

박사학위논문

중소제조기업의 공장에너지관리시스템이 경영성과에 미치는 요소에 관한 연구

-정부지원과 ESG활동의 매개효과를 중심으로-

2024년

한 성 대 학 교 대 학 원

스마트융합건설팅학과

스마트융합건설팅전공

한 상 호

박 사 학 위 논 문
지도교수 주형근

중소제조기업의 공장에너지관리시스템이 경영성과에 미치는 요소에 관한 연구

-정부지원과 ESG활동의 매개효과를 중심으로-

A study on the impact of factory energy management systems
(FEMS) on business performance in small and medium-sized
manufacturing companies

-Focusing on the mediating effects of government support
and ESG activities-

2024년 6월 일

한 성 대 학 교 대 학 원

스마트융합건설팅학과

스마트융합건설팅전공

한 상 호

박 사 학 위 논 문
지도교수 주형근

중소제조기업의 공장에너지관리시스템이 경영성과에 미치는 요소에 관한 연구

-정부지원과 ESG활동의 매개효과를 중심으로-

A study on the impact of factory energy management systems
(FEMS) on business performance in small and medium-sized
manufacturing companies

-Focusing on the mediating effects of government support
and ESG activities-

위 논문을 컨설팅학 박사학위 논문으로 제출함

2024년 6월 일

한 성 대 학 교 대 학 원

스마트융합컨설팅학과

스마트융합컨설팅전공

한 상 호

한상호의 컨설팅학 박사학위 논문을 인준함

2024년 6월 일

심사위원장 정 진 택 (인)

심 사 위 원 이 형 용 (인)

심 사 위 원 김 승 욱 (인)

심 사 위 원 조 원 길 (인)

심 사 위 원 주 형 근 (인)

국 문 초 록

중소제조기업의 공장에너지관리시스템이 경영성과에
미치는 요소에 관한 연구
-정부지원과 ESG활동의 매개효과를 중심으로-

한 성 대 학 교 대 학 원
스 마 트 융 합 컨 설 팅 학 과
스 마 트 융 합 컨 설 팅 전 공
한 상 호

탄소중립 정책과 ESG경영 트렌드에 따라 중소기업이 참여하며 발전할 수 있는 분야로 과거부터 FEMS에 주목하고 성장 가능성을 모색해 왔지만, 현재 성장률은 부진한 상황이다. 그 원인으로는 ROI가 미흡하였고, 조직 경영 측면 뿐만 아니라 정부지원과 글로벌 트렌드인 ESG활동과 같은 외부적 영향도 있을 수 있다. 이에 본 연구는 국내 중소기업이 경쟁력을 확보하고 글로벌적인 ESG 규정을 준수하며 해외시장으로 진출하기 위해 ICT 기반의 공장에너지관리시스템이 갖추어야 할 운영 요소들을 선행연구를 통해 선정하고, 이를 중소기업에 적용하여 공장에너지관리시스템이 경영성과에 미치는 운영 요소들을 실증연구를 통해 검증하고 중소기업의 경영성과에 도움이 되는 공장에너지관리시스템(FEMS)을 제고 할 수 있는 실질적인 운영 요소들을 제시하고자 하였다.

이를 위해 스마트공장구축 기반의 에너지관리시스템을 적용한 국내 중소기업

기업을 대상으로 공장에너지관리시스템이 경영성과에 미치는 운영 요소들과 정부지원과 ESG활동을 매개효과를 중심으로 검증하였다.

본 연구의 결과는 다음과 같이 요약할 수 있습니다.

첫째, 중소제조기업의 스마트공장, 공장에너지관리시스템 및 정부지원과 ESG 활동 및 경영성과와 관련된 선행연구를 검토하고, 에너지관리시스템(EMS), 에너지수요관리(DR) 정책, ESG활동, ISO운영 기준 및 문헌 자료, 현황들을 검토한 후, 공장에너지관리시스템(FEMS)이 경영성과에 미치는 요소들을 선행 연구를 통해 모색하여 실용화 연구 기반을 마련하였다.

둘째, 선행연구에서 추출한 요소는 4가지로 기획요소, 실행요소, 점검요소, 조치요소로 분류하고, 각 요소들을 각각 5가지 항목으로 구성하고, 정부지원, ESG활동, 경영성과에 미치는 요인들은 각각 3가지 항목으로 분류하였다.

셋째, 스마트공장 에너지관리시스템을 적용한 국내 중소제조기업을 대상으로 도출된 모델을 적용하여 운영기준을 활용하여, 공장에너지관리시스템이 경영 성과에 미치는 운영 요소들을 실증분석 하였다.

본 연구에서는 공장에너지관리시스템의 운영을 위한 네 가지 요소인 PDCA 모델을 독립변수로 사용하고, 정부지원과 ESG활동을 매개변수로 하고 경영성과는 종속변수로 사용하였으며, 검증을 위해 부분적으로 위계적 회귀분석과 구조방정식 모델 분석을 통해 검증하였다. 이를 통해 공장에너지관리시스템이 경영성과에 미치는 운영 요소들의 타당성을 확인하였다.

가설검증 실증결과를 요약하면,

첫째, FEMS의 기획과 조치는 경영성과에 정(+)의 영향을 미치며, 둘째, FEMS의 기획과 조치는 정부지원에 정(+)영향을 미치고, 기획, 실시, 점검,

조치는 ESG활동에 정(+)의 영향을 미치며, 셋째, FEMS에 대한 정부지원과 ESG활동은 경영성과에 정(+)의 영향을 미치며, 넷째, FEMS에 대한 정부지원과 ESG활동은 경영성과에 부분적으로 정(+)의 영향을 미치며, 다섯째, 매개효과는 FEMS의 조치가 경영성과에 영향을 미칠 때 정부지원은 매개효과가 있는 것으로 나타났으며, FEMS의 기획, 점검, 조치가 경영성과에 영향을 미칠 때 ESG활동은 매개효과가 있는 것으로 나타났다. 이에 대한 매개효과 의 영향력 분석결과는 FEMS의 기획이 경영성과에 영향을 미칠 때 ESG활동이 매개효과가 가장 큰 것으로 나타났고, FEMS의 조치가 경영성과에 영향을 미칠 때 정부지원과 ESG활동은 매개효과가 두 번째로 높은 것으로 나타났으며, FEMS의 점검이 경영성과에 영향을 미칠 때 ESG활동이 매개효과가 큰 것으로 실증 연구결과가 나타났다. 이에 글로벌 ESG 환경하에서 국내의 중소제조 기업은 정부지원의 도움을 받아 공장에너지관리시스템의 운영요소들 중에 기획, 조치, 점검 순으로 적용하며 경영성과를 제고할 필요가 있는 것으로 나타났다.

본 연구결과는 공장에너지관리시스템의 발전을 위한 구체적인 운영요소에 대한 기준과 전략이 미흡한 상황에서 FEMS 발전을 위해 유용한 현장 중심의 FEMS 운영 요소들의 우선순위와 개선 전략의 방향을 제언했다는 점에서 의미가 있다.

【주요어】 공장에너지관리시스템(FEMS), 스마트공장, ESG, 정부지원, PDCA, 에너지수요관리, 정부지원, 경영성과

목 차

제 1 장 서 론	1
제 1 절 연구의 배경 및 목적	1
제 2 절 연구의 범위 및 방법	8
제 2 장 이론적 고찰	11
제 1 절 환경과 ESG활동	11
1) 탄소중립의 필요성	11
2) ESG와 온실가스	14
제 2 절 중소제조기업의 스마트공장	18
1) 스마트공장 개념과 특성	18
2) 중소제조기업의 스마트공장 현황	21
3) 중소제조기업의 스마트공장의 국내외 동향	27
제 3 절 공장에너지관리시스템과 정부지원	29
1) 공장에너지관리시스템의 개념과 중요성	29
2) 공장에너지관리시스템의 구조	36
3) 공장에너지관리시스템의 도입 현황	38
4) 정부지원의 에너지수요관리	42
5) 산업별 에너지수요관리의 정부지원 정책	46
제 4 절 공장에너지관리시스템의 운영 요소	49
제 5 절 경영성과	55
제 6 절 선행연구의 시사점	57
제 3 장 연구 설계	59
제 1 절 연구모형	59
제 2 절 연구가설	62

제 3 절	변수의 조작적 정의 및 설문지 구성	67
제 4 절	자료수집 및 분석방법	70
제 4 장	실증분석 결과	73
제 1 절	일반적 특성과 기초통계분석	73
제 2 절	측정도구의 타당성과 신뢰도	77
제 3 절	주요변수의 기술통계	80
1)	주요 변수의 평균 및 표준편차	80
2)	인구사회학적 특성에 따른 주요 변수 차이	81
3)	상관관계분석	95
4)	다중회귀분석	96
5)	구조방정식모형 분석	100
제 4 절	가설검정	111
제 5 절	가설검정 결과 요약	115
제 5 장	결 론	117
제 1 절	연구결과 요약	117
제 2 절	연구의 시사점	119
제 3 절	연구의 한계 및 향후 연구 방향	121
참 고 문 헌		122
부 록		136
ABSTRACT		140

표 목 차

[표 2-1] 에너지효율 격차의 원인	45
[표 2-2] 에너지경영의 PDCA 내용	51
[표 2-3] 에너지 경영의 요구사항	51
[표 3-1] 공장에너지관리시스템(FEMS) 운영항목 선정	60
[표 3-2] 변수의 조작적 정의	67
[표 3-3] 설문지의 구성	69
[표 3-4] 조사의 설계	70
[표 4-1] 설문응답자의 인구통계학적 분포(1)	74
[표 4-2] 설문응답자의 인구통계학적 분포(2)	75
[표 4-3] 기술통계량 분석결과	76
[표 4-4] 외생변수 측정도구의 탐색적 요인분석 및 신뢰도 분석	78
[표 4-5] 내생변수 측정도구의 탐색적 요인분석 및 신뢰도 분석	79
[표 4-6] 변수들의 기술통계량	80
[표 4-7] 조사대상자의 성별에 따른 차이	82
[표 4-8] 조사대상자의 연령에 따른 차이	85
[표 4-9] 조사대상자의 근무년수에 따른 차이	88
[표 4-10] 조사대상자의 학력에 따른 차이	90
[표 4-11] 조사대상자의 직급에 따른 차이	92
[표 4-12] 조사대상자의 FEMS기간에 따른 차이	94
[표 4-13] 변수들 간의 상관관계	95
[표 4-14] 공장에너지관리시스템이 정부지원에 미치는 영향	96
[표 4-15] 공장에너지관리시스템이 ESG활동에 미치는 영향	97
[표 4-16] 정부지원이 경영성과에 미치는 영향	98
[표 4-17] ESG활동이 경영성과에 미치는 영향	99
[표 4-18] 공장에너지관리시스템이 경영성과에 미치는 영향	100
[표 4-19] 측정 모형의 적합도 검증	101
[표 4-20] 측정모형의 집중타당성 분석 결과	103

[표 4-21] 측정모형의 상관행렬과 분산추출지수	104
[표 4-22] 측정 모형의 적합도 검증	105
[표 4-23] 측정모형의 집중타당성 분석 결과	107
[표 4-24] 측정모형의 상관행렬과 분산추출지수	108
[표 4-25] 연구모형의 적합도 검증	108
[표 4-26] 연구모형의 모수 추정치	110
[표 4-27] 정부지원 및 ESG활동의 매개효과	114
[표 4-28] 가설검증결과 요약	115

그 립 목 차

[그림 1-1] 연구흐름도	10
[그림 2-1] VUCA 세계에서 넷제로의 혁신적인 힘	12
[그림 2-2] 91%의 기업이 아직 파리협정 목표	13
[그림 2-3] 온실가스 감축 목표 및 지원정책	16
[그림 2-4] 산업부문 용도별 에너지 사용 현황	17
[그림 2-5] 스마트공장 개념도	19
[그림 2-6] 스마트공장 기술적 범위 현황	22
[그림 2-7] 스마트공장의 차후 개념적 진화 방향	23
[그림 2-8] 스마트공장의 통합 기술 전망	24
[그림 2-9] 스마트 제조 표준화 프레임워크	27
[그림 2-10] ICT기반 공장관리시스템(FEMS)	29
[그림 2-11] 공장에너지관리시스템(FEMS)개념도 (1)	30
[그림 2-12] 공장에너지관리시스템(FEMS)개념도 (2)	31
[그림 2-13] 공장에너지관리시스템(FEMS)의 주요기능	35
[그림 2-14] 공장에너지 사용량 분포도	35
[그림 2-15] 공장에너지관리시스템(FEMS) 구성도	37
[그림 2-16] 에너지관리 프로세스	39
[그림 2-17] 공장자동화시스템 및 FEMS계층구조도	40
[그림 2-18] 공장에너지원별 절감 기술	41
[그림 2-19] ISO 50001 프로세스 모델	50
[그림 2-20] 에너지경영시스템 5개 하부 구조	52
[그림 3-1] 연구모형	59
[그림 4-1] 외생변수 측정모형	102
[그림 4-2] 내생변수 측정모형	106
[그림 4-3] 연구모형의 모수 추정치	109

제 1 장 서론

제 1 절 연구의 배경 및 목적

1) 파리협정과 ESG

환경변화로 지구 온도(°C) 상승은 지구의 위기를 야기하는 세계적인 공동 문제이다. 이러한 온도 상승은 지구 기후 시스템에 영향을 미치고, 생태계와 인간 사회에 지속적이고 복잡한 영향을 미치고 있다. 이에 국내 중소기업이 환경보존 동참과 에너지절감으로 지속가능경영과 경쟁력 확보를 위해 실천할 것은 첫째는 자발적인 에너지 절감이고, 둘째는 효율적 에너지 관리를 위하여 스마트공장구축과 EMS의 구축이며(이를 공장에너지관리시스템라 함), 셋째는 ESG기반의 탄소중립의 실천이다. 세계적인 공통 주제로 지구온도를 낮추기 위해 세계적인 수출장벽으로 탄소국경조정메커니즘 (CBAM, Carbon Border Adjustment Mechanism), 기업의 지속 가능한 책임 평가에 대한 지침 (CDD, Directive on corporate sustainability due diligence):공급망 실사(에너지절감), 지속가능한 제품을 위한 생태설계 규정(ESPR, ecodesign for Sustainable Products Regulation):에코디자인규정을 세우게 되어 국내의 중소기업이 지구환경을 지키며 수출 활성화를 위해 ESG기반의 탄소중립 실천을 위한 연구도 활성화 되고 있다.

지난 2015년에 Global 국가 중에 197개 회원국이 파리기후변화협약을 맺었는데, 이것은 지구의 온도 상승 폭이 산업화 이전보다 1.5°C 이내로 제한하도록 노력한다는 내용 이었다. 이는 "지구 기온 변화 1.5°C"가 인류생존에 대한 위협에서 보호하기 위한 마지막 한계점이라는 연구결과를 토대로 협약을 맺은 것이다. 세계 기상기구 WMO는 그러나 이 마지막 한계점이 넘어서는 데는 오랜 시간이 경과하지 않을 것이라 예상하고, 5년 내에 지구 기온의 상승하는 폭이 1.5°C에 도달할 확률이 66%에 달한다고 밝혔는데, 세계 기상기

구 WMO 사무총장 페테리 탈라스는 2023년 5월에 "앞으로 5년 동안 지구 온도상승 폭이 1.5°C를 넘어설 확률은 66%이고, 이 단계가 끝나면 향후 5년 안에 기록상 가장 따듯한 해를 보게 될 것이 거의 확실하고, 이는 향후 5년간 1.5°C의 기온의 상승이 발생할 확률은 20% 미만이라 3년 전에 예측한 것을 급격하게 뛰어 오른 것으로 이렇게 급격히 변화되는 것을 예측하는 것은 지구의 온난화 현상과 같이 동반한 동태평양의 열대 수온이 평년보다 0.5°C 이상 올라가는 엘리뇨 현상 때문이고, 특히 올해(2023년)는 수온이 1.5°C에서 2°C 이상 높아지는 '슈퍼 엘리뇨'현상이 발생할 가능성이 큰 것으로 조사되었고, 세계 기상기구 WMO는 이 엘리뇨 현상으로 인해 기후변화와 융합하여 글로벌 전역으로 가뭄, 홍수, 폭염 등을 일으킬 것 이라고 경고하고, 인류에 닥칠 기후 재앙을 막기 위해 노력 할 수 있는 시간은 지금도 빠르게 줄어들고 있다"라고 강조 하였다. 재생에너지(RE100) 기업의 경영활동과 효과에서 지속가능경영에 큰 영향을 미친다(이경구, 2020).

이와 같은 환경위기 속에서 세계적인 움직임 속에서 정부와 산업체에서 여러가지(신재생에너지, RE100 등)를 연구, 개발, 실행 중에 있으나, 그 중에서도 중소제조기업 측면에서 가장 손쉽게 실행 할 수 있는 것이 에너지절감 활동이며, 이를 4차산업기술과 ICT실시간 관리를 융합하여 에너지절감을 효과적으로 실행 할 수 있는 것이 공장에너지관리시스템(FEMS)이다.

2) 국내 중소제조기업의 현황

우리나라 중소제조기업이 전체 제조업에서 차지하고 있는 사업체수는 99.6%이고 종업원의 수는 68.9%에 달한다. 그러나 종사자 1인당 생산성은 대기업의 22.6%에 불과하다(중소기업중앙회, 2023). 이에 정부는 그 동안 중소기업의 생산성 향상을 위해 생산성 향상대책 및 혁신전략을 마련하였으며, 여전히 미흡한 면을 보여주고 있으나, 일정부분 소기의 성과를 거두기도 하였다. 다만, 대기업은 설비투자가 해마다 2.5% 가량 향상되고 있지만, 중소기업은 7.2% 정도씩 감소되고 있고, 연구소의 수는 94.9%이나 연구원의 수는

53.8%에 불과한 것으로 나타난 점(중소기업중앙회, 2023)은 여전히 중소기업의 생산혁신의 인프라가 미흡하다는 점을 알 수 있고, 따라서 안전하고, 쾌적하며, 효율적인 생산공정 조성을 위한 국가와 기업 측면의 노력이 지속적으로 필요하다.

이를 위해 과거 7~8년 전부터 ‘4차 산업혁명’의 흐름에 따라 ICT1), 제조업의 융합인 스마트공장(Smart Factory)이 해결책으로 등장하여 지속적으로 지원하고 있으며 추가로 공장에너지관리시스템(FEMS) 및 탄소중립도 포함되기 시작하였다. 중소기업의 스마트공장을 정의한다면, 제품의 기획부터 판매까지 모든 생산과정을 ICT(정보통신)기술로 통합해 최소비용과 시간으로 고객 맞춤형 제품을 생산하는 사람 중심의 첨단 지능형 공장 이다(스마트공장 사업관리시스템, 2024)., 그리고 선행 연구자료를 참조하면 스마트공장은 ICT와 제조업의 융합으로, 기계 스스로 시뮬레이션을 통해 자동 생산하는 시스템이 구축된 공장을 일컬으며,(박형욱, 2015) 과거 국내에서는 2015년 정부가 ‘제조업 혁신 3.0’이라는 전략을 발표하면서, 여러 중소기업 및 중견기업에 스마트공장 구축을 위한 자금 및 기술적 지원을 해 주었다(김승현, 김만진, 2016). 스마트공장 환경에서는 생산라인에서 일을 하는 사람들 및 그 밖의 라인들을 모니터링을 하고, 기록된 자료를 기반으로 해서 최소의 자원으로 최대의 제품을 생산하는 생산성과 효율성에 맞춘 운영관리를 하면서, ICT 기술을 더해 신속 정확한 지원을 해주며, 스마트공장의 중앙시스템으로 인해 제품의 기획·물류과정, 그리고 제품의 출고까지 시간과 비용을 절약을 할 수가 있어(정태석, 2016), 정책적으로나 민간차원에서 스마트공장 구축 및 이와 관련된 산업에 많은 관심을 기울이고 있고, 정부지원 사업을 중심으로 일반 중소기업들이 점차적으로 스마트화를 하고 있는 추세이다.

3) 공장에너지관리시스템 운영 현황

국내 기업들은 전 세계적으로 강화되고 있는 탄소 규제에 대응하고 나아

가 국내에서 저탄소 녹색성장 기본법 및 동법 시행령에 의거하여 시행되고 있는 온실가스-에너지 목표관리제 및 2015년부터 시행된 배출권거래제에 효율적으로 대응하기 위해 에너지의 이용 및 사용을 체계적으로 관리함으로써 온실가스 배출을 저감하기 위한 경영기법의 필요성이 대두 되었으며, 이를 위해서 각 기업들은 에너지관리시스템을 적극 도입하기 시작하고 있다(김철우 외, 2015).

그런데, 기업의 조직이 에너지를 효율적으로 이용 및 사용을 위해서는 기술 측면과 경영적인면이 조화되어 관리시스템의 체계적이고 통합적이며, 지속적으로 관리되도록 성공적인 에너지관리 시스템 구축과 운영이 필요하다. 이중 기술적인 면에서의 에너지관리에 대한 제어환경 구축은 스마트공장을 통해 실현될 수 있다. 스마트공장 구축 범위 안에 있는 에너지관리시스템을 공장에 에너지관리시스템이라 불리기도 하는데, 이러한 시스템은 에너지 과다소비 공장의 에너지 사용에 대한 정보를 실시간으로 수집해, 수집된 정보와 로직에 의거 정보를 자동적으로 분석하고, 관련 Factor로 분배하여 관리하는 등 체계적인 에너지의 이용, 사용, 예측의 대비를 관리하기 위해 구축된다. 공장내 사용되는 에너지사용 설비들을 파악하고, 에너지 소비현황 분석으로, 설비들의 효율성을 진단을 하여, 효율의 개선을 위해 에너지 과사용 및 손실되는 요소와 문제되는 부분을 분석을 하여, 에너지의 사용에 대한 성과지표, 목표 및 예측을 위한 에너지 수요관리 계획을 수립하고 실행하고 있다. 에너지 사용절감 성과검증 및 수요관리를 위해서는 에너지 기반을 수립하고 중요 에너지 이용 설비들의 에너지 모니터링, 측정 및 분석을 실시한다(김철우 외, 2015). 공장 에너지관리를 위해 해당 데이터를 수집하여 효율적으로 분석하는 솔루션은 여러가지가 있으나, 총괄적인 관점에서는 ICT 기술의 접목을 하여, 생산공정 내의 설비들의 에너지의 사용을 함께 연계·관리하면, 기업에서는 비용감소와 공정혁신으로 생산성 향상을 가져올 수 있다.

이와 함께, 정부 측면에서는 에너지효율 관리로 경쟁력 향상과 더불어, 글로벌 ESG의 환경에 대한 노력의 일환인 탄소규제에 관한 실행 능력을 향상

시켜, 국내 전체 에너지 소비의 많은 부분을 차지하는 산업계의 에너지 수요를 관리하여 장기적인 예측을 통해 정책수립을 할 수 있게 된다.

이와 관련하여, 정부에서는 2014년 ‘제2차 에너지 기본계획’의 6대 중점과제 중 첫 번째로서 ‘수요관리 중심의 에너지 정책 전환’을 제시하여, ICT 기술을 접목한 에너지 수요관리 시스템 기반을 구축하는 정책을 지금까지 시행 중에 있다.(산업통상자원부, 2014).

그러나 현재 국내·외적으로 전력수급 상황의 악화, 원전 안전성에 대한 인식 강화, 다양한 사회·문화적 갈등문제, 파리협정문에 따른 정부의 온실가스 감축여건, 신재생 에너지 개발, 러-우크라이나 전쟁에 따른 에너지 파동과 고유가와 경기 불황 장기화 등으로 에너지 정책 환경이 매우 필요한 상황이다.

이에 현재의 공급자 중심 및 사후관리 중심인 에너지 정책 구조에서 벗어나 수요예측적이고 시장을 중심으로한 수요관리 정책이 절실히 필요하다. 특히, 에너지를 많이 소비하는 산업체를 대상으로 규제와 통제하며 관리하는 접근보다 자율적이고, 체계적인 에너지수요관리(DR)가 적용 되도록 유도하는 것이 장기적인 관점에서 효과적이라 판단하고 시행하는 것이 좋다.

이에 대한 활성화를 위해서는 현재 추진 및 구축하고 있는 스마트공장 내에 에너지관리시스템(EMS)의 적용에 대한 기술적인 측면과 관리적인 요소에 대한 연구 및 검토가 필요하며, 이런 발전 과정에서 현실적인 수요관리 요구와 구체화된 기능들을 반영하면서 에너지관리시스템(EMS)이 발전되고 적용된다면 파리협정에 따른 ESG경영 중에 환경의 영향이 중소기업에 적용된다면 스마트공장 구축에 대한 추가적인 의의와 사회적, 경제적으로 큰 효과를 기대할 수 있을 것이다.

현재 상황에서는 공장에너지관리시스템에 관한 연구 및 적용이 미흡한 상태이며, 부분적으로 효과 검증과 성능 향상을 연구하는데 제한되고 있어, 스

마트공장 환경을 중심으로 에너지수요관리(DR)에 대한 시스템 구성요소들에 대한 상세한 표준서를 보유하고 공급하고 있지 못하다. 이에 공장에너지관리 시스템을 구축한 중소기업 중에 에너지관리를 효율적으로 활용하고 있는 지에 관한 운영에 대해 연구하여 효과(ROI)를 증명 할 필요가 있다.

선행연구와 조사에 따르면 최근 국내 에너지 정책 패러다임은 일방적인 공급 중심에서 관리 중심으로 변화하고 있다. 매년 에너지 소비가 급증하면서 종래의 공급 중심 에너지 수급정책은 역부족이며, 전력설비 신증설 또한 한정된 국토, 민원 증가 등으로 더욱 힘들어지고 있다. 에너지수요관리(DR)란 공장 등에서 에너지 사용자가 필요한 만큼만 에너지를 사용할 수 있도록 효율 관리를 하고, 불필요하게 낭비되는 에너지를 신속 제거함으로써 에너지를 절감하는 것을 의미한다.

이러한 FEMS(Factory Energy Management System)을 통해 연간 에너지 사용량은 21%, 온실가스 감축은 물론 생산성 증진과 품질개선을 통한 제조업 경쟁력 강화에도 기여할 수 있는 일석이조 효과가 기대된다(송병훈, 2015). 하지만, 산업통상자원부(2013)는 FEMS 시장이 2013년 2.096억 원에서 2020년 1조 1.152억 원으로 연평균 28.4% 성장을 예측하였으나, 여인규(2020)는 현재 실제 전개되어온 성장률이 한참 미치지 못함을 제시했다.

이러한 성장 지체 원인은 초기 투자 대비 성과 회수 기간이 너무 긴 점, 실질적인 공장 운영 관리자 및 경영자의 전문적 지식 부족과 부실한 조직운영 및 책임회피 성향 등으로 FEMS를 도입한다고 해도 이상적인 결과가 창출되지 못한다는 것이다.(여인규, 2020) 더 나아가, FEMS 사용 활성화에 있어 핵심 항목은 바로 수요관리 사업 활성화인데, 수요관리(DR : 수요반응, Demand Response)(한국에너지관리공단, 2020)란 절약한 에너지를 수요관리 사업자를 통해 전력 시장에 재판매하고, 고객이 이를 통해 수익을 공유하는 시스템을 의미한다. 그러나 현재 대규모 공장 등을 위주로 한 표준 DR로 수요관리 시장이 형성되어, 중소형 DR은 그 규모가 작고 참여자는 반면 매우

많은 수익성을 공유하기 힘든 실정이다. 박현용(2020)은 또한 이러한 수요관리가 자동으로 전개되지 않고, 사용자들이 수동으로 개별 기기를 직접 관리하는 직접 제어 방식이 대부분이어서, 효율성이 저하되고 있음을 우려하고 있다. LGU+의 에너지 관리 시스템을 통해 ESG(환경, 사회, 지배구조)경영 중에 기업의 환경적 책임을 강화하고 사회적 가치를 증진하는 방법을 분석하여 에너지관리시스템을 통해 에너지사용을 최적화하여 환경 영향을 줄이는 동시에 사회적 요구를 충족시키는 데 기여함을 강조한다(김평화, 2021).

