정 작업의 특성과 작업계획 시스템

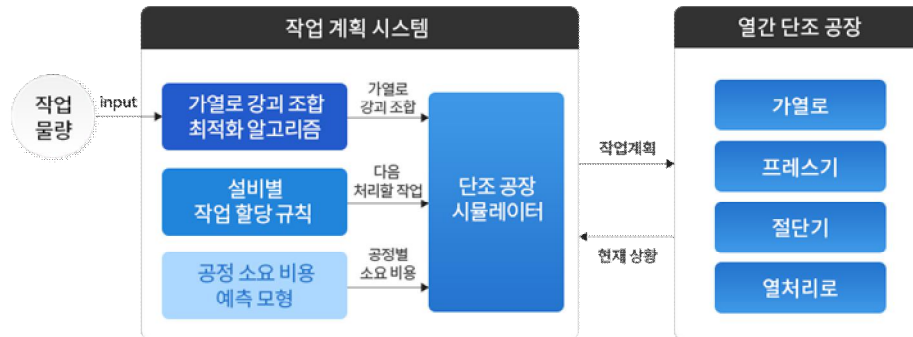
단조 공정은 금형과 단조기계로 금속재료에 압축 하중을 가하여 성형하는 가공 방법으로 가장 오래된 금속 가공 공정의 하나로 열간 단조와 냉간 단조를 구분할 수 있다. 열간 단조는 재료가 고온에서 변형 경화되지 않도록 하여 최적의 강도, 낮은 강도 및 높은 연성 특성을 가지며, 냉간 단조는 실온에서 변형 경화를 통해 금속의 강도를 증가시키는 방법이다. 본 연구에서는 열간 단조와 관련되어 열간 단조 중심의 설명을 진행한다.

1) 열간 단조 작업의 특성

열간 단조 공정은 다양한 금속 강괴들을 특정한 온도로 가열하여 정해진 공정 순서에 따라 제품을 생산하는 공정으로, 이러한 공정에는 가열, 절단, 단조, 열처리 등의 작업들이 포함한다. 본론에서 제시하고 있는 내용들이 중량이 큰 금속을 다루는 공정으로 고온, 고압이 필요하며, 그에 따른 에너지 사용량이 많고 생산 기간도 장시간 필요로 한다. 그리고 가열로는 여러 개의 강괴를 일정 온도로 가열시킨 후, 내부 온도가 일정한 온도까지 도달하지 않으면 문을 열 수 없고, 강괴 장입 및 추출 시 문을 여닫을 때마다 열 손실로 인해 재가열을 해야 하는 공정 특성을 가지고 있어 에너지 효율화에 대한 연구가 필요하다. 또한 강괴의 종류, 제품 종류뿐만 아니라 작업 환경 및 작업자의 숙련도에 의해 작업 시간과 에너지 소비량에 영향을 끼칠 수 있으며, 가열 및 재가열 시 강괴 조합에 따라 가열 시간 및 가스 소비량이 달라지게 된다. 가열 완료된 강괴 추출 순서에 따라서 가열로 작업 시간 및 에너지, 후단 공정의 작업 시간이 달라져서 작업 순서를 적절하게 조정하는 과정이 필요하다. 이렇듯 제품 생산 시간과 에너지 사용량에 영향을 끼치는 요소가 많기 때문에 가열로 강괴 조합 및 취출 순서 계획에 따라 생산 비용이 크게 달라질 수 있어, 이와 관련된 연구들이 필요하다.

2) 열간 단조공정 작업 시스템 흐름도

단조공정 작업은 전체 작업 소요 시간과 에너지 사용량을 최소화하여 작업 계획을 최적화 하는 것이 필요하다. 작업 계획을 위해서는 가열로 및 열처리로의 강괴 조합, 가열로 내 가열이 완료된 강괴의 취출 순서, 설비별 작업 순서 등을 정해야 한다. (그림 4)는 열간 단조 공정 작업을 위한 시스템 흐름도를 나타낸 것이다. 열간 단조 공정을 위한 순서를 보면 크게 작업 계획시스템과 열간 단조 공장으로 나눌 수 있다. 작업계획시스템은 가열로 강괴 조합 최적화 알고리즘과 설비별 작업할당 규칙, 그리고 공정요소별 예측모형을 기준으로 단조 공정 시뮬레이터를 통해서 최적의 해를 찾는 과정이 진행된다. 다음으로 시뮬레이터에 의해 최적화 작업계획이 결정되면 주어진 작업들을 가열로에 할당된다. 이렇게 가열로에 할당된 공정은 현재 작업이 완료되면, 차후 공정 순서에 따라 프레스기, 절단기, 열처리로로 이동하게 된다. 이와 같은 작업 공정들이 진행되면서 작업별 에너지 사용량과 공정 소요 시간이 계산되어 과거 공정 데이터를 기반으로 학습한 모형을 기반으로 에너지 사용량을 예측하고, 학습 모형을 통해 예측한 총 작업시간 및 에너지 사용량으로 작업 계획을 평가한다. 작업 계획이 완료되면 공장 환경에 작업 계획을 적용한다. 그러나 모형의 예측값의 오차 또는 실제 환경의 변화로 인해 계획 실행의 결과가 달라질 수 있다. 이를 보완하기 위해 일정 시간 작업 계획을 진행한 뒤, 현재까지 진행 상황에 계획을 다시 세운다. 이러한 반복적 재계획을 통해 환경 변화에 따라 계획을 최적화한다 [17,20].



[그림 4] 열간 단조공정 작업 시스템 흐름도

2.6.2 단조공장 에너지 모니터링 시스템 구성 방법

단조 공정에서 에너지 관리 시스템은 앞서도 기술하였듯이 에너지 사용량을 모니터링하여 에너지 절감을 위한 플랫폼 설계가 중요하다. (그림 5)는 단조 공정을 위한 설비 장치들의 에너지 모니터링을 위한 시스템 구성도를 나타내고 있다. 맨 하위레벨은 IoT 디바이스 장치들에 대한 내용으로 에너지 관련 전력계, 계량기, 가열로의 열측정 값들을 서버로 전송하기 위해 IoT 디바이스와 전송기능들이 구성된다. 두 번째 레벨은 데이터를 수집하는 계층으로 각 설비로부터 전송해오는 데이터를 설비별로 모니터링하기 위해 데이터 수집 단계이다. 대량의 데이터가 수집될 경우, 데이터 저장 기능을 물론 저장된 데이터의 빠른 검색을 위해 적절한 데이터베이스 구성이 필요하다. 저장된 데이터에는 원재료, 설비, 사용자, 에너지 관리 등 관리자 데이터는 물론 스마트공장을 위한 생산공정 및 원재료 데이터, 기존 MES 및 ERP 데이터베이스들이 연계되어 있다. 세 번째는 관리자 계층으로, 원재료, 설비, 사용자, 에너지 계산 관련 등을 관리하는 계층으로 모니터링 및 검색에 관련되어 효율적인 관리를 지원하는 기능들이 추가된다. 네 번째 계층은 실시간 단조공정을 위한 모니터링 계층으로 설비별 에너지 사용량을 시각화하는 기능과 대시보드에는 실시간으로 설비별 가스, 전력, 온도 검침에 대한 사용량

과 설비 가동 유무에 대한 정보 등을 나타낸다. 설비별 에너지 모니터링은 각 설비별로 가스, 전력 사용량을 실시간으로 보여주고, 현재 가스와 전력 에너지의 사용량과 사용요금, 에너지 환산, 온실가스, 연도 폐열량 등의 정보를 제공하는 기능들이 포함된다. 관리자를 위한 알람 기능은 에너지 사용량을 넘어서면 알람 메시지를 표출하고, 공정 과정 검색 및 생산 공정 과정에서 공정 간의 작업일지를 디지털하여 실시간으로 공정 작업의 변화를 확인할 수 있는 서비스 기능들이 포함될 수 있다. 최상위 계층은 데이터 분석 층으로 에너지 사용량을 설비별, 시간대별로 분석하여 에너지 소비 패턴을 제공하는 기능과 생산 공정을 최적화하는 모델을 제공하여 에너지 사용 효율을 높이는 서비스 기능들이 포함될 수 있다. 이는 단조 공정에서 다양한 장치들로부터 수집되는 데이터를 기반으로 모니터링 역할은 물론 생산 공정 정보를 연결하여 에너지 사용량을 분석하여 에너지 절감을 위한 다양한 서비스들이 포함될 수 있는 계층이다[17].



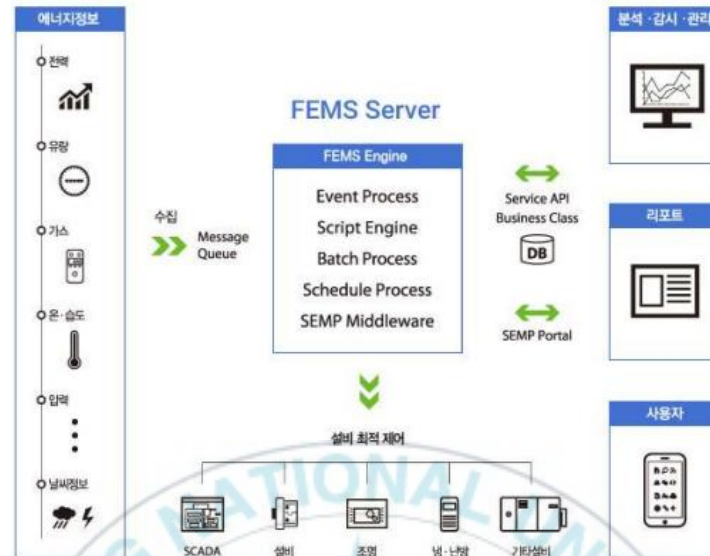
[그림 5] 단조공정 에너지 모니터링 구성도

2.7 IoT 기반 공장 에너지 관리 시스템

2.7.1 IoT 기반 에너지 관리 시스템 현황

스마트 공장에서 IoT기반 공장 에너지 관리 시스템은 크게 에너지 효율화를 위한 분야와 예지보전을 통해 이상감지를 탐지하여 재해 예방에 초점을 두고 있다. 첫 번째 IoT 기반 공장의 에너지를 최적화하기 위한 관리 시스템은 실시간으로 공장 현장에 설치한 IoT장치들로부터 입력되는 다양한 장치들로부터 수집되는 상태 정보를 원격으로 조정하거나 지능화된 알고리즘을 이용하여 에너지 최적화를 위한 연구를 진행하고 있다. 두 번째는 공장의 다양한 자원들에 대해 원격 관리하면서 통합 내구성 및 이상 감지 데이터를 통해 안전사고를 예방할 수 있는 감시 체계 구축에 관심을 가지고 있다.

(그림 6)은 아이디정보시스템의 FEMS 구조도를 나타내고 있다. 그림에서 전력, 유량, 가스, 온습도 등의 에너지정보와 SCADA, 설비 장치 등에서 수집되는 생성 및 제어 데이터를 수집하여 FEMS 서버에서 수집된 데이터들을 분석, 감시, 관리 기능을 통해 사용자 및 관리자에게 리포트 및 앱 기반 서비스를 제공하는 내용을 나타내고 있다. 그러나 스마트 공장은 생산하는 제품의 종류에 따라 관리하는 설비들이 매우 다양하기 때문에 특정 스마트 공장에 적합한 에너지 효율화를 위한 실시간 데이터 수집 및 에너지 효율화를 위한 지능형 알고리즘 개발은 필수적이다. 다만 대부분의 공장들은 설비장치들 모두 IoT 디바이스를 부착할 수 있기 때문에 수집되는 데이터를 기반으로 공장의 특성에 적합한 에너지 효율화 알고리즘 개발은 가능하다[15,18].