4) 연구 목적

본 연구는 ESG 환경 하에서 탄소중립에 대한 정부와 중소기업의 노력이 요구되는 상황에서 중소기업이 참여하고 기여 할 수 있는 분야로 공장에너지관리시스템을 선정하고, 효율성과 시너지효과에 대한 중소기업의 특성, 생산공정, 사회적 요구들과 기업의 운영 항목들과 연계하여 공장에너지관리시스템이 경영성과에 미치는 운영 요소에 대해 모색하고자 한다.

따라서 본 연구를 통하여 공장에너지관리시스템(FEMS)을 도입한 중소기업을 대상으로 공장에너지관리시스템의 운영에 대한 기획, 실시, 점검, 조치 요소들이 경영성과에 미치는 효과와 정부지원과 기업들이 관심을 갖기 시작한 ESG활동이 중소기업의 경영성과에 미치는 매개효과를 실증분석을 하여, 중소기업이 공장에너지관리시스템의 도입을 촉진 하는데 기여 하고자 한다.

본 연구는 중소기업의 공장에너지관리시스템이 경영성과에 미치는 운영 요소에 대한 연구로 독립변수는 공장에너지관리시스템의 운영 기준인 기획, 실시, 점검, 조치로 하고, 종속변수로는 경영성과를 그리고 매개변수로는 정부지원과 ESG활동으로 하여 실증분석으로 모색하고자 한다.

제 2 절 연구의 범위와 방법

본 연구는 국내의 동력이라 할 수 있는 기업들 중에 99.6%를 차지하는 중소기업 중에 공장에너지관리시스템을 적용한 중소제조기업을 대상으로 공장에너지관리시스템이 경영성과에 미치는 영향에 대한 요소들을 정의하며 분석해 보려 하였다. 본 연구의 선행연구에서 스마트공장구축의 부분적인 항목인 에너지관리시스템의 운영 항목을 실제 중소제조기업에 적용하여 공장에너지관리시스템의 경영성과를 통한 시사점과 개선방안을 도출하고자 한다. 본 연구는 정부에서 실행하고 있는 에너지 수요관리 시스템(DR)에 대한 지원정책의 실효성과 전략적인 공장에너지관리시스템의 경영성과를 검증함으로써 중소제조기업이 공장에너지관리시스템을 경영성과를 향상시키기 위해 구축모델로 활용하게 하는 수단으로 제시 할 수 있을 것으로 판단된다. 특히 연구의 성과를 높이기 위해서는 공장에너지관리시스템을 기 적용한 중소제조기업을 대상으로 에너지관리시스템(EMS)의 운영요소에 대한 실증적 검증이 필요하며, 정부의 경제적, 기술적, 컨설팅 지원이 중소제조기업에 큰 역할을 담당하는지를 확인할 필요가 있다. 따라서 중소제조기업 대상에서 스마트공장구축의 부분적인 항목인 공장에너지관리시스템의 운영 항목들이 어떻게 작용하는지를 측정할 수 있는 도구로서, 다양한 항목들을 빠짐없이 반영하기 위해서는 선행연구에서 검증된 운영요소가 경영성과에 영향이 있는지를 확인하는 것이 요구된다.

본 연구는 문헌적 연구와 실증연구를 연구방법으로 하여, 세 가지 부문으로 연구하게 된다. 1차적으로 중소제조기업의 스마트공장 및 공장에너지관리시스템, 에너지 수요관리 정책, 정부지원, ESG활동과 관련하여 선행연구, 문헌자료들을 검토하고, 다음으로, 본 연구의 공장에너지관리시스템이 경영성과에 미치는 영향에 관한 연구를 위하여, 문헌연구 검토 결과와 중소제조기업들의 스마트공장 구축의 부분적인 항목인 에너지관리시스템을 둘러싼 대내·외부적, 기술적, 관리적 구성요소를 통하여 항목들을 연구하고, 공장에너지관리시스템 관련 전문가들과의 상담을 통해서 항목들을 선정한다. 여기에는 국내 공

장에너지관리시스템을 적용한 중소기업의 에너지관리 관계자들과 전문가들을 조사대상으로 하여, 연구와 관련된 여러 이론 들과 선행연구의 영향 요소들을 종합적으로 고려하여, 타당성을 갖는 모형을 선행연구와 함께 선정하고자 한다. 마지막으로, 선정된 모형을 운영요소로 정하여 공장에너지관리시스템을 적용·운영 중에 있는 중소기업에 적용하여, 공장에너지관리시스템이 경영성과에 미치는 운영 요소에 대해 조사·분석한다.

본 연구를 위하여 국내 중소기업들 중에 99.6%를 차지하는 중소기업 중에 공장에너지관리시스템을 적용한 기업을 대상으로 기업운영 요소인 기획, 실시, 점검, 조치와 정부지원과 ESG활동 및 경영성과 등에 대하여 설문조사를 실행하여 설문결과를 수집하고 SPSS25 및 AMOS25 프로그램(Program)을 이용하여 실증분석을 하였다. 표본들에 대한 특성을 살펴보기 위해 빈도와 비율분석과 함께 측정변수에 대한 평균과 표준편차와 그리고 첨도와 왜도 및 독립표본t-검증, 일원분산분석 등 기술통계량 분석을 실시하였다. 또한, 변수들의 타당성과 신뢰성 검증을 위해 요인분석 및 Cronbach's α 값을 활용하였으며, 요인분석, 측정모형분석, 구조방정식모형 분석, Hayes(2017)가 제안하는 SPSS PROCESS macro의 4번 모델을 활용하여 분석, 연구가설 검증, 매개효과 검증 등을 위하여 모형분석을 실시하였다.

연구의 구성은 제1장에서는 연구의 배경과 목적 등을 설명하였으며, 제2장에서는 이론적 고찰에서는 ESG활동, 스마트공장 및 공장에너지관리시스템, 에너지관리시스템(EMS)의 운영을 위한 항목, 정부지원, ESG활동 등이 경영성과에 영향을 미치는 내용 등과 관련하여 조사 결과를 정리하였다. 제3장의 연구 설계는 연구개발 결과물의 기획, 실시, 점검, 조치의 결과물에 대한 정부지원과 ESG활동이 연구개발 결과물의 경영성과에 미치는 영향에 대해서 기본적인 연구가설과 연구개발의 결과물 간의 관계에 대해 분석하고 특성에 따른 매개효과에 대한 가설을 제시하였으며, 제4장의 연구결과는 제3장에서 제시하는 가설들에 대해 통계적인 검증결과를 서술하였다. 마지막으로 제5장에서는 본 연구의 가설검정의 결과와 분석결과의 의미와 시사점을 본 연구에서

의 한계와 완성도를 높일 수 있는 향후 연구의 방향을 제시하였다.



[그림 1-1] 연구흐름도

제 2 장 이론적 고찰

제 1 절 환경과 ESG활동

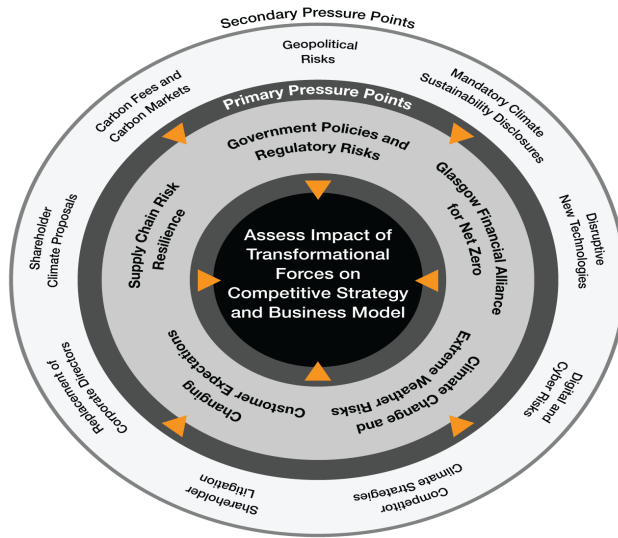
1) 탄소중립의 필요성

환경 위기에 처해 있는 지구는 지구 온난화, 해수면 상승, 기후 변화, 산림 파괴, 생물 다양성 손실 등으로 지구의 환경을 위협받고 있고, 이러한 환경 위기는 인류의 생존과 번영에 심각한 위협이 되고 있다. 2015년 파리 협정은 지구 온난화를 2도 이내로 제한하고, 나아가 1.5도 이내로 제한하기 위한 국제 협약입니다. 파리 협정은 모든 국가가 온실 가스 배출량을 줄이기 위한 노력을 기울일 것을 요구하고 있다. 전세계 197개국이 참여중인 환경보존 운동인 파리 협정을 달성하기 위해 정부, 기업, 개인 모두가 적극적으로 참여해야 한다. 이제 세계 속에서 경제적인 활동과 관련하여 가장 먼저 관심을 가져야 하는 기업에 초점을 맞추어 지고 있으며, 기업은 에너지 효율을 높이고, 신재생 에너지를 사용하고, 탄소 배출량을 줄이기 위한 노력을 기울여야 합니다. 기업은 또한 환경 친화적인 제품과 서비스를 개발하고, 환경 보호에 대한 인식을 높이는 노력을 기울여야 한다. "탄소중립(Net Zero) 세상으로의 전환은 모든 기업과 모든 산업을 변화시킬 것으로 문제는 우리가 주도할 것인가, 아니면 주도당할 것인가 이다."(Larry Fink, Chairman and CEO, BlackRock, 2022).¹⁾

기업이 환경 위기 해결에 기여하기 위해서는 ESG경영에 관심을 가져야 하며, ESG경영은 기업의 환경, 사회, 지배구조를 고려하여 경영하는 것으로 ESG경영은 기업의 지속가능성을 높이고, 기업의 사회적 책임을 다하는 데 도움이 될 것이다. 기업은 ESG경영을 통해 환경 위기 해결에 기여하고, 기업의

1) BlackRock, Inc. (2022). Larry Fink's 2021 letter to CEOs: the power of capitalism.

지속가능성을 높이고, 기업의 사회적 책임을 다할 수 있습니다. 기업은 ESG 경영에 적극적으로 참여해야 한다. ESG(환경, 사회, 지배구조) 경영이 경영 전략과 사회적 책임 간의 관계를 갖고있어 기업들이 사회적 가치 및 지속 가능성에 영향을 있다(김대영, 2022). ESG(환경, 사회, 지배구조) 경영과 기업 가치의 관계를 KRX300 지수²⁾ 구성 종목을 중심으로 분석을 통해 기업들이 ESG요소를 어떻게 수용하는 경영 방향이 기업의 가치에 영향을 미치는지를 이해하는데 기여한다(이민지, 김창엽, 2020).



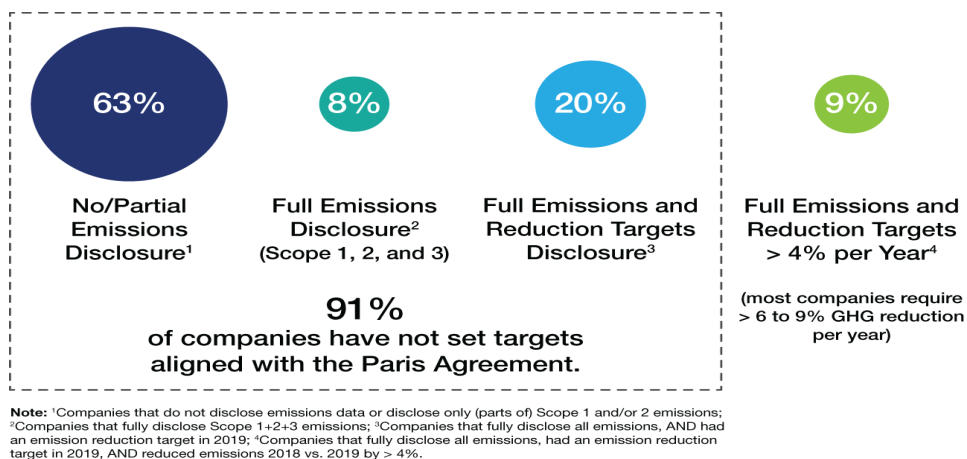
[그림 2-1] VUCA 세계에서 넷제로의 혁신적인 힘

출처: “Net Zero Business Models” Winning in the Global Net Zero Economy (2022), Jojn M. & Mark V. C.

수출기업이 ESG요소를 적극적으로 수용하는 것이 글로벌 공급망 관리에 긍정적인 영향을 미칠 수 있음을 제시한다(이병수, 정세현, 전종현, 2021). 탄소중립 전략은 기업이 탄소 배출을 줄이고 환경 친화적인 경영을 추구를 통해 글로벌 시장에서 기업의 이미지와 인식이 개선되고, 이는 경쟁력 향상에 기여할 수 있다(정경화, 김재명, 2021).

2) KRX300 지수 : KRX채권지수는 한국거래소에 상장된 채권을 대상으로 채권시장의 변동을 보여주는 지수

기업은 ESG경영에서 환경(E)에 관심을 가져야 하는 이유는 첫째는, 환경은 기업의 지속가능성을 위한 필수 요소이다. 기업은 환경을 보호하고, 환경 친화적인 경영을 통해 지속가능성을 높일 수 있고, 둘째는, 환경은 기업의 사회적 책임으로 기업은 환경을 보호하고, 환경 친화적인 경영을 통해 사회에 긍정적인 영향을 미칠 수 있으며, 셋째는, 환경은 기업의 수익성으로 환경 친화적인 경영을 통해 기업은 에너지 비용을 절감하고, 새로운 시장을 창출할 수 있다(Net Zero Business Models, 2022).³⁾ 이러한 이유로 기업은 ESG경영에서 환경에 관심을 가져야 한다.



[그림 2-2] 91%의 기업이 아직 파리협정 목표⁴⁾

탄소중립 전략이 기업들이 환경적 책임을 충실히 이행하면서도 경제적으로 성공할 수 있다(김광식, 김훈, 김은영, 2020). 탄소중립은 기업이 탄소배출을 줄이고 환경 친화적인 경영을 향한 기업의 노력이 국제적인 산업 경쟁력 향상에 영향을 미친다(정세호, 이준성, 조주형, 2020). 기업의 ESG활동이 조직 내 시민행동, 생산성, 경영성과에 영향을 미쳐 지속가능 경영에 대한 인사이트를 제공한다(정진호, 2022). 기업의 환경, 사회, 지배구조 측면의 ESG성과가 경쟁력과 경쟁우위를 구축하는 데 기여한다(박순옥, 박영준, 2021).

3) “Net Zero Business Models” Winning in the Global Net Zero Economy (2022), Join Montgomery. & Mark Van Cleef

4) Boston Consulting Group based on Carbon Disclosure Project data and Refinitiv data from 2018 to 2020. (www.bcg.com)

2) ESG와 온실가스

가) ESG개념

선행연구에 따르면, ESG는 환경(environment), 사회(social), 지배구조(governance)로 대표되는 기업의 비재무적활동을 표현하는 것으로 기업경영활동을 환경경영, 사회적 책임 활동, 건전하고 투명한 지배구조에 초점을 두고 지속가능성(sustainability)을 달성하기 위한 기업경영의 3가지 핵심요소를 말한다. 먼저 환경은 기업의 경영활동과정에서 발생하는 환경경영 전반을 포괄하는 요소들이 포함되며, 최근 기후변화와 관련된 탄소중립, 재생에너지 사용 등이 중요한 요소로 부각되고 있다. 다음 사회적 책임 활동은 임직원, 고객, 협력회사, 지역사회 등 다양한 이해관계자에 대한기업의 권리와 의무, 책임 등의 요소가 포함되며, 최근에는 인권, 안전과 보건 등에 이르기까지 화두가 되고 있다. 마지막으로 지배구조는 회사의 경영진을 포함하여 주주, 이사회 등의 다양한 이해관계자의 권리와 책임에 대한 영역으로 임원급여, 이사회 역할의 다양성, 윤리경영 및 감사기구의 역할 강화 등이 강조된다(김종훈, 2023). 이런 ESG는 국제적인 요구 사항을 이행하려는 ESG활동이 세계의 정부와 기업들을 동참하게 하고 있다.

나) 온실가스배출현황 및 감축목표

온실가스란 지구의 공기는 질소(78.1%), 산소(20.9%), 아르곤(0.934%), 이산화탄소(0.03%) 등으로 이루어져 있는데, 이러한 여러 가지 기체를 가운데 온실효과를 일으키는 기체를 "온실가스"라고 하며, 이산화탄소(CO₂) 이외에 같은 효과를 일으키는 가스들로는 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs)와 육불화황(SF₆), 오존(O₃), 프레온(CFCs) 등이 있습니다. 이 중 기후변화협약에서는 이산화탄소, 메탄, 아산화질소, 수소불화탄소, 과불화탄소, 육불화황을 6대 온실가스로 지정하였다(에너지경제연구원, 2013).

지구온난화지수(Global Warming Potential, GWP)는, IPCC가 6개 주요 온실가스들이 지구온난화에 어느 정도의 영향을 미치는가에 대한 정도를 나

타낸 것으로 산출방법은 1kg 이산화탄소가 가진 태양에너지 흡수량을 기준으로 각각의 온실가스의 태양에너지 흡수량으로 나타내며 온실가스 흡수량에 대한 계산은 20년, 100년, 500년간으로 구분한 누적 자료를 제시하고 있다.

이산화탄소(CO_2)는 우리가 숨쉴 때, 나무, 석유, 석탄과 같은 화석연료가 연소될 때 CO_2 가 공기 중에서 산소와 융합하여 발생 한다. 이 이산화탄소를 자연에서는 식물이 광합성 작용 때 이용되며, 바다물에 흡수된 후, 남은 양은 대기속에 지속적으로 쌓이게 됩니다. 산업혁명 이후 100여년 동안 화석연료 사용이 급격히 증가하여 대기 속의 CO_2 농도가 매우 높아지게 된 것 (280ppm→379ppm, 2005년)을 보고하고 있고, 지구 전체 온실효과 중 약 60% 정도를 차지한다.

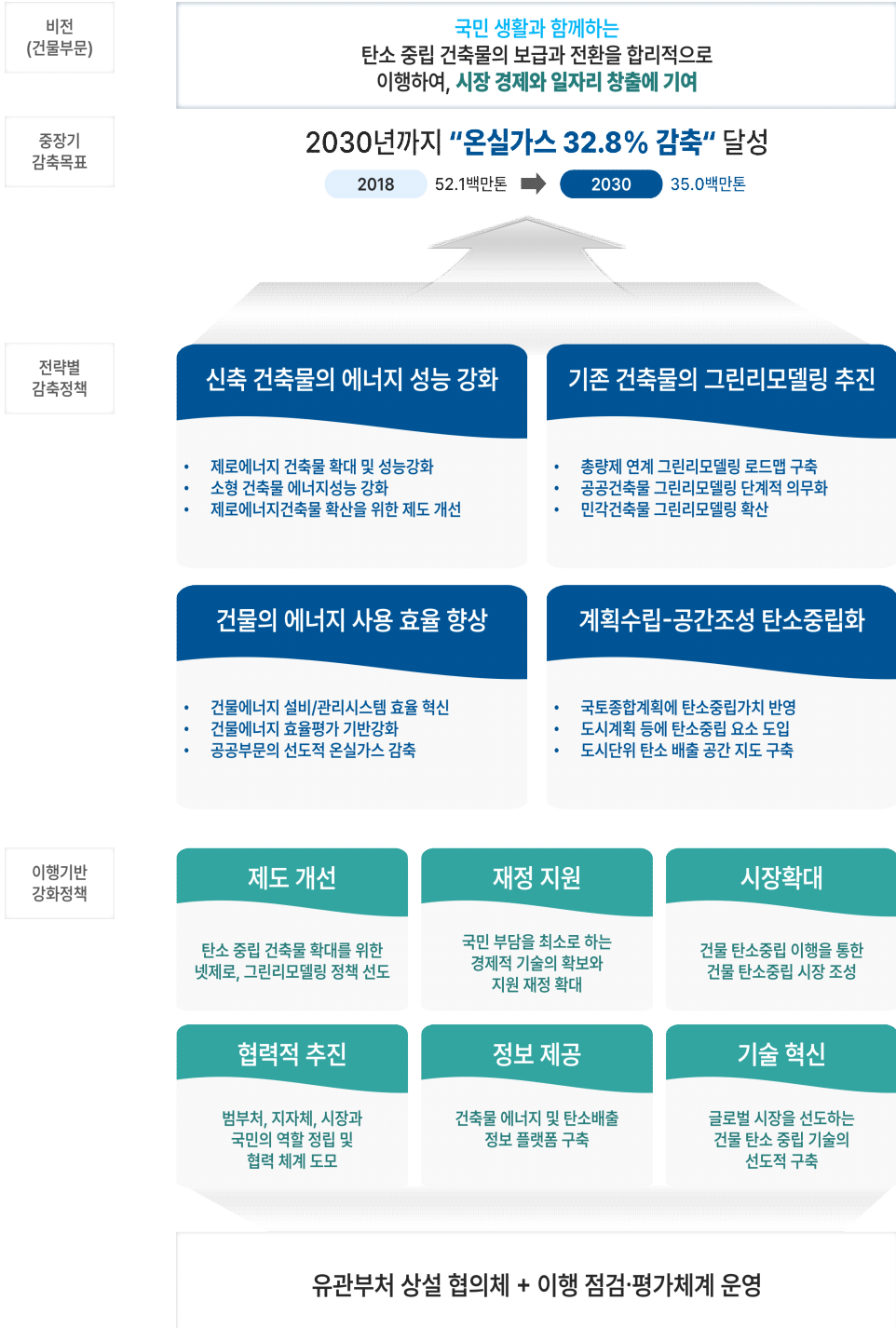
메탄(CH_4)은 천연가스(LNG)가 주성분으로 석유, 석탄, 천연가스 시스템에서 탈루된 경우와 음식물 쓰레기의 부패 시점, 소나 닭류 같은 가축의 배설물에서 발생 된다는 연구가 있다.

아산화질소(N_2O)는 주로 석탄을 채광시와 연료가 고온으로 연소되면서 발생한다.

수소불화탄소(HFCs)는 오존층을 파괴하는 물질로 대표적인 사용되는 용도는 불연성 무독성 가스로 사용이 편리하고, 화학적인 측면에서 안정적으로 냉장고 냉매, 에어컨 냉매, 소화기, 솔벤트 용제, 발포제, 폭발 방지물, 분무액 등으로 이용되고 있다.

과불화탄소(PFCs) 및 육불화황(SF_6)은 알루미늄의 용해, 반도체를 생산, 전력을 송배전, 마그네슘에 대한 주조 과정에서 발생되며, 과불화탄소(PFCs)의 경우 우리나라에서는 전부를 반도체 제조 공정에 활용하고 있다. 과불화탄소 및 육불화황은 현재로는 복사강제력의 영향은 적지만 긴 잔류시간을 이유로 높은 성장률을 보이고 있고, 적외선의 강한 흡수체로의 많은 이용은 미래의 기후에 영향을 크게 미칠 잠재성이 있다.

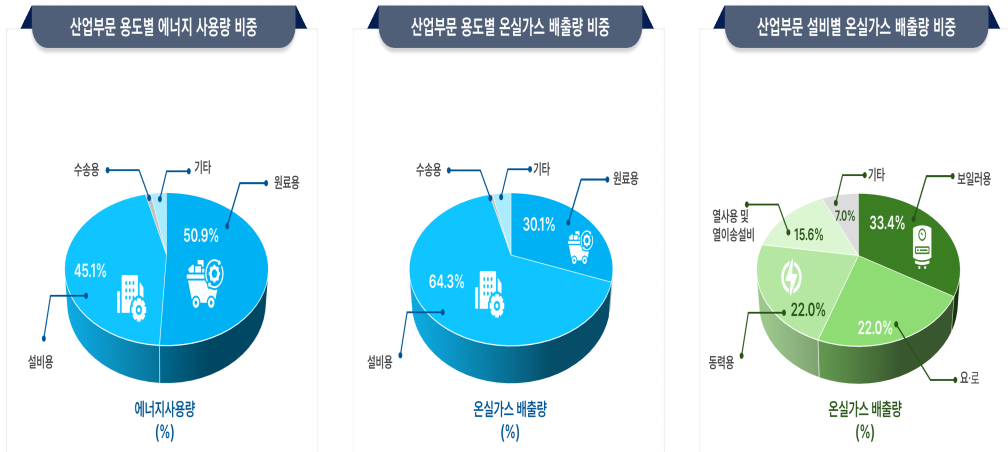
이와 같은 6대 온실가스에 대해 [그림 2-3]에서와 같이 정부는 온실가스 감축목표 및 지원정책을 수립하였다.



[그림 2-3] 온실가스 감축 목표 및 지원정책

출처: 한국건설기술연구원 (2024.03) (www.kict.re.kr), 연구자 재정리

[그림 2-4]에서 산업부문별 에너지사용 및 온실가스 배출량 통계(환경부,2020)에 따르면, 에너지 사료량은 45.1%를 차지하는 반면 온실가스배출량은 설비용에서 64.3%를 차지하여 제조 분야에서 에너지 절감이 시급한 상황이다.



[그림 2-4] 산업부문 용도별 에너지 사용 현황

출처: 2020 산업부문(2019년 조사) 에너지 사용량 및 온실가스 배출량 통계자료, 온실가스종합정보센터 (www.gir.go.kr), 연구자 재정리

기후변화가 인류에 위협적인 요소로 대두되어 기후변화 대응을 위해 전 세계적인 협력이 필요함이 제기되어 기후변화협약(UNFCCC)이 체결되었고, 이에 Global의 각 정부들은 기후변화의 가장 큰 원인인 탄소(CO₂)의 발생량을 감축하기 위한 다양한 규제를 제정하고 있으며, 또 이를 시행 중에 있다. ESG운동에 대한 정부의 탄소 규제가 더욱 더 강화되고 있는 추세로 기업들의 경영활동에 있어 큰 제약을 주고 있다. 또한 탄소 규제 강화는 기업에게 있어 탄소관리의 중요성을 인식시켰고 이로 인해 기업들은 탄소의 배출과 직접적으로 관련된 에너지 사용량을 체계적으로 관리해야 한다(이효복, 2014).

CEMP(탄소 배출 감축 및 환경관리 프로그램)가 기업의 사회적 책임 활동을 통해 기업이 환경 보호와 사회적 가치 실현을 동시에 추구한다(최기창, 2019).

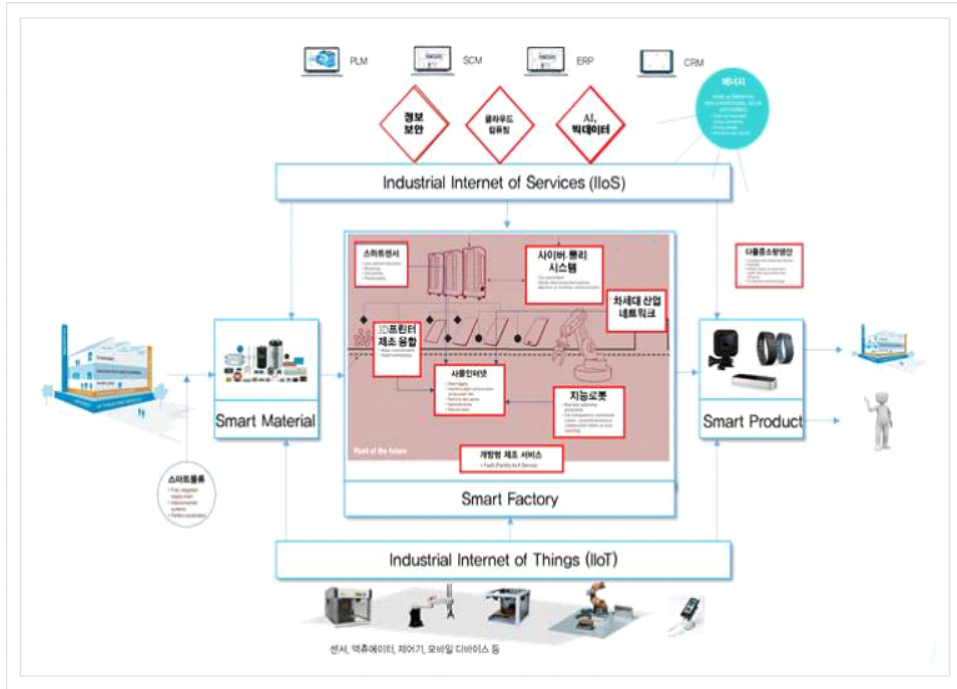
제 2 절 중소제조기업의 스마트공장

1) 스마트공장 개념과 특성

스마트공장이란 제조생산 과정의 전부 또는 일부에 사물인터넷(IoT)·빅데이터(Big Data)·인공지능(AI)과 같은 ICT기술을 활용한 자동화 또는 디지털화한 공장을 구축하여 기업의 효율성, 생산성, 원가절감, 품질개선 등을 향상시키는 지능형 공장이다.⁵⁾ 우리가 가장 높은 지위는 고도화된 정보통신기술(ICT)을 기반으로 하는 시스템 제조의 발전을 목도하고 있습니다. 배경 속에서, 선두 기업과 정부 주도의 협력체는 불안정한 시장 환경에 유연하고 유연하게 대응할 수 있는 개발을 목표로 '미래에 있는 공장(Factory of the Future)'이라는 개념을 현실화하기 위해 노력하고 있다. 제품 맞춤화와 완충이 증가하고, IoT와 동일한 최신 네트워크 기술이 작동하는 동안 제조업체의 판도가 견딜 수 있고, 스마트공장은 이러한 새로운 시장 요구 사항을 해제할 수 있고 유연한 생산 솔루션으로 자리를 잡을 수 있습니다. 그러므로 스마트 공장은 제조업체의 미래 경쟁을 결정짓는 핵심 요소로 인해, 인더스트리 4.0의 핵심으로 부각되고 있다.

스마트 팩토리에 관한 개념 정리 및 사용에 관해서는 구분적 및 학술적 차원에서 일치하지는 않지만, 스마트공장에 관한 규정의 사용에 대해서는 '유비쿼터스팩토리(u-factory)', 사물인터넷(IoT, Internet of Things)를 활용한 'factory of things', 'Digital Factory', '지능형 공장', 'ICT를 활용한 실시간 공장' 등 명칭이 사용 중에 있다. (Scheuermann et al., 2015)의 연구에서 지적한 것과 같이 개념적 차이가 있고 또 구분해야 한다. 그러나 IoT를 통해 모든 것이 연결되는 전체적인 관점에서 볼 때, 존재한다는 것은 본질적으로 동일한 개념을 이해할 수 있다.

5) 스마트제조혁신추진단 (스마트공장사업관리시스템 www.smart-factory.kr)



[그림 2-5] 스마트공장 개념도

출처: 스마트제조혁신추진단(www.smart-factory.kr) 및 한국표준협회(www.ksa.or.kr)

그러나 국가별로 4차 산업 혁명의 접근 방식의 차이가 있게 사용하고 있어 고유한 관점이 존재합니다. 예를 들어, '인더스트리 4.0(Industry 4.0)'의 개념을 창시한 독일은 '인더스트리 4.0', '4차 산업 혁명', '스마트공장'과 같은 개념을 개념적으로 혼용하는 경향이 있음을 연구에서 관찰된다[그림 2-5]. 반면에 미국에서는 IIC(산업인터넷컨소시엄), NIST(국립표준기술연구소), SMIC(스마트제조리더십연합체)등의 4차 산업 혁명(Industry 4.0)을 주도하는 주요 기관들 및 연구단체들은 '스마트공장' 보다는 '스마트제조'라는 의미를 선호한다. 특히, 인더스트리 4.0의 핵심은 스마트공장이 그 중심으로 자리매김 한다. 이에 관련하여, '스마트공장' 및 '스마트 제조'라는 의미는 개념적으로 구분하기 어려운 부분이 있지만, 국제적 차원에서 이 두 가지 개념은 종종 방향을 제시하는 일종의 브랜드로 활용되어지고 있고, 두 가지 정도 사이에 있는 의미의 유사성이 있기 때문에 같은 것이라 보는 경향도 있다. 그렇지만, 국내에서는 이 두 가지에 차이를 두고 연구 발전해 나가려는 움직임이 있다. 스마트제조

는 분리형 작업을 분리하여 접근 가능하게 하는 프레임워크와 로드 맵을 개발하는 과정에서 탁월하고, 스마트공장은 제조 활동이 소속된 장소의 관점에서 정의되는 반면, 스마트 제조는 제조 과정 자체에 초점을 맞추고 있어, 이러한 구성은 제조업의 미래를 위해 활성화 되고, 산업을 구성하는 기초적인 방향을 제공한다(정태석, 2016).

스마트공장에 대한 개념은 전문가마다 다양하게 정의되어 있다. 간단히 요약 하자면, 스마트공장은 새로운 요구에 신속하게 대응할 수 있는 연결된 제조 시스템입니다. 이 시스템은 데이터를 활용하여 운영과 생산 과정을 최적화하고, 자동화를 넘어서 연결성을 유지하는 인증된 형태이고, Burke(2017)는 스마트공장은 연결된 운영 및 생산 시스템으로부터 데이터를 추출하여 새로운 수요에 대응하는 것으로, 원천기술을 통해 모든 시스템이 연결 가능하게 대응할 수 있는 생산 방식이라 하고, Longo et al.(2017)은 스마트공장을 향상된 Monitoring, Analysis, Modeling, 시뮬레이션을 통해 포착하고 생성하는 디지털과 지능ghk(Intelligence)을 포착, 생성, 확산dl 가능한 디지털 Infra와 첨단 제조생산기능들의 완벽한 통합'으로 정의 한다. Lucke et al.(2008)는 스마트 공장은 분산된 정보와 통신 구조를 활용하여 환경이 최근에 변하는 상황에 유연하게 대응할 수 있도록 하는 것으로 '생산공정의 관리 Optimization을 위해 통신구조와 분산형 정보를 적용하여 실시간 제조생산의 동적인 상황에 적합한 생산제조 환경'이라 스마트공장을 규정 했다. 또한 Park,S.(2016)은 스마트공장을 '초연결 네트워크(hyper-connected network)⁶⁾기반 통합된 제조 시스템'으로 정의하며 ICT를 통해 실시간으로 생산제조시설에 관한 모든 생산정보를 받아 생산제조방법을 수정하거나 원자재 및 중간재를 대체하는 활동으로 최적화된 동적인 생산제조 시스템이라 했다. 그리고 Radziwon et al.(2014)은 '더욱 복잡한 제조환경의 증대와 빠른 동적인 변화의 상황에서 제조생산 설비에서 발생하는 문제들을 해결하기 위해 유연생산공정을 제공하는 제조생산 솔루션'이라고 했다.

6) 신뢰할 수 있는 사람-사물-데이터(클라우드)가 실시간, 온-디맨드로 연결되는 네트워크

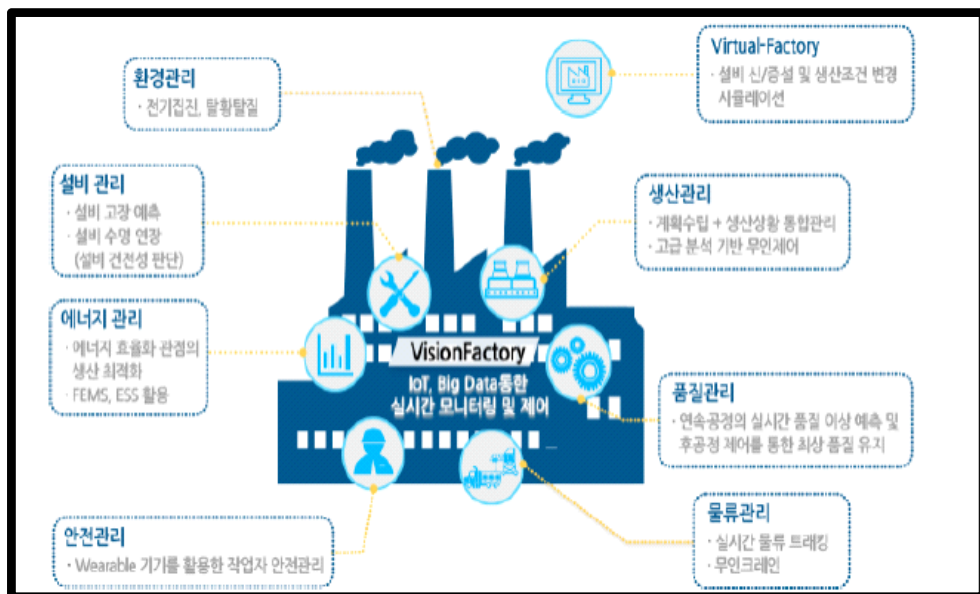
스마트공장에서 공장에너지관리시스템의 운영관리를 위한 IoT 기반의 플랫폼 개발의 연구를 다루고 있다. 특히, 스마트공장에 대한 고도화 수준의 사양과 서비스를 제공하는 것이 아닌, 중소제조기업의 기초~중간2 공장에서도 적용할 수 있는 시스템을 통해 스마트공장으로 전환하기 위한 기반을 제공하고자 한다. 본 시스템은 IoT 표준을 기반으로 하고 있으며, 클라우드 서비스와 분석시스템 등을 제공한다. (김범주 외3명, 2019) 스마트공장의 발전과 더불어 빅데이터 분석 기술의 중요성이 점차 부각되어 이를 통해 생산성 향상과 품질 개선 등 다양한 산업적 이점을 얻을 수 있다(고재진 외 4명, 2022). 데이터센터의 에너지 절감을 위한 에너지 사용을 최적화하기 위해 베이스라인을 설정하고, 특정 및 검증 평가 기준을 제시하여, 에너지 효율성을 향상시키는 데 도움을 준다(조진균, 박병용, 2019).

상기의 선행연구를 종합해 보면, 스마트공장이란 ‘향상된 Monitoring, Analysis, Modeling 및 Simulation을 활용하여 새로운 수요에 대응 과정에서 발생하는 문제들을 극복하게 하는 지능형으로 문제를 포착, 생성, 확산하여 궁극적으로 최적의 동적인 생산제조시스템을 구현 가능하게 하는 생산제조의 솔루션’으로 정의 내릴 수 있다.

2) 중소제조기업의 스마트공장 현황

스마트공장은 제4차 산업 혁명의 제조 분야에 정보통신기술(ICT)을 통해 전통적 기술 방식을 초월한 새로운 가치 창출하고 공유하는 종합적 솔루션이다. 제조기업 관점에서 스마트공장은 제조기업과 정보통신기술(ICT)의 결합을 통해 산업 설비 및 제조 과정 전반에 걸쳐 네트워크화 되어, 시장의 고객들의 요구사항을 유연하게 대응할 수 있는 시스템을 구축 하는 것을 목표로 해야 한다. 이를 위해 종래의 생산 프로세스 개선과 최적화를 초월하여 종합적으로 인간과 기계간 실시간 연결을 스템적으로 구축하여 고객 맞춤형 생산 시스템 (Customised Production)을 기반으로 생산효율과 경제적생산 측면에서는 대

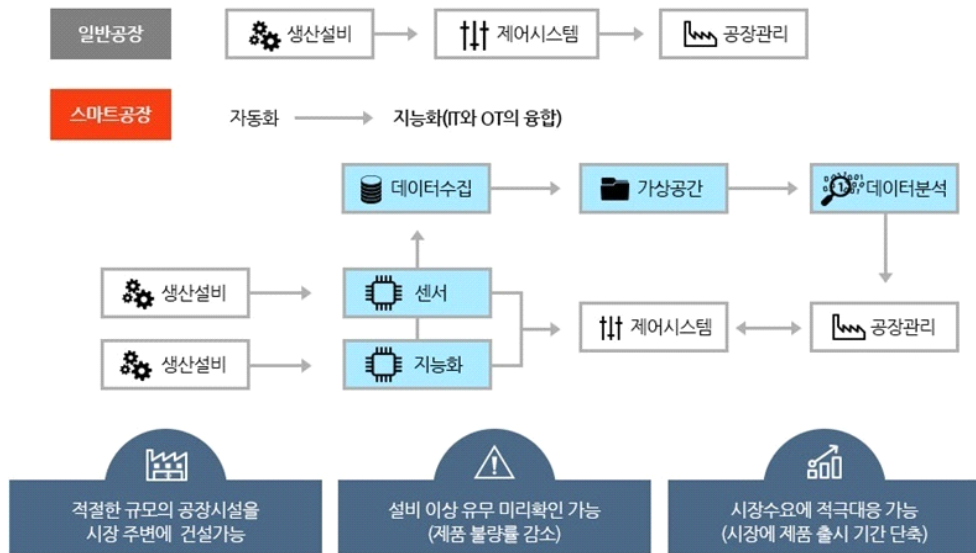
량생산(Mass Production)을 위해 예측 시뮬레이션 및 통합 엔지니어링을 통합적으로 구축해야 한다. 스마트공장의 궁극적인 목표가 스마트공장이 구현되면 각 공장은 수집되고 누적되어지는 데이터를 기반으로 지능형 AI기반의 분석을 통한 의사결정에 유용한 데이터 기반으로 공장의 운영(Data-Based Factory Operation) 기반을 구축함으로써 제조생산 현장에서 일어나는 현상들과 문제점들간에 상관관계로 찾아낼 수 있어 원인에 대해 알 수 없었던 납기지연, 돌발장애, 애로공정, 품질불량 등의 원인을 찾아내어 해결이 가능해지고 또 제어하게 된다[그림 2-6]. 특히, 경험이 많은 숙련공의 경험과 같은 노하우가 축적되어 Data화 됨으로써 비숙련공일 지라도 용이하게 활용할 수 있고, 작업장에서 발생하는 여러 상황들을 Monitoring하여 비숙련자도 효율적으로 작업할 수 있도록 원격지원의 제공이 가능하고 제어도 가능한 실정이다. 또한, 종업원이 스마트공장 기술을 받아들이고 사용하는 태도 및 편의성이 기술 도입 수준과 제조 성과에 영향을 미친다(오주환, 서진희, 김지대, 2019).



[그림 2-6] 스마트공장 기술적 범위 현황

출처: 스마트제조혁신추진단(www.smart-factory.kr) 및 한국표준협회(www.ksa.or.kr)

미래의 스마트공장 [그림 2-7]은 제조현장의 다양한 설비와 Sensor들이 스스로 정보를 모으고 축적된 정보를 이용하여 생산효율을 최적화하는 AI가 결합된 제조생산 시스템으로 더욱 발전될 것이라 예측된다. 스마트공장은 설계→개발→생산→유통→물류 등 제조생산의 모든 과정에서 ICT 기술을 적용하여 효율성, 생산성, 품질향상으로 고객 만족이라는 기업의 전략적 목표의 달성 가능성을 증대할 수 있는 실시간 지능형 시스템으로 발전해 나갈 것이라 전망한다.(기초수준→중간수준→고도화수준) 과거 제조생산공장이 생산설비에 대해 중앙집중식 통제가 이루어졌지만 스마트공장은 설비와 설비 사이, 설비와 인간 간의 다양한 정보의 교류를 통한 제어가 필수라 할 수 있다.



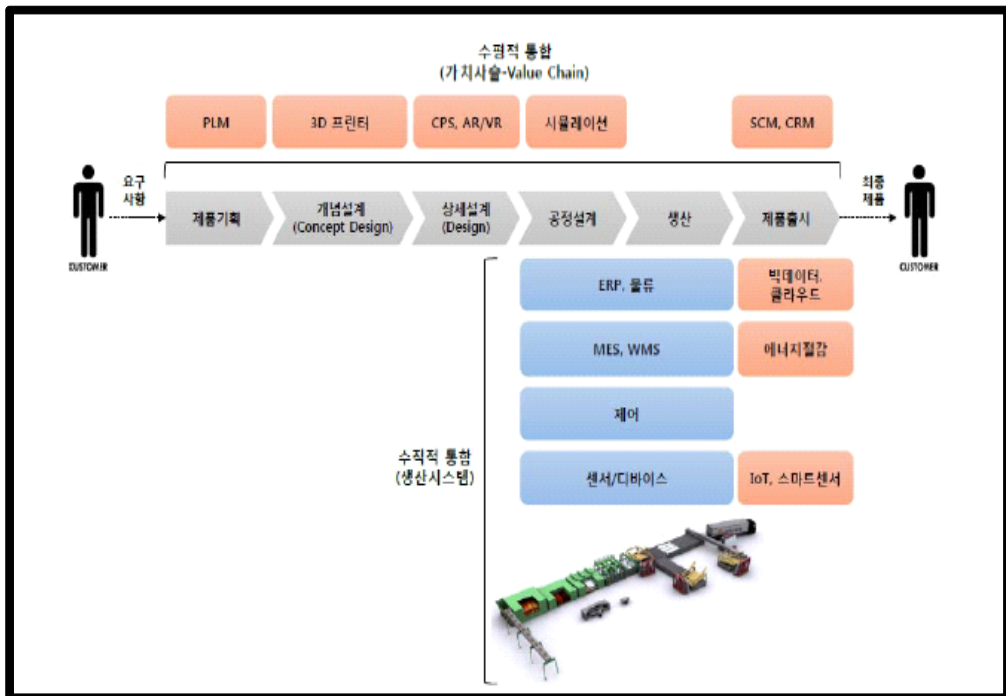
[그림 2-7] 스마트공장의 차후 개념적 진화 방향

출처: 스마트제조혁신추진단(www.smart-factory.kr) 및 한국표준협회(www.ksa.or.kr)

스마트공장에 적용되는 기술들은 Factory Automation의 생산시스템인 수직적 통합 구조를 가치사슬 간의 수평적 통합 구조로 변화되고 있다. 지금까지 생산 현장에서 추진한 Factory Automation 개념은 수직적 통합으로 공장과 제조(생산)의 개념으로 볼 수 있으나, 최근 스마트공장 기술은 다양한 고객들의 Needs에 실시간으로 대응하기 위하여 가치사슬의 수평적 통합으로 변

화되는 것이라 볼 수 있다. 그러므로 스마트공장은 수직적인 생산제조시스템과 수평적인 가치사슬의 통합하며 발전하고 있으며, 사물인터넷(IoT), CPS⁷⁾, 빅데이터 등 최신 기술이 접목되어 세밀한 수직적, 수평적 통합이 가능해지고 있다.

수평적 통합[그림 2-8]에 대한 활용기술에는 CAD등을 포함한 PLM/PLD Solution, 신제품 개발의 개발기간과 개발비용을 줄여주기 위해 지원하는 3D Printer, 가상과 실체를 연동시키는 사이버물리시스템(CPS), 제조생산 공정 분석에 활용되는 공정 시뮬레이션 등을 활용하고 있다.



[그림 2-8] 스마트공장의 통합 기술 전망

출처: 스마트제조혁신추진단(www.smart-factory.kr) 및 한국표준협회(www.ksa.or.kr)

수직적 통합[그림 2-8]에 대한 지원 기술에는 제조생산설비의 많은 데이터 취합을 위해 스마트센서, 유지관리 및 자동제어 및 모니터링에 사용하는

7) Cyber-Physical System의 약자로, 통신 기술을 활용하여 물리적 현상을 관찰, 계산 및 조작하는 각 시스템 개체들 간의 협력적 관계를 구축하게 하는 것.

제어장치인 PLC⁸⁾와 사물인터넷(IoT), 생산현장의 에너지 절감기술(FEMS기술), 제조생산 Data Analysis을 위한 Big Data기술들이 포함한다. 스마트공장을 도입 한다는 것은 맞춤형 생산공정, 다품종 복합생산(Customised production), 조달 및 물류 혁신, 설비와 사람 간 협업(예, 협동로봇 등)을 가능케 하여 기업 경쟁력을 제고 될 전망이다.

상기 과정을 종합하면 현재 스마트공장 시스템은 수직적, 수평적으로 통합하여 고객만족을 최대화하기 위해 집중화된 학습과정(데이터의 Gathering을 통한 Big Data 확보 과정, 딥러닝)이라고 할 수 있고, 지속적인 시행착오를 야기하여 이에 따라 조직 내 갈등 등이 예상되는데 이런 문제들을 효율적으로 관리하여 조직을 능률적으로 이끌어 갈 컨트롤타워 역할을 소화해 낼 수 있으리라 본다. 향후 시스템이 안정화 되면서 AI기술이 접목 된다면, 리더의 리더십 대신 해당 시스템에서 분석된 결과(Intelligence)에 의해 의사결정을 하게 될 수 있으며, 현재 상태에서는 사람의 전략과 이의 효율적인 추진에 의존 하지만, 스마트공장 시스템에서 경영자의 역량과 효과적인 조직 구성이 중요함이 강조되고 있다. 본 연구는 스마트공장 도입기업이 생산성향상, 효율 향상, 원가절감, 품질향상과 납기단축의 효과가 자명하지만 부가적으로 에너지관리시스템(EMS)이 부가적으로 추가되어 제조생산현장에서 에너지 효율적 사용과 이상감지와 제어를 위한 시스템을 구축한 중소제조기업의 경영성과에 미치는 영향을 실증연구로 밝혀내어 추가적으로 공장에너지관리시스템의 적용이 증대 될 것으로 기대하며, 앞으로 또 다른 중소제조기업에 스마트공장 구축시 에너지관리시스템(EMS)를 접목하여 공장에너지관리시스템 구축으로 활성화되고 또한, 다른 산업 분야에서도 적용할 수 있는 계기가 되어 국내의 모든 산업 분야와 연계하여 효율 향상과 안전성을 높일 수 있게 4차 산업의 요소 기술들과 에너지 관련 요소기술들이 융합하여 활용될 수 있을 것으로

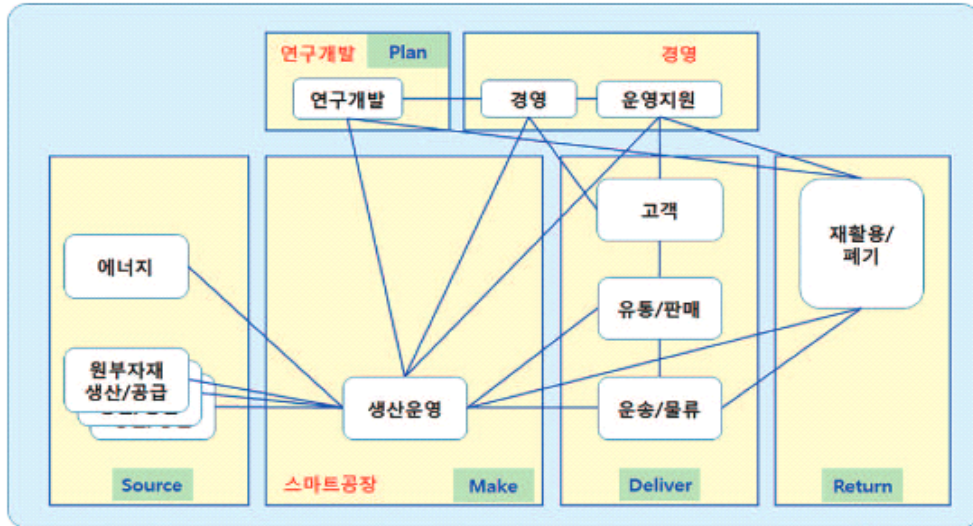
8) 프로그래머블 로직 컨트롤러(Programmable Logic Controller, PLC)

기대 한다(김태연, 2023). 스마트공장은 기술 혁신과 생산성 향상을 위한 중요한 요소로 간주되는데, 정부의 지원 정책이 기업의 재무성과에 영향을 주어 기업이 발전할 수 있는 계기가 된다(이상철, 강수진, 2020).

김덕기(2015)에 따르면, 스위스의 스마트공장은 제조 공장 내에서 제품 설계 및 설계, 유지, 품질 관리 등의 생산 플랫폼에 정보화와 생산시스템의 혁명을 제공하는 공장을 의미한다고 설명하고 있다. 이러한 관점은 제품의 개발부터 생산, 그리고 유지 보수에까지의 전 과정을 포괄하며, 전 공정을 최적화하는 정보통신기술(ICT)과 자동화기술의 통합적 적용을 강조한다.

또한, 국가기술표준원(2015)에서 제시한 “스마트제조 프레임워크”는 스마트제조와 스마트공장의 구분하여 언급하고 있다. 여기서 스마트제조는 스마트공장 보다 넓은 범위를 갖고 있으며, 스마트공장을 조정하는 공장으로 정의하고 있다. 이 ‘스마트제조 프레임워크’에 따르면 스마트제조는 스마트 제조분야에서 다양한 서비스 및 비즈니스 모델을 포괄하며, 이를 통해 고객 및 고객이 요구하는 사항을 만족시키는 다양한 서비스를 제공한다고 정의하고 있다.

따라서 국가기술표준원(2015)에 따른 “스마트 제조의 표준화 프레임워크”를 좀 더 상세히 살펴보면, 스마트제조에 대한 개념 모델들은 [그림 2-9]와 같다. [그림 2-9]에 기반하여, 스마트 기술 시스템은 생산, 전방산업, 후방산업이란 세 가지 주요 분야로 구분된다. 이 구조에서 원부자재와 에너지 공급을 담당하는 후방산업 분야와 제품의 폐기, 운송 및 물류, 그리고 시장의 유통과 판매를 포함하여 최종 소비자에게 제품을 전달하는 전방산업의 분야들이 있으며, 생산 분야는 더 분류되어 스마트공장, 경영, 운영지원, 연구개발의 세 분야로 나누어진다.



[그림 2-9] 스마트 제조 표준화 프레임워크

출처: 국가기술표준원(KATS), 스마트 제조 표준화 프레임워크, (2015)

여기 스마트공장은 실제 제품제조가 신뢰할 수 있는 공장을 의미하며, 직원들과 공정설비의 운영을 포함한다. 스마트 기술의 각 구성 요소는 시스템내에서 "원자재, 부자재 생산과 공급"이 중요한 산업 역할을 하며, 또한 에너지는 공장 운영에 필요한 에너지 공급하며, 모니터링하고 제어하는 역할을 한다.

제조기업의 경영은, 보안, 법규규제, 안전 대응 등을 포함한 운영지원 분야가 있다. 이 각 분야들은 스마트 기술 시스템을 구성하고, 전체 시스템으로 통합 구성과 운영을 한다. 결국 스마트공장은 정보화 기술과 공장 자동화 기술을 결합하여 제품의 설계, 유지 보수 등 생산 과정에서 최적화를 전망하는 공장이다(김덕기, 2015). 또한, 스마트공장은 인더스트리 4.0의 핵심인 디지털 기술을 활용하여 공장 운영에 필요한 항목들을 실시간으로 모니터링하고, 분석하고, 제어하려는 미래 지향적인 기술의 집합체 이다.