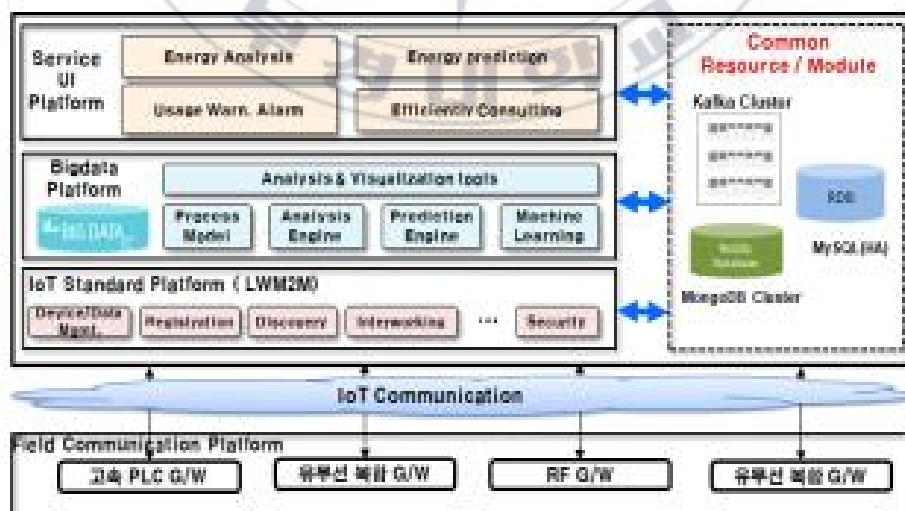


[그림 6] IoT 기반 에너지 관리 FEMS 시스템 구성도

2.7.2 소규모 공장 IoT 기반 에너지 관리 시스템 개발

본 절은 중견 및 대기업의 스마트 공장이 아닌 소규모 스마트 공장에서 IoT 기반 공장 에너지 관리 시스템 개발에 대한 내용을 설명한다. 소규모 스마트 팩토리 서비스 제공은 다양한 설비 장치들이 복잡하게 연계된 경우가 아닌, 비교적 경량형 공장을 대상으로 하고 있기 때문에 본 논문에서는 공장의 에너지 사용량 정보를 수집할 수 있는 미터링 기기, 열처리로의 온도 정보 수집 기기, 그 외 공장운영과 관련된 설비 장치들에서 수집되는 정보 그리고 이들을 서버 시스템까지 전달해주는 통신 장비들을 대상으로 하고 있다. (그림 7은) 크게 4개의 모듈로 구성하고 있다[3]. 맨 하위 계층인 생산 현장 통신 (Field Communication) 플랫폼은 공장에 설치된 각종 센서의 정보를 검침하는 통신 모뎀과 IoT 플랫폼과의 통신을 중계해주는 게이트웨이들로 구성되어 있으며, IoT 표준 프로토콜을 사용하는 것으로 하고 있다. 다음은 IoT 표준 플랫폼으로 생산 현장 플랫폼으로부터 데이

터 수집 및 디바이스들을 관리하는 기능으로 등록 기기의 상태관리를 담당하고, 서로 다른 IoT 표준이 존재할 때, 이를 Interworking을 통해 단일화하는 기능을 수행한다. 세법재 플랫폼은 빅데이터 플랫폼으로 수집된 데이터를 이용하여 프로세스 모델링(Process Modeling), 최적 생산 스케줄링 생성, Machine Learning을 통한 에너지 사용량 예측 등을 수행하는 핵심 기능을 담당하고 있다. 이는 에너지 사용량 학습을 통한 공장 내 설비별 효율적 에너지 사용방안이나, 설비의 이상 상황 등을 발견할 수 있는 알고리즘을 포함하고 있는 스마트 공장 서비스 플랫폼의 핵심 영역이다. 상위 플랫폼인 서버스 플랫폼은 분석된 데이터를 실시간으로 관리자에게 보여주는 기능과 최적 생산 스케줄링 결과 그리고 이상 상황 발생 시 설비별 알람 또는 SMS 메시지를 관리자에게 알려주는 기능들이 포함된다. 세부적인 서비스 지원 기능들은 실시간 전력사용량, 전력품질 등 데이터 수집, 생산 계획 및 실적 데이터를 실시간으로 조회가 가능한 대시보드 기능을 통해 제공한다. 그리고 설비별 세부적인 에너지 정보를 확인할 수 있는 기능을 통해 자체적으로도 공장 운영에 대한 가이드를 만들어 나갈 수 있는 환경을 설정할 수 있는 기능도 포함하고 있다.



[그림 7] 소규모 공장 에너지 관리 플랫폼 구성도

2.8 스마트공장 빅데이터 분석 기술 현황

2.8.1 스마트공장 빅데이터 분석 플랫폼 개발 현황

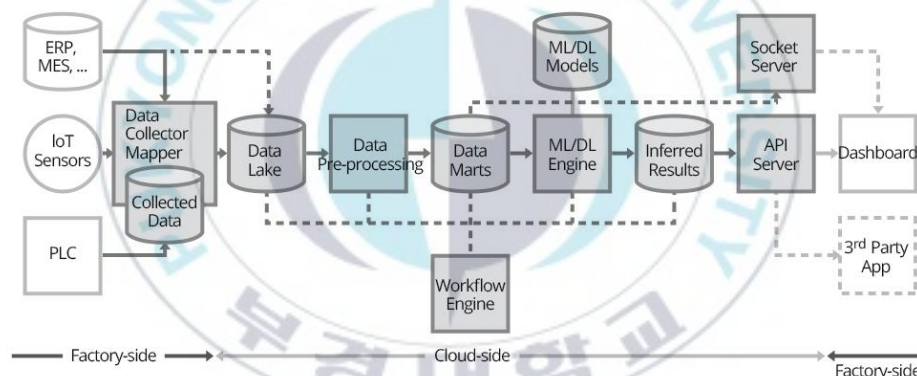
4차 산업 혁명과 제조업의 디지털 전환으로 기존의 아날로그 기반의 제조업 공장을 디지털화 및 지능화를 위한 연구와 전환이 지속적으로 진행되고 있다. 이러한 기술의 발전으로 스마트 공장 분석 시스템 기술은 다양한 공장 디바이스들로부터 부착된 IoT 장치들로부터 수집한 데이터를 웹 또는 클라우드 서버에 저장하고, 이를 실시간으로 분석하여 스마트 공장 특성에 적합한 데이터 가공, 연산, 학습 등의 과정을 통해서 분석 결과를 사용자에게 필요한 정보를 제공하는 것은 현재 제조업 생산성 향상을 위한 기본 시스템 환경으로 개발되고 있다. (그림 8)은 제조업 기반 클라우드 기반 데이터 수집 시스템 구성도를 나타내고 있다. 다양한 스마트 공장을 대상으로 빅데이터 플랫폼에 수집되는 데이터를 대상으로 데이터 전처리를 거쳐서 필요한 정보를 의미 분석, 설비 장치들과의 연관성, 분석 결과, 시각화 과정을 거쳐서 사용자에게 수집 데이터의 목적에 적합한 원인 분석 결과 제공, 의사결정 지원을 수행하는 과정을 나타내고 있다[3].



[그림 8] 클라우드 기반 제조 데이터 수집 시스템 구성도

(그림 9)는 수집 시스템을 대상으로 구체적으로 빅데이터 분석 플랫폼에서 필요한 수집 데이터의 흐름에 필요한 주요 기능들을 나타내고 있다. 세부적인 데이

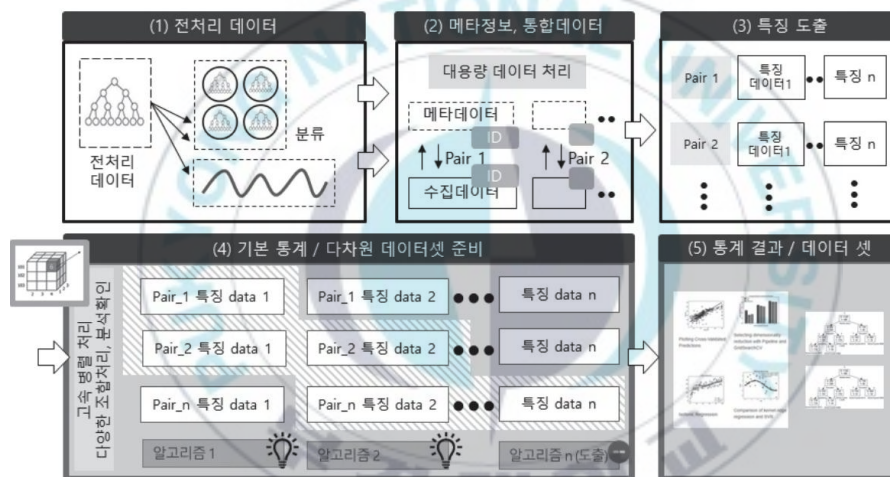
터의 흐름에 대한 설명으로 Factory side는 제조 공장의 현장에서 수집할 수 있는 ERP, MEMS, PKLC, IoT 센서들로부터 수집되는 데이터들의 영역이다. 다음으로 Cloud side는 데이터 레이크(data lake)에 해당하는 구조화되지 않은 대량의 데이터를 저장한 후, 데이터 전처리(data preprocessing)를 통한 데이터 오류, 공백 데이터 등을 전처리 및 오류 검정된 데이터 마트에 저장하고, 이를 다양한 지능화 및 추론 기능을 통해 사용자에게 필요한 정보를 생성하는 단계이다. 마지막으로 Factory side가 될 수도 있고, 관리자 또는 사용자 사이트가 될 수 있지만, 필요한 내용들을 웹 또는 앱 기반으로 필요한 정보들을 표출하는 단계로 데이터의 흐름을 제시하고 있다.



[그림 9] 스마트공장 플랫폼 주요 기능 및 데이터 흐름

(그림 10)은 (그림 8)과 (그림 9)의 시스템 구성도 및 데이터 흐름도를 기반으로 구체적으로 어떤 내용들을 사용자에게 표출할 것인지 내용들을 나타내고 있다. 세부적인 수행 내용은 데이터 전처리를 통해서 필요한 데이터 수집을 진행하고, 메타 정보 및 통합데이터를 근간으로 사용자에게 필요한 특징들을 도출하고, 이러한 특징들을 기반으로 기본 통계 및 다차원 데이터 셋(data set) 특성을 만들기

위한 각각의 알고리즘을 개발하는 과정을 거치게 된다. 이러한 알고리즘 개발에는 빅데이터 및 인공지능 기술들을 대부분 적용하고 있다. 최종적인 스마트공장 빅데이터 플랫폼은 사용자에게 필요한 정보를 다양한 형태의 결과를 웹과 앱 기반 필요한 정보를 제공하는 것을 설명하고 있다. 그러나 본 내용은 일반적인 스마트 공장의 빅데이터 분석 플랫폼을 대상으로 설명하고 있어서, 실제 스마트 공장 현장에서 수집되는 데이터의 종류 및 어떤 목적을 위해서 다차원 데이터 셋을 활용할 것인지에 대한 세부적인 연구들이 필요하다.



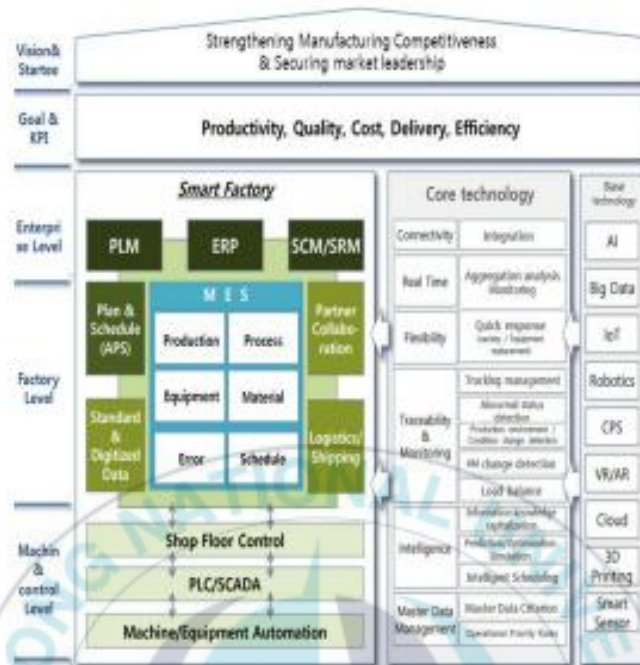
[그림 10] 데이터 분석 소프트웨어 시스템 설계

2.8.2 제조업 스마트 공장 플랫폼 구축 사례

제조업에서 스마트 공장 구축 적용은 시장 변화에 대한 신속성, 유연성, 품질보장, 업무 효율성 향상을 통해서 기업의 경쟁력 확보에 초점을 두고 있다. 이를 위해 본 절에서는 MES (Manufacturing Execution System) 플랫폼 구축을 통해서 제조 효율성 증대를 위한 다양한 기능들 어떻게 구성되어야 하는지 설명한다. 제

안 논문에서 고려하고 있는 스마트 팩토리 플랫폼 구축은 (그림 11)과 같이 수집하고자 하는 데이터 대상을 문서 형태 데이터를 자동 집계하는 시스템 구성과 운전규격, 투입기준, 운전 절차 등 생산지시 활용을 디지털화하여, 일 단위 자재투입, 생산실적 등 생산 현장에서 발생하는 데이터를 시스템 기반으로 집계 및 관리하는 부분을 제안한다. 다음으로 관리자의 의사결정을 지원하기 위해 계층별 대시보드를 통해 생산 현장 정보를 실시간으로 제공하고, 생산과 품질 데이터 연계를 통한 원인과 결과를 분석하여 효과적 의사결정 체계를 구축한다. 그리고 공급사별 자재 시험 성적서, 공정검사 결과, 제품검사 결과를 MES 시스템과 연계하여 품질 문제 분석에 활용하고 정보화와 지능화를 통한 새로운 생산 시스템 구축을 제시하고 있다. 이를 위해 크게 4가지 기능으로 플랫폼 구축 내용을 제안한다[6].

- 1) 공정 지능화 : 생산 및 품질 데이터 수집과 분석, 공정별 손실분석으로 실시간 제조 공정제어 및 최적화 기능
- 2) 검사 지능화 : 데이터 성능검사 기능을 적용하여 데이터 이상을 감지하고 검사 시간 최적화 및 비디오 검사와 외관검사로 자동화 및 인공지능(AI) 기능을 추가하여 생산 기능의 손실을 줄이는 기능
- 3) 설비 검사 지능화 : 주요 설비 효율을 개선하기 위해 원격제어시스템을 적용하여 설비 관제 시스템의 검사 기능을 도입하여 설비 고장으로 인한 손실 감소 및 가동률 현황을 실시간으로 분석하는 기능
- 4) 물류 지능화 : 물류 시뮬레이터 도입 및 수송 경쟁력 확보를 위한 물류 서비스 기능



[그림 11] 제조 경쟁력 강화를 위한 스마트공장 플랫폼 구성도

(그림 11)의 스마트 공장 플랫폼 구성을 MES에 도입하면서 데이터 수집이 일관되게 유지되어 프로세스 표준화 방안이 마련되었으며, 업무별 프로세스 혁신을 통한 표준화로 부가가치가 낮은 업무가 줄어들어 생산성이 향상되었다. 이는 생산되고 있는 설비의 가동률, 불량률 등을 확인을 키오스크를 통해 공장의 현재 상황을 실시간으로 관리할 수 있게 되어, 공정 불량률이 4.9%에서 2.3%로 떨어졌으며 매출이 9.33% 증가한 것으로 기술하고 있다. 그러나 제안 논문은 구체적으로 데이터 수집 내용의 구체성과 생산성 향상을 위한 실제적인 시스템 구축 내용은 제시하지 못하고 있다.

Ⅲ. 스마트공장의 IoT 기반 데이터 수집 플랫폼

3.1 스마트공장의 데이터 수집을 위한 시스템 구성

본 연구는 스마트 공장의 에너지 절감을 위한 빅데이터 분석 및 효율화 방안에 대한 시스템을 설계하면서, 그에 따른 본 연구의 특성 및 구현 내용을 설명하고, 기존 연구들과의 관련성 및 특성에 대해 설명한다. 본 연구는 스마트공장 기반 단조공장을 대상으로 단조 설비에 부착된 IoT 장치들과 SCADA((Supervisory Control And Data Acquisition) 및 ERP((Enterprise Resource Planning) 시스템으로부터 수집되는 빅데이터 기반 에너지 절감을 위한 효율화 방안을 설명한다.

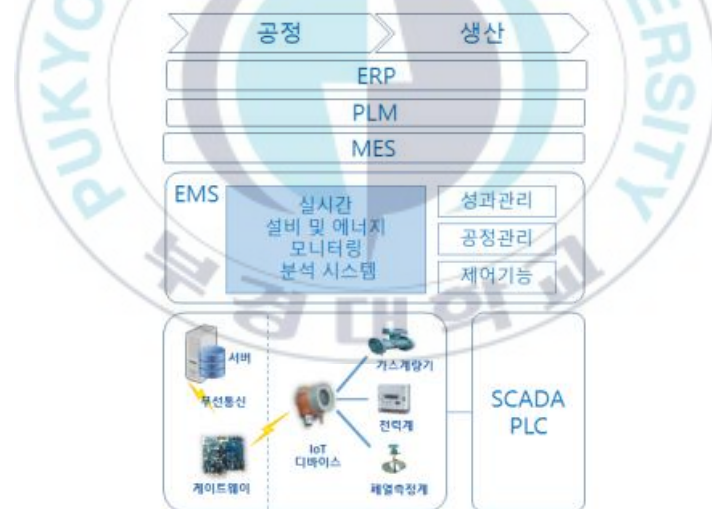
3.1.1 스마트공장 데이터 수집 시스템 구성

제조업에서 스마트공장은 매우 다양한 유형에서 적용되고 있다. 본 연구는 앞서도 설명하였지만, 단조 공장을 대상으로 에너지 절감을 위한 데이터 수집 및 경제적 효율성을 높이기 위한 설계방법에 대해 설명한다.

일반적으로 스마트 공장은 공장의 특성에 따라 다르게 설계될 수 있다. 그러나 대부분의 스마트공장은 제품 기획에서부터 설계, 공정, 생산, 제품 출시까지 공장의 다양한 생산설비 관련 장치들을 통합하여 제품생산의 효율성은 물론 에너지 절감과 설비 장치의 이상감지 기능 등이 포함된 종합적인 시스템 구성을 목표로 하고 있다. (그림 12)는 본 연구에서 고려하고 있는 단조공정에 대해 최하위 계층은 단조 공장에 설치된 설비들을 대상으로 부착된 센싱 디바이스들이 PLC 및 SCADA로부터 실시간으로 측정된 데이터들이 수집된다. 다음 상위 계층은 에너지 절감을 위한 에너지 관리시스템(EMS:

Energy Management System)으로 실시간 설비에서 들어오는 데이터들에 대해 대시보드 형태로 모니터링은 물론 공정관리와 제어가능을 수행하기 위한 분석기능을 가지고 있다. 다음 상위 계층은 기존의 스마트공장에서 구축되어 있거나 부분적으로 구축된 MES, PLM, ERP 등과 연계되어 생산현장의 관리자에게 필요한 정보를 제공하여 생산 공정과 생산라인에서 유용한 정보들을 제공하게 된다[17].

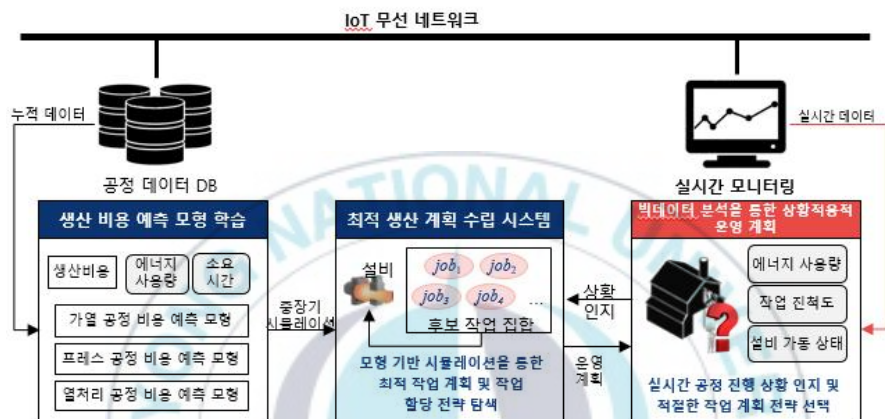
본 연구에서는 기본적으로 최하위 계층에 다양한 센서들이 설치되어 있고, 이들로부터 수집되는 데이터들에 대해 에너지 관리시스템이 수집된 데이터들을 분석하여 생산현장 또는 관리자에게 필요한 분석 정보들을 제공하면서, 최종적으로는 스마트공장에서 바른 제품 생산과 에너지 효율화를 통한 생산성 향상을 위한 시스템 구성 방안에 초점을 두고 있다.



[그림 12] 단조공정에서 데이터 수집 시스템 구성도

(그림 13)의 단조공정 시스템 구성도에서 본 연구는 PLC 또는 SCADA에서 입력되는 데이터를 기반으로 단조공정의 가열 공정, 프레스 공정, 열처리 공정에서 각각의 비용을 예측하는 모형에 대해 생산비용 예측 모형을 제시

하고, 이를 기반으로 중장기 시뮬레이션 모델인 최적 생산 계획수립 시스템을 제안한다. 이러한 특성과 필요한 기술들이 설계되면 빅데이터 분석을 통해 에너지 사용량, 작업 진척상황, 설비 가동 상태, 설비 장치들의 이상 유무 등에 대한 단조공정에서 상황 적응적 장기계획의 운영방안을 구축할 수 있는 환경이 가능하다.



[그림 13] 단조공장에서 IoT기반 모니터링 시스템 구성

3.1.2 IoT기반 데이터 수집 네트워크 구성 및 서버 구성도

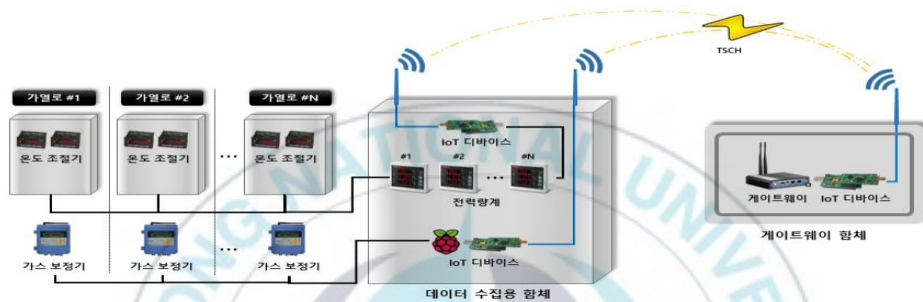
IoT기반 단조공장 에너지 효율화를 위해서는 IoT 무선 네트워크 환경의 실시간 공정 데이터 수집 인프라 환경 구축이 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 IEEE 802.15.4e/g 기반 산업 IoT 무선 네트워크 기술을 연구하였으며, 플랜트 필드 네트워크와 범용성을 제공하기 위한 연동 인터페이스 기술 그리고 단조 공장의 고열/진동/분진 환경에서 높은 신뢰도를 제공할 수 있도록 IoT H/W 설계를 고려하였다[17,18].

1) IoT 기반 무선 네트워크 모듈 선택

단조공정의 다양한 설비들에 부착된 센서 노드들로부터 수집된 정보를 전송하기 위해서는 IoT 무선 네트워크를 통해서 전달할 수 있는 무선

모듈이 필요하다.

본 연구에서는 다양한 설비에서 발생하는 전력, 가스, 온도 데이터를 수집하기 위해 모드버스(Modbus) 게이트웨이를 활용할 수 있도록 인터페이스를 설계하여 사용하였으며, 각 설비로부터 실시간으로 수집된 데이터는 TSCH 무선 통신을 통하여 IoT 게이트웨이로 수집하도록 하였다 (그림 14).

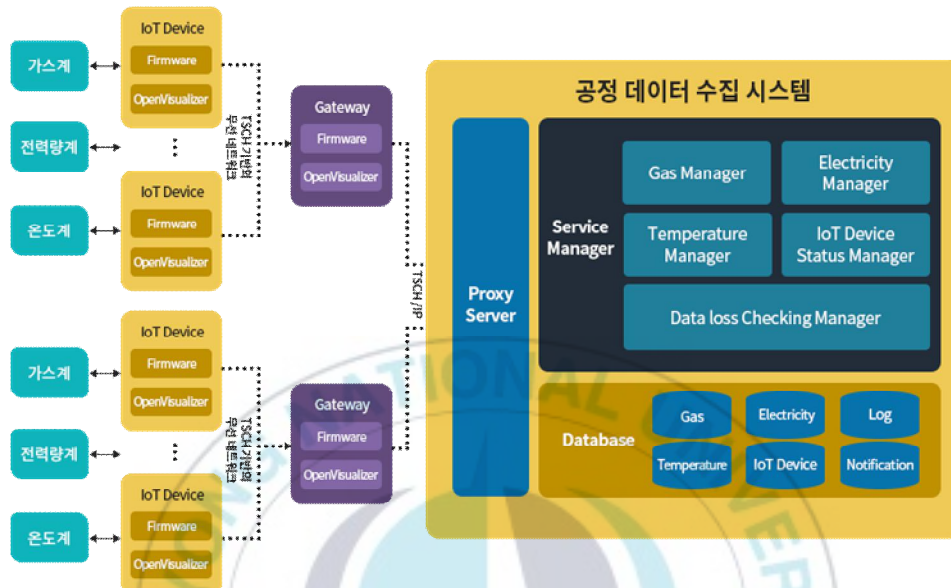


[그림 14] IoT기반 무선 네트워크 데이터 수집 구성도

2) 실시간 데이터 수집을 위한 네트워크 라우팅 모듈 설계

데이터 전송을 위해 단일경로 전송(Single path transmission) 기능은 네트워크 장애 발생 시 새로운 경로를 찾고 복구하는 데 많은 시간이 걸리는 문제가 있어서, 본 연구에서는 다중경로 전송(Multipath Transmission) 방식을 지원하기 위한 라우팅 방식을 고려하였다. 여러 가지 네트워크 장애로 인하여 트래픽 전송이 완료되지 못하면 자녀 노드는 부모 노드에 전송하지 못한 전송 실패 횟수를 증가시키고, 이후 임계치 이상으로 전송 실패 횟수에 도달하면, 자녀 노드는 전송 실패한 부모 노드를 제외하고 다른 부모 노드를 대상으로 트래픽 비율을 연산하여 전송 경로를 선정한다. (그림 15)는 자녀 노드와 부모 노드 간의 트래픽 전송 실패에 따른 다중 경로를 선택하기 위한 전체적인 흐름도를 나타내고 있다. 가스계, 전력량계, 온도계 등 단조공정에서 필요한 센서로부터 수집된 IoT 디바이스와 게이트웨이는 프록

시 서버로 수집된 데이터를 서버 시스템에 전송하면 각 서비스 매니저 모듈들이 필요한 처리를 하여 정보를 제어 및 표출하도록 설계하고 있다.



[그림 15] 데이터 수집을 위한 경로 선택 및 서버 구성도

3.2 데이터 수집 및 통합 모니터링 시스템

3.2.1 실시간 모니터링 시스템 구성

본 연구는 스마트공장의 에너지 절감을 위해 단조공장을 대상으로 하고 있다. 단조공장에서는 여러 가지 공정 계획을 가지고 에너지를 사용하기 때문에 IoT기반 단조공정에서는 가열로, 프레스기, 절단기, 열처리로 등 각 공정에 에너지 절감을 위한 IoT 디바이스를 부착하여 에너지를 절감할 수 있는 방법을 찾는 연구이다. 이를 위해서는 연간 단조 공정에서 수집되는 데이터를 분석하고, 불필요한 공정 또는 에너지 절감 부분을 찾기 위해 에너지 효

올화를 위한 시스템 구성이 필요하다. 본 연구에서는 (그림 16)과 같이 단조 공정, 실시간 데이터 수집 및 관리 웹 서버 그리고 클라이언트로 구성되는 시스템 환경을 고려하고 있다. 각 기능별 수행 내용은 다음과 같다[17].