3) 중소제조기업의 스마트공장의 국내외 동향

한국의 스마트제조 시장 규모는 2019년 기준 약 10조 6,920억 원에 달하

며, 2025년경에는 20조 4,213억 원을 돌파하여 세계 시장에 비해 빠른 속도로 성장할 것으로 전망되고, 한국 스마트제조 시장은 연평균 11.3% 성장할 것으로 전망되며, 스마트제조 요소 시장(12.3%)이 기술 시장(9.6%)에 비해 빠른 속도로 확대될 전망이다.(중소벤처기업부, 2019)

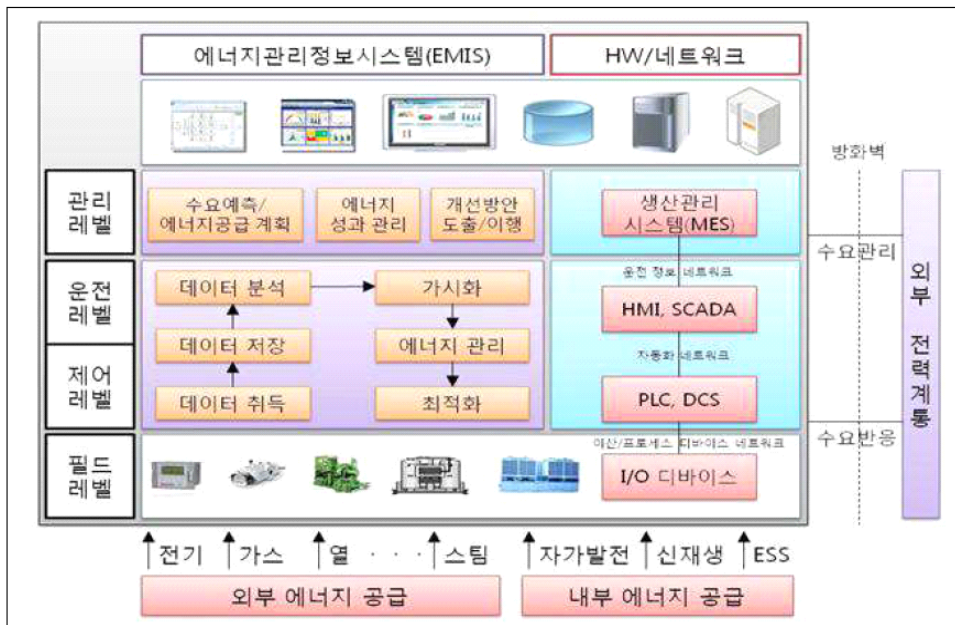
또한 한국의 시장 규모는 아시아 지역 주요국가 중에서 두 번째로 빠른 성장 속도를 보일 것으로 예상되고, 정부의 2022년 3만개 보급·확산사업에 힘입어 중소·중견기업(중소기업 비중 98.1%, 중견기업 비중 1.9%)을 중심의 스마트공장 구축으로 시장이 활황을 맞이하고 있으나, 아직까지는 SW 위주로 보급 중으로 ICT 공급시장과 디바이스 공급시장이 각각 연평균 11.6%, 8.9%씩 성장해 스마트공장 보급 확산속도가 빨라질 전망이다(중소벤처기업부, 2019).

스마트공장의 한국 기술 수준(스마트제조)은 최고기술수준 보유국(미국) 기준의 72.30% 이며, 국가별 기술수준(스마트제조)은 미국을 100%로 볼때 독일(93.40%) > 일본(79.90%) > EU(79.60%) > 한국(72.30%) > 중국(66.00%) 순으로 한국의 지속적 발전이 요구되는 상황이다.

제 3 절 공장에너지관리시스템과 정부지원

1) 공장에너지관리시스템의 개념과 중요성

공장에너지관리시스템(FEMS)이란 Factory Energy Management System 이란 의미로써, 중소제조기업 내에서 에너지 효율향상은 에너지 효율만 개선하는 뿐만 아니라 효율향상, 생산성향상, 품질향상, 원가절감, 납기단축 및 경쟁력강화 등 여러 분야에서 개선을 기대할 수 있다. 그러므로 에너지 효율 향상을 위해 최상의 방법은 에너지관리시스템(EMS)을 제조기업 내에 구축하여, 공장내 발생하는 에너지를 실시간으로 모니터링하고, 분석하고, 제어하여 에너지를 효율적으로 절감하는 솔루션을 찾아 적용하고 제조기업에 적용해야 한다.

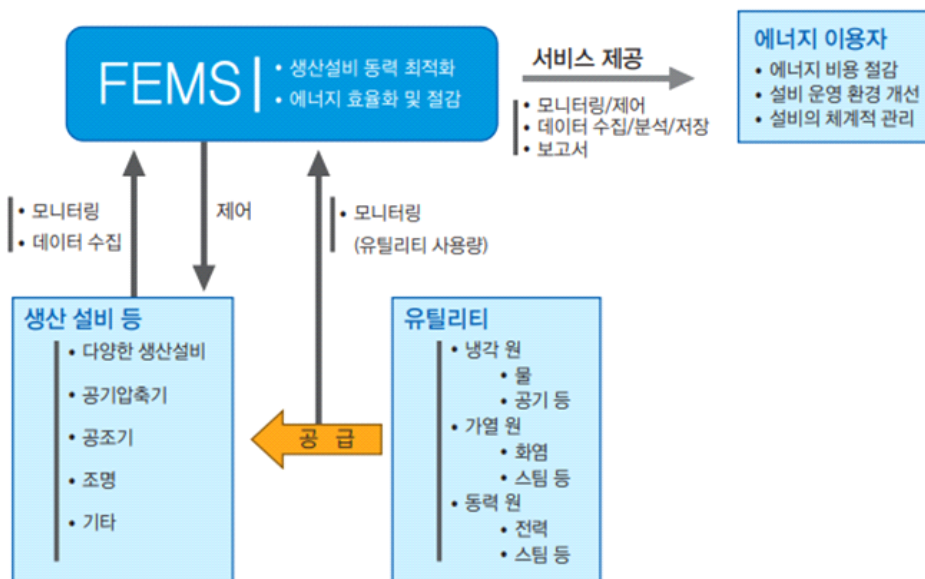


[그림 2-10] ICT기반 공장관리시스템(FEMS)

출처: 에너지관리공단(www.energy.or.kr), EMS지원·관리업무 운영규정, 2014.

[그림 2-10]과 [그림 2-11]과 같이, 이런 솔루션은 Monitoring, Analysis, Control 및 Data 계측이 가능하게 에너지 H/W기술, 실시간 모니터링 기술,

AI를 활용한 Data Analysis 기술과 정보통신기술(ICT)이 융합된 에너지관리 시스템(EMS)이 필요하며, 이러한 산업체의 Needs는 스마트공장 기술과 에너지관리시스템(EMS)가 융합된 공장에너지관리시스템을 도입하는 방향으로 중소제조기업에 점차 확산되고 있다. 결국 ICT기반의 스마트공장과 에너지관리 시스템(EMS)과 에너지 관련 H/W가 융합된 것이 공장에너지관리시스템(FEMS)이라 할 수 있다.



[그림 2-11] 공장에너지관리시스템(FEMS)개념도(1)

출처: 정보통신산업진흥원 (www.nipa.kr)

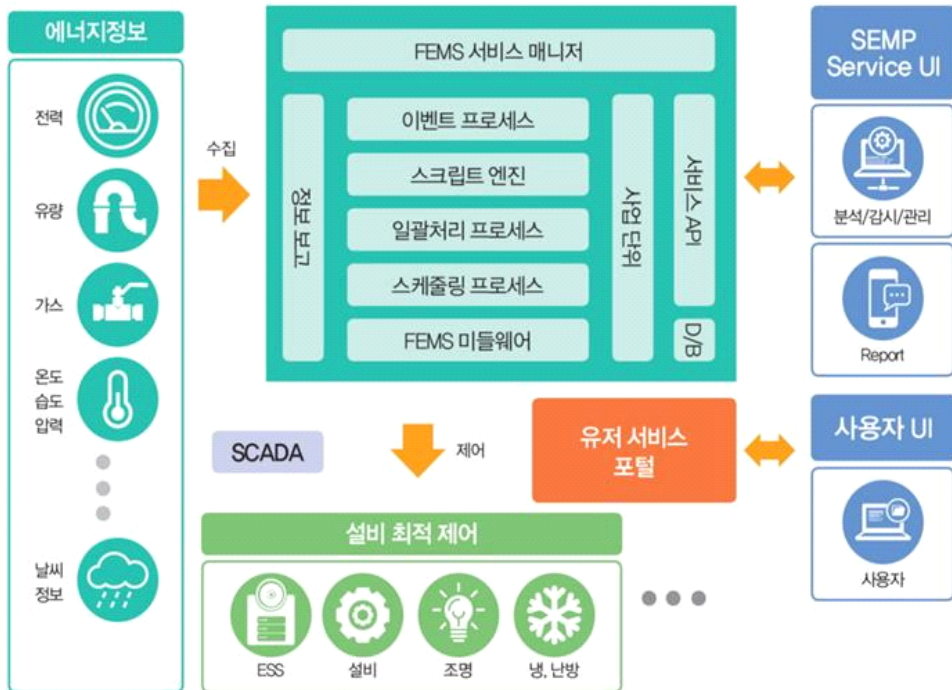
공장에너지관리시스템은 제조업등 생산시설에 사용되는 에너지 성능의 최적화하여 경제적인 생산을 하는 에너지관리시스템(EMS)으로 생산 활동 및 시설 유지에 사용되는 에너지를 모니터링, 분석, 원격제어를 함으로써 에너지의 효율적인 사용을 도모하는 IT기반의 에너지 절약 기술로 정의된다(정보통신산업진흥원, 2012).⁹⁾

중소제조기업의 공장에너지관리시스템은 에너지 이용의 효율성 제고와 계속

9) 정보통신산업진흥원, (2012). 『2012년 IT기반 ESCO 시범사업 가이드라인-제3권 FEMS 가이드라인』

적인 개선을 위해 기업의 에너지 사용에 관한 지속적인 개선을 위하여 에너지 관리목표 설정, 관리기준정보 관리, 에너지 절감 계획 등을 체계적으로 세워 중소제조기업의 공장을 운영하는데 필요한 에너지경영 부문과 에너지 흐름을 실시간으로 Monitoring, Data Gathering과 Information Analysis과 Control 등을 위한 에너지관리(EMS) 부문으로 구분 한다면, 에너지경영과 에너지관리를 통합 관리하기 위한 다양한 ICT 기술들이 융합되고 있는 실정이다.

그런데 공장에너지관리시스템의 효율성을 위해서는 [그림 2-12]와 같이



[그림 2-12] 공장에너지관리시스템(FEMS)개념도(2)¹⁰⁾

출처: 스마트제조혁신추진단(www.smart-factory.kr) 및 한국표준협회(www.ksa.or.kr)

사업장 내의 총체적 관점에서 에너지를 측정하고 분석하여 낭비되는 요소를 찾아내거나, 에너지성과지표 개선을 위해 공장, 공정, 설비 상의 최적 제어

10) 건물에너지관리시스템 개요 및 제도 안내, (사)한국EMS협회

시스템을 구축하여 운영하는 것이 필요하다 (에너지관리공단, 2014). 특히 공장에너지관리시스템은 규모면에서 건물에너지관리시스템(BMS) 보다 더 크다고 할 수 있다. 공장에 설치된 기기와 설비들이 건물 보다 더 다양하게 많고, 관리하는 설비들에 대한 용량과 출력의 규모가 건물에너지관리시스템(BEMS)¹¹⁾과 큰 차이를 보이기 때문이다. 따라서 공장에너지관리시스템(BEMS)은 계측과 Control해야 할 기기와 설비의 종류들이 다양하여, 초기에 구축 비용도 건물에너지관리시스템(BEMS) 보다 높은 편이다.

그러나 공장에너지관리시스템을 구축하면 공장 내에 에너지이용 설비 뿐만 아니라 태양광 발전 장치, 에너지저장장치(ESS)¹²⁾, 풍력 발전 장치 및 열병합 발전 장치의 효율적 운영이 가능해 진다. 여러 공장을 관리하는 기업의 경우에는 클라우드를 활용한 공장에너지관리시스템을 구축한다면 규모의 경제 효과를 볼 수도 있다. 따라서 공장에너지관리시스템을 효율적으로 구축 및 운영하려면 ICT를 활용한 최적의 제어를 실행하면 유틸리티, 공장설비 및 에너지 공급의 최적화를 달성함과 동시에 에너지 사용 관리 대상의 영역과 경계를 구체화 하는 명확한 에너지 성과지표(KPI) 및 목표 관리가 필요하다.

다만, 현존하는 국내 기술로 구축된 공장에너지관리시스템은 높은 초기 투자비용에 비해 낮은 경제성으로 인하여(ROI측면) 아직까지 기업은 공장에너지관리시스템의 투자를 회피하고 있는게 현실이다. 왜냐하면 공장에너지관리시스템을 구축만 한다면 에너지절감 효과가 즉시 나타나기 어렵고, 축적된 Data를 분석하고 개선점을 찾아내어, 실질적인 개선 활동을 수행해야 비로서 에너지절감이 가능하기 때문이다. 그러나 국내 공장에너지관리시스템을 적용한 중소기업은 해외 기업들에 비해 Data Analysis 기술 수준이 매우 취약하여, 우수사례를 제시할 만한 성공사례 Reference가 별로 없는 실정이다. 그리고 국내기업 입장에서 보면 공장에너지관리시스템을 구축하는 비용뿐만 아니라 계속적으로 발생하는 유지보수 비용과 투입인력 관리 비용까지 부담

11) Building Energy Management System

12) 에너지 저장 장치(ESS: Energy Storage System)

해야 하는 면이 큰 부담으로 되어 있다.

이러한 이유 때문인지 국내 산업계의 에너지 과다 소비 사업장 중에서 공장에너지관리시스템을 도입한 사업장은 2014년을 기준으로 8.9%에 불과하며, 계약전력 1,000kW 이상인 사업장은 6.3%에 불과하다. (정보통신산업진흥원, 2014). 해당 조사는 공장에너지관리시스템의 세부적인 기준이 반영되지 않은 상태로, 조사된 결과로써 실제 보급률 측면에서는 이보다 낮을 수 있다. 생산 제조공장은 건물과는 달리 제품을 경제적으로 생산해야 하는 목적 달성과 빠르게 변하는 고객 Needs에 맞는 제품을 생산하기 위해 수시로 변화하는 생산 라인의 변동측면이 많아, 현실적으로 제조생산공장에서 에너지의 효율과 절감 보다는 원가절감, 납기단축 및 품질향상과 생산성이 최우선시 되므로 공정단 위에 Energy 최적화 제어 및 제측이 가능한 설비를 투자 하기란 쉽지 않으며 다른 장애요인들이 예측할 수 없이 존재한다. 이렇듯이 중소제조기업들이 공장에너지관리시스템에 투자를 주저하게 된 가장 큰 이유로는 투자비용에 비해 정확한 성과를 예측 할 만한 명확한 효과검증(Reference, 사례들)의 기준 이 마련되어 있지 않기 때문이다.

반면, 일부 공장에너지관리시스템 공급하는 공급기업이 그릇된 경계설정 과 정확하지 않은 성과의 확인 방법을 적용해서 계산되고 제시되는 과장되어진 에너지의 성과를 사업의 홍보 자료로 활용하여 포텐셜 고객들인 중소제조기업들에게 불신과 의혹을 갖게 되는 실정에 있다. 이런 상황의 개선을 위해 국내 뿐만아니라, 해외의 성과평가 방법론을 연구하여, 공장에너지관리시스템을 기 구축된 사업장에 운영에 대한 성과평가 방법을 적용해 봄으로써 국내 실정에 맞는 에너지성과 평가 방법을 제시하는 것이 좋으리라 사료 된다.

또한 대규모 투자가 필요한 공장에너지관리시스템의 도입이 주저되는 기업에 도움을 주기 위해 운영요소로 확인된 에너지성과 평가 방법을 기반으로 우수사례를 발굴하여 일부 중소제조기업이 운영하고 있는 공장에너지관리시스템에 대한 부정적 인식을 바꾸는 계기로 마련하고, 공장에너지관리시스템을

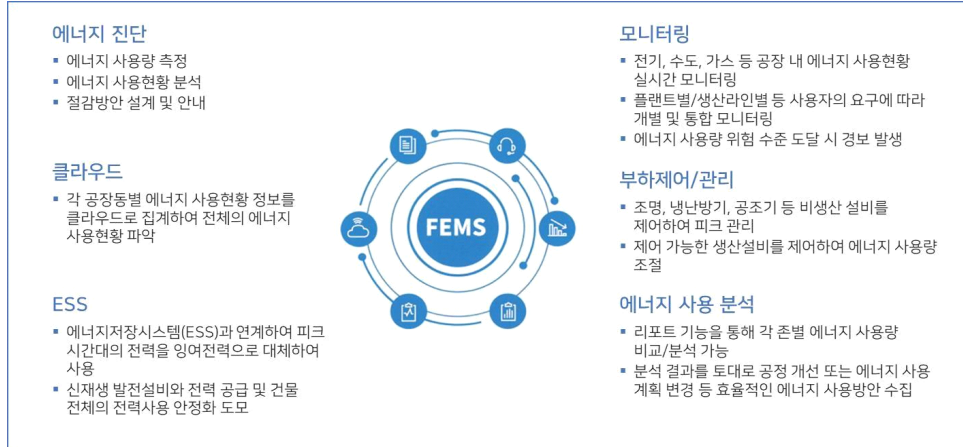
스마트공장 구축시 함께 투자할 수 있도록 투자 수요 및 산업육성 기반으로의 조성을 적극적으로 권장 해야 한다.

과거에 확산된 표준화 관련 움직임이 활발할 때 건물에너지관리시스템 (Building Energy Management System, BEMS)의 에너지 Modeling, Analysis, Control이라는 큰 카테고리 기능은 유사하지만, 건물과 비교할 때 다양한 생산에 연관된 에너지 사용 시설들을 모니터링하고 통제한다는 점에서 차별화된다. 공장에너지관리시스템에 따라 생산 휴지 시간에 작동하는 생산설비를 발견하고 그 비효율적 소비전력을 절약 함으로써 높은 에너지 절감을 창출하는 사례가 많다. 공장에너지관리시스템은 시스템 기능 차원에서 기본적으로 BEMS 기능이 포함되며, 여기에 훨씬 큰 비중으로 [그림2-12]의 에너지 소비가 가장 많은 생산설비의 가동 및 에너지 사용 부분이 추가되므로 생산설비 에너지 사용량을 모니터링, 관리하며 에너지 사용량을 통제하는 기능이 추가된다. 또한, 건물 에너지의 경우 건물의 용도에 따라 부하원인별 에너지 사용량 비율의 차이가 발생할 수 있고,

사용하는 에너지 절감 요소는 냉난방 및 조명 등이 대부분이나, 산업분야에서 특히 에너지 소비가 큰 제조산업을 일례로 보면 상황이 상이하다. 또한, 건물에너지 사용의 경우 건물 용도에 따라 부하 원인별 에너지 사용량 비율에 차이가 있고, 사용하는 에너지원의 절감 Factor는 냉난방과 조명이 대부분이지만 산업분야 중에서 에너지 소비가 가장 많은 제조 산업의 자료를 보면 상황에 차이가 있다.

FMES의 주요 기능 [그림 2-13]은 에너지 사용량 측정, 분석 관련 진단기능, 각 에너지별 모니터링 및 가시화 기능, 제어관리 및 에너지절감 기능 등으로 구성으로, 최근 탄소중립이 무역장벽 요소를 작용함에 따라 기업에서 에너지 사용량 절감을 통한 탄소배출량 감소가 필요한데 FMES는 에너지 사용량 모니터링을 통한 개선의 기회를 제공하고 있다.

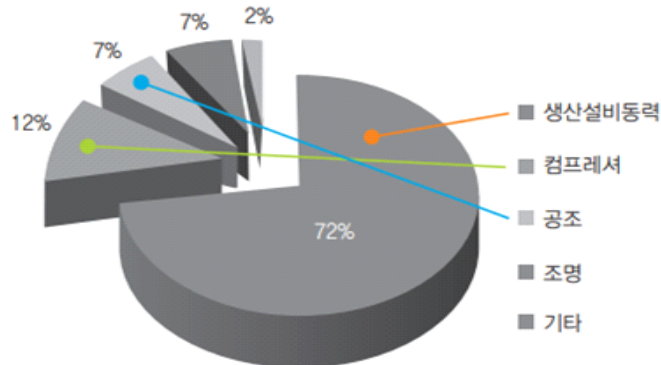
FMES의 주요기능 [그림 2-13]을 살펴보면 다음과 같다.



[그림 2-13] 공장에너지관리시스템(FEMS)의 주요기능

출처: 스마트제조혁신추진단(www.smart-factory.kr) 및 한국표준협회(www.ksa.or.kr)

제조 산업은 업종에 따라 부하의 원인별 에너지 사용량과 종류에는 차이가 매우 크고 [그림 2-14]에서 나타나는 바와 같이 공조나 조명 등 BEMS 영역 보다는 생산설비와 유틸리티가 대부분을 차지한다.



[그림 2-14] 공장에너지 사용량 분포도

출처: 정보통신산업진흥원 (www.nipa.kr)

중소제조산업에서 이러한 생산설비는 생산성 증대는 물론 품질 개선, 생산 안전성 확보라는 전제 조건 하에 가동되며, 작업 스케줄 및 이에 따른 에너지

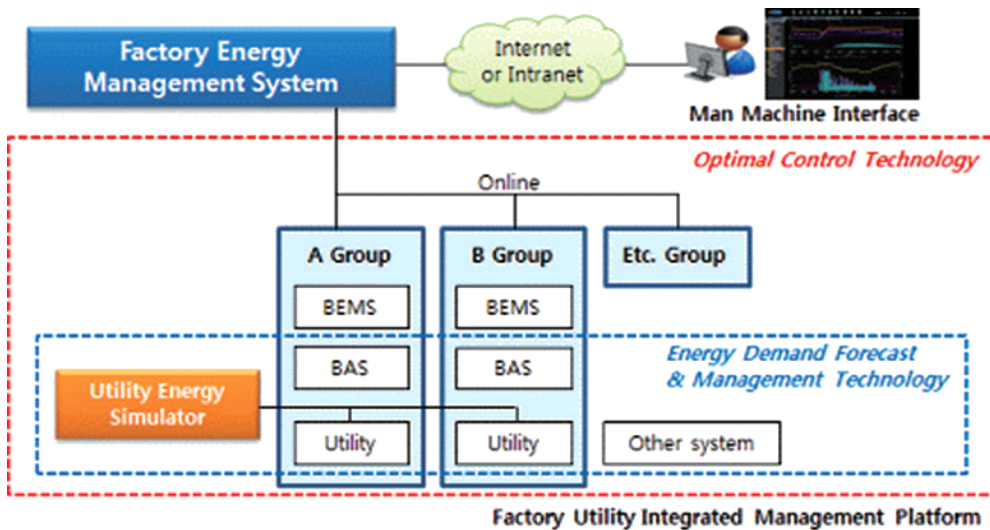
사용량 변화와 직결되는 생산설비 가동률은 매출과 직결되는 핵심 사안 이기도 하다. 따라서 일반적으로 에너지 절감 필요정보다는 생산성과 안전성 유지라는 치명적인 위험관리 레벨이 요구되는 생산설비에 대한 공장에너지관리시스템은 적용 조건이 매우 까다롭고 고도의 기술과 안전성 지속이 요구된다. 또한, 적합한 에너지 공급에 따른 설비 고장 예방과 설비 오, 부동작 개선 및 불량 개선을 통한 품질 개선 효과를 지니므로, 공장에너지관리시스템은 단순한 에너지 절감 차원이 아닌, 제조업 생산성과 품질 향상에 따른 경영성과 개선과 직결되는 중요 사안임을 알 수 있다(김철우 외, 2015).

2) 공장에너지관리시스템의 구조

제조 산업 분야의 생산설비는 효율증대, 생산성 증대, 생산품질 유지, 생산 안전성의 확보라는 필수 전제 조건하에 가동되며 조업스케줄 및 그에 따른 에너지 사용량의 변화와 직결되는 생산설비의 가동률은 또한 매출과 직결되는 중요한 사안이기도 하다. 따라서 중소제조기업의 입장에서 본다면 에너지 절감보다 생산 효율성, 안전성 유지의 중요성이 높은 특별한 산업의 치명적인 위험관리 레벨이 요구되는 생산설비에 대한 공장에너지관리시스템은 구축 조건이 매우 까다로워 고도화 기술과 안전성을 유지해야 하는 요구가 많다. FEMS가 산업 환경에서 에너지 효율성은 중요한 고려 사항으로, FEMS가 이를 향상시킴으로써 기업들이 더 높은 수준의 지속 가능성을 달성할 수 있음을 제시한다(김말희, 허태욱, 이일우. 2021). 공정 내의 에너지 흐름과 사용패턴을 분석하여 에너지 효율을 향상시키는 FEMS의 성능을 향상시키기 위해 공정에서 발생하는 에너지의 흐름을 정확하게 모니터링 하는 FEMS는 공장 내 에너지 사용을 최적화하고 효율적으로 관리하는 데 도움이 된다(김소연외, 2023). IoT 기반의 실시간 Energy Used Data를 수집하고 분석하는 시스템에 대한 개발을 통해 에너지 효율성을 높이고 에너지 소비에 대한 인사이트를 얻을 수 있다(황현숙, 서경원. 2019). FEMS는 공장 내 에너지 사용을 모니터

링하고 효율적으로 관리하는 시스템으로, 이를 통해 에너지 비용을 절감하고 환경에 미치는 영향을 최소화할 수 있는 가이드는 FEMS의 설치와 운영에 관련된 다양한 측면을 다루고 있으며, 산업분야의 에너지 효율화에 기여한다(한국에너지공단 산업에너지실, 2015).

한편, FEMS 적용을 통해 에너지 효율화 성과창출이 가능한 보다 접근이 용이한 요소로서 냉각원(물, 대기공기)과 가열원(화염, 스팀) 및 동력원(전기, 스팀)으로 구성되는 것들이 있다. [그림 2-15]와 같은 공장의 각종 유틸리티의 에너지 최적화를 위한 시스템의 연구개발과 실증은 활성화되어 진행 중이며 사업성과와 안정성이 검증되어진 제조생산 공정의 에너지효율화 기술과 함께 융합되어 개발이 진행 되어질 예정이다.



[그림 2-15] 공장에너지관리시스템(FEMS) 구성도

출처: 스마트제조혁신추진단(www.smart-factory.kr) 및 한국표준협회(www.ksa.or.kr)

IoT 기술을 활용한 공장의 에너지 사용량을 실시간으로 모니터링과 관리로 에너지 효율성을 향상시키는 방안을 제시하여, 소규모 공장들도 에너지 관리에 효과적으로 대응할 수 있는 기술적 솔루션을 제공한다(김번주, 2019).

3) 공장에너지관리시스템의 도입 현황

국내는 2011년 이후 ‘IT기반 ESCO 시범사업’을 기반으로 공장에너지관리시스템 보급사업을 시작하여 에너지 절감과 효율개선에 대한 에너지 관리 사례 및 모델을 발굴하여 지원 중이다. 산업통상자원부와 정보통신산업진흥원이 ‘2013년 국내 EMS 도입현황 실태조사’를 이용하여 [그림 2-17]에서와 같이 국내 FEMS 시장이 2017년 8,535억 원에서 2020년 1조 4,942억 원으로 연간평균 28.40%로 성장할 것으로 예측했다. 이번 실태조사에서 에너지관리시스템의 보급현황을 살펴보면 지난해 기준 50인 이상 공장 중 4.90%(147/3,000개)가 에너지관리시스템을 구축하고 운영중에 있고, 건물에너지관리시스템은 2.97%, 공장에너지관리시스템은 5.11% 구축 수준으로 집계됐다. 에너지관리시스템 도입기업(147개)의 평균 도입비용은 1억4200만원이며, 공장에너지관리시스템의 도입비용(2억1600만원)이 건물에너지관리시스템의 도입비용(9600만원) 대비 2배 이상 많다고 집계 되었다.

현재는 공장에너지관리시스템의 도입 현황은 아직은 초기단계이나, 향후에는 국내 총 에너지 사용량의 43.50% 비중을 차지하는 에너지를 많이 소비하는 기업(철강, 시멘트, 석유, 화학, 펄프,제지 및 비철금속류 등)을 중심으로는 도입이 확산될 것이라 예측된다. 그리고 기존의 생산 공정 개선을 통한 절감 방법 이외에도 공장설비에서는 공장에너지관리시스템의 기술을 적용한 에너지 수요관리 필요가 인식됨에 따라 관련 공장설비 기술의 연구개발과 공장에너지관리시스템과의 기술융합의 가속화가 빠르게 움직일 것으로 보고 있다. 중소제조기업의 구축 현황을 보면, 국내는 공장에너지관리시스템의 적용은 아직 초기 진입 단계인 실정으로 솔루션 기반의 유관 기업을 중심으로 일부 구축사례를 확보하고 있으나, 대기업들은 계열사 중에 IT기업들을 중심으로 그룹 내에서 구축사례를 참고하고 FEMS사업을 활발히 전개하고 있다.

공장에너지관리시스템(FEMS)은 [그림 2-16]에서 설명한 것 처럼 Monitoring-Analysis(현황분석)-수요예측-시뮬레이션(Simulation)-최적화 순으로 하여 에너지관리 프로세스 순으로 구축되며, 기능적 측면에서는 공장설

비의 정보를 Gathering하는 기기·설비 취합 물리계층과 수집한 정보를 이용하여 에너지 절감을 실행하는 운영단계(Operation Level), 개선할 과제와 성과의 관리로 이루어지는 관리단계(Management Level)로 구성되어 진다.



[그림 2-16] 에너지관리 프로세스

출처: 김철우, 김진, 김석민, 황현태, 설비저널 제 44권 2015년 1월호 P25

아울러, 공장자동화시스템내에서 FEMS는 [그림 2-17]와 같은 계층 구조를 이루고 있는데, 전사적 자원관리(ERP)¹³⁾, 공급망관리(SCM)¹⁴⁾, 제품수명관리(PLM)¹⁵⁾, 고객관계관리(CRM)¹⁶⁾ 등으로 구성된 상위시스템에 비해 인간과 기계의 인터페이스(HMI)¹⁷⁾, 감시·제어데이터 수집시스템(SCADA)¹⁸⁾, Excel 관리장부 등을 이용하고 있는 하위시스템은 통상적으로 상위시스템에 비해 정보 활용기술이 10~20년 정도로 뒤쳐져 있다고 할 수 있다.

13) ERP : Enterprise Resource Planning

14) SCM : Supply Chain Management

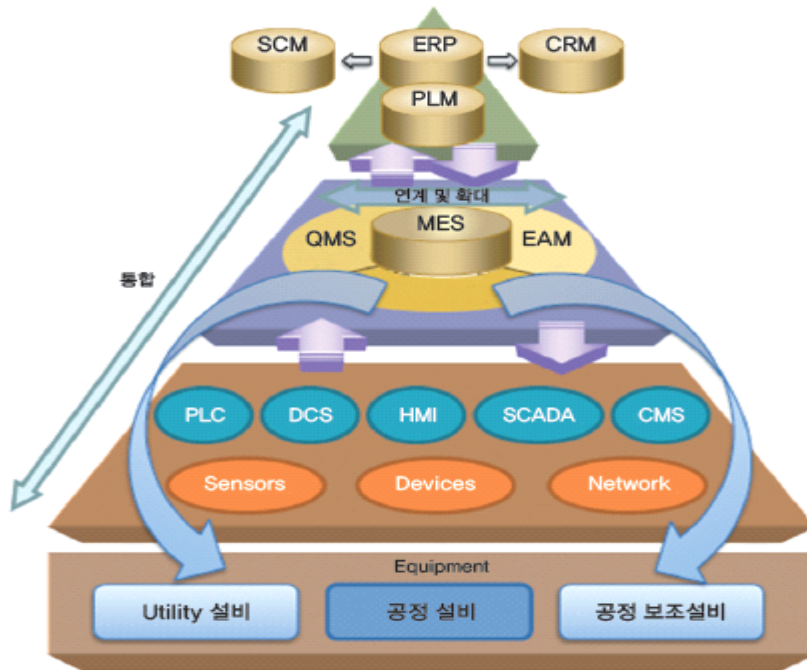
15) Product Lifecycle Management

16) Customer Relationship Management

17) Human Machine Interface

18) Supervisory Control and Data Acquisition

공장에너지관리시스템은 이런 상위시스템과 하위시스템 간의 중간에서 전체 시스템을 연계 또는 확대하는 역할을 수행하게 되어 적용하는 공장의 에너지 원인별로 절감기술은 [그림 2-17]과 같다.



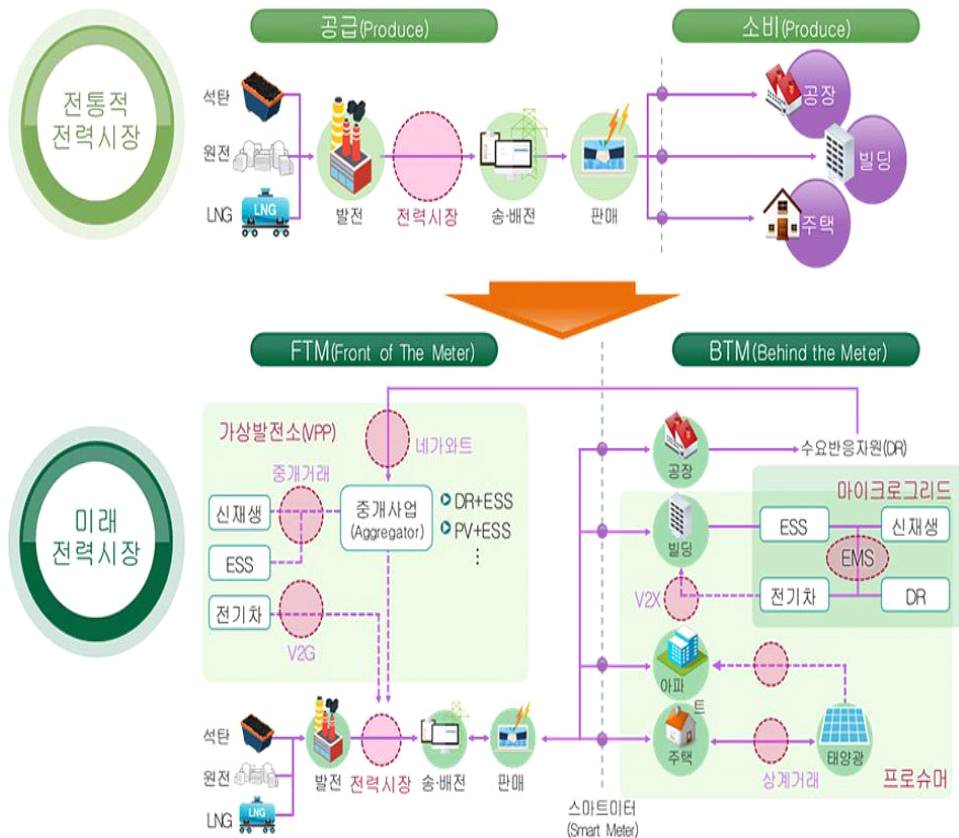
[그림 2-17] 공장자동화시스템 및 FEMS계층구조도

출처: 김철우, 김진, 김석민, 황현태, 설비저널 제 44권 2015년 1월호 P25

공장에너지관리시스템은 공장설비의 제어와 관리에서 부분적으로 발전한 수준을 넘어 설비와 IT의 융합기술을 통한 정보시스템과의 통합으로 사무실과 현장의 동기화를 이루는 시스템으로 간주 할 수 있고, 공정별로 원단위 분석, 실시간 에너지 Monitoring, 설비조건제어를 설정, 통합 모니터링 및 자동제어 기술로 구성된 국내 FEMS 적용 구축하는 사례들이 중소제조기업에는 많이 있다.

이러한 에너지원별 사례들을 정리하여 [그림 2-18]과 같이 전통적 전력시

장에서는 공급과 소비로 구분하지만, 미래전력시장에서는 FTM(Front of The Meter)와 BTM(Behind The Meter)로 구분하여 공장에너지원별 절감 기술들을 적용해 가고 있다.



[그림 2-18] 공장에너지원별 절감 기술

출처: 스마트그리드표준화포럼 (www.ksga.org)

우리나라는 IT부문에서 세계적인 수준이라 할 수 있는데 IT기술과 연관되어 선진국에서 적극적으로 활용을 검토하고 있는 양방향 정보전달 체계인 스마트그리드의 활성화가 필요하다(주성규, 2010).

4) 정부지원의 에너지수요관리

에너지 수요관리(Demand Side Management of Energy)란 에너지절약 및 효율, 부하관리(Load Management), 연료대체를 효율적으로 시행하기 위하여 에너지 소비 행태의 변화를 유도할 수 있는 에너지공급자의 일련의 계획과 수단이다(에너지경제연구원, 2013).¹⁹⁾

2015년 12월 제21차 기후변화협약에서 파리협정(Paris Agreement)이 체결됨에 따라서, 2021년부터 한국을 포함한 197개 당사국의 온실가스의 감축 실천이 의무화되었고, 우리나라는 2030년 온실가스 배출량을 기준 전망치(BAU20)) 대비 37%를 감축하겠다는 목표를 국제사회에 발표했고, 전 세계적의 온실가스 배출량 감축 의무로 우리나라도 에너지수요관리 정책의 중요성은 커져가고 있다. 또 에너지효율이 “첫 번째 연료(first fuel)”로 칭해질 정도로 에너지서비스의 핵심 요소로 간주되고(IEA, 2014), 에너지 전문가들은 여러 온실가스 저감 수단 중 가장 비용효과성이 우수한 수단으로 에너지효율을 올리는 것을 주목하고 있다(외교부 기후변화외교과, 2017).

중소기업이 국제 시장으로 진출하는 과정에서는 다양한 환경적 요인들이 존재하는데, 그 중에서도 환경 불확실성에서 정부지원이 중소기업의 국제화 전략과 성과에 미치는 영향 도움이 된다(이우후이, 2014). 산업 부문에서의 전력 에너지 사용에 대한 투자 패턴을 조사하여 효율적인 에너지 관리를 위한 인센티브 제도를 개선을 통해 에너지 절약을 촉진하고 에너지 비용을 절감하는 데 기여함으로써 산업 부문의 지속 가능한 발전을 촉진하는데 기여한다(박지용·이성인, 2021). 대우정보시스템에서 국제표준을 적용한 FEMS 아키텍처와 적용 사례는 FEMS는 공장 에너지 관리 시스템을 의미하며, 국제표준을 준수하여 구축된 FEMS 아키텍처를 제시한다(차석근 외, 2015). 자동차 부품 공장에서 FEMS 구축이 에너지 절감에 기여한다(최문홍, 2015). 공장의 에너지 사용량을 모니터링하고, 베이스라인 분석을 통해 공장의 에너지 효율

19) 에너지 수요관리 체계확립 방안, 에너지경제연구원 (2013)

성을 평가하고 개선할 수 있는 기술적 방법을 제시한다(한상윤, 2015).

최근 미국, 유럽연합 등 주요국들은 에너지수요관리(EMS)부문 정책 강화를 위해서 온실가스 감축에 적극 동참하고 있으며, 에너지수요관리(DR) 분야에서도 기술혁신과 신산업의 출시가 활발하다고 볼 수 있다. 2015년 기준 전 세계 에너지효율 투자액은 3,100억 달러에 달하는데, 이는 신재생에너지 발전이나 화석연료 발전에 비해 높은 수준이다(IEA, 2015).

문헌적 고찰에서 정부는 “제2차 에너지기본계획”을 기반으로 공급관리 중심에서 수요관리 중심으로의 정책의 전환을 공표한 후, “제5차 에너지이용 합리화 기본계획”과 “기후변화 대응을 위한 에너지 신산업 및 기술개발 전략”의 발표하고, 정부 재정투입 및 규제중심 수요관리에서 시장 중심의 수요관리 기준으로 이행하기 위한 세밀한 실행계획을 제안하였다. 정부는 에너지 절약을 통해 수익을 창출하는 에너지 신산업을 육성하여 기후변화에 보다 적극적인 자세로 대응할 뿐만 아니라 新성장동력 창출 및 개발에 노력하고 있다. ‘에너지’는 「에너지법」 제2조에서는 “연료, 열, 전기를 말하며 연료란 석유, 가스, 석탄, 그밖에 열을 발생하는 열원(熱源)을 의미한다”라고 정의하며, 「국제표준ISO/IEC 13273-1」에서는 “외부 활동을 만들어 내거나 일을 수행하는 시스템 능력”으로 정의하고 있다. 아울러 에너지는 자원의 형태부터 최종 소비단계의 형태까지 단계별 형상에 따라 1차 에너지와 최종에너지로 구분할 수 있는데, 1차 에너지는 변환이나 가공의 과정을 거치지 않고 자연으로부터 직접 얻을 수 있는 에너지로 석탄, 석유, 천연가스, 우라늄, 신재생에너지(태양광, 풍력 등)를 의미하며, 최종에너지는 에너지소비 부문에서 사용하기 편리하도록 1차 에너지를 변환, 가공한 에너지로 연탄·코크스 등 석탄 가공제품, 휘발유·경유 등의 석유제품, 도시가스, 전력, 열 에너지 등을 의미한다(한국에너지공단, 2020).

에너지수요관리는 1980년대 미국에서 공급과 수요를 동일 자원으로 간주하면서 “전력회사가 소비자에게 전력공급을 위해서 발전소를 추가로 건설하는

것보다 수요를 절감하는 것이 비용 효과적”이라는 인식의 확산과 함께 등장하였으며, 이후 그 대상을 ‘연료, 열’까지 확대하고 에너지사용자에 대한 이용 효율 향상을 통해 수요관리가 이루어지게 되었다(에너지경제연구원, 2013) 집단에너지 정책을 둘러싼 행위자 모두가 최근 일련의 에너지 요금 사태에 대해 임시 방편적인 해법을 구할 것이 아니라 본격적인 에너지 수요관리 추진의 ‘결정적 국면(critical juncture)’임을 인식하고 실질적인 에너지전환의 모색과 성과 창출을 위해 노력할 것을 제안한다(박은숙, 2023). 한국이 제시한 온실가스 감축목표를 달성하기 위하여, 에너지 신산업 육성을 위해 기반적인 부문을 조성하는 에너지수요관리 정책의 강화는 필수 불가결한 일이 되었다. 에너지수요관리 정책은 에너지절약 정책(energy conservation policy)이나, 에너지효율 정책(energy efficiency policy)으로 지칭되기도 한다. 에너지는 난방, 조명, 동력 등 에너지 서비스(energy service) 생산의 투입요소이다(Gillingham et al., 2009). 정부의 에너지 정책 변화로 DR, ESS, 스마트미터 등 다양한 스마트 그리드 기기들이 건물과 공장에 도입되고 있다. 산업체의 경우 전기절감, 특히 피크요금 절감은 필수적인 요소를 관리해야한다.(이충재, 2020), FEMS는 공장이나 시설의 에너지 사용을 모니터링하고 최적화하기 위한 시스템으로, 이를 통해 에너지 소비를 줄이고 생산성을 향상시킬 수 있다(전영수, 2018). 정부의 에너지수요관리 정책에서 에너지 수요 관리가 에너지 사용량을 최적화하여 에너지 소비를 효율적으로 관리하게 하는 지원과 정책을 제시한다(주성규, 2009). 기술적 관점에서는 에너지효율은 에너지서비스의 양 대비 에너지투입 비율로 정의될 수 있으며, 자동차의 연비 등의 개념으로, 기술적 에너지 효율은 주로 제품 수준에서 정의되고(Jaffe et al., 2004), 그 개선은 자본의 에너지 대체를 통해 이루어진다.(Kim & Heo, 2013) Hirst & Brown(1990)은 에너지의 효율격차에 대한 원인이 행동의 장애요인(behavioral barrier)과 구조의 장애요인(structural barrier)으로 구분하며 제시하였다.

본 연구자는 여러 학자들이 에너지효율 격차의 원인을 찾기 위해, 에너지효율 격차가 정부개입을 통해서 해소가 될 수 있는지, 어떠한 정책 수단 등이

효과적인지에 대해서 연구를 시작 (Levine et al., 1995; Jaffe et al., 2004; Gillingham et al., 2009; Linares & Labandeira, 2010 ; IEA, 2010 ; Pollitt & Shaorshadze, 2011).한 이들 연구를 종합하면, 에너지 효율에 대한 격차에 대한 원인은 기술의 확산(technology diffusion)에 대한 특성, 시장불완전성 (market imperfections), 인간의 제한적인 합리성으로 인한 행동특성으로 나누고, 이를 정리하면 [표 2-1]과 같다.

[표 2-1] 에너지효율에 대한 격차의 원인

상위의 요인	하위의 요인
시장의 불완전성	① 에너지 가격에 대한 왜곡 ② 정보에 대한 부족 ③ 공급자-대리인의 문제 ④ 자본시장에 대한 불완전성
기술의 확산 특성	① 편익의 불확실성과 투자에 대한 비가역성 ② 사용하며 학습 ③ 실행하며 학습
행동의 특성	① 손실회피적인 의사결정의 오류 ② 쌍곡할인을 ③ 현상유지에 대한 편향 ④ 휴리스틱 기반의 의사결정 ⑤ 의사결정자들의 내적성

출처: 이근대, 수요예측반응을 고려한 실시간 전력요금제 도입 연구, 에너지경제연구원, 2010.

에너지 수요관리 정책은 다각적인 연구가 필요하다. 최근의 러-우쿠라 전쟁의 파급효과와 지속적인 고유가 및 전력수급불안 및 온실가스 감축을 위한 기후변화 대응에 대한 대내외적인 요건으로, 에너지수요관리의 중요함과 정책 강화의 필요함이 중요한 상황에서, 그동안 안정적으로 수요관리정책을 추진하기 위해 산업 전 분야별로 체계화된 인프라의 구축, 전략의 개발이 필요한 것으로 모색 하였다. 현 정책을 재점검 하여 규제뿐만이 아니라 국민들이 스스로 적극적인 에너지절감 활동에 동참 할 수 있도록 에너지절약을 위한 정부 지원과 분야별 플랫폼 개발과 확대가 필요하다. 현재 정부는 에너지 수요관리에 계속적으로 재정투자를 추진 중에 있으나, 각 부처별로 중복 투자의 우려와 주요선진국들의 투자규모에 비해 부족한 상태이며, 계속적인 투자 및 지원의 확대가 요망되는 것으로 모색 하였다.

5) 산업별 에너지수요관리의 정부지원 정책

에너지경제연구원(2013)은 에너지수요관리 정책을 산업, 수송, 건물, 기기, 기반조선(기타)의 5가지로 분류하고, 분류체계를 부문별 정책현황을 파악하는데에는 도움이 되지만, 각 정책의 목표와 정책수단을 일목요연하게 파악하는 어려운 실정으로 전문가들은 현행 에너지절약/에너지수요관리 정책들을 목표에 따라, 정책유형에 따라 구분하는 정책 분류체계가 필요하다고 지적한 바 있다(에너지경제연구원, 2013).

산업부문 에너지 수요관리 지원 정책은 다음과 같이 9가지 유형으로 실행되는 것으로 볼 수 있다.

첫째, 온실가스·에너지 목표관리제가 국가 온실가스 감축목표 감축되기 위해서 2010년에 도입되어,²⁰⁾ 온실가스 배출량이 많거나 에너지의 소비량이 많은 기업을 관리업체로 지정하며, 지정된 각각의 기업에서 온실가스 배출량과 에너지 사용량에 관한 감축목표를 부과한 후 이행실적을 검증·관리하는 제도로, 관리대상은 「저탄소 녹색성장 기본법」 및 환경부고시 「온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침」에 따라 온실가스의 배출량 또는 에너지의 소비량에 근거로 지정하고, 목표를 달성 미달시 과태료가 부과된다.

둘째, 배출권거래제는 관리기업 중 환경부가 고시한 ‘온실가스 배출권의 할당, 조정과 취소에 관한 지침’을 기초로 해당하는 기업을 온실가스 배출권의 할당 대상 기업으로 지정, 관리하는 제도로 이 할당기업은 정부에게 부여받은 배출권의 할당량 안에서 생산제조활동과 온실가스의 감축활동을 하고 부족한 허용량과 남는 허용량을 배출권시장에서 거래할 수 있도록 허용 하고 있다.

셋째, 대·중소기업 동반녹색성장 협력사업은(GGP28)) 기술과 인력이 부족한 중소기업에게 대기업의 에너지관리의 기법을 공유하게 하는 사업으로 중소기업

20) 온실가스 종합정보센터, www.gir.go.kr

업의 에너지의 절약 기술을 향상시키고, 기업의 경쟁력을 강화하며, 상생 성장을 도모하는 취지의 사업이다.

넷째, 에너지경영시스템 보급 사업은 스마트공장 에너지관리시스템을 구축하는 사업이다.(에너지이용 합리화법 시행규칙 제26조의2). 한국에너지공단은 기업체들의 EMS 구축·활용을 장려하는 측면에서 Monitoring System 구축, 기반구축 Consulting, 계측 Infra 등을 지원하고 있으며, 공단에서는 EMS를 구축하고, 활용하고 있는 사업장을 대상으로 EMS 도입 성과에 대해 정량적으로 측정할 수 있는 있도록 성과의 운영에 대한 평가방법을 제시하고 있다.

다섯째, 기업이나 건물에 대해 에너지이용에 대한 효율 현상과 효율성 개선에 관련한 정보를 수요자에게 정확히 파악할 수 있도록 정부는 에너지진단제도를 운영 중이며, “에너지진단제도”의 주요 요지는 설비별로 운전의 최적화를 하여, 에너지절감으로 기업의 경쟁력을 확보하고, 배출권거래제와 목표관리제와 같은 외부환경 변화에서의 대응하기 쉽게 하는 것으로 정부가 에너지진단 실시와 면제대상을 지정하고, 진단결과를 근거로 “에너지관리지도”를 제공하여, 중소기업의 에너지진단 비용부담의 줄여주기 위해 진단비의 일부를 지원하고 있다.

여섯째, “Energy Supporter” 지원사업은 에너지전문가를 통해 연간 에너지사용량이 5백~2천TOE의 수준인 중소기업을 방문케 하여 에너지소비의 실태를 조사 후 맞춤형으로 절약을 위한 기술을 소개하는 기술지도 사업이다.

일곱째, 일정규모 이상 에너지를 사용키 위해 시설을 도입하려는 기업에게 에너지사용계획을 사전에 수립하도록 정부와 협의 하도록 하는 제도이다.

여덟째, “에너지의 사용량에 대한 신고제”는 정부가 수요파악 측면에서 에너지소비 현황을 주기적으로 파악하기 위해, 에너지 과소비 기업(연간 에너지사용량 2,000 TOE 이상) 대상으로 설비현황과 에너지이용 실적, 계획 등의 정보를 수집하는 제도로 전년도의 분기별 에너지이용 합리화 실적 및 해당연

도의 분기별 계획, 에너지관리자 현황에 대해 매년 1월 31일까지 에너지의 사용시설의 관할 시·도지사에게 신고하는 제도이다.

아홉째, 정부는 기업의 자발적인 에너지절감 노력에 대해 자발적 협약의 확대를 위해 자발적으로 협약을 체결한 업체를 대상으로 에너지를 절약하려는 노력에 대해서 에너지진단 비용 면제하는 인센티브를 제공하고, 제5차 에너지이용 합리화 기본계획에 따라 분산형 전원 확충을 위해 전력 과다 소비기업들과 자가발전예 대해 자발적 협약을 추진 중이다.

제 4 절 공장에너지관리시스템의 운영요소

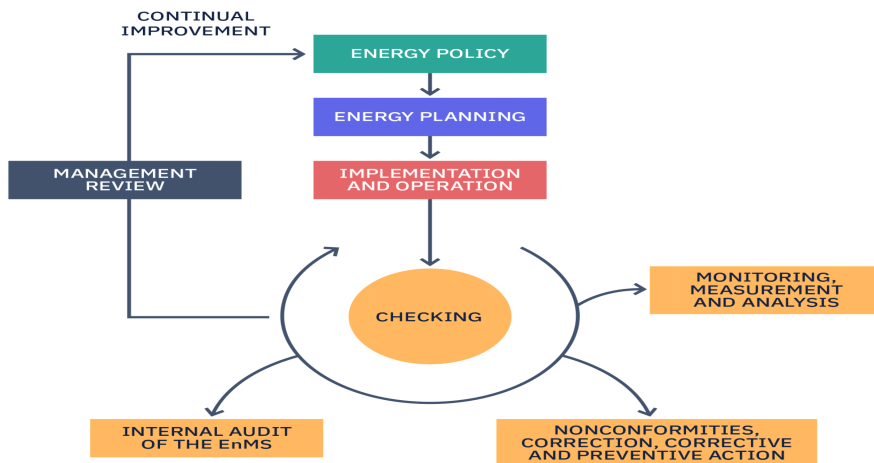
1) 공장에너지관리시스템 운영 요소

스마트공장의 일부인 에너지관리시스템(EMS) 운영에 대한 초기 연구들은 경제적 사항에 치중한 복합적 운영기준이 필요성에 대한 연구로, 주로 시스템의 유용성과 성능과 관련한 연구가 주류를 이루고 있다(Myers et al., 1997), 측정에 있어 경제적 가치를 정보시스템을 통해 찾고자 하였으며, 서로 다른 의미의 운영 요소를 가지고 정보시스템의 비재무적인 가치를 측정하였으며(Gallagher, 1974), MIS의 인지와 시스템과 시스템 사용에 영향을 미치게 되는 외생 변수, 시스템 사용, MIS에 대한 태도 등의 4개의 변수로써 정보시스템으로부터 관리자가 요구하는 정보를 결정짓게 되는 주요 요인을 찾고자 했다(Schewe, 1976), 1980년대에 들어와서, 사용자의 만족도를 측정 변수로 하는 연구가 활발하게 진행되어 정보시스템 기능평가 시에 사용자들을 포함하는 아이디어를 소개하면서 사용자의 만족도와 사용자 태도에 관한 연구(Lucas, 1972) 이후, 사용자의 만족도에 대한 측정하였다(Bailey & Pearson, 1983), 또한, 측정방법에 있어서 상당한 수준의 타당성 및 신뢰성을 확보하였고, (Ives & Olson(1984)와 Baroudi & Orliowski, 1988)에 의해서 통계적 유용성이 검증되었고, Bailey & Pearson(1983)의 확정된 39개 항목은 정보시스템을 운영요소에 변수로 사용 되었다. 기존의 문헌들을 고찰하여 운영요소 대상의 영역을 세 부분(시스템영역, 사용자영역, 조직영역)으로 나누어서 정보시스템 성과 연구에서의 개념적 모형을 제시하였다(DeLone & McLean, 2002). 이 모형을 ‘DeLone & McLean의 IS Success Model’이라고 하지만 이 모형은 프로세스 모형과 인과모형이 혼재되어 있어 측정의 의도가 명확하지 않으며, 정보시스템 만족도의 대리변수로서 정보시스템 사용도 변수가 적합하지 않는 등의 문제점이 있다(정해용, 김상훈, 2002), 정보시스템의 포괄적 운영요소의 평가모형에 있어서는 시스템 영역에 ‘서비스의 질’을 전적으로 포함시켜야 한다는 연구가 제기되었다(Kettinger & Lee, 1994), 한편, Kaplan & 전통적인 재무적 평가방법에 관한 보완으로 경영자들에게 전략적이면서 중

합적인 비전을 갖게 해주는 균형성과표인(BSC32)를 제안하였다. 균형성과에 대한 표는 재무적 측정치와 조직의 학습 및 성장측면, 고객측면, 기업 내부 프로세스측면과 비재무적 측정 항목들이 포함되어 있다. 이는 재무적 측정지표는 조직 내부, 외부의 수많은 요인들이 결합되어서 작용하기 때문에 정보기술만의 성과를 떼어내어 측정할 수 없는데 많은 한계를 가지고 있어서, 재무적 지표의 한계점을 극복하기 위해서 정보시스템의 운영을 위한 측정지표의 설정에 있어서 가장 많이 활용되고 있다(L. Jesus, Ridder, 2018).

2) ISO의 에너지경영시스템

ISO에서 에너지경영시스템 운영에 대한 평가는 PDCA 사이클을 쓴다. PDCA는 어떠한 목적을 위해 기획한 내용(Plan)을 실제로 이행하고(Do), 이행한 내용을 평가 및 확인(Check)하여 개선활동(Action)하는 과정이다(이정하, 2016), 기획(Plan)에서는 에너지기획, 경영책임 및 방침을 수행하며, 실행과 운영(Do)에서는 문서화, 교육훈련과 인식, 의사소통, 에너지 서비스·제품, 운전관리, 설계, 장비 및 에너지의 구매를 실행하고, 성과점검(Check)에서는 준수, 모니터링, 측정 및 분석, 내부심사, 기록 관리, 시정조치 및 예방조치를 한 후, 마지막으로 개선활동(Action)을 한다.



[그림 2-19] ISO 50001 프로세스 모델

출처: 한국표준협회 KS A ISO 50001→2011년 에너지경영시스템, (2011).

그리고 KS A ISO 50001 : 2011 에너지경영시스템의 프로세스 [그림 2-19] - 사용지침을 포함한 요구 사항에서는 PDCA 내용을 아래 [표 2-2]와 같이 정의하고 있다.