1) 단조공장 시스템 구성

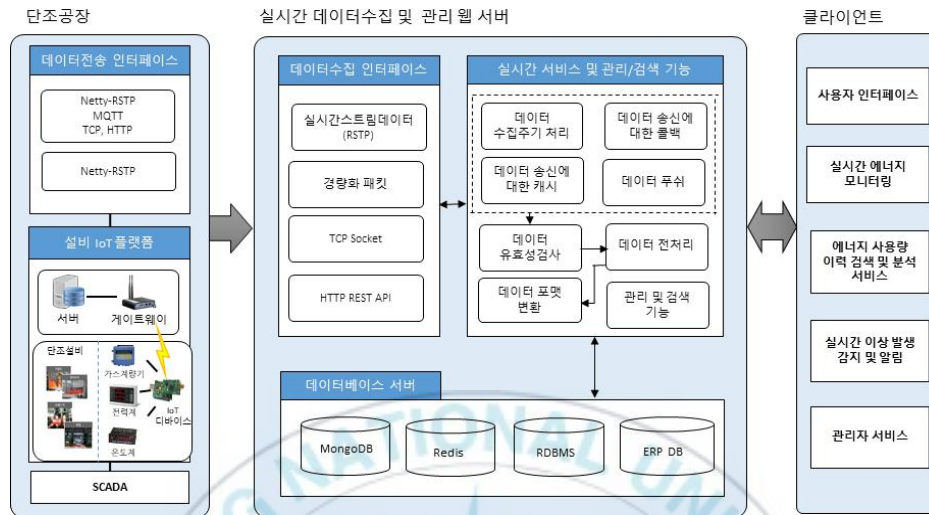
단조공장은 일반적으로 기존에 설치되어 있는 감시제어 데이터 수집 (SCADA: Supervisory Control And Data Acquisition) 시스템 외에 본 연구를 위해서 단조공장에 설치된 가스계량기, 전력계, 온도계 등으로 구성된 IoT 디바이스들로부터 수집된 데이터를 게이트웨이를 통해 TCP, HTTP, Netty-RSTP(Real Time Streaming Protocol) 프로토콜을 사용하여 웹 서버와 연계하여 수집된 데이터를 전송하도록 한다.

2) 실시간 데이터수집 및 관리 웹 서버

실시간 데이터 수집 및 관리 웹 서버는 수집된 데이터들에 대해 데이터들이 정확한지 검사하고, 정확성 검사 이후 관리자에게 필요한 서비스 기능과 검색 기능들이 가능하도록 필요한 정보를 생성하고 서비스 하는 기능들이 포함된다. 이를 위해서 웹 서버는 수집된 데이터들에 대해 데이터 유효성 검사 이후 수집 데이터의 전처리와 필요한 서비스를 제공하기 위해 데이터 포맷 변환 기능들이 구현된다, 그리고 데이터베이스 서버는 다양한 IoT 장치들로부터 수집되는 데이터를 관리하기 위해 몽고 DB, Redis, RDBMS, ERP DB들과 함께 연동되어 데이터 관리 서비스 기능을 제공한다.

3) 클라이언트 서비스 기능

클라이언트에는 다양한 사용자들을 관리하기 위한 사용자 인터페이스, 실시간 에너지 모니터링 서비스 기능, 에너지 사용량 이력 검색 및 분석 기능, 각 설비별 수집되는 데이터 기반 이상 발생 감지 및 알림 서비스 기능들이 포함된다.

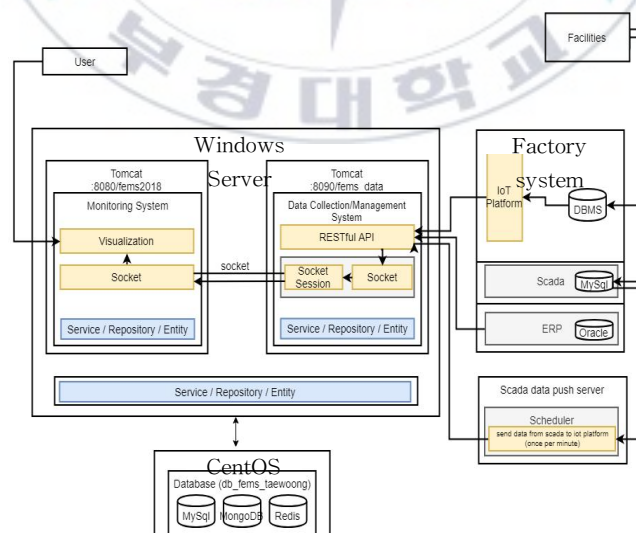


[그림 16] 실시간 모니터링 통합 시스템 구성

3.2.2 서비스 플랫폼 서비스 시스템 구성

서비스 플랫폼을 구축하기 위해 본 연구에서는 (그림 17)과 같이 서버 기반의 모니터링 서버 시스템과 데이터 수집 관리를 담당하고 있는 IoT 플랫폼 서버로 구성되어 있다. IoT 플랫폼은 공장 현장에서는 SCADA와 ERP 등에서 수집되는 단조공정에서 필요한 데이터 그리고 CentOS 기반의 여러 가지 데이터베이스 시스템들로 구성된다. 모니터링 서버 시스템의 세부적인 기능들은 첫 번째로 Web 계층으로 Web API를 필요로 하는 컨트롤러를 구성되어 있고, Entity 계층은 데이터 객체와 속성 정의, 그리고 수행 메소드를 정의하는 부분으로 하위에 있는 DB 테이블과 연계되는 클래스들로 구성된다. 그리고 Repository 계층은 데이터베이스에 있는 데이터들에 대해 검색, 갱신, 저장하기 위한 쿼리문 정의 및 실제 수행과 관련한 파라미터 값 호출 등을 수행하는 기능들이 포함되어 있으며, Service 계층은 Repository

모듈에서 처리가 필요한 메소드들이 포함되어 있다. 이러한 모니터링 서버 시스템의 세부적인 수행과정을 살펴보면 모니터 서버에서 데이터 수집 서버의 모니터 패키지(package)에서 사용자가 지정한 설비에 따라 수집된 로그 데이터를 소켓을 통해 데이터를 전송하게 된다. 사용자가 요구한 것이 검색일 경우, 사용자의 권한에 따라 view 패키지를 통해 사용자가 원하는 검색어를 지정하면 사용자가 지정한 검색 조건에 맞게 client 패키지에서 해당 컨트롤러를 기동하여 Service 계층에 정의되어 있는 메소드를 호출하게 되고, 이후 Entity 계층에 적합한 객체를 가지고 Repository에서 정의한 메소드와 쿼리문을 수행하게 된다. 이때, 모모니터링 서버와 연결되어 있는 데이터베이스 서버는 설정된 시간 간격으로 수집된 데이터를 몽고 DB에 저장하고, 검색 서비스를 지원하기 위해 설비별로 시간당 데이터를 검색하기 위한 MySQL 데이터베이스 구성, 그리고 검색 속도를 빠르게 하기 위해 필요한 사용 금액, 메뉴 갱신 기능 등의 모듈을 저장하기 위해 인메모리 데이터구조의 저장형식을 가진 캐쉬와 메시지 중개자 역할을 하는 Redis 데이터베이스로 분류하여 관리하게 된다.



[그림 17] 스프링스 프레임 워크 기반 시스템 서비스 기능

3.2.3 시스템 개발 환경

본 연구를 위한 시스템 개발 환경은 (표 6)과 같이 서버 구축을 위해 Proxy(Nginx) 서버 요청과 Tomcat 서버로 구성하였으며, 개발 프레임워크는 Spring Framework와 JPA(Java Persistency API)를 사용하고 있다. 웹 환경에서 사용하기 위해 현장 작업자가 실시간 및 편리하게 입력 및 검색할 수 있도록 테이블릿 환경에서 서비스 되도록 필요한 라이브러리들 지원하고 있으며, 클라이언트에서 서비스하기 위해 필요한 개발 언어들을 사용하고 있다.

[표 6] 시스템 개발 환경

항목	내용
서버 구축	Tomcat 서버(WAS), Nginx(Proxy)
데이터베이스	MongoDB, MySQL, Redis
개발 프레임워크	Spring Framework, JPA(Java Persistency API)
사용 라이브러리	화면 템플릿 : bootstrap, thymeleaf, jquery 연동 라이브러리 : poi(엑셀), jedis(레디스), flatpickr(타임), ddslick(그림), jsgrid(그리드), jqtree(트리) 데이터 변환(json) : gson
개발언어	Java, Javascript, html, css

IV. IoT기반 에너지 절감 및 이상 감지 시스템

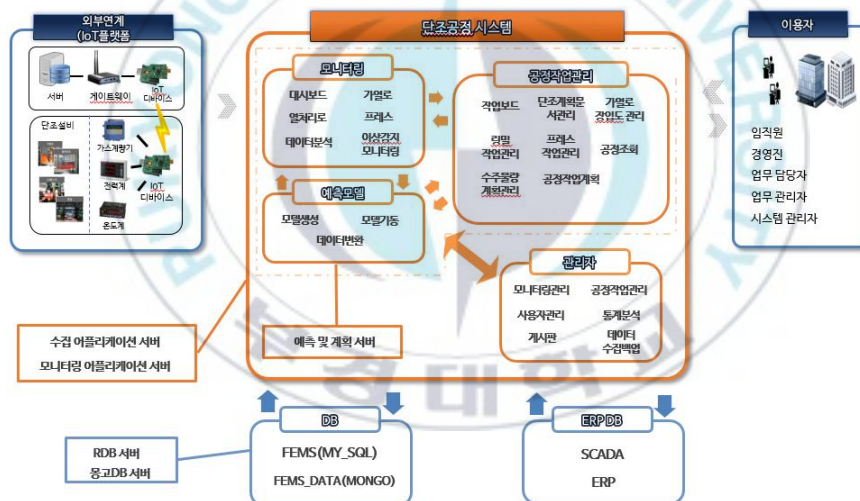
4.1 IoT기반 에너지 절감 통합 시스템

최근 스마트 공장에서 에너지 절감을 위한 다양한 연구들이 진행되고 있음을 관련 연구에서 설명하였다. 본 절에서는 본 연구의 주요 연구 내용인 단조 공장에서 다양한 단조공정의 설비장치들에 IoT 디바이스를 부착하여 필요한 데이터를 단조공정 통합 시스템 전공하게 되면, 에너지 절감을 위한 통합 시스템 구성 내용을 제안한다.

4.1.1 IoT기반 단조공정 통합 시스템 구성

본 절은 단조 공장의 다양한 설비에서 수집되는 실시간 공정 데이터를 이용하여 가열로, 열처리로, 프레스기들에 대해 가스, 전력 사용량 등의 수집 데이터를 기반으로 본 연구의 주요 내용인 단조공정 시스템의 주요 내용을 살펴본다. (그림 18)은 본 연구에서 제안하고 있는 IoT기반 단조공정 통합시스템 구성도를 나타내고 있다. 전체적인 통합 시스템 구성도는 단조공정시스템을 기반으로 외부연계 IoT 플랫폼, 수집 및 모니터링 어플리케이션 서버, 데이터 수집에 따른 DB 시스템 구성, 그리고 제안 시스템 사용을 위해 이용자 그룹들로 구성된다. 통합시스템 구성에서 본 연구의 주요 제안 내용인 단조공정 시스템의 세부 내용들은 다음과 같다. 첫째 모니터링 영역은 가열로, 열처리로, 프레스에서 IoT 장치들로부터 실시간으로 수집되는 데이터들에 대해 대시보드 형태로 수집 데이터를 내용을 그래프 형태로 보여주며, 수집 데이터에서 이상 감지가 탐지될 경우 이상 감지 모니터링이 포함된다. 둘째는 공정작업관리 모듈로 FEMS, SCADA, ERP DB로부터 수집된 데이터를

기반으로 작업 보드 내용, 단조계획 문서관리, 가열로 장입도 관리, 링밀 작업 관리, 프로스 작업 관리, 수주물량 계획관리, 공정작업 계획, 공정조회 기능들이 포함되어 단조공정에서 작업관리와 관련된 전체적인 내용을 모니터링할 수 있도록 제안하고 있다. 다음은 수집된 데이터를 기반으로 인공지능 기반 예측모델을 제안하여 빅데이터 기반의 에너지 효율화 예측 및 서버 시스템을 제안한다. 마지막으로 본 제안 시스템의 사용자들을 위한 다양한 관리 정보를 제공할 수 있도록 사용자별 필요한 정보를 제공하는 시스템 내용으로 구성되어 있다. 그림 ??에서는 단조공정 통합시스템의 구성도를 나타낸 것으로, 각 호기별 필요한 정보들은 앞에서 설명한 데이터 수집 및 분석 시스템 내용을 기반으로 한다.



[그림 18] IoT기반 단조공정 통합시스템 구성도

(그림 19)는 (그림 18)의 통합시스템 구성에서 다양한 이용자들이 쉽게 사용할 수 있도록 통합적으로 설비별로 모니터링 할 수 있도록 통합 시스템 구성도를 나타내고 있다. (그림 19)는 전체적으로 가열로, 열철로, 프레스에서 설비별 현황을 나타내는 대시보드 내용, 그리고 설비별 데이터 분석과 이상

감지가 발생할 경우 통합적인 검색 내용을 나타낼 수 있도록 설계된 내용을 나타낸 것이다. 이는 현장의 관리자는 물론 업무 담당자, 경영진, 시스템관리자들에게 필요한 정보를 제공할 수 있도록 필터링된 내용을 제공하는데 목표를 두고 있다.



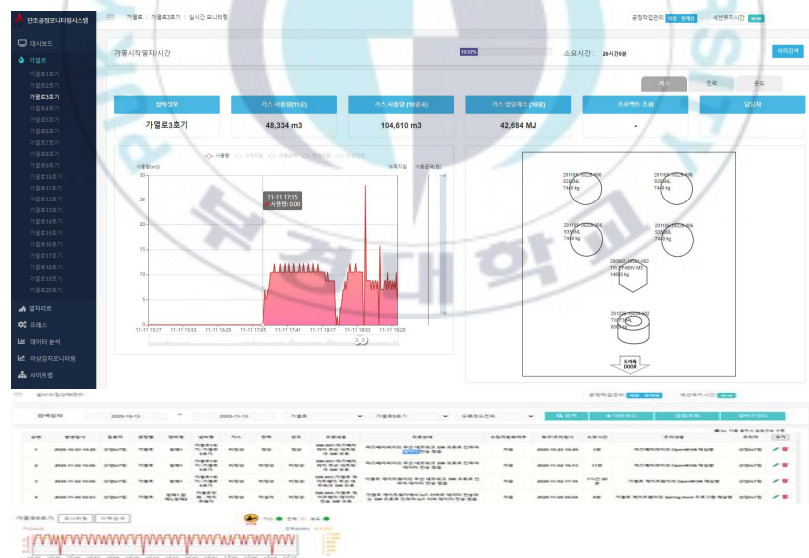
[그림 19] 설비별 실시간 에너지 사용량 및 통합 모니터링

4.1.2 단조공정 설비별 데이터 수집 모듈

단조공정에서 설비별 정보수집은 기본 데이터로 활용하기 위해 매우 중요하다. 본 연구는 설비별 실시간 수집되는 데이터들에 대해 수집 정보, 수정 원인, 조치사항 등이 자동으로 관리되는 기능을 제시하고 있다. 이는 수집 오류가 발생할 경우, 하드웨어, 소프트웨어, 전원오류 등으로 분류하여 담당자에게 자동 알림 기능을 제공하며, 수집 오류 데이터는 가능한 자동으로 수정하여 수정된 소요시간, 조치 내용 등을 관리하도록 구성되어 있다. 이러한 오류 데이터에는 각 호기별로 전력량계 센서에서 이상 값 발생 시 센서 값을 포함한 오류 데이터 탐지 및 수정 기능, 데이터베이스에 저장된 오류 데이터에 대한 오류 이력 관리 기능과 사

용자에게 알람 이력 조회 기능을 제공한다. (그림 20)은 단조공정에서 설비별로 호기별로 장입된 강괴 정보는 물론 가열 시작 일자와 시간, 승온 시작 및 종료 시간, 홀딩 시작 및 종료 시간 등의 공정 진행 사항을 실시간으로 수집되도록 구성되어 있다. 세부적으로는 아래 수집된 내용들이 시스템 상황을 나타내고 있다. 아래 설비 수집 대시보드는 작업일시, 등록자, 호기별 번호, 설비유형, 가스, 전력, 온도, 소요시간, 오류 상태정보, 오류 수정 내용, 전달자 등의 내용들을 보여주고 있다.

따라서 본 연구는 단조공정에서 가열로, 프레스, 열처리로별 가열 공정에 대한 다양한 정보들을 자동으로 수집하도록 구성하여 공정 과정에서 발생하는 데이터 수집 오류, 공정 상태에서 발생하는 문제 발생 등의 정보를 자동 정보 수집 및 관리자의 입력 정보를 자동 생성하도록 구성하여, 이후 각 호기별 에너지 사용량 분석 및 이상 감지에 활용하고 있다.



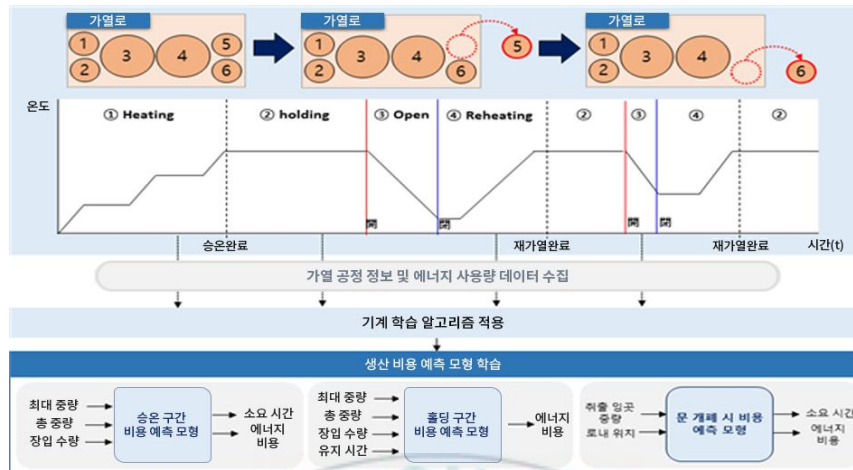
[그림 20] 설비별 데이터 수집 시스템 구성도

4.1.3 단조공정의 데이터 수집 및 에너지 사용 분석

1) 공정 정보 및 에너지 사용량 분석

단조공정에서 제품을 생산할 때 이용하는 에너지원으로는 가스와 전기 등이 있으며, 에너지 효율화를 위한 비용 측면에서 전기는 가스에 비해 미미한 수준이기 때문에 본 연구에서는 가스 사용량을 최소화하는 관점에 초점을 두고 있다. 따라서 본 연구는 단조공정에서 가열 공정, 프레스 공정, 링 밀 공정, 절단 공정, 열처리 공정 등이 있는데, 가스를 이용하는 공정인 가열 공정과 열처리 공정을 대상으로 생산 비용 예측 모형을 학습하고 작업 계획 최적화 하기 위한 연구를 대상으로 하고 있다.

(그림 21)은 본 연구에서 고려하고 있는 단조공정에서 가열공정과 열처리 공정에 대한 가열로의 승온(heating)구간, 홀딩(Holding)구간, 재가열(Reheating)구간, 재가열완료 구간으로 구성되는 에너지 사용량에 대한 흐름을 나타내고 있다. (그림 21)에서 승온구간은 소요 시간과 에너지 사용량, 홀딩 구간은 장입 수량 및 유지 시간을 계산한 에너지 비용, 재가열 구간에서의 에너지 비용과 문 개폐에 따른 에너지 소용 비용들을 실시간으로 데이터를 획득하여 에너지 효율성을 예측할 수 있는 기계학습 알고리즘을 설계하고자 한다.



[그림 21] 가열공정 정보 및 에너지 사용량 데이터 수집 정보

(그림 21)의 기계학습 알고리즘을 적용하여 생산비용 예측 모델을 설계하기 위해 본 연구에서는 (표 7)과 같은 데이터를 수집하여 예측모델에 적용하고 있다. 주요 수집 데이터는 가열로와 열처리로의 온도와 가스 정보를 수집하고, 기존의 ERP에서 입력된 데이터들도 활용한다.

[표 7] 예측 모델 학습을 위해 필요한 수집 데이터

수집형태	수집 데이터	수집 목적
센서 이용	가열로 온도 데이터	승온 소요 시간, 홀딩 소요 시간, 문개폐 소요 시간
	열처리로 온도 데이터	열처리 소요 시간
	가열로 가스 사용량 데이터	가열 공정 가스 사용량
	열처리로 가스 사용량 데이터	열처리 공정 가스 사용량
작업자 입력 ERP 시스템	과거 설비 별 작업 스케줄	설비가 처리한 작업과 처리 비용 매 칭
	원소재 정보	원소재 중량, 원소재 형상, 강종, 치수
	제품 정보	제품 종류, 제품명, 제품 형상, 이용한 원소재 정보 매칭
	제품 별 단조 및 열처리 시 방서	단조 횟수, 단조 치수, 열처리 기법 종류, 열처리 온도 정보

2) 가열로 가스 사용량 예측 모형 및 성능 평가

가열 공정의 가스 사용량을 수집하기 위해서 앞에서도 설명하였듯이 각 가열의 총 중량 기반 가스 사용량을 수집할 수 있는 IoT 디바이스로부터 데이터를 수집하여 가열 공정의 가스 사용량 예측 모형 학습 모형을 제안한다. 이를 위해 본 연구에서는 사용하는 학습 알고리즘은 Ensemble of Model Trees(EoMT), Linear Regression(LR), k-Nearest Neighbors(K-NN), Locally Weighted Linear Regression(LWLR) 모형을 적용하였으며, 학습된 모델들의 성능을 비교하기 위해서는 [수식 1]과 같이 MAPE(Mean Absolute Percentage Error) 척도를 이용하였다.

$$MAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right|, \quad (A_t : \text{Actual value}, F_t : \text{Forecast value}) \dots [\text{수식 1}]$$

수집된 데이터는 (표 8)과 같이 각 호기로부터 수집된 가열공정의 사용된 가스 데이터를 나타내고 있다.

[표 8] 가열 공정의 가스 사용량 수집 데이터 예

번호	호기	usedamt	weekly	Night_time	Tot_weight	Unit_usedamt
1	1호기	0	0	0	0	0
2	2호기	8,715	28,880	38,210	67,090	129
3	3호기	6,154	0	68,420	68,420	89
4	4호기	882	30,230	58,240	88,470	15
5	5호기	4,062	0	50,490	50,490	80
6	6호기	8,963	0	45,960	45,960	195
7	8호기	3,820	23,560	29,480	53,040	129

위의 (표 8)에 의한 수집된 데이터 기반으로 학습 모델을 적용한 성능 결과는 (표 9)와 같이 EoMT(Ensemble of Model Trees) 기반 가스 사용량 예측 모형 성능이 비용 예측 모형의 오차율 18.21%로 성능이 다른 학습 모델에 비해 좋은 결과를 보여주고 있다.

[표 9] 가열 공정 가스 사용량 예측 모형 성능 비교

Model 척도	EoMT	LR	LWLR	k-NN
MAPE	18.21%	18.84%	20.78%	18.95%

3) 열처리로 가스 사용량 예측 모형 및 성능 평가

열처리 공정의 가스 사용량 예측 모형을 설계하기 위해서 본 연구는 (표 10)과 같이 각 열처리로부터 수집된 장입 총 중량에 대한 가스 사용량 데이터를 이용하여 열처리 공정의 가스 사용량 예측 모형 학습을 진행하였다. 그리고 이러한 열처리 기법의 종류로는 Normalizing(N), Quenching(Q), Tempering(T), Annealing(A) 등이 있는데, 열처리 기법에 따라 열처리 온도 및 냉각 방식이 달라서 열처리 비용에 차이가 있다.

[표 10] 열처리 공정의 가스 사용량 수집 데이터 예

번호	호기	열처리기법	열처리온도	홀딩 시간	weight	unit
1	1호기	Q	900	6	55	56
2	2호기	T	560	15	73	27
3	3호기	T	540	18	76	23
4	4호기	A	740	17	59	34
5	5호기	N	1000	5	53	69
6	6호기	Q	900	19	48	75
7	8호기	A	670	9	81	60

위의 (표 10)을 기반으로 열처리 공정의 가스 사용량 예측을 위해 (표 11)과 같이 본 연구에서는 수집된 데이터를 기반으로 열처리 기법, 열처리 온도, 홀딩 시간, 장입 중량, 가스 사용량 속성으로 전처리를 한 후, 어떤 학습 모델이 좋은 성능을 나타내는지 수행하였다.

[표 11] 열처리 공정의 가스 사용량 수집 데이터 예

열처리 기법	열처리 온도	홀딩 시간	장입 중량	가스 사용량
Q	900	6	55	2801
T	560	15	73	2023
T	540	18	76	2010
A	740	17	59	2809
N	1000	5	53	2779
Q	900	19	48	3891
A	670	9	81	2336

본 연구에서 사용한 학습 알고리즘은 Ensemble of Models Trees(EoMT), Linear Regression(LR), Locally Weighted Linear Regression(LWLR), k-Nearest

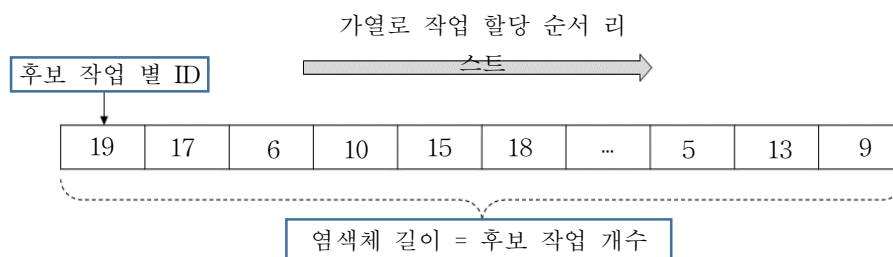
Neighbors(k-NN), Random Forest(RF)를 적용하였으며, 성능을 비교하기 위해서는 앞의 수식 1에 있는 MAPE 척도를 적용하였다. 성능 비교 결과 열처리로 가사 사용량 예측 모형에서도 가열로와 유사하게 EoMT(Ensemble of Model Trees) 기반 가스 사용량 예측 모형 성능이 다른 학습 알고리즘 보다 좋은 결과를 제시함을 보여주고 있다 (표 12).

[표 12] 열처리 공정의 가스 사용량 예측 모형 성능 비교

Model 척도	EoMT	LR	LWLR	k-NN	RF
MAPE	11.88%	12.85%	14.85%	15.75%	15.65%

4) 가열 및 프레스 공정 작업 계획 최적화 연구

가열 공정의 작업 계획은 가열로에 장입할 작업물의 배치 구성과 가열 시작 시점을 결정하는 것이며, 프레스 공정의 작업 계획은 프레스기가 처리할 작업의 순서를 결정하는 것이다. 이를 위해 가열 공정 작업 계획을 위해 (그림 22)와 같이 가열 공정 대상 작업들의 할당 순서에 해당하는 값을 제시하고, 좌측부터 순서대로 가열로의 허용 용량만큼 배치를 구성하여 가열로에 할당하고 처리하는 작업 계획이다.