[표 2-2] 에너지경영의 PDCA 내용

기획(Plan)	에너지사용에 대해 검토를 수행하고, 조직에서 정한 에너지 방침에 맞게 에너지 성과를 개선하여 결과를 달성하는 데 필요한 요인과 에너지 성과지표(KPI), 목표와 세부목표 및 실행을 위한 계획 수립
실시(Do)	에너지 사용에 대한 경영 및 실행 계획의 수립
점검(Check)	에너지방침과 목표를 기준으로 에너지성과를 결정하는 절차(Process)와 그 운영의 주요 요인들을 Monitoring, 측정과 결과보고
조치(Action)	에너지사용의 성과와 에너지경영시스템(EMS)를 계속 개선하기 위한 활동

출처: 한국표준협회 KS A ISO 50001→2011년 에너지경영시스템, (2011).

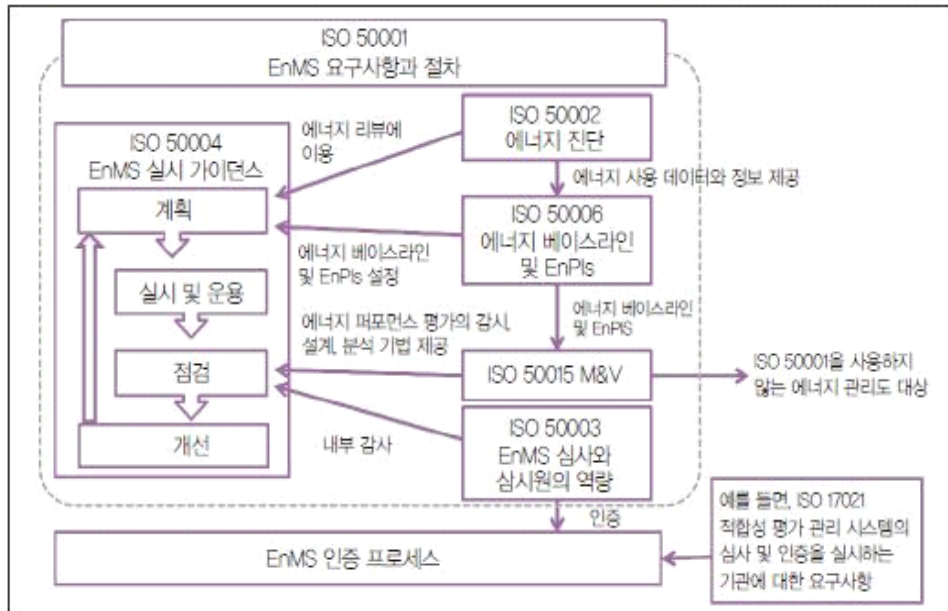
KS A ISO 50001 규격에서는 ①적용의 범위 ②인용의 표준 ③용어 및 정의 ④ 에너지경영시스템의 요구사항, ⑤ 부속서A와 부속서B로 구성되어 있다. 특히 에너지경영시스템 요구사항을 상세히 보려면, [표 2-3]과 같이 에너지경영시스템이 요구하는 사항에서 중분류로는 7개 항목으로 구성되며, 세부항목으로는 25개의 소분류 세부항목으로 구성된다.

[표 2-3] 에너지 경영의 요구사항

대분류	중분류	소분류
Plan	일반사항	일반사항
	경영책임	최고경영자, 경영대리인
	에너지방침	에너지방침
	에너지기획	일반사항, 법규 및 기타 요구사항, 에너지 검토, 에너지 기본Factor, 에너지의 성과지표, 에너지의 목표, 세부적인 목표, 실행적계획
Do	실행 및 운영	일반적 사항, 적격성, 교육의 훈련, 인식, 의사소통, 문서의 관리, 운전에 대한 관리, 설계관리, 에너지에 대한 서비스, 제품, 장비와 에너지 구매
Check	점검	Monitoring, 측정과 분석, 법규준수에 대한 평가, 내부의 심사, 부적합에 대한 시정, 시정조치와 예방조치, 기록관리
Action	경영검토	일반적인사항, 경영검토후입력, 경영검토내용 출력

출처: 한국표준협회 KS A ISO 50001→2011년 에너지경영시스템, (2011).

2008.02에 설립하여, 현재 68개국이 참여하고 있는 ISO 기술위원회 (TC33) 242는 에너지성과의 측정 및 에너지관리시스템 인증심사(ISO 50003), 검증(ISO 50015), 에너지관리시스템의 하부표준에 대한 에너지 진단(ISO 50002), 에너지경영시스템(ISO 50001) 제정 및 에너지성과의 평가(ISO 50006), 에너지경영시스템의 실행 가이드라인(ISO 50004)으로 총 5개의 새로운 기준을 마련되어 있다. [그림 2-20]



[그림 2-20] 에너지경영시스템 5개 하부 구조

출처: ISO, ISO/DIS 50004 - Energy management systems, 2014.

ISO TC 242는 기술위원회의 산하 약 290여개의 기술경영 분과위원회 중의 하나이며, ISO 50001 제정과 ISO 50001의 하부 국제 표준을 개발하고 있다. 또한 한국이 ISO 50003(인증심사) 표준개발들에 대한 프로젝트의 리더 국가이다.

이는 중소기업의 성공적인 성장을 촉진하는 요소들을 탐구하여 개선을 통해 중소기업이 경쟁력을 향상시키고 지속 가능한 성장을 이루는데 필요한 핵심 역량을 파악하는 도구들이다(고영화, 2017). 또한, 기업이 ISO 50001을

채택함으로써 어떻게 기후변화 대응 및 재무적 이점을 얻을 수 있으며, 이를 통해 기업들이 에너지 효율성을 높이고 비용을 절감하며 동시에 지속 가능한 환경 관리에 기여할 수 있는 전략적 이점이 있다(국헌정, 2017). ESG활동이 소비자들의 환경 및 사회적 관심이 높아지고 있는데, 이에 기업의 ESG활동이 소비자들의 기업평판 및 이미지 형성에 미치는 영향미쳐 소비자들의 지지를 얻고 재구매 의도를 높일 수 있는 전략적 방향을 모색할 수 있다(백내용, 2023). ESCO 업체들이 정보기술을 효과적으로 활용하여 공장 내 에너지 사용량을 모니터링하고 관리를 통해 공장 및 산업부문에서의 에너지 효율성을 증진시키고 지속 가능한 에너지 관리를 실현하는데 기여한다(산업통상자원부, 2014). 국가 차원에서의 에너지 절약은 중요한 정책 목표 중 하나로, 이를 평가하기 위한 효과적인 분석 도구를 개발하고 개선할 수 있는 방안을 모색해야 한다(이성인, 이지연, 2013).

이상의 에너지관리시스템과 관련하여 운영요소에 대한 선행연구로 본 연구에서는 스마트공장이 구축된 국내 중소제조기업의 에너지관리시스템인 공장 에너지관리시스템(FEMS)이 합리적이고 효율적으로 기능하는지에 관한 운영에 대한 운영에 대한 평가를 위해, 개별 기업의 산업별 특성과 생산공정, 사회적인 요구사항과 중소제조기업 입장에서 요구사항, 일반적으로 에너지관리를 위해 필요한 기술적이고, 관리적인 요소들과 스마트공장 환경에 특화된 시스템적인 연계성 있는 시스템 실현에 대해 구체적으로 검토를 할 수 있도록 정리되고 체계화된 운영요소에 대한 실증연구를 하고자 한다.

IoT 기술을 적용하여 에너지 소비를 모니터링하고 관리하는 시스템을 개발하는 방법과 기여할 수 있는 인사이트를 제공한다(이수진, 임상현, 최윤아, 유상오, 2021). ESS(Energy Storage System)와 FEMS(Facility Energy Management System)을 연계하여 산업용 수용가의 전력 수요를 조절하는 피크감소 제어 알고리즘으로 전력 수요 관리에 기여할 수 있는지를 분석하고, 산업용 수용가의 에너지 효율성을 향상시키는데 도움이 될 것으로 기대된다(이충재, 2020). 공장 내 에너지 사용을 모니터링하고 관리하는데 사용되는

FEMS를 활용하여 스팀 에너지의 효율성을 높이는 관리 방안을 제시하고, 에너지 효율화를 통해 공장의 생산성과 경제성을 향상시킬 수 있는 전략적 방법론을 제시한다(이효복, 2014). AEO(Authorized Economic Operator) 인증을 유지하는 데에 따른 이점과 그 영향을 분석하면, 특히, 정부의 지원 정책이 이 과정에 매개역할을 한다(장기섭, 2022).

따라서, 중소제조기업의 스마트공장 기반의 공장에너지관리시스템의 운영 항목에 대한 선행연구의 실증연구를 하여 이론적인 논의와 정보시스템 운영 요소 및 에너지경영시스템의 운영요소를 바탕으로 항목의 분류를 PDCA 사이클에 따라 운영요소를 기획(Plan)→실시(Do)→점검(Check)→조치(Action) 등의 4개의 영역으로 크게 분류하고, 이 항목에 대해 실증연구를 한 후, 정부 지원과 ESG활동에 대한 매개변수의 효과에 대해 모색하고자 하였다.

제 5 절 경영성과

스마트공장 에너지관리시스템에 대한 운영요소의 평가모델을 개발하여 과거에 중소제조기업에 시도되지 않았던 원가절감과 프로세스 혁신으로 이어 에너지를 향상시키는 수단을 제공 할 수 있다(추진영, 2018). 기업의 정보공유, 정보교류, 지식통합, 그리고 팀 효능감이 팀의 성과에 미치는 영향과 그 매개효과를 분석한다. 컨설팅 프로젝트에서 팀 협업은 매우 중요한 역할을 하는데, 이러한 팀의 협업의 요소들이 팀의 성과와 경영성과에 매개효과를 가진다(신채상, 2022).

성과지표에 대해 일반적으로 기업이 이해하는 것은 재무적지표(원가절감 수준의 향상, 제품생산량 증가)와 비재무적지표(FEMS 성과의 만족도)로 정리하면 다음과 같다.

1) 재무적 성과 지표²¹⁾

원가절감 수준의 향상 측면에서 원가절감은 조직의 운영 효율성을 측정하는 중요한 재무적 성과 지표로, 생산 및 운영 비용을 감소시키면서도 품질을 유지하는 능력을 평가한다. 이 지표는 다음과 같은 다양한 재무 KPI를 통해 평가된다.

매출총이익률은 매출에서 매출원가(COGS)를 뺀 후 남은 금액이 매출의 몇 퍼센트인지를 나타내며, 간접비용을 제외한 생산의 기본적인 수익성을 나타낸다. 순이익률은 매출에서 모든 비용(COGS, 운영비, 세금 및 이자)을 뺀 후 남은 금액의 비율을 나타내며, 회사 전체의 수익성을 평가한다. 단위당 비용은 특정 제품 하나를 생산, 저장 및 판매하는 데 드는 비용을 측정하며, 고정비와 변동비를 모두 포함한다.

21) 하버드 비즈니스 스쿨 온라인 (2020), 재무 성과 지표
(<https://online.hbs.edu/blog/post/financial-performance-measures>)

② 제품 생산량 증가

제품 생산량 증가는 조직의 생산 확대 능력을 측정하는 또 다른 중요한 재무적 성과 지표입니다. 이는 다음과 같은 지표를 통해 추적할 수 있다.

재고 회전율은 회사의 재고가 일정기간 동안 몇 번이나 판매되고 교체되는지를 나타내며, 생산 효율성과 수요 예측에 대한 통찰을 제공한다. 운전자본은 현재 자산에서 현재 부채를 뺀 값으로, 회사의 단기 재무 건전성과 운영 효율성을 측정한다.

2) 비재무적 성과 지표²²⁾

FEMS 성과의 만족도로 FEMS(시설 및 장비 관리 시스템) 성과에 대한 만족도를 평가하는 것은 비재무적 지표로서, 시스템의 효과성과 사용자 만족도를 반영합니다. 이는 다음과 같은 방법으로 평가할 수 있다.

사용자 만족도 조사는 FEMS를 사용하는 직원 및 이해관계자로부터 피드백을 수집하여 시스템 성과에 대한 정성적 데이터를 얻는다. 유지보수 효율성은 유지보수 문제 발생 빈도와 해결 시간을 추적하여 시스템의 신뢰성과 효과성을 평가한다. 운영 중단 시간은 시스템 고장 또는 유지보수로 인한 비작동 시간을 측정하여 FEMS의 효율성과 견고성을 나타낸다.

이를 기반으로 국내 중소제조기업을 중심으로 공장에너지관리시스템을 적용한 중소제조기업을 대상으로 운영요소인 ICT를 활용한 에너지관리시스템의 운영이 갖추어야할 독립변수인 기획, 실시, 점검, 조치와 정부지원과 ESG 영향에 대한 매개변수의 효과를 기반으로 중소제조기업의 공장에너지관리시스템이 경영성과에 미치는 요소들을 검증하고자 한다.

22) 하버드 비즈니스 스쿨 온라인 (2023), 비재무 성과 지표(비즈니스통찰력)
(<https://online.hbs.edu/blog/post/business-performance-measurement>)

제 6 절 선행연구의 시사점

본 연구자는 이론적 고찰을 기반으로, 중소제조기업에 스마트공장과 에너지관리시스템(EMS)을 적용한 공장에너지관리시스템이 경영성과에 미치는 운영 요소에 대한 선행연구를 검토하며 몇가지의 한계를 살펴 보았다.

첫째, FEMS는 중소제조기업의 스마트공장의 한 부분임에 따라, 공장에너지관리시스템이라 할지라도 제도가 일어나는 장소이기 때문에 제도에도 중점을 둘 수밖에 없고, 스마트 제도는 제품이 제조되는 행위에 초점을 맞출 수 있다. (정태석, 2016)와 스마트공장은 비즈니스 가치사슬 전반에 최적화를 가능하게 하며, 유연하고 상호 운용성을 지원하는 자동화 지능형 설비, 생산, 운영을 통합하고 개방을 통해 고객과 소통하는 공장 등으로서 설명하고 있다(김병기, 2015). 하지만, 또한 중소제조기업의 스마트공장은 공장운영 수준과 도입의 격차에 따라 스마트공장의 수준을 ICT미적용, 기초, 중간1, 중간2, 고도화로 다양하게 구분 할 수 있지만, 공장에너지관리시스템은 세분화 하지 못하는 한계를 보였다.

둘째, 에너지 원단위의 개선, 대기전력의 절감이라는 관점에서 설비단위의 에너지 절감 활동을 실시하며, 최종적으로 통합 관리함으로써 공장 전체의 에너지 관리가 실현된다(김철우 외, 2015).와 에너지관리시스템으로 사업장 내의 총체적 관점에서 에너지를 측정하고 분석하여 낭비되는 요소를 찾아 내거나, 에너지 성과지표 개선을 위해 공장, 공정, 설비 상의 최적 제어 시스템을 구축하여 운영하는 것이 필요하다(에너지관리공단, 2014). 이는 에너지관리를 효율적으로 시행하기 위해서, 일반적으로 도입되는 시스템이 스마트공장 시스템 도입에 부분적으로 에너지관리시스템이 적용되는 개념이기 때문에 기업이 단순히 에너지만을 관리하기 위한 시스템만을 구축하는 것인가, 아니면 스마트공장의 일환으로써 에너지관리시스템이 부수적으로 도입되는 것인가의 여부 등의 파악에는 연구가 미흡한 것으로 확인되어 본 연구의 경영성과가 스마트공장의 경영성과와 공장에너지관리시스템의 경영성과를 구분 하는데 에

는 한계를 보였다.

셋째, 본 연구에서는 스마트공장과 공장에너지관리시스템을 구별하여 별개의 시스템으로 구분하기 어려워 본 연구의 공장에너지관리시스템이 경영성과에 미치는 영향에서 완벽히 구분할 수 없는 한계는 있었으며, 스마트공장과 공장에너지관리시스템이 동시에 병행해서 적용할 수 있는 시스템이므로 상호 보완적인 관계라고 판단하였으며, 이에 스마트공장과 에너지관리시스템은 동시에 적용할 수 있는 공장에너지관리시스템의 운영 항목을 독립변수인 기획, 실시, 점검, 조치와 정부지원과 ESG활동에 대한 매개변수의 효과를 기반으로 중소기업의 공장에너지관리시스템이 경영성과에 미치는 요소에 관한 연구를 진행하였다.

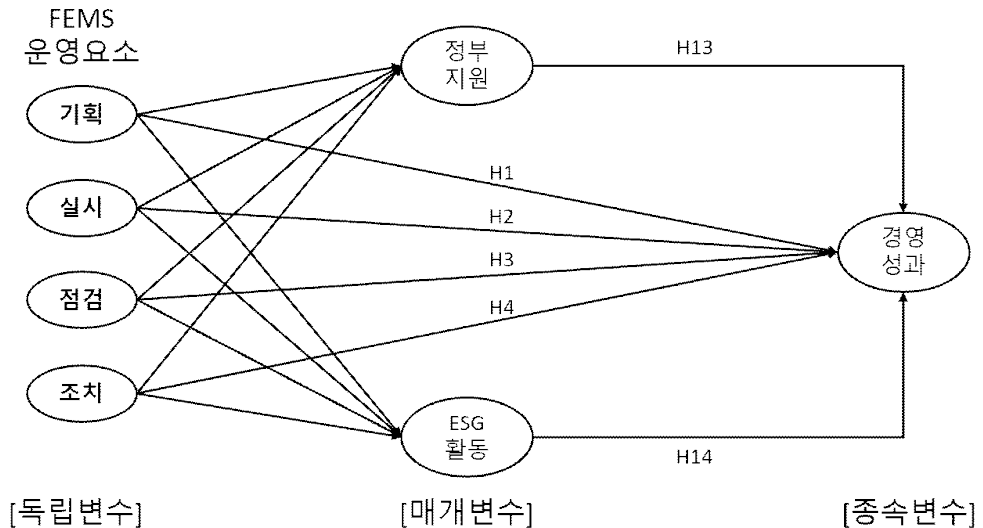
본 연구는 선행연구의 중소기업의 스마트공장과 에너지관리시스템을 구축한 기업을 대상으로 연구한 측면에서는 동일하나, 선행연구에서는 스마트공장과 에너지관리시스템의 평가항목의 모형에 대한 연구였으나, 본 연구에서는 공장에너지관리시스템의 운영요소인 기획, 실시, 점검, 조치 등의 운영 요소들과 정부지원과 ESG활동의 매개효과가 경영성과에 미치는 영향에 대한 연구라는데 차별화를 둘 수 있고, 다음 연구에서는 공장에너지관리시스템을 구축한 후에 FEMS 운영 기간에 따른 연구도 시도해 볼 가치가 있다고 본다.

제 3 장 연구설계

제 1 절 연구모형

1) 연구모형의 설정

본 연구에서는 공장에너지관리시스템의 영향을 미치는 기획, 실시, 점검, 조치 요소를 독립변수로, 경영성과를 종속변수로 채택하여 [그림 3-1]과 같은 연구모형을 설정하였다. 이중 정부지원과 ESG활동은 기획, 실시, 점검, 조치 등의 운영 요소들과 경영성과 사이의 매개효과 변수로 투입되어 분석했다. 정부지원과 ESG활동을 두 개의 그룹으로 구분하여 변수 간의 영향에 대한 관계를 분석하여 중소기업의 공장에너지관리시스템이 경영성과에 영향을 미치는 운영 요소들에 대해 실증연구를 하고자 하였다.



[그림 3-1] 연구모형

따라서 본 연구에서는 독립변수로 기획, 실시, 점검, 조치를 매개변수로 정부지원과 ESG활동을, 종속변수로 경영성과를 선정하였으며, 중소기업

의 공장에너지관리시스템이 경영성과에 미치는 영향과 이들 변수 간의 관계에서 정부지원과 ESG활동의 매개효과를 검증하였다.

2) 에너지관리시스템 운영 항목 추출

기업의 공장에너지관리시스템의 운영에 대한 항목은 여러 요소가 있으나,

[표 3-1] 공장에너지관리시스템(FEMS) 운영항목 선정

요소	운영 계층	운영 항목
기획	책임	경영층의 인식, 경영층의 지원, FEMS 의사결정자의 존재
	목표의 영역	에너지의 관리 목표의 설정, 에너지의 관리 계획설정, 측정/분석/성과관리의 세부사항에 대한 설정
	자원	투자예산 확보, 인적자원 확보, 시설과 장비 확보
	환경	에너지의 관리 부서/공정 단위 설정, 기술적인 지원, 전담부서, 교육훈련, 에너지관리 필요에 대한 조직내에서 공유, 에너지의 관리에 대한 성과정보를 조직내에서 공유
	정책	에너지의 관리지침을 명문화함, 법규
실시	장비	관리하는 장비의 구축, 제어하는 장비의 구축, 필드장비의 구축, 시스템에 대한 네트워크의 구축, 계측장비를 구축, 적용 에너지에 대한 현황, 저장/측정 자동화와 디지털화
	취급자	취급자들의 전문성, 취급자들의 업무부담, 책임/권한을 명확화, 책임/권한을 계층화
	사용	시스템이해의 용이성, 시스템사용의 용이성, 취급매뉴얼의 제공/구축, 보수/유지, 에너지의 관리현황을 가시화, 실시간 Monitoring
	호환	무선프로토콜의 사용, 서버/게이트웨이를 보유, 수요반응/스마트그리드 프로토콜의 활용, 생산관리시스템을 연계, 생산관리시스템을통합, 공정라인/설비/공장의 최적화
	지원	조직적인 개선과제를 관리, 기술적인 개선과제
점검	측정분석	기준정보의 관리/설정, 에너지관리와 생산정보 연계/취합, 분석 계층/단위 관리
	데이터 관리	주기적 보존/수집, 데이터계측 계층/단위 관리, 통합적 데이터베이스의 구축
	위험관리	에너지 정보에 대한 신뢰도, 보안의 관리, 취급자의 관리
조치	수요검토	수요의 예측, 주요 에너지사용되는 설비의 별도관리, 에너지 수급과 수요대응 계획
	생산성 검토	총괄적 비용의관리, 주요 공정 생산 지표/장애요인 관리, 에너지 효율/절감 적용되는 부문의 우선순위
	피드백	의견/제안 채널, 예방/시정조치, 고장/오류 대응방안

기획요소는 에너지관리시스템의 책임 소재, 요구자원, 요구환경, 정책·제도적, 에너지관리의 목표영역등 고려사항의 5개의 운영요소를 연구하여, 에너지관리시스템을 구축·운용에 필요한 내용을 분류하고, 실시요소는 에너지관리시스템의 물리적인 장비, 취급자 등의 인적인 요소와 일반적인 정보시스템에 필요한 사용성 및 총괄적 시스템과의 호환성(HW/SW/플랫폼), 조직 내 지원의 5개 운영요소를 연구하여, 에너지관리시스템을 구축·운용에 필요한 내용을 분류하고, 점검요소는 데이터관리, 위험관리, 측정분석의 3개 운영요소를 연구하여, 공장에너지관리시스템을 구축·운용에 필요한 내용을 분류하여, 보다 구체화된 다양한 요소를 반영하였고, 조치요소는 수요검토, 생산성검토, 피드백의 3개 운영요소를 연구하여, 공장에너지관리시스템을 구축·운용에 필요한 내용을 분류하여, 보다 구체화된 다양한 요소를 반영하였다. 이에 에너지관리시스템의 구축이후 운영에 따른, 경영성과 입장에서 운영요소들을 적용하였다.

본 연구에서는 지금까지의 선행연구에서 에너지관리시스템의 구성 요소들이 갖는 종합적인 적용기준으로 밝혀진 바가 없어 ISO 기반의 에너지경영시스템 운영기준을 PDCA 사이클 운영기법을 기본으로 했다. PDCA는 어떠한 목적을 위해 기획한 내용(Plan)을 실제로 이행하고(Do), 이행한 내용을 평가 및 확인(Check)하여 개선활동(Act)을 펼치는 일련의 과정이다.(이정하, 2016)의 논거를 기반으로 하고, 스마트공장과 에너지관리시스템(EMS)을 중소제조기업으로 한정하여, 공통사항으로 ISO기반으로 운영이 가능하다는 점을 착안하여, ISO기반으로 공통적인 성과모형을 개발한 독립변수(추진영, 2018)를 선행연구에서 채택하여 본 연구에서는 앞서 도출한 중소제조기업의 스마트공장과 에너지관리시스템(EMS) 운영모형을 토대로 중소제조기업 관계자가 지각하는 요소로는 ISO 기반의 항목으로 기획, 실시, 점검, 조치 요소로 연구모형을 만들었다(추진영, 2018). 결론적으로, 본 연구에서는 ISO 주요 지표인 P(Plan,기획), D(Do,실시), C(Check,점검), A(Action,조치)의 항목이 공장에너지관리시스템이 경영성과에 어떠한 영향을 미치는지의 분석을 통해 공장에너지관리시스템의 운영을 위한 항목의 가설을 설정하여 검정하고자, [그림 3-1]과 같은 연구모형을 설정하였다.

제 2 절 연구가설

본 연구에서는 연구모형에 있는 변수 간의 인과관계를 파악하기 위하여 선행연구를 기반으로한 연구가설을 설정하였다.

1) 공장에너지관리시스템의 기획과 경영성과에 관한 가설

스마트공장의 에너지관리시스템의 운영을 위한 기획 요소인 책임 소재, 에너지관리의 목표영역, 요구자원, 요구환경, 정책·제도적 고려사항의 5개 운영 요소의 계층이 에너지관리 성과가 있는 것으로 나타났다(추진영, 2018).

구분	가설
1	FEMS의 기획은 경영성과에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.

2) 공장에너지관리시스템의 실시와 경영성과에 관한 가설

스마트공장의 에너지관리시스템의 운영을 위한 실시 요소인 스마트공장의 에너지관리시스템의 물리적인 장비(디바이스), 취급자 등의 인적요소, 일반적인 정보시스템으로서 필요한 사용성 및 스마트공장 전체 시스템과의 호환성(플랫폼/SW), 조직 내 지원의 5개 운영 요소의 계층이 에너지관리 성과가 있는 것으로 나타났다(추진영, 2018).

구분	가설
2	FEMS의 실시는 경영성과에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.

3) 공장에너지관리시스템의 점검과 경영성과에 관한 가설

스마트공장의 에너지관리시스템의 운영을 위한 점검 요소인 측정분석, 데이터관리, 위험관리의 3개 운영 요소의 계층이 스마트공장의 에너지관리시스템의 운용을 통한 산출물의 기술적, 관리적 고려사항을 반영하였고, 에너지관리 성과가 있는 것으로 나타났다(추진영, 2018).

구분	가설
3	FEMS의 점검은 경영성과에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.

4) 공장에너지관리시스템의 조치와 경영성과에 관한 가설

스마트공장의 에너지관리시스템의 운영을 위한 조치 요소인 수요검토, 생산성검토, 피드백의 3개 운영 요소의 계층이 스마트공장 에너지관리시스템의 운용의 사후적 측면으로 에너지관리 성과가 있는 것으로 나타났다(추진영, 2018).

구분	가설
4	FEMS의 조치는 경영성과에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.

5) 공장에너지관리시스템의 기획과 정부지원에 관한 가설

중소제조기업의 공장에너지관리시스템의 운영을 위한 기획은 자금지원, 기술지원, 경영지원에 대한 정부지원을 향상시키는 요인이 된다(윤동민, 2020).

구분	가설
5	FEMS의 기획은 정부지원에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.

6) 공장에너지관리시스템의 실시와 정부지원에 관한 가설

중소제조기업의 공장에너지관리시스템의 운영을 위한 실시는 자금지원, 기술지원, 경영지원에 대한 정부지원을 향상시키는 요인이 된다(노태협, 2019).

구분	가설
6	FEMS의 실시는 정부지원에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.

7) 공장에너지관리시스템의 점검과 정부지원에 관한 가설

중소제조기업의 공장에너지관리시스템의 운영을 위한 점검은 자금지원, 기술지원, 경영지원에 대한 정부지원을 향상시키는 요인이 된다(신채상, 2022).

구분	가설
7	FEMS의 점검은 정부지원에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.