[그림 22] 가열공정 작업 계획을 위한 할당 순서 표현

프레스 공정 작업 계획은 가열 공정 작업 계획과 달리 직접적으로 후보 작업들을 대상으로 최적 작업 순서를 찾는 대신, 작업 계획 최적화를 위한 목적 함수 기반으로 후보 작업들을 평가하여 점수가 높은 작업 순으로 작업의 할당 순서를 결정하게 된다. 이러한 목적 함수는 수식 2와 같이 나타낼 수 있다. 여기서 E는 단위 가스 사용용량 당 중량을 나타내며, H는 가열 총 중량이며, P는 프레스기 기가동 시간 그리고 T는 프레스기 tool 교체 시간, w_E 는 단위가스 사용량 당 처리 중량 가중치, w_H 는 가열 중 중량 가중치, w_P 는 프레스기 비가동 시간 가중치, w_r 는 프레스기 tool 교체 시간 가중치를 나타낸다.

$$\text{목적함수} = w_E \cdot E + w_H \cdot H + w_P \cdot P + w_r \cdot T \dots [\text{수식 2}]$$

프레스 공정에서 작업 순서를 결정하기 위해 수식 2를 기반으로 작업을 평가하는 점수함수는 프레스기에 작업을 할당할 때 고려해야 하는 여러 가지 요소들에 대한 가중치 합으로 계산할 수 있으며, 이러한 함수를 정의하는 평가 요소의 가중치 벡터에 따라 작업의 처리 순서가 달라지게 된다. 따라서 평가 요소의 가중치 벡터에 따라 프레스기 작업 할당 전략이라고 결정되며, 이러한 작업 함수 벡터의 최적화를 통해 프레스기 최적 작업 할당 알고리즘이 결정된다. 가열 공정 작업 계획과 프레스기 작업 할당 전략은 유전자 알고리즘을 이용하여 최적화하며, 가열 공정의 작업 계획을 수립하기 위해서는 프레스기 작업 할당 전략이 최적화되어야 하고, 프레스기 작업 할당 전략을 최적화하기 위해서는 최적의 가열공정 작업 계획이 필요하기 때문에 본 연구에서는 유전자 알고리즘을 적용하였다. 제안된 알고리즘에 따라 수립한 작업 계획의 시뮬레이션 수행 결과와 마감 시간 우선순위로 작업을 처리했을 때의 시뮬레이션 수행 결과를 에너지 효율과 생산성 측면에서 비교한 결과 개발 방안이 생산량과 에너지 효율이 높게 나타남을 볼 수 있었다.

4.1.4 호기별 에너지 데이터 수집 모니터링 시스템

본 연구는 단조공정에서 사용하고 있는 가열로, 열처리로 및 프레스기에 대해 각 호기별 가스사용량과 전력사용량을 에너지를 어떻게 사용하고 있는지 상태정보를 확인하기 위해 필요한 기능들에 대해 실시간으로 데이터를 수집할 수 있도록 여러 가지 기능들을 설계하고 있다.

1) 가열로 장입도 등록 시스템 구성

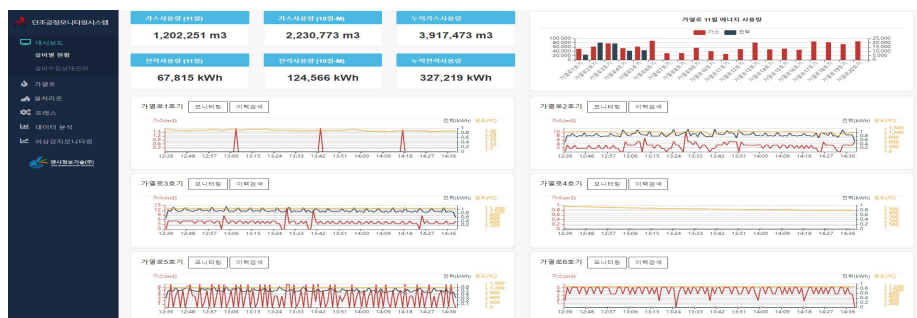
대부분의 단조공장들은 현장의 장입도 등록을 수기로 진행하는 경우가 대부분이다. 이와 같이 수기로 장입도 내용을 등록하는 것은 여러 가지 오류들이 발생할 수 있는 원인이 된다. 따라서 현장 작업자의 편리함은 물론 각 호기별 장입도와 관련된 정보들을 디지털 및 실시간으로 관리하기 위해서는 필수적인 기능이라 볼 수 있다. 본 연구에서도 이러한 부분들을 고려하여 각 호기별 장입도 등록 및 관리를 할 수 있도록 시스템 구성을 설계하고 있다. (그림 23)은 본 연구에서 제시한 공정작업관리 시스템에서 장입도 등록을 하기 위한 세부 내용을 나타내고 있다. 현장 작업자가 가열로의 가열시작과 종료시간, 온도, 공동 작업시간 그리고 가열로에 입력되는 철의 중량 등에 대한 정보들을 모니터링할 수 있도록 하고 있다.



[그림 23] 가열로 장입도 등록 예시

2) 가열로 별 가스 및 전력 사용량 수집 모니터링

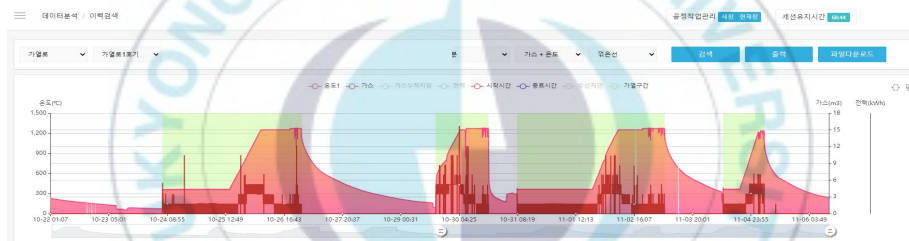
(그림 24)는 특정 기간의 가스사용량과 전력사용량의 수집된 데이터를 나타내고 있다. 그림에서 붉은색은 가스량이며, 검은색은 전력을 나타내고 있으며, 그림에서는 가열로 1호기 ~ 6호기까지의 가스사용량과 전력사용량을 모니터링한 결과를 보여주고 있다. 가열로 1호기는 특정 시점에 가스사용이 사용된 것을 볼 수 있고, 가열로 4호기는 가스와 전력이 사용되지 않고 온도가 일정하게 유지되는 상태 정보를 보여주고 있다. 가열로 5호기는 가스 사용량이 매우 빈번하게 변화되는 경우로 가스 사용량의 변화가 심한 경우를 나타내고 있다.



[그림 24] 가열로별 데이터 수집 현황 예시

3) 특정 가열로의 단조공정 진행 정보 모니터링

(그림 25)는 특정 가열로의 가열 시작/종료 시간, 승온 및 홀딩 시간, 전체 가열 소요 시간, 공정 진행률 등 공정작업 진행 정보를 실시간으로 파악할 수 있도록 모니터링된 결과를 나타내고 있다. 그래프에서는 가열로의 가스를 주입하여 가열 시작시간, 온도의 승온 시간 및 홀딩 시간을 그래프로 나타내어 호기별 전체적인 가스량과 전력량을 실시간으로 확인할 수 있도록 모니터링 구성을 제시하여 현장 작업자 또는 관리자가 가열로의 각 호기별 상태정보를 확인할 수 있는 기능을 제안하고 있다.



[그림 25] 호기별 가열 시간 및 홀딩 시간 정보 수집 현황

4) 호기별 공정작업 검색 기능

앞에서 가열로 에너지 사용 현황을 모니터링 하기 위해 필요한 세부 설계 내용들을 설명하였다. 이러한 세부 내용을 기반으로 공정작업계획에서 가열로, 열처리, 프레스 등의 설비 구분에 따라 각 호기별 작업 시간, 종료 시간, 제품 품명 등에 대한 정보를 한 번에 볼 수 있도록 공정작업 검색 기능을 제안하고 있다(그림 26). 이는 다양한 호기에서 단조 작업과 관련된 일들이 진행될 경우, 현장의 작업 관리자는 각 호기별 어떤 작업들이 진행되었으며, 현재 작업 중이 공정이 무엇인지

확인할 경우 필요한 정보 시스템이다. 아래에 수집된 정보들은 가열로, 프레스, 열처리로 설비 중에서 어느 설비를 통해서, 어느 정도 시간이 소요되어 제품으로 완성되는지에 대한 정보 검색을 할 수 있어, 각 장비 소재별로 수행중인 공정과 향후 수행되어야 할 공정이 무엇인지 정보를 검색할 수 있어 향후 작업계획 수립에 도움이 될 수 있는 정보를 제공하게 된다.

순번	수주번호	소재/합금	부품명	소재	설비구분	작업일자	주변간	설비명	시작시간	종단시간	종료시간	종류
4	가열로 다레	001	PS	가열로	2019-10-21	주간	가열로2호기	2019-10-19 07:30	2019-10-21 15:10			
5	130926-13041-001	001	PS	가열로	2019-10-21	야간	가열로3호기	2019-10-21 00:00	2019-10-22 00:00			
	130926-13041-001	1		프레스	2019-10-21	야간	PS	2019-10-22 06:14:29	2019-10-22 06:14:31			TUBE SHEET
	130926-13041-001	2EA		열처리	2019-10-22	주간	열처리로 2호기	2019-10-22 00:00	2019-10-22 23:59			TUBE SHEET
6	130925-13041-001	001,002	PS	가열로	2019-10-21	야간	가열로1호기	2019-10-22 06:22	2019-10-24 01:00			
	130925-13041-001	1		프레스	2019-10-21	야간	PS	2019-10-21 21:38:47	2019-10-21 21:59:24	2019-10-22 06:04:18		TUBE SHEET
	130925-13041-001	2		프레스	2019-10-21	야간	PS	2019-10-21 21:59:26	2019-10-21 22:20:23	2019-10-22 06:36:44		TUBE SHEET
	130925-13041-001	2EA		열처리	2019-10-22	주간	열처리로 2호기	2019-10-22 00:00	2019-10-22 23:59			TUBE SHEET
7	130925-13041-002	001,002,003,004	PS	가열로	2019-10-21	야간	가열로1호기	2019-10-22 06:22	2019-10-24 01:00			
	130925-13041-002	1		프레스	2019-10-21	야간	PS	2019-10-21 20:22:56	2019-10-22 03:35:16	2019-10-22 04:19:05		TUBE SHEET
	130925-13041-002	2		프레스	2019-10-21	야간	PS	2019-10-21 20:40:14	2019-10-21 20:59:24	2019-10-22 04:11:24		TUBE SHEET
	130925-13041-002	3		프레스	2019-10-21	야간	PS	2019-10-21 20:59:27	2019-10-21 21:19:05	2019-10-22 04:56:11		TUBE SHEET
	130925-13041-002	4		프레스	2019-10-21	야간	PS	2019-10-21 21:19:12	2019-10-21 21:38:44	2019-10-22 05:30:09		TUBE SHEET
	130925-13041-002	4EA		열처리	2019-10-22	주간	열처리로 2호기	2019-10-22 00:00	2019-10-22 23:59			TUBE SHEET
8	130920-13448-052	001,002	PS	가열로	2019-10-21	야간	가열로3호기	2019-10-21 00:00	2019-10-22 00:00			
	130920-13448-052	1		프레스	2019-10-21	야간	PS	2019-10-22 01:48:07	2019-10-22 02:10:09			TOWER FLANGE
	130920-13448-052	2		프레스	2019-10-21	야간	PS	2019-10-22 02:10:10	2019-10-22 02:33:12			TOWER FLANGE

[그림 26] 호기별 공정작업 검색 현황

4.1.5 에너지 절감을 위한 원단위 분석

(그림 27)은 에너지 집계 분석을 위해서 연도별, 월별, 일별 시간에 따라 시계열 분석 데이터 그리고 공정별 및 설비별 사용량, 월별 사용량, 중량 대비 사용량에 대해 원단위 분석을 위해 수집된 데이터를 나타낸 것이다. 이러한 데이터들은 데이터 집계 분석을 위해서도 필요한 요소들이지만, 이렇게 수집된 데이터들은 빅데이터를 이용한 인공지능 기반 에너지 효율화를 위한

알고리즘 개발에 활용될 수 있다.

(그림 28)은 각 설비별 에너지 소비패턴을 분석하기 위해 각 호기별 사용량, 중량, 소요시간, 원단위 사용량, 원단위/소요시간, 사용량에 대한 정보를 나타내고 있다. 이는 각 설비별 에너지 소비패턴을 분석하기 위해 필요한 데이터 수집 내용을 대시보드 형태로 나타내고 있다. 소비 패턴 분석을 위해 작업별 공정 단위 소요시간, 원단위 가스 사용량 대비 중량과 에너지 사용량 분석 결과를 제공하여 이상 상황이 발생하였는지 파악하기 위한 원데이터로 사용할 수 있다.



[그림 27] 에너지 집계 분석을 위한 원단위 분석 예



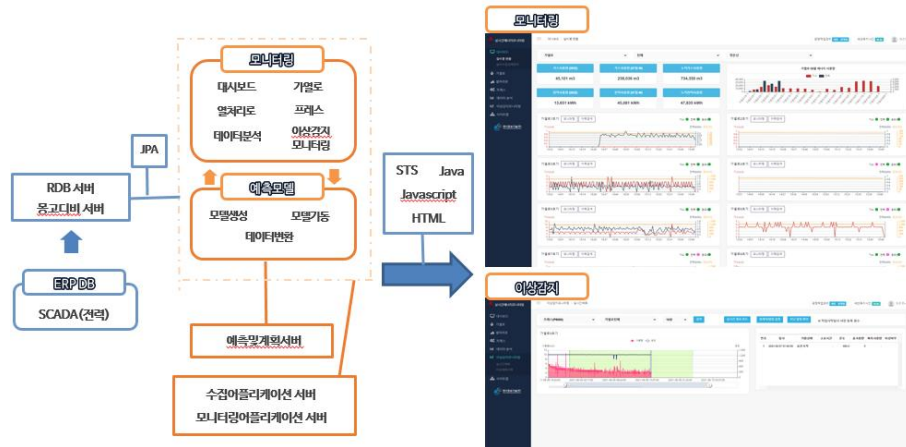
[그림 28] 설비별 에너지 소비 패턴 분석 예

4.2 IoT기반 이상 감지 시스템

본 절은 앞에서 수행된 설비별 데이터 수집을 기반으로 각 장치별 이상 감지 모니터링 수행 수행 시스템을 기술하다.