8) 공장에너지관리시스템의 조치와 정부지원에 관한 가설
중소제조기업의 공장에너지관리시스템의 운영을 위한 조치는 자금지원, 기술지원, 경영지원에 대한 정부지원을 향상시키는 요인이 된다(윤경호, 2022).

구분	가설
8	FEMS의 조치는 정부지원에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.

9) 공장에너지관리시스템의 기획과 ESG활동에 관한 가설
중소제조기업의 공장에너지관리시스템의 운영을 위한 기획은 경영진과 구성의 동참을 이끌어내는데 ESG활동이 효과가 있는 것으로 나타났다(진경미, 2022).

구분	가설
9	FEMS의 기획은 ESG활동에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.

10) 공장에너지관리시스템의 실시와 ESG활동에 관한 가설
중소제조기업의 공장에너지관리시스템의 운영을 위한 실시는 에너지 사용량 감소의 효과를 내는데 ESG활동이 효과가 있는 것으로 나타났다(박윤나, 2021).

구분	가설
10	FEMS의 실시는 ESG활동에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.

11) 공장에너지관리시스템의 점검과 ESG활동에 관한 가설
중소제조기업의 공장에너지관리시스템의 운영을 위한 점검은 경영진과 구성의 동참을 이끌어내는데 ESG활동이 효과가 있는 것으로 나타났다(진경미, 2022).

구분	가설
11	FEMS의 점검은 ESG활동에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.

12) 공장에너지관리시스템의 조치와 ESG활동에 관한 가설
중소제조기업의 공장에너지관리시스템의 운영을 위한 조치는 제품단위당 에너지 감소에 ESG활동이 효과가 있는 것으로 나타났다(임수민, 2023).

구분	가설
12	FEMS의 조치는 ESG활동에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.

13) 공장에너지관리시스템의 정부지원은 경영성과에 관한 가설
정부지원은 기업의 재무적 성과 및 비재무적 성과에 영향을 미치며, 정부지원 활용, 기업지원 만족도, 흡수역량 등이 중요한 역할을 한다(김수길, 2023).

구분	가설
13	FEMS의 정부지원은 경영성과에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.

14) 공장에너지관리시스템의 ESG활동은 경영성과에 관한 가설
ESG활동은 사업성과에 긍정적인 영향을 미치는 중요한 요소로 밝혀졌다. 이는 ESG활동이 기업의 혁신적 노력과 사회적 책임을 강화하여 성공적인 사업을 도모하는 데 기여함을 시사한다(김대유, 2024).

구분	가설
14	FEMS의 ESG활동은 경영성과에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.

15) 매개효과

가) 정부지원의 매개효과

정부지원의 재무적 지원과 비재무적 지원이 어떻게 기업의 성과에 영향을 미치는지를 분석하여 기업지원 만족도와 흡수역량이 재무적 성과 및 비재무

적 성과에 유의미한 매개효과를 가지는 것으로 나타났으며, 정부지원 활용의 매개효과도 유의미한 결과를 보였다(김수길, 2023).

구분	가설
15	FMES가 경영성과에 영향을 미칠 때 정부지원이 매개효과가 있을 것이다.
15-1	기획이 경영성과에 영향을 미칠 때 정부지원이 매개효과가 있을 것이다.
15-2	실시가 경영성과에 영향을 미칠 때 정부지원이 매개효과가 있을 것이다.
15-3	점검이 경영성과에 영향을 미칠 때 정부지원이 매개효과가 있을 것이다.
15-4	조치가 경영성과에 영향을 미칠 때 정부지원이 매개효과가 있을 것이다.

나) ESG활동의 매개효과

ESG활동은 개방형 혁신과의 관계에서 ESG활동은 완전한 매개역할을 하여 사업성과를 증진시킨다. 직원 의사소통의 경우, ESG활동이 부분적으로 매개역할을 하여 사업성과에 긍정적인 영향을 끼친다. 이는 ESG활동이 기업의 혁신적 노력과 사회적 책임을 강화하여 성공적인 사업에 기여함을 시사한다(송재협, 노희진, 2023).

구분	가설
16	FMES가 경영성과에 영향을 미칠 때 ESG활동이 매개효과가 있을 것이다.
16-1	기획이 경영성과에 영향을 미칠 때 ESG활동이 매개효과가 있을 것이다.
16-2	실시가 경영성과에 영향을 미칠 때 ESG활동이 매개효과가 있을 것이다.
16-3	점검이 경영성과에 영향을 미칠 때 ESG활동이 매개효과가 있을 것이다.
16-4	조치가 경영성과에 영향을 미칠 때 ESG활동이 매개효과가 있을 것이다.

제 3 절 변수의 조작적 정의 및 설문지 구성

1) 변수의 조작적 정의

본 연구는 중소기업의 공장에너지관리시스템(FEMS)이 경영성과에 미치는 영향, 이들 간의 관계에서 정부지원과 ESG활동의 매개로하여 경영성과에 미치는 영향을 파악하기 위하여 설문지 구성을 운영요소로 P[기획(Plan)], D[실시(Do)], C[점검(Check)], A[조치(Action)]과 정부지원, ESG활동과 경영성과와 인구통계학적인 특성으로 구성하였으며 변수들에 대한 조작적 정의는 [표 3-2]와 같다.

[표 3-2] 변수의 조작적 정의

구분	구성변수	변수의 정의 / 측정지표	출처
운영 요소	기획 (Plan)	에너지검토를 수행, 에너지 성과를 개선하는 데 필요한 베이스라인, 에너지 성과지표(KPI), 목표, 세부목표 및 실행계획 수립 - FEMS 책임의 소재, - 에너지관리에 대한 목표의 영역, - 요구되는 자원, - 요구되는 환경, - 정책적 & 제도적인 고려사항	한국표준협회(2011) KS A ISO 5001, 이정하(2016), 추진영(2018)
	실시 (Do)	에너지경영 실행계획의 수립 - 장비(디바이스) - 취급자 등의 인적요소 - 일반 정보시스템의 필요한 사용성 - 스마트공장의 시스템과의 호환성(플랫폼/SW), - 조직 내 지원	
	점검 (Check)	에너지사용의 방침과 목표에 대한 에너지로 인한 성과를 결정하는 프로세스와 그 운영의 주요 특성들에 대한 Monitoring, 측정, 결과에 대한 보고	

		- 측정분석 - 데이터관리 - 위험관리	
	조치 (Action)	에너지사용의 성과와 에너지경영시스템(EnMS)를 계속 개선 위한 활동 - 수요검토 - 생산성검토 - 피드백	
매개 효과	정부지원	기업의 경쟁력 확보를 위하여 다양한 형태의 지원 사업 - 자금지원, - 기술지원, - 경영지원	장기섭(2022), 신채상(2022), 리우후이(2014)
	ESG활동	ESG(사회, 지배구조)는 소비자의 사회적 가치지각 과 비재무적 경영성과에 긍정적인 영향을 미치며, 사회적 가치지각과 비재무적 경영성과는 기업 이미지에 기업이미지는 소비자의 프리미엄가격 지불의사와 도움행동 의도에 긍정적인 영향	이민지외(2020), 김평화(2021), 박순옥외(2021), 이병수외(2021), 김대영(2022), 백내용(2023)
		- 경영진과 구성원의 성과 지표 - 에너지 사용량 감소 - 제품단위당 에너지 사용량 감소	
경영성과		경영활동의 결과의 성과지표 중 회계적으로 화폐단위로 표현되는 지표와 비재무적 지표(만족도) 포함	국헌정(2017), 추진영(2018), 김현규(2020), 김대영(2022), 김수길(2023)
		- 원가절감 수준의 향상 - 제품생산량 증가 - FEMS 성과의 만족도	

2) 설문지 구성

연구에 대한 실증연구를 위해 설문지 구성은 기획 5문항, 실시 5문항, 점검 5문항, 조치 5문항, 정부지원 3문항, ESG활동 3문항, 경영성과 3문항 그리고 일반사항 6문항 으로 35문항으로 구성되었다. 일반사항을 명목척도이고 나머지는 모두 Likert 5점 척도를 사용하였다. 설문지의 구성은 [표 3-3]와 같다.

[표 3-3] 설문지의 구성

변수유형		문항수	척도	참고문헌
기획	책임	1	Likert 5점척도	KS A ISO 5001, 이정하(2016), 추진영(2018)
	목표영역	1		
	자원	1		
	환경	1		
	정책	1		
실시	장비	1	Likert 5점척도	KS A ISO 5001, 이정하(2016), 추진영(2018)
	취급자	1		
	사용성	1		
	호환성	1		
	지원	1		
점검	측정분석	1	Likert 5점척도	KS A ISO 5001, 이정하(2016), 추진영(2018)
	데이터관리	2		
	위험관리	2		
조치	수요검토	1	Likert 5점척도	KS A ISO 5001, 이정하(2016), 추진영(2018)
	생산성	2		
	피드백	2		
정부 지원	경제적지원	1	Likert 5점척도	장기섭(2022), 신채상(2022), 리우후이(2014),김대영(2022), 백내용(2023),이병수외(2021), 고영화(2017), 추진영(2018)
	컨설팅지원	2		
ESG활동		3		
경영성과		3		
일반		6		
합계		35		

제 4 절 자료수집 및 분석방법

본 연구에서 가설에 대한 검증을 위하여 스마트공장 전문가(마이스터, 코디, 컨설턴트)와 스마트공장 및 공장에너지관리시스템 구축 공급 기업 관계자 50여명을 활용하여 공장에너지관리시스템을 구축한 100여개의 중소제조기업의 임직원과 전문가를 대상으로 설문조사를 실시했다. 이에 수집된 표본은 420개이고, 회수된 설문 중에서 부적절하게 응답한 설문들을 제외한 후, 결측값이 없는 설문지는 317개이다.

[표 3-4] 조사의 설계

구 분	내 용
조사대상	공장에너지관리시스템을 적용한 중소제조기업 임직원, 전문가
조사방법	전문가 활용 기업에 설문지 배포 및 Google Form 설문 병행
조사표본	회수된 설문 420부 가운데 결측값 제외한 317부 (N=317)
조사기간	2024년 01월 15일 ~ 2024년 02월 29일

본 연구에서는 중소제조기업의 공장에너지관리시스템과 정부지원 및 ESG활동이 경영성과에 미치는 영향과 매개효과의 관계에 대해 실증분석을 실행을 위해 설문을 실시하여, 수거된 자료들을 코딩 및 클리닝을 거쳐 317부를 SPSS 25.0과 AMOS 25.0을 사용하여 분석하였다. 통계기법으로는 기술적 통계분석, 신뢰도분석, 상관관계분석 및 탐색적 요인분석과 확인적 요인분석 및 경로분석, 회귀분석, 구조방정식모형 분석, Hayes(2017)가 제안한 SPSS PROCESS macro의 4번 모델을 활용하여 분석하였다.

첫째, 설문 응답자들의 일반적인 상황을 측정하기 위하여 인구통계학적 분석과 일반 특성 분석을 위하여 빈도분석, 기술통계량 분석을 실시했다.

둘째, 측정도구의 타당성을 검증하기 위하여 탐색적 요인분석을 실시하고, 요인 구분을 위해 Varimax 회전방식을 채택하였다. 변수의 신뢰성 확보를 위하여 신뢰도분석을 실시하였다. 대개 Cronbach α 값은 0과 1사이의 값을 가지게 되는데 1에 가까울수록 문항들에 대한 응답이 상호 유사하여 신뢰성이 높다는 것을 의미한다. 신뢰도 값이 어느 정도가 적당한지에 대한 명확한 기준은 없으나 0.8 이상이면 크게 신뢰할 만한 측정으로 본다. 신뢰도 값이 0.6 이상이면 대개 연구에 활용할 만 하다고 하고, 그 이하일 경우는 측정방식에 개선이 필요하다고 본다. 확인적 요인분석을 통해 구조방정식 연구모형의 전반적인 모형의 적합도를 확인하였고, 잠재변인과 관측변인의 타당성을 확인하였다.

셋째, 조사응답자의 제 변수들의 특성을 살피기 위해 평균값과 표준편차를 구하고 단변량 정규성 검증을 실시하였으며, 일반적 특성에 따른 제 변수의 차이를 살펴보기 위하여 독립표본 t-검정과 일원분산 분석을 실시하였다. 단변량 정규성 검증을 실시하였다.

넷째, 측정 변수들 간의 방향성과 밀집 정도를 알아보기 위하여 상관관계분석을 실시하였다. 상관관계분석은 두 연속형 변수간 상관의 정도를 파악하는 방법으로는 -1~1의 범위에서 이루어진 상관계수를 계산하게 된다. 한 변수가 증가할 때 다른 변수도 증가하는 경우에는, 두

변수들은 양의 상관관계에 있다고 하는데 각 변수의 모집단의 분포가 정규분포에 가깝다거나 표본의 수 가 많다고 판단될 때는 피어슨 상관 계수를 사용하여 관련성에 대한 유무를 파악한다.

다섯째, 공장에너지관리시스템이 경영성과에 미치는 영향에 대한 관계에서 정부지원과 ESG활동을 살펴보기 위하여 Hayes(2017)가 제안하는 SPSS PROCESS macro의 4번 모델을 활용하여 분석하였다. 매개효과 의 검증은 bootstrap을 활용, bootstrap 검증 샘플 수 317개, 신뢰구 간 95%로 설정하였다.

제 4 장 실증분석 결과

제 1 절 일반적 특성 및 기초통계분석

1) 일반적 특성

조사응답자의 일반적인 특성을 살펴보면 다음 [표 4-1], [표 4-2]와 같다. 먼저 성별로 남성 238명(75.1%), 여성 79명(24.9%)으로 남성이 여성보다 많았다. 연령대는 40대가 101명(31.9%)로 가장 많았으며, 그 다음으로 50대 82명(25.9%), 30대 80명(25.2%), 60대 이상 36명(11.4%), 20대 18명(5.7%)의 순이었다. 근무년수는 10-15년 미만이 101명(31.9%)로 가장 많았으며, 그 다음으로 5-10년 미만 86명(27.1%), 15-20년 미만 50명(15.8%), 20년 이상 43명(13.6%), 5년 미만 37명(11.7%)의 순이었다. 학력은 대졸이 209명(65.9%)으로 가장 많았으며, 다음으로 전문대졸 53명(16.7%), 석사졸 27명(8.5%), 고졸 20명(6.3%), 박사졸 8명(2.5%)의 순이었다. 직급은 과·차장이 120명(37.9%)으로 가장 많았으며, 부장 83명(26.2%), 대리 이하 66명(20.8%), 임원 이상 47명(14.8%), 전문가·공급업체 1명(.3%)의 순이었다. 인구통계학적 분포는 다음 [표 4-1]과 같다.

[표 4-1] 설문응답자의 인구통계학적 분포 (1)

N=317

	구분	빈도	비율(%)
성별	① 남성	238	75.1
	② 여성	79	24.9
연령	① 20대	18	5.7
	② 30대	80	25.2
	③ 40대	101	31.9
	④ 50대	82	25.9
	⑤ 60대 이상	36	11.4
근무년수	① 5년 미만	37	11.7
	② 5-10년 미만	86	27.1
	③ 10-15년 미만	101	31.9
	④ 15-20년 미만	50	15.8
	⑤ 20년 이상	43	13.6
학력	① 고졸	20	6.3
	② 전문대졸	53	16.7
	③ 대졸	209	65.9
	④ 석사	27	8.5
	⑤ 박사	8	2.5
직급	① 대리 이하	66	20.8
	② 과차장	120	37.9
	③ 부장	83	26.2
	④ 임원 이상	47	14.8
	⑤ 전문가	1	.3

다음 [표 4-2]는 설문지 응답자의 소속에서 중소기업들의 FEMS적용기간 특성 분포이다. FEMS적용기간은 1-2년 미만이 113명(35.6%)으로 가장 많았으며, 2-3년 미만 81명(25.6%), 3년 이상 57명(18.0%), 6개월-1년 미만 53명(16.7%), 6개월 미만 13명(4.1%)의 순으로 나타났다. 인구통계학적 분표는 다음 [표 4-2]과 같다.

[표 4-2] 설문응답자의 인구통계학적 분포 (2)

N=317

	구분	빈도	비율(%)
FEMS 적용기간	① 6개월 미만	13	4.1
	② 6개월-1년 미만	53	16.7
	③ 1-2년 미만	113	35.6
	④ 2-3년 미만	81	25.6
	⑤ 3년 이상	57	18.0

2) 기술통계량

본 연구에서 사용된 측정변수의 정규성 검정을 위하여 기술통계분석에 대해 [표 4-3]과 같이 실시하였다. 분석결과와 표준편차는 절대값이 3이하로 나와 이상치가 없었고, Data의 분포가 정규분포에서 어느 정도나 벗어나 있는 지를 확인하기 위해서는 왜도(Skewness)와 첨도(Kurtosis)를 확인하였다. 분석결과 왜도의 절대값이 모두 3이하이며 첨도의 절대값이 10 이하이므로 연구 대상인 측정변수들은 정규분포를 갖고 있는 것으로 나타났다.

[표 4-3] 기술통계량 분석결과

	N	평균	표준편차	분산	왜도	첨도
기획1	317	2.26	0.869	0.756	0.840	1.148
기획2	317	2.14	0.966	0.932	0.773	0.345
기획3	317	2.13	1.012	1.024	0.918	0.579
기획4	317	2.08	0.905	0.820	1.002	1.453
기획5	317	2.36	0.873	0.763	0.694	0.768
실시1	317	2.32	0.88	0.774	0.209	-0.644
실시2	317	2.01	0.909	0.826	0.694	-0.009
실시3	317	2.10	0.896	0.804	0.867	0.435
실시4	317	2.08	0.965	0.931	0.805	0.325
실시5	317	2.40	0.780	0.609	0.645	1.152
점검1	317	2.02	0.803	0.645	0.445	-0.285
점검2	317	1.97	0.811	0.658	0.548	-0.161
점검3	317	2.15	0.928	0.861	0.777	0.711
점검4	317	2.15	0.915	0.838	0.717	0.495
점검5	317	2.18	0.781	0.610	0.676	0.79
조치1	317	2.17	0.881	0.777	0.407	-0.112
조치2	317	2.10	0.813	0.661	0.453	-0.189
조치3	317	2.11	0.884	0.782	0.583	-0.008
조치4	317	2.21	0.822	0.675	0.169	-0.575
조치5	317	2.09	0.801	0.641	0.589	0.513
정부지원1	317	2.44	0.792	0.627	0.193	0.012
정부지원2	317	2.60	0.830	0.690	0.621	0.411
정부지원3	317	2.47	0.765	0.586	0.325	0.141
ESG활동1	317	2.21	0.815	0.664	0.420	0.334
ESG활동2	317	2.24	0.894	0.798	0.387	-0.173
ESG활동3	317	2.38	0.858	0.736	0.609	0.667
경영성과1	317	2.15	0.774	0.599	0.302	-0.242
경영성과2	317	2.07	0.932	0.869	1.018	1.247
경영성과3	317	2.12	0.789	0.622	0.724	0.874

제 2 절 측정도구의 타당성과 신뢰도

본 연구의 측정도구의 타당도와 신뢰도 분석을 위하여 탐색적 요인분석을 실시하였으며, 또한, Cronbach's α 값을 구하였다.

탐색적 요인분석에서는 요인 추출방법을 이용하여 주성분 분석을 사용하였으며, 요인을 회전하는 방법으로는 직각회전 방식으로 베리맥스 회전방법을 사용하였다. 요인과 문항의 선택기준으로는 고유값(eigen value)을 1.0 이상, 요인 적재치 .5 이상으로 하였다. 또한 표본의 적절성을 살펴보고자 KMO(Kaiser-Meyer-Olkin)값을 구하였으며, Bartlett의 구형성 검증을 통하여 요인분석을 위해 측정항목들 간의 상관행렬에 대한 단위행렬 여부를 검정하였다. KMO값이 .9 이상이면 매우 좋고, .8 정도이면 양호하며, .6~.7 정도이면 수용할 만한 것으로 판단하였다.

신뢰도는 동일한 개념으로 반복적으로 측정했을 때 측정에 대한 내적 일관성을 나타내는 것으로써, 측정하는 다변량 변수 간의 일관된 정도를 의미한다. 신뢰도는 대개 Cronbach's α 값으로 검증하는데, 사회과학 측면에서는 Cronbach's α 값이 .8~.9 이상이면 바람직하고 .6~.7 이면 수용할 수도 있는 신뢰성이라 할 수 있다.

1) 외생변수의 탐색적 요인분석

공장에너지관리시스템 측정도구에 대한 탐색적 요인분석과 신뢰도분석 결과는 다음 [표 4-4]과 같다.

요인분석을 실시한 결과로는 최종 4개의 요인들로 정리 하였으며, 각 요인의 고유값은 1 이상을 나타내고 있고, 설명되는 총 분산은 72.207%를 나타냈으며, 요인적재량은 모두 .6 이상으로 나타났다. 또한 KMO 값이 .921로 양호한 수준으로 나타났으며, Bartlett의 구형성 검증결과 유의확률이 $p < .001$

로 나타나 변수들 간의 상관관계를 잘 나타내고 있으므로, 요인적합성과 타당성이 있는 것으로 나타났다.

추출된 4개의 요인들의 명칭을 문항의 성격에 따라 요인 1 ‘조치’, 요인 2 ‘기획’, 요인 3 ‘점검’, 요인4 ‘실시’로 명명하였다.

또한, 신뢰도 분석 결과를 보면, Cronbach's α 값은 조치 .916, 기획 .886, 점검 .899, 실시 .889로 바람직하거나 수용 가능한 수준으로 나타났다.

[표 4-4] 외생변수 측정도구의 탐색적 요인분석 및 신뢰도 분석

항 목	요인1	요인2	요인3	요인4	Cronbach's α
조치4	.784	.258	.135	.290	.916
조치5	.783	.267	.157	.271	
조치2	.767	.272	.249	.186	
조치3	.758	.285	.209	.206	
조치1	.653	.305	.275	.267	
기획1	.254	.809	.163	.067	.886
기획2	.296	.766	.058	.226	
기획3	.203	.746	.220	.249	
기획4	.209	.722	.268	.281	
기획5	.306	.638	.197	.239	
점검1	.090	.136	.880	.158	.899
점검2	.103	.208	.799	.264	
점검3	.235	.288	.704	.332	
점검4	.390	.202	.674	.304	
점검5	.374	.114	.664	.201	
실시2	.233	.195	.276	.768	.889
실시5	.226	.120	.132	.749	
실시3	.173	.282	.295	.740	
실시4	.263	.320	.302	.706	
실시1	.285	.200	.242	.645	
고유값	3.800	3.586	3.547	3.508	
분산(%)	19.001	17.931	17.733	17.542	
누적 분산(%)	19.001	36.932	54.665	72.207	

KMO=.921, Bartlett's Test of Sphericity =4783.159 df=190 p=.000***

2) 내생변수 탐색적 요인분석

공장에너지관리시스템 측정도구에 대한 탐색적 요인분석과 신뢰도 분석의 결과는 다음 [표 4-5]와 같다.

요인분석을 실시한 결과 최종 3개의 요인으로 추출되었으며, 각 요인의 고유값은 1 이상을 나타내고 있고, 설명된 총 분산은 77.220%를 나타냈으며, 요인적재량은 모두 .7 이상으로 나타났다. 또한 KMO값이 .903으로 매우 좋은 수준을 나타내고 있으며, Bartlett의 구형성 검증결과에 대한 유의확률 $p < .001$ 로 나타나므로 변수들 간의 상관관계를 잘 나타내고 있어, 요인적합성과 타당성이 있는 것으로 나타났다.

추출된 3개의 요인들의 명칭을 문항의 성격에 따라 요인 1 ‘ESG활동’, 요인 2 ‘경영성과’, 요인3 ‘정부지원’으로 명명하였다.

한편 신뢰도 분석 결과, Cronbach's α 값은 ESG활동 .867, 경영성과 .881, 정부지원 .777로 바람직하거나 수용 가능한 수준으로 나타났다.

[표 4-5] 내생변수 측정도구의 탐색적 요인분석 및 신뢰도 분석

항 목	요인1	요인2	요인3	Cronbach's α
ESG활동1	.833	.303	.230	.867
ESG활동2	.830	.363	.077	
ESG활동3	.752	.260	.301	
경영성과1	.416	.772	.260	.881
경영성과3	.362	.767	.327	
경영성과2	.302	.759	.344	
정부지원3	.062	.220	.811	.777
정부지원2	.198	.297	.772	
정부지원1	.352	.205	.716	
고유값	2.509	2.232	2.209	
분산(%)	27.876	24.798	24.545	
누적분산(%)	27.876	52.675	77.220	
KMO=.903, Bartlett's Test of Sphericity =1745.672 df=36 p=.000				

제 3 절 주요 변수의 기술통계

1) 주요 변수의 평균 및 표준편차

본 연구에서는 구조방정식모형 분석의 기획, 실시, 점검, 조치와 정부지원, ESG활동, 경영성과에 대한 평균 및 표준편차를 살펴보고, 단변량 정규성 검증을 위하여 왜도와 첨도 값을 살펴보았는데, 다음 [표 4-6]과 같다.

공장에너지관리시스템, 정부지원, ESG활동, 경영성과의 첨도와 왜도의 절대값을 확인한 결과, 왜도의 절대값은 1, 첨도의 절대값 2를 초과하지 않으므로 단변량 정규분포성을 만족하는 것으로 확인되었다.

한편 공장에너지관리시스템은 평균 2.15점으로 나타났으며, 하위요인별로 기획 2.19점, 실시 2.18점, 조치 2.14점, 점검 2.09점의 순이었다.

정부지원은 2.51점, ESG활동은 2.28점, 경영성과는 2.11점으로 나타났다.

[표 4-6] 변수들의 기술통계량

구분		M	SD	왜도	첨도
공장에너지 관리시스템	기획	2.19	.77	.94	1.39
	실시	2.18	.74	.52	.03
	점검	2.09	.72	.47	.08
	조치	2.14	.73	.26	-.15
정부지원		2.51	.66	.37	-.02
ESG활동		2.28	.76	.53	.78
경영성과		2.11	.79	.71	.97

2) 인구사회학적 특성에 따른 주요 변수 차이

본 연구에서는 조사대상자의 인구사회학적 특성에 따라 주요 변수에 차이가 있는지를 살펴보기 위하여 독립표본 t-검증과 일원분산분석(ANOVA)을 실시하였다. 수집된 인구사회학적특성은 성별, 연령, 근무년수, 학력, 직급, FEMS기간 등이었다.

가) 성별에 따른 차이

본 연구에서는 조사대상자의 성별에 따른 주요 변수들에 차이가 있는지를 확인하기 위해 독립표본 t-검증을 실시 하였는데, 다음 [표 4-7]과 같이 공장에너지관리시스템의 실시($p < .01$), 점검($p < .05$), 조치($p < .05$), ESG활동($p < .01$)와 경영성과($p < .05$)에서 유의미한 차이를 보였다.

공장에너지관리시스템의 하위요인인 실시는 남성이 평균 2.12점, 여성이 평균 2.37점으로 여자가 남자에 비해 더 높은 것으로 나타났으며, 통계적으로도 유의미한 차이를 보였다($t = -2.900, p < .01$).

공장에너지관리시스템의 하위요인인 점검은 남성이 평균 2.05점, 여성이 평균 2.24점으로 여자가 남자에 비해 더 높은 것으로 나타났으며, 통계적으로도 유의미한 차이를 보였다($t = -2.096, p < .05$).

공장에너지관리시스템의 하위요인인 조치는 남성이 평균 2.08점, 여성이 평균 2.30점으로 여자가 남자에 비해 더 높은 것으로 나타났으며, 통계적으로도 유의미한 차이를 보였다($t = -2.298, p < .05$).

ESG활동은 남성 평균 2.20점, 여성 평균 2.50점으로 여성이 남성보다 더 높은 것으로 나타났으며, 통계적으로도 유의미한 차이를 보였다($t = -3.298, p < .01$).

경영성과는 남성이 평균 2.05점, 여성이 평균 2.30점으로 여성이 남성에 비해 더 높은 것으로 나타났으며, 통계적으로도 유의미한 차이를 보였다

($t=-2.521$, $p<.05$).