4.2.1 예측모델 기반 이상감지 모니터링 수행 시스템

본 절은 (그림 18)의 통합 시스템에서 모니터링 시스템과 예측모델 그리고 공정작업관리 시스템이 연계되어 (그림 29)와 같이 오른쪽에 이상감지 및 모니터링 결과를 각 호기별로 나타낼 수 있도록 제안하고 있다. 모니터링 시스템에서는 모니터링 설계에서 보여주고 있는 대시보드 내용을 근간으로 필요한 데이터 검색 및 다양한 형태로 표출할 수 있도록 필요한 정보들을 제공하며, 이상감지 모니터링에는 특정 호기별로 가스 및 전력 사용량, 온도 등 수집되는 데이터의 구성이 전체적인 작업공정관리에서 관리하고 있는 데이터 및 제어 범위를 넘어갈 경우, 이상감지 정보를 탐지하여 관리에게 알람 기능을 보낼 수 있도록 실시간으로 제어할 수 있는 기능이 포함된다. 실제 단조 공장에서는 각 센서 장치별로 수집되는 데이터는 다양한 원인들에 의해 실시간 수집 데이터의 범위가 한계범위를 넘어서는 경우가 종종 발생하기 때문에, 이러한 이상 데이터의 수집에 대해 어떤 문제점들이 있는지 모니터링 기능들이 포함되어야 한다. 그리고 때로는 호기별로 수집되는 IoT 데이터와 SCADA, ERP에서 입력되는 데이터들을 통합적으로 연계될 경우, 실제 시스템에서 예상하지 못한 시스템 이상 감지를 찾을 수도 있다. 본 연구는 통합적인 시스템들이 연계된 데이터들에 대한 이상감지 부분은 데이터 수집과정에서 탐지된 내용들이 있지만, 실제 시스템 상태 정보는 본 연구에서 제외하였다.

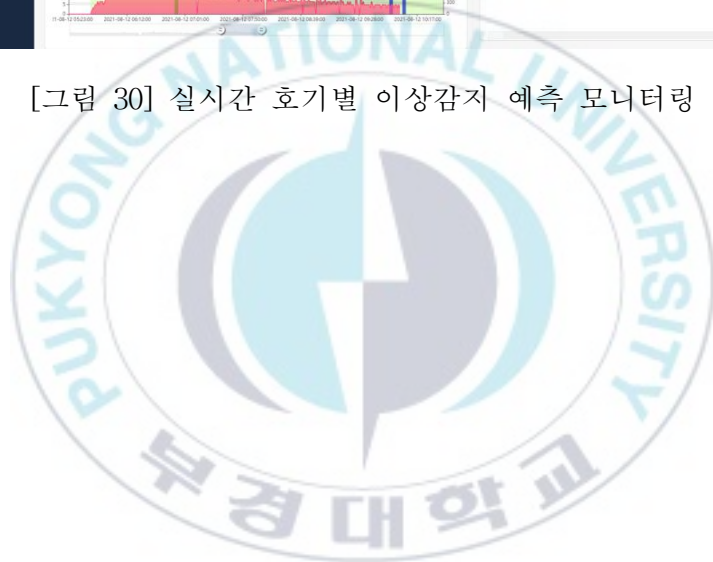


[그림 29] 예측모델 기반 이상감지 모니터링 수행 예

(그림 30)은 본 연구의 주요 연구 내용 중 하나인 지금까지 수집된 데이터를 기반으로 설비별 이상감지를 탐지하기 위한 모니터링 예측 내용을 제시하고 있다. (그림 24)에서 수집된 데이터를 기반으로 이전에 학습된 공정 소요 시간과 에너지 사용량 예측 모델을 적용하여 작업 진행 중 승온시간, 종료시간, 가열 종료 시간, 에너지 사용량을 수집 및 표출하면서 실제 수집된 데이터와 이전에 학습된 예측값이 다를 경우, 이상 현상에 대해 관리자에게 알람을 통지하는 예를 나타낸 것이다. 이러한 이상 감지 부분은 비록 알람이 발생되었다 하더라도 가열로, 열처리로, 프레스에서 이상이 발생하지 않을 수도 있다. 그러나 이상 감지 모니터링 기능은 향후 실제 이상이 발생할 경우, 어떤 경우에 이상 현상이 발생하였는지 원천 데이터로 활용할 수 있다. 이 외에도 실제로는 이상 감지 데이터 탐지는 실제 이상현상이 발생하지 않더라도 센서 다비이스, 네트워크 시스템, 수집 데이터의 이상 유무 등 다양한 이상 현상을 탐지하는데 활용할 있는 원천 데이터로 사용가능하다.



[그림 30] 실시간 호기별 이상감지 예측 모니터링



IV. IoT기반 에너지 절감 기존 연구 분석

5.1 제안 시스템과 기존 연구 비교 분석

최근 스마트 공장에서 제조업 경쟁력 향상을 위한 다양한 연구들이 진행되고 있다. 스마트 공장은 기존의 사람들이 진행하던 생산과정을 IoT, 빅데이터, 인공지능 기술들을 활용하여 생산성 향상은 물론 생산 라인의 이상 감지를 위한 연구들이 주류를 이루고 있다. 본 연구는 스마트 공장에서 단조공정을 대상으로 IoT기반 에너지 절감을 위한 다양한 모니터링 시스템 구성과 이상 감지 탐지를 위한 시스템을 제안하고 있다. 제안된 연구 내용과 기존의 스마트 공장에서 연구된 내용들을 비교 분석하고자 한다.

5.1.1 제안 시스템의 개선 내용

본 연구는 스마트 공장에서도 단조공정에서 IoT 기반 에너지 절감을 위한 빅데이터 분석 및 효율화 방안에 대한 연구를 제안하고 있다. 제안된 내용은 단조공장이 열악한 환경에서 가열로, 프레스, 열처리 등의 복잡한 공정 과정이 연계되면서 현장의 설비 장치들로부터 데이터를 수집하는 과정이 열악하다. 이러한 현장의 문제점들을 해결하기 위해서는 현장 작업자와 함께 문제점을 검토하고, 현장의 요구사항을 반영하여 적용 가능한 작업 계획을 수립할 수 있도록 지속적인 알고리즘 개선 과정을 진행하였다. 이를 위해서 본 연구는 현장의 문제점들을 개선하기 위해 문제점들을 제시하고, 이를 개선하기 위한 세부 과정을 설명한다. 이는 제조업의 스마트 공장 에너지 효율화를 위한 통합 시스템 개발을 위해서는 현장에서의 문제점들을 개선하는 것이 연구의 기본이기 때문이다.

기본적으로 단조공장의 제조업에서는 첫째, 설비 장치들로부터 IoT 센서가 부착되지 않은 경우가 대부분이다. 실제 현장에서는 작업자가 가스 사용량, 작업시간, 중량 등을 수기로 기입하고, 일별 에너지 사용량과 원단위 분석을 작업자가 수행하고 있어서 정확한 데이터 수집이 진행되지 않고, 데이터 집계오류가 발생은 물론 실시간으로 설비별 에너지 사용량 비교 분석이 힘들 상황이다. 둘째는 단조 공정은 가열, 프레스, 절단, 열처리 등의 복잡한 과정이 연속적으로 진행되며, 강괴를 고온으로 가열하여 제품을 생산하기 때문에 에너지 비용이 많이 소모된다. 일반적으로 단조 공정 작업 계획은 가열로 및 열처리로 별 처리할 강괴 조합과 설비별 작업 순서를 결정하는 것으로 작업자의 경험을 바탕으로 작업 계획을 수립하고 있다.

이러한 문제점을 개선하기 위해서 본 연구에서는 다음의 내용들을 제안하고 있다.

- 1) 본 연구에서는 단조 공정의 가열로, 프레스, 열처리로에 IoT 기반 센서를 부착하여 실시간으로 데이터를 수집할 수 있는 서버 시스템은 물론 무선 기반 산업 IoT 네트워크 인프라 환경을 구성하였다. 그리고 현장 관리자로부터 제품의 형상과 크기, 이용하는 소재의 종류, 프레스 소요 시간 등의 정보를 수집하여 프레스 공정비용 예측 모형을 개발하기 위한 시뮬레이션을 개발하여 현장에서 사용할 수 있는 환경 및 필요한 데이터 수집이 가능하도록 구성하고 있다.
- 2) 본 연구의 최종 목표에 해당하는 단조 공정에서 수집된 데이터를 기반으로 에너지 효율화를 위한 세부 공정 방법을 제안하고 있다. 세부적인 수행 내용은 실시간 데이터 수집 및 관리 웹 서버 시스템 환경을 제시하여 클라이언트에 해당하는 관리자에서 필요한 정보를 제공하는 것은 물론 에너지 사용량 효율화를 위한 알고리즘 제시 그리고 실시간 이상 감지를 탐지하는 방법을 제안하였다.

5.1.2 제안 시스템과 기존 연구들과 비교 분석

대부분의 에너지 절감을 위한 스마트 공장과 관련된 연구들은 에너지 절감의 필요성과 IoT 기반 플랫폼 구성이 필요함을 설명하고 있다. 관련 연구에서도 설명하였듯이 대부분의 선진국들은 제조업 혁신을 위해 스마트공장의 개념을 도입하여 각 나라별로 경쟁력을 확보하기 위한 사업들을 추진하고 있다. 그리고 제조업 관련 IoT 플랫폼 시장의 성장률에 대해서도 관심과 설명들이 제시되고 있다.

본 연구는 IoT 기반 스마트공장의 에너지 절감을 위한 내용으로, 관련 연구에서 기술한 제안시스템들과 비교 및 분석하고자 한다. 김범주 등[21]은 소규모 공장 대상이지만, 기본적으로 스마트공장을 대상으로 IoT 기반 공장 에너지관리 시스템 개발에 대한 내용을 제시하고 있다. 전체적인 에너지 관리 플랫폼 시스템 구성은 본 연구와 유사하지만, 제안 내용에서는 수집된 데이터의 대시보드 형태로 보여주는 내용들이 주류이며, 에너지 효율화 및 이상 감지를 위한 구체적인 설명은 모호하다. 고재진 등[3]은 스마트공장 빅데이터 분석 플랫폼 기술 동향에서 클라우드 기반 제조 데이터 시스템 구성도 및 스마트공장에서 플랫폼들의 데이터 흐름도에 대한 설명은 제시하고 있으나, 다차원 데이터 셋을 활용한 분석 결과들에 대한 설명은 부족하다. 그리고 김태종 등[6]은 전자부품 조립공정에서 스마트 팩토리 적용 필요성에 대한 연구로 본 연구의 내용과 비슷하나 제시된 내용들은 데이터 수집 내용의 구체성과 에너지 또는 생산선 향상과 관련된 내용들은 구체적으로 제시하지 못하고 있다.

(표 13)은 본 연구와 관련하여 기존 연구들과 스마트공장에서 에너지 효율화 및 이상감지 탐지 방법에 대해 비교 분석한 내용이다. 본 연구는 기본적으로 스마트공장의 주요 개념들을 기반으로 단조공장에서 데이터 수집을 위

한 설비별 IoT 센서들을 부착하여 실시간으로 데이터를 수집할 수 있는 환경을 구축하고 있다. 그리고 수집된 데이터를 대상으로 다양한 설비 장치들과 연계하여 에너지 효율화는 물론 이상감지 탐지 방법에 대한 설계 내용을 제시하고 있다. 그리고 무엇보다 중요한 것은 기존의 연구들은 대부분 일반적인 제조업을 대상으로 스마트공장의 제품 생산 및 경쟁력 강화에 초점을 두고 있지만, 본 연구는 스마트공장의 단조 공장에서 IoT 기반 에너지 저감을 위한 각 설비 장치들로부터 빅데이터 수집 및 에너지 효율화와 이상감지를 탐지하기 위한 설계 내용을 제시하고 있다.

[표 13] 제안 시스템과 기존 연구들의 비교 분석

제안기법 주요 기능	김범주 등[21]	고재진 등[3]	김태종 등[6]	본 연구
스마트공장 개념 도입	- 도입	- 도입	- 도입	- 도입
데이터 수집	- IoT 기반	- IoT 기반	- IoT 기반	- IoT 기반
플랫폼 구성	- 플랫폼 구성	- 플랫폼 구성	- 플랫폼 구성	- 플랫폼 구성
에너지 효율화	- 효율화 없음	- 효율화 없음	- 효율화 없음	- 효율화 기능 제시
이상감지 탐지	- 고려 없음	- 고려 없음	- 고려 없음	- 고려함
테스트 베드 구축	- 일반적 공장	- 일반적 공장	- 일반적 공장	- 단조 공장

5.1.3 제안 시스템의 성능 향상 분석

본 연구는 단조공장을 대상으로 테스트베드를 구축하여 실제 데이터 수집 및 에너지 효율화에 대한 연구를 진행하였다. 이를 위해 본 연구에서는 단조 공정에너지 모니터링시스템을 대상으로 시스템의 접속 및 서버의 성능이 잘 작동하는지 현장 테스트를 진행하였다. 동시 접속자 30명을 대상으로 접속하면서 접속 오류와 평균 응답 시간을 점검한 결과 접속 오류는 거의 발생하지 않았으며, 평균응답시간은 29ms, 처리율은 983 TPS(Transaction Per Second) 성능을 가졌음을 확인할 수 있다. 그리고 에너지 효율화를 위해 과거 가스 사용량 대비 1년동안 제품 생산량과 가스사용량을 분석한 결과 에너지 절감율은 약 8.5%의 효율성을 가지는 것을 알 수 있었다. 이는 본 연구에서 제시하는 에너지 절감을 위한 모니터링 시스템과 작업 공정 계획의 개선으로 전체적인 에너지 절감 효과가 있음을 테스트베드 구축에서 확인할 수 있었다.