[표 4-7] 조사대상자의 성별에 따른 차이

구분		성별	N	평균	표준 편차	t	p
공장에너지 관리시스템	기획	남	238	2.16	.79	-1.473	.142
		여	79	2.30	.67		
	실시	남	238	2.12	.76	-2.900	.004**
		여	79	2.37	.64		
	점검	남	238	2.05	.73	-2.096	.037*
		여	79	2.24	.67		
	조치	남	238	2.08	.74	-2.298	.022*
		여	79	2.30	.65		
정부지원		남	238	2.47	.66	-1.515	.131
		여	79	2.60	.66		
ESG활동		남	238	2.20	.77	-3.298	.001**
		여	79	2.50	.68		
경영성과		남	238	2.05	.80	-2.521	.012*
		여	79	2.30	.73		

* $p<.05$, ** $p<.01$

나) 연령에 따른 차이

본 연구에서는 조사대상자의 연령에 따른 주요 변수들에 차이가 있는지를 알기 위해 일원분산분석(ANOVA)을 실시하였는데, 다음 [표 4-8]과 같이 전 구분($p<.001$)에서 유의미한 차이를 보였다.

공장에너지관리시스템의 하위요인인 기획은 20대 평균이 2.74점으로 가장 높았고, 다음으로 30대 평균 2.37점, 40대 평균 2.32점, 60대 이상 평균 2.03

점, 50대 평균 1.81점의 순으로 나타났으며, 특히 30대가 50대보다 높아 통계적으로 유의미한 차이를 보였다($F=10.656$, $p<.001$).

공장에너지관리시스템의 하위요인인 실시는 20대 평균이 2.60점으로 가장 높았고, 다음으로 30대 평균 2.41점, 40대 평균 2.28점, 60대 이상 평균 1.94점, 50대 평균 1.84점의 순으로 나타났으며, 특히 30대가 50대보다 높아 통계적으로 유의미한 차이를 보였다($F=10.132$, $p<.001$).

공장에너지관리시스템의 하위요인인 점검은 20대 평균이 2.37점으로 가장 높았고, 다음으로 40대 평균 2.29점, 30대 평균 2.19점, 50대 평균 1.83점, 60대 이상 평균 1.81점의 순으로 나타났으며, 특히 40대가 60대 이상보다 높아 통계적으로 유의미한 차이를 보였다($F=7.552$, $p<.001$).

공장에너지관리시스템의 하위요인인 점검은 20대 평균이 2.37점으로 가장 높았고, 다음으로 40대 평균 2.29점, 30대 평균 2.19점, 50대 평균 1.83점, 60대 이상 평균 1.81점의 순으로 나타났으며, 특히 40대가 60대 이상보다 높아 통계적으로 유의미한 차이를 보였다($F=7.552$, $p<.001$).

공장에너지관리시스템의 하위요인인 조치는 20대 평균이 2.53점으로 가장 높았고, 40대 평균 2.37점, 30대 평균 2.26점, 60대 이상 평균 1.84점, 50대 평균 1.77점의 순으로 나타났으며, 특히 40대가 50대보다 높아 통계적으로 유의미한 차이를 보였다($F=12.883$, $p<.001$).

정부지원은 20대 평균이 2.98점으로 가장 높았고, 다음으로 40대 평균 2.70점, 30대 평균 2.54점, 50대 평균 2.25점, 60대 이상 평균 2.23점의 순으로 나타났으며, 특히 40대가 60대 이상보다 높아 통계적으로 유의미한 차이

를 보였다($F=10.138$, $p<.001$).

ESG활동은 20대 평균이 2.87점으로 가장 높았고, 다음으로 40대 평균 2.48점, 30대 평균 2.43점, 60대 이상 평균 2.02점, 50대 평균 1.86점의 순으로 나타났으며, 특히 40대가 50대보다 높아 통계적으로 유의미한 차이를 보였다($F=14.754$, $p<.001$).

경영성과는 20대 평균이 2.89점으로 가장 높았고, 다음으로 30대 평균 2.35점, 40대 평균 2.29점, 60대 이상 평균 1.72점, 50대 평균 1.66점의 순으로 나타났으며, 특히 30대가 50대보다 높아 통계적으로 유의미한 차이를 보였다($F=20.663$, $p<.001$).

[표 4-8] 조사대상자의 연령에 따른 차이

구분		연령	N	평균	표준 편차	F	p
공장에너지 관리시스템	기획	20대	18	2.74	.89	10.656	.000***
		30대	80	2.37	.70		
		40대	101	2.32	.58		
		50대	82	1.81	.77		
		60대 이상	36	2.03	.93		
	실시	20대	18	2.60	.89	10.132	.000***
		30대	80	2.41	.69		
		40대	101	2.28	.62		
		50대	82	1.84	.69		
		60대 이상	36	1.94	.84		
	점검	20대	18	2.37	.65	7.552	.000***
		30대	80	2.19	.61		
		40대	101	2.29	.62		
		50대	82	1.83	.80		
		60대 이상	36	1.81	.79		
	조치	20대	18	2.53	.88	12.883	.000***
		30대	80	2.26	.51		
		40대	101	2.37	.67		
		50대	82	1.77	.74		
		60대 이상	36	1.84	.78		
정부지원		20대	18	2.98	.70	10.138	.000***
		30대	80	2.54	.56		
		40대	101	2.70	.60		
		50대	82	2.25	.68		
		60대 이상	36	2.23	.67		
ESG활동		20대	18	2.87	.78	14.754	.000***
		30대	80	2.43	.58		
		40대	101	2.48	.70		
		50대	82	1.86	.79		
		60대 이상	36	2.02	.72		
경영성과		20대	18	2.89	1.12	20.663	.000***
		30대	80	2.35	.73		
		40대	101	2.29	.60		
		50대	82	1.66	.72		
		60대 이상	36	1.72	.61		

*** $p < .001$

다) 근무년수에 따른 차이

본 연구에서는 조사대상자의 근무년수에 따라 주요 변수에 차이가 있는지를 알기 위해 일원분산분석(ANOVA)을 실시하여, 다음 [표 4-9]와 같이 공장에너지관리시스템의 기획, 실시, 조치($p<.001$), 정부지원($p<.01$)과 ESG활동, 경영성과($p<.001$)에서 유의미한 차이를 보였다.

공장에너지관리시스템의 하위요인인 기획은 10-15년 미만 평균이 2.36점으로 가장 높았고, 다음으로 5-10년 미만 평균 2.31점, 5년 미만 평균 2.22점, 15-20년 미만 평균 1.96점, 20년 이상 평균 1.82점의 순으로 나타났으며, 특히 10-15년 미만이 20년 이상보다 높아 통계적으로 유의미한 차이를 보였다($F=5.592$, $p<.001$).

공장에너지관리시스템의 하위요인인 실시는 10-15년 미만 평균이 2.40점으로 가장 높았고, 다음으로 5년 미만 평균 2.25점, 5-10년 미만 평균 2.21점, 15-20년 미만 평균 1.95점, 20년 이상 평균 1.80점의 순으로 나타났으며, 특히 10-15년 미만이 20년 이상보다 높아 통계적으로 유의미한 차이를 보였다($F=6.928$, $p<.001$).

공장에너지관리시스템의 하위요인인 조치는 10-15년 미만 평균이 2.39점으로 가장 높았고, 다음으로 5년 미만 평균 2.25점, 5-10년 미만 평균 2.18점, 15-20년 미만 평균 1.87점, 20년 이상 평균 1.67점의 순으로 나타났으며, 특히 10-15년 미만이 20년 이상보다 높아 통계적으로 유의미한 차이를 보였다($F=10.589$, $p<.001$).

정부지원은 5년 미만 평균이 2.66점으로 가장 높았고, 다음으로 10-15년 미만 평균 2.61점, 5-10년 미만 평균 2.55점, 15-20년 미만 평균 2.36점, 20

년 이상 평균 2.21점의 순으로 나타났으며, 특히 5년 미만이 20년 이상보다 높아 통계적으로 유의미한 차이를 보였다($F=4.111$, $p<.01$).

ESG활동은 10-15년 미만 평균이 2.45점으로 가장 높았고, 다음으로 5-10년 미만 평균 2.38점, 5년 미만 평균 2.33점, 15-20년 미만 평균 2.07점, 20년 이상 평균 1.85점의 순으로 나타났으며, 특히 10-15년 미만이 20년 이상보다 높아 통계적으로 유의미한 차이를 보였다($F=6.346$, $p<.001$).

경영성과는 5년 미만 평균이 2.30점으로 가장 높았고, 다음으로 5-10년 미만 평균 2.28점, 10-15년 미만 평균 2.25점, 15-20년 미만 평균 1.91점, 20년 이상 평균 1.53점의 순으로 나타났으며, 특히 5년 미만이 20년 이상보다 높아 통계적으로 유의미한 차이를 보였다($F=9.818$, $p<.001$).

[표 4-9] 조사대상자의 근무년수에 따른 차이

구분		근무년수	N	평균	표준 편차	F	p
공장에너지 관리시스템	기획	5년 미만	37	2.22	.77	5.592	.000***
		5-10년 미만	86	2.31	.82		
		10-15년 미만	101	2.36	.80		
		15-20년 미만	50	1.96	.45		
		20년 이상	43	1.82	.72		
	실시	5년 미만	37	2.25	.78	6.928	.000***
		5-10년 미만	86	2.21	.67		
		10-15년 미만	101	2.40	.79		
		15-20년 미만	50	1.95	.58		
		20년 이상	43	1.80	.71		
	점검	5년 미만	37	2.08	.70	1.562	.184
		5-10년 미만	86	2.06	.62		
		10-15년 미만	101	2.23	.74		
		15-20년 미만	50	1.97	.63		
		20년 이상	43	2.00	.92		
	조치	5년 미만	37	2.25	.76	10.58 ₉	.000***
		5-10년 미만	86	2.18	.65		
		10-15년 미만	101	2.39	.78		
		15-20년 미만	50	1.87	.49		
		20년 이상	43	1.67	.67		
정부지원		5년 미만	37	2.66	.66	4.111	.003**
		5-10년 미만	86	2.55	.60		
		10-15년 미만	101	2.61	.67		
		15-20년 미만	50	2.36	.61		
		20년 이상	43	2.21	.73		
ESG활동		5년 미만	37	2.33	.84	6.346	.000***
		5-10년 미만	86	2.38	.72		
		10-15년 미만	101	2.45	.83		
		15-20년 미만	50	2.07	.57		
		20년 이상	43	1.85	.57		
경영성과		5년 미만	37	2.30	.92	9.818	.000***
		5-10년 미만	86	2.28	.84		
		10-15년 미만	101	2.25	.75		
		15-20년 미만	50	1.91	.51		
		20년 이상	43	1.53	.57		

** p<.01, *** p<.001

라) 학력에 따른 차이

본 연구에서는 조사대상자의 학력에 따라 주요 변수에 차이가 있는지를 알기 위해 일원분산분석(ANOVA)을 실시하여, 다음 [표 4-10]과 같이 ESG활동($p < .05$)에서 유의미한 차이를 보였다.

ESG활동은 고졸 평균이 2.45점으로 가장 높았고, 다음으로 전문대졸 평균 2.33점, 대졸 평균 2.31점, 박사졸 평균 1.96점, 석사졸 평균 1.86점의 순으로 나타났으며, 통계적으로 유의미한 차이를 보였다($F=2.829$, $p < .05$).

[표 4-10] 조사대상자의 학력에 따른 차이

구분		학력	N	평균	표준 편차	F	p
공장에너지 관리시스템	기획	고졸	20	2.28	.52	1.662	.159
		전문대졸	53	2.05	.61		
		대졸	209	2.26	.82		
		석사졸	27	1.95	.72		
		박사졸	8	2.10	.79		
	실시	고졸	20	2.32	.64	.414	.799
		전문대졸	53	2.11	.67		
		대졸	209	2.20	.74		
		석사졸	27	2.10	.86		
		박사졸	8	2.15	.93		
	점검	고졸	20	2.35	.57	2.227	.066
		전문대졸	53	2.02	.64		
		대졸	209	2.13	.74		
		석사졸	27	1.79	.66		
		박사졸	8	1.95	1.00		
	조치	고졸	20	2.27	.61	.908	.460
		전문대졸	53	2.14	.73		
		대졸	209	2.16	.73		
		석사졸	27	1.96	.82		
		박사졸	8	1.85	.48		
정부지원		고졸	20	2.45	.56	2.081	.083
		전문대졸	53	2.47	.61		
		대졸	209	2.56	.70		
		석사졸	27	2.19	.45		
		박사졸	8	2.46	.73		
ESG활동		고졸	20	2.45	.53	2.829	.025*
		전문대졸	53	2.33	.60		
		대졸	209	2.31	.81		
		석사졸	27	1.86	.70		
		박사졸	8	1.96	.58		
경영성과		고졸	20	2.30	.64	.405	.805
		전문대졸	53	2.04	.60		
		대졸	209	2.11	.83		
		석사졸	27	2.09	.93		
		박사졸	8	2.13	.64		

* $p < .05$

마) 직급에 따른 차이

본 연구에서는 조사대상자의 직급에 따른 주요 변수들에 차이가 있는지를 알기 위하여 일원분산분석(ANOVA)을 실시하여, 다음 [표 4-11]과 같이 모든 요인($p < .001$)에서 유의미한 차이를 보였다.

공장에너지관리시스템의 하위요인인 기획은 대리 이하 평균이 2.70점으로 가장 높았고, 다음으로 과·차장 평균 2.32점, 부장 평균 2.02점, 임원 이상 평균 1.44점의 순으로 나타났으며, 특히 대리 이하가 임원 이상보다 높아 통계적으로 유의미한 차이를 보였다($F=36.493$, $p < .001$).

공장에너지관리시스템의 하위요인인 실시는 대리 이하 평균이 2.59점으로 가장 높았고, 다음으로 과·차장 평균 2.35점, 부장 평균 2.13점, 임원 이상 평균 1.28점의 순으로 나타났으며, 특히 대리 이하가 임원 이상보다 높아 통계적으로 유의미한 차이를 보였다($F=46.731$, $p < .001$).

공장에너지관리시스템의 하위요인인 점검은 대리 이하 평균이 2.39점으로 가장 높았고, 다음으로 과·차장 평균 2.29점, 부장 평균 2.11점, 임원 이상 평균 1.18점의 순으로 나타났으며, 특히 대리 이하가 임원 이상보다 높아 통계적으로 유의미한 차이를 보였다($F=46.361$, $p < .001$).

공장에너지관리시스템의 하위요인인 조치는 대리 이하 평균이 2.54점으로 가장 높았고, 다음으로 과·차장 평균 2.35점, 부장 평균 2.00점, 임원 이상 평균 1.28점의 순으로 나타났으며, 특히 대리 이하가 임원 이상보다 높아 통계적으로 유의미한 차이를 보였다($F=46.871$, $p < .001$).

정부지원은 대리 이하 평균이 2.78점으로 가장 높았고, 다음으로 과·차장 평균 2.73점, 부장 평균 2.38점, 임원 이상 평균 1.82점의 순으로 나타났으며, 특히 대리 이하가 임원 이상보다 높아 통계적으로 유의미한 차이를 보였다($F=34.483$, $p < .001$).

ESG활동은 대리 이하 평균이 2.72점으로 가장 높았고, 다음으로 과·차장

평균 2.50점, 부장 평균 2.08점, 임원 이상 평균 1.40점의 순으로 나타났으며, 특히 대리 이하가 임원 이상보다 높아 통계적으로 유의미한 차이를 보였다 (F=48.942, $p<.001$).

경영성과는 대리 이하 평균이 2.66점으로 가장 높았고, 다음으로 과·차장 평균 2.34점, 부장 평균 1.92점, 임원 이상 평균 1.13점의 순으로 나타났으며, 특히 대리 이하가 임원 이상보다 높아 통계적으로 유의미한 차이를 보였다 (F=64.998, $p<.001$).

[표 4-11] 조사대상자의 직급에 따른 차이

구분		직급	N	평균	표준 편차	F	p
공장에너지 관리시스템	기획	대리 이하	66	2.70	.84	36.493	.000***
		과·차장	120	2.32	.48		
		부장	83	2.02	.55		
		임원 이상	47	1.44	.89		
	실시	대리 이하	66	2.59	.75	46.731	.000***
		과·차장	120	2.35	.51		
		부장	83	2.13	.75		
		임원 이상	47	1.28	.28		
	점검	대리 이하	66	2.39	.73	46.361	.000***
		과·차장	120	2.29	.52		
		부장	83	2.11	.69		
		임원 이상	47	1.18	.35		
	조치	대리 이하	66	2.54	.79	46.871	.000***
		과·차장	120	2.35	.47		
		부장	83	2.00	.62		
		임원 이상	47	1.28	.60		
정부지원		대리 이하	66	2.78	.69	34.483	.000***
		과·차장	120	2.73	.47		
		부장	83	2.38	.66		
		임원 이상	47	1.82	.44		
ESG활동		대리 이하	66	2.72	.83	48.942	.000***
		과·차장	120	2.50	.51		
		부장	83	2.08	.58		
		임원 이상	47	1.40	.66		
경영성과		대리 이하	66	2.66	.84	64.998	.000***
		과·차장	120	2.34	.57		
		부장	83	1.92	.59		
		임원 이상	47	1.13	.37		

*** $p<.001$

바) FEMS기간에 따른 차이

본 연구에서는 조사대상자의 FEMS기간에 따라 주요 변수에 차이가 있는지를 알기 위해 일원분산분석(ANOVA)을 실시하였는데, 다음 [표 4-12]와 같이 공장에너지관리시스템의 기획($p<.05$), 실시($p<.001$), 조치($p<.01$)와 경영성과($p<.05$)에서 유의미한 차이를 보였다.

공장에너지관리시스템의 하위요인인 기획은 1-2년 미만 평균이 2.35점으로 가장 높았고, 다음으로 2-3년 미만 평균 2.22점, 6개월 미만 평균 2.14점, 6개월-1년 미만 평균 2.09점, 3년 이상 평균 1.96점의 순으로 나타났으며, 특히 1-2년 미만이 3년 이상보다 높아 통계적으로 유의미한 차이를 보였다($F=2.768$, $p<.05$).

공장에너지관리시스템의 하위요인인 실시는 1-2년 미만 평균이 2.40점으로 가장 높았고, 다음으로 6개월 미만 평균 2.32점, 2-3년 미만 평균 2.13점, 6개월-1년 미만 평균 2.12점, 3년 이상 평균 1.85점의 순으로 나타났으며, 특히 1-2년 미만이 3년 이상보다 높아 통계적으로 유의미한 차이를 보였다($F=5.878$, $p<.001$).

공장에너지관리시스템의 하위요인인 조치는 1-2년 미만 평균이 2.30점으로 가장 높았고, 다음으로 6개월 미만 평균 2.25점, 2-3년 미만 평균 2.14점, 6개월-1년 미만 평균 2.05점, 3년 이상 평균 1.86점의 순으로 나타났으며, 특히 1-2년 미만이 3년 이상보다 높아 통계적으로 유의미한 차이를 보였다($F=3.826$, $p<.01$).

경영성과는 1-2년 미만 평균이 2.29점으로 가장 높았고, 다음으로 6개월 미만 평균 2.27점, 2-3년 미만 평균 2.09점, 6개월-1년 미만 평균 1.96점, 3년 이상 평균 1.89점의 순으로 나타났으며, 특히 1-2년 미만이 3년 이상보다 높아 통계적으로도 유의미한 차이를 보였다($F=3.373$, $p<.05$).

[표 4-12] 조사대상자의 FEMS기간에 따른 차이

구분		FEMS기간	N	평균	표준 편차	F	p
공장에너지 관리시스템	기획	6개월 미만	13	2.14	.50	2.768	.028*
		6개월-1년 미만	53	2.09	.70		
		1-2년 미만	113	2.35	.79		
		2-3년 미만	81	2.22	.87		
		3년 이상	57	1.96	.62		
	실시	6개월 미만	13	2.32	.57	5.878	.000***
		6개월-1년 미만	53	2.12	.64		
		1-2년 미만	113	2.40	.73		
		2-3년 미만	81	2.13	.76		
		3년 이상	57	1.85	.72		
	점검	6개월 미만	13	1.80	.41	2.080	.083
		6개월-1년 미만	53	2.06	.67		
		1-2년 미만	113	2.23	.65		
		2-3년 미만	81	2.07	.74		
		3년 이상	57	1.96	.86		
	조치	6개월 미만	13	2.25	.57	3.826	.005**
		6개월-1년 미만	53	2.05	.68		
		1-2년 미만	113	2.30	.71		
		2-3년 미만	81	2.14	.78		
		3년 이상	57	1.86	.69		
정부지원		6개월 미만	13	2.41	.47	1.569	.182
		6개월-1년 미만	53	2.52	.70		
		1-2년 미만	113	2.62	.65		
		2-3년 미만	81	2.42	.65		
		3년 이상	57	2.40	.68		
ESG활동		6개월 미만	13	2.28	.59	1.683	.154
		6개월-1년 미만	53	2.29	.67		
		1-2년 미만	113	2.40	.72		
		2-3년 미만	81	2.20	.88		
		3년 이상	57	2.11	.74		
경영성과		6개월 미만	13	2.27	.67	3.373	.010*
		6개월-1년 미만	53	1.96	.61		
		1-2년 미만	113	2.29	.82		
		2-3년 미만	81	2.09	.79		
		3년 이상	57	1.89	.82		

* p<.05, ** p<.01

3) 상관관계분석

본 연구에서는 독립변수인 구조방정식모형 분석의 기획, 실시, 점검, 조치와 매개변수인 정부지원, ESG활동 그리고 종속변수인 경영성과 간의 상관관계를 살펴보기 위하여 pearson 상관분석을 실시한 결과는 [표 4-13]과 같다.

먼저, 공장에너지관리시스템의 하위요인인 기획은 정부지원($r=.486$, $p<.001$), ESG활동($r=.730$, $p<.001$), 경영성과($r=.672$, $p<.001$)와 정(+)의 상관관계를 보이고 있다. 공장에너지관리시스템의 하위요인인 실시는 정부지원($r=.522$, $p<.001$), ESG활동($r=.499$, $p<.001$), 경영성과($r=.616$, $p<.001$)와 정(+)의 상관관계를 보이고 있다. 공장에너지관리시스템의 하위요인인 점검은 정부지원($r=.507$, $p<.001$), ESG활동($r=.556$, $p<.001$), 경영성과($r=.563$, $p<.001$)와 정(+)의 상관관계를 보이고 있다. 공장에너지관리시스템의 하위요인인 조치는 정부지원($r=.555$, $p<.001$), ESG활동($r=.714$, $p<.001$), 경영성과($r=.741$, $p<.001$)와 정(+)의 상관관계를 보이고 있다. 정부지원은 ESG활동($r=.527$, $p<.001$), 경영성과($r=.638$, $p<.001$)와 정(+)의 상관관계를 보였으며, ESG활동 또한 경영성과($r=.711$, $p<.001$)와 정(+)의 상관관계를 보이고 있다.

[표 4-13] 변수들 간의 상관관계

구분		공장에너지관리시스템				정부 지원	ESG 활동	경영 성과
		기획	실시	점검	조치			
공장에너지 관리시스템	기획	1						
	실시	.616** *	1					
	점검	.560** *	.668** *	1				
	조치	.668** *	.647** *	.606** *	1			
정부지원		.486** *	.522** *	.507** *	.555** *	1		
ESG활동		.730** *	.499** *	.556** *	.714** *	.527** *	1	
경영성과		.672** *	.616** *	.563** *	.741** *	.638** *	.711** *	1

*** $p < .001$

4) 다중회귀분석

가) 공장에너지관리시스템이 정부지원에 미치는 영향

본 연구에서는 구조방정식모형 분석의 기획, 실시, 점검, 조치가 정부지원에 미치는 영향을 알기 위해 다중회귀분석을 실시하였는데, 그 결과는 [표 4-14]와 같다.

먼저 공선성 진단결과 VIF 값이 모두 10 이하였고, 공차 한계는 모두 .10 보다 크게 나타나 다중 공선성의 문제는 없는 것으로 볼 수 있다.

공장에너지관리시스템이 정부지원을 설명하는 회귀모형의 설명력은 37.7%로 나타났으며, 회귀모형의 통계적 유의도를 나타내는 F값은 47.107($p < .001$)로 나타나므로 본 회귀모형은 적합한 것으로 나타났다.

한편 독립변수의 실시($\beta = .166$, $p < .05$), 점검($\beta = .172$, $p < .01$), 조치($\beta = .274$, $p < .001$)는 정부지원에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 실시, 점검, 조치가 높을수록 정부지원이 높은 것으로 나타났다.

[표 4-14] 공장에너지관리시스템이 정부지원에 미치는 영향

종속변수	독립변수	비표준화 계수		표준화 계수	t	p	공선성 통계	
		B	$S.E$	β			허용 오차	VIF
정부지원	(상수)	1.119	.106		10.561**	.000		
	기획	.090	.055	.104	1.630	.104	.486	2.056
	실시	.149	.061	.166	2.450*	.015	.435	2.297
	점검	.159	.059	.172	2.699**	.007	.493	2.030
	조치	.249	.061	.274	4.070***	.000	.442	2.265
$R^2=.377$, $adj.R^2=.369$, $F=47.107$ ***($p=.000$)								

** $p < .01$, *** $p < .001$

나) 공장에너지관리시스템이 ESG활동에 미치는 영향

본 연구에서는 구조방정식모형 분석의 기획, 실시, 점검, 조치가 ESG활동에 미치는 영향을 알기 위해 다중회귀분석을 실시하였는데, 그 결과는 [표 4-15]와 같다. 먼저 공선성 진단결과 VIF 값이 모두 10 이하였고, 공차 한계는 모두 .10보다 크게 나타나므로 다중 공선성의 문제는 없는 것으로 볼 수 있다. 공장에너지관리시스템이 ESG활동을 설명하는 회귀모형의 설명력은 64.0%로 나타났으며, 회귀모형의 통계적 유의도를 나타내는 F값은 138.857($p<.001$)로 나타나므로 본 회귀모형은 적합한 것으로 나타났다.

한편 독립변수의 기획($\beta = .468, p<.001$), 점검($\beta = .147, p<.01$), 조치($\beta = .411, p<.001$)는 ESG활동에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났으나, 실시($\beta = -.154, p<.01$)는 부(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 공장에너지관리시스템이 비교적 높을수록 ESG활동이 높은 것으로 나타났다.

[표 4-15] 공장에너지관리시스템이 ESG활동에 미치는 영향

종속변수	독립변수	비표준화 계수		표준화 계수	<i>t</i>	<i>p</i>	공선성 통계	
		<i>B</i>	<i>S.E</i>	β			허용 오차	VIF
ESG 활동	(상수)	.358	.092		3.871***	.000		
	기획	.463	.048	.468	9.612***	.000	.486	2.056
	실시	-.158	.053	-.154	-2.988*	.003	.435	2.297
	점검	.156	.051	.147	3.044**	.003	.493	2.030
	조치	.430	.053	.411	8.046***	.000	.442	2.265
$R^2=.640, \text{ adj.}R^2=.635, F=138.857^{***}(p=.000)$								

** $p<.01$, *** $p<.001$

다) 정부지원이 경영성과에 미치는 영향

본 연구에서는 정부지원이 경영성과에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 단순회귀분석을 실시하였는데, 그 결과는 다음 [표 4-16]과 같다.

정부지원이 경영성과를 설명하는 회귀모형의 설명력은 40.7%로 나타났으며, 회귀모형의 통계적 유의도를 나타내는 F값은 215.962($p < .001$)로 나타나므로 본 회귀모형은 적합한 것으로 나타났다.

한편 독립변수인 정부지원($\beta = .638$, $p < .001$)은 경영성과에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 정부지원이 높을수록 경영성과가 높은 것으로 나타났다.

[표 4-16] 정부지원이 경영성과에 미치는 영향

종속변수	독립변수	비표준화 계수		표준화 계수	<i>t</i>	<i>p</i>
		<i>B</i>	<i>S.E</i>	β		
경영성과	(상수)	.212	.134		1.590	.113
	정부지원	.758	.052	.638	14.696***	.000
$R^2=.407$, $\text{adj.}R^2=.405$, $F=215.962^{***}$ ($