VI. 결 론

최근 제조업에서 제품 생산의 경쟁력과 에너지 절감 그리고 안전관리를 위한 설비 장치들의 이상 감지를 자동으로 점검할 수 있는 스마트 공장에 대한 관심과 연구들이 활발히 진행되고 있다. 스마트 공장의 정의도 다양하지만, 대부분 ICT기술을 적용한 기존의 설비 장치들에 IoT 센서들을 부착하여 설비 장치들에서 수집되는 필요한 정보들을 서버 및 모니터링 시스템에서 생산성 향상과 비용 절감을 위한 다양한 분석 결과를 제공하고 있다. 본 연구도 스마트 공장에서 산업체 수요와 IoT 기반 에너지 절감을 위한 빅데이터 분석 및 효율화를 위한 연구를 진행하였다.

본 연구는 스마트 공장에 필요한 요소 기술들과 에너지 절감을 위한 전체적인 시스템 구성들과 본 연구에서 제안하고 있는 요소 기술들이 어떤 특성이 있는지 비교, 분석하였다. 관련 연구들은 대부분 제조업을 대상으로 IoT 기반 스마트 공장에서 수집되는 데이터를 분석하여 사용자에게 필요한 정보를 제공하는 내용을 기술하고 있다. 본 연구도 기존의 연구들과 유사하게 모니터링 및 분석 결과를 보여주는 것은 거의 동일하지만, 단조공정으르 대상으로 실제 현장 시스템에서 테스트베드를 설치하여 수행된 결과와 에너지 절감을 위한 효율성을 보여주고 있다.

본 연구에서 진행한 단조공정에서 에너지 절감을 위한 세부 연구 내용을 살펴보면 다음과 같다. 첫째는 단조공정 스마트 공장을 위한 에너지 절감 및 분석 정보를 관리자에게 제공하기 위한 통합 플랫폼 시스템을 구성하였다. 세부 내용을 보면 현장의 설비 장치들과 연계하기 위한 IoT 플랫폼, 단조공정시스템을 위한 모니터링, 공정작업관리, 예측모델, 관리자 및 이용자에게 필요한 정보를 제공하기 위한 시스템으로 구성되어 있다. 둘째는 에너지 절감을 위한 원단위 분석 모델을 제안하고 있다. 단조공정에서 에너지 가스 사

용량은 매우 많이 사용되기 때문에 각 설비별 에너지 소비패턴을 분석하기 위해 필요한 원단위 분석은 중요하며, 이러한 내용을 기반으로 설비 장치별 소비 패턴을 분석하는 내용을 제안하였다. 셋째는 다양한 설비 장치들에 대해 이상감지를 탐지 및 예측하기 위한 모니터링 시스템을 제안하고, 이상현상이 감지될 경우 관리자에게 알려주는 알람 기능을 포함한 플랫폼 설계를 제안하였다.

제조업의 생산성 향상과 설비 장치들의 이상 감지를 위한 스마트 공장에 대한 연구들이 많이 진행되고 있지만, 대부분의 연구들은 제조업에서 IoT 기반 스마트 공장 구축이 제품 생산력 향상과 에너지 절감, 그리고 이상 감지 기능을 구축할 수 있다는 장점들을 설명하거나, 특정 설비 장치를 대상으로 시범적인 통합 시스템을 제안하고 있고, 이와 관련된 수행 결과를 제시하고 있어, 본 연구와 성능 또는 개발된 시스템의 세부 알고리즘 비교 분석은 쉽지 않다. 본 연구는 기본적으로 단조공정 회사를 대상으로 현장에 설치된 대부분의 설비 장치들에 IoT 센서를 부착하여 수집된 데이터를 기반으로 에너지 절감과 이상 탐지를 수행하는 통합 플랫폼을 구성하여 기존 연구들과의 차이점은 다음과 같다. 첫째는 가열로, 열처리로의 에너지 사용 특성을 분석하여 에너지 저감을 스케줄링 정책을 구성하여 효과가 있음을 보여주고 있다. 둘째는 다양한 설비 장치들에서 수집되는 데이터들을 기반으로 각 설비는 물론 연계된 설비 장치들과의 이상 감지를 위한 분석 모듈을 제안 및 이상 감지를 탐지하는 결과를 보여주고 있다.

본 연구는 단조공정을 대상으로 에너지 절감과 이상감지를 탐지하기 위한 플랫폼을 구축한 것을 제안하고 있으나, 스마트 공장을 위한 다른 산업 분야에서도 적용할 수 있어 다양한 제조업과 연계하여 생산력 향상과 안전성을 높일 수 있는 요소 기술들을 활용할 수 있다.

< 참 고 문 헌 >

- [1] 중소기업기술진흥원, “중소기업 전략 기술로드맵 2022~2024 자원순환 및 에너지 재활용”, 2022, 07.
- [2] 중소기업기술진흥원, “중소기업 전략 기술로드맵 2022~2024 스마트 제조”, 2022. 06 .
- [3] 고재진 외 4명, “스마트공장 빅데이터 분석 플랫폼 기술 동향”, Vol. 22-4, 2022, 04.
- [4] 김태원, “스마트공장 활성화 영향요인에 관한 연구, 부산·울산·경남지역 중소기업을 중심으로”, 부경대학교 기술경영석사학위논문, 2022. 2.
- [5] 이은지, 조철호, ”빅데이터 분석을 활용한 스마트팩토리 연구 동향 분석“, J Korean Soc Qual Manag Vol. 49, No.4: 551-567, 2021. 12.
- [6] 김태중, 이동윤, ”전자부품 조립공정에서 스마트팩토리 적용 필요성에 대한 연구“, Journal of Convergence for Information Technology, Vol. 11. No. 9, pp. 138-144, 2021. 9.
- [7] 김범중, 인영진, 유경근, “인공지능과 스마트팩토리의 국내 제조업 적용”, Journal of the Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers“, Vol. 58, No. 6, pp. 620-625, 2021. 6.
- [8] 이수진, 임상현, 최윤아, 유상오, ”IoT를 활용한 에너지절약 시스템 구축“, ACK 2021 학술발표대회 논문집, 28권 2호, pp. 1075~1078, 2021. 6.
- [9] 김형건, 홍인기, 백인걸, “제조업 분야 에너지 절약시설 투자에 대한 에너지 절감효과 분석”, Journal of the Korean Data Analysis Society, 23권 2호, pp. 661~672, 2021. 4.
- [10] 중소기업기술진흥원, “중소기업 전략 기술로드맵 2021~2023 IoT”, 2021.03.

- [11] 손영환, “스마트공장 수준 측정의 표준화 방안에 관한 연구”, 상품학 연구, 제38권 제6호, pp. 48~52, 2020. 12.
- [12] 권세인, 양종곤, ”중소 제조기업의 스마트공장 기술결정요인, 제조운영 및 성과 간 구조적 관계에 관한 연구“, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 21, No. 11 pp. 650-661, 2020. 11.
- [13] 한국생산기술연구원, “클라우드 기반의 스마트 제조 플랫폼 & IoT 수집모듈 개발”, 보고서, 2020. 10.
- [14] 조진균, 박병용, “데이터센터 에너지절감을 위한 베이스라인 설정 및 특정/검증 평가기준 조사연구”, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 31, No. 12, pp.576-588, 2019. 12.
- [15] 김번주 외 3명, “소규모 공장을 위한 IoT 기반 공장에너지관리시스템 개발에 관한 연구”, 2019년 추계학술발표대회 논문집 제26권 제2호, 2019. 11..
- [16] 김민호, 정성훈, 이창근, “공장의 스마트화를 위한 스마트한 정책방안”, KDI FOCUS, pp. 1~8, 2019. 11.
- [17] 황현숙, 서경원, ”IoT 기반의 실시간 에너지 사용 데이터 수집 및 분석 시스템 개발“, Journal of Korea Multimedia Society, Vol. 22, No. 3, pp.366~373, 2019. 3.
- [18] 이정미, 김세영, 류광열, “열간 자유 단조 공정의 에너지 효율화를 위한 모형 기반 작업 계획 최적화”, 2018년 추계학술대회 논문집, 제25권, 제2호, pp. 641~642, 2018. 11.
- [19] 김홍주, “경남 제조업 발전을 위한 스마트 공장(Smart Factory) 구축방안”, 경남발전, Vol. 44, 2018. 09.
- [20] 황현숙, 서영원, 김태연, ”단조공정에서 설비 에너지 사용에 대한 웹 기반 실시간 모니터링 시스템 개발“, Journal of Internet Computing

- and Services(JICS) : 19(1), pp. 87~95, 2018. 2.
- [21] 김범주, 한정훈, 김용배, 김대환 “에너지 정보 수집을 위한 IoT 기반 통합게이트웨이 개발에 관한 연구” 2018년 한국정보통신학회 추계종합학술대회, 2018.
- [22] 박형욱, “스마트 팩토리화 연관된 생산제조기술 동향”, 울산과학기술원, 26-29, 2016. 1.
- [23] L. Jesus, F.D. Ridder, and B.D. Schuttera, “Forecasting Spot Electricity Prices: Deep Learning Approaches and Empirical Comparison of Traditional Algorithms,” *Applied Energy*, Vol. 221, pp. 386-405, 2018.
- [24] Y.S. Lee, S.H. Chung, “The IEEE 802.14.4e based Distributed Scheduling Mechanism for the Energy Efficiency of Industrial Wireless Sensor Networks,” *Journal of Korean Institute of Information Scientists and Engineers(KIISE)*, Vol. 44, No. 2, pp. 213-222, 2017.
- [25] Young-Sek Yoo, Han-Gyu Park, Seung-Hoon Back, Sung-Chan Hong, “A Study on Procurement Audit Integration Real Time Monitoring System Using Process Mining under Big Data Environment,” *Journal of Internet Computing and Services(JICS)*, Vol. 18, No. 3, pp. 71-83, 2017, doi:org/10.7472/jksii.2017.18.3.71.
- [26] Hyunjeong Lee, Yong Jin Kim, Jeongil Yim, Yong-Woon Kim, Soo-Hyung Lee, “Analysis of Field Conditions and Requirements for Deploying Smart Factory,” *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 34, No. 1, pp. 29-34, 2017. <https://doi.org/10.7736/kspe.2017.34.1.29>
- [27] R.L. Antoniol and F. Lima, “Digital Manufacturing Tools Applied to Energy Analysis and Decision in Manufacturing Systems,” *Proceeding*

- of International Conference on Management of Engineering and Technology, pp 721~729, 2016.
- [28] Hyunjeong Lee, Sangkeun Yoo, Yong-Woon Kim, "An Energy Management Framework to Smart Factory based on Context-awareness," 18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), pp. 685-688, 2016.
- [29] Dae Ho Byun, "Trend of Smart Factory and Model Factory Cases," The e-Business Studies, Vol. 17, No. 4, pp. 211-228, 2016, doi:org/10.20462/tebs.2016.08.17.4.211
- [30] Hyun-Lim Yang, Tai-Woo Chang, "Exploring the Research Trend of Smart Factory in Korea by Journal Abstract Analysis," Korean Institute of Industrial Engineers, pp. 412-424, 2016, <http://www.dbpia.co.kr/Journal/ArticleDetail/NODE07060137>
- [31] Y.J. Cho, "Proposal to Construct Smart Factories of Small-Medium Manufacturing Business," Institute for International Trade, No. 02, pp. 1-33, 2016, http://iit.kita.net/newtri2/report/iitreporter_view.jsp?sNo=1499
- [32] Seung-Jun Shin, Jungyub Woo, Wonchul Seo, "Developing a Big Data Analytics Platform Architecture for Smart Factory," Journal of Korea Multimedia Society, Vol. 19, No. 8, pp. 1516-1529, 2016, doi:org/10.9717/kmms.2016.19.8.151
- [33] C.W. Kim, J. Kim, S.M. Kim, and H.T. Hwang, "FEMS Technology Embodiment and Applied Cases to Save Energy in Manufacturing Business," Magazine of the SAREK, Vol. 44, No. 1, pp. 22-27, 2015.
- [34] Korean Environmental Industry & Technology Institute(KEITI), "FEMS Technology Trend and Application Plan," Konetic Report Vol. 36, pp.

1-10, 2015.

- [35] J.M. Park, "Technology and Issue on Embodiment of Smart Factory in Small-Medium Manufacturing Business," The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, Vol. 40, No. 12, pp. 2491-2502, 2015, <https://doi.org/10.7840%2Fkics.2015.40.12.2491>
- [36] J.C. Kim, S.A. Jin, Y.H. Park, S.Y. Noh, and H.D. Lee, "A Design for Realtime Monitoring System and Data Analysis Verification TA to Improve the Manufacturing Using HW-SW Integrated Framework," Journal of Information Processing Systems, Vol. 4, No. 9, pp. 357-370, 2015, <https://doi.org/10.3745/ktsde.2015.4.9.357>
- [37] Sanghun Jeong, "Inclusive Monitoring System for Process and Equipment State," Prospectives of Industrial Chemistry, Vol. 18, No. 5, pp. 36-46, 2015, <http://kiss.kstudy.com/thesis/thesis-view.asp?key=3361600>
- [38] Dae-Jin Um, Jung-In Choi, Ingyu 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, <https://doi.org/10.5207/jieie.2014.28.10.069>
- [39] H.B. Lee, "The Improvement of Steam Energy-Efficiency through FEMS based on IT," Ajou university Master Thesis, pp. 1-66, 2013., <http://www.riss.kr/link?id=T13358025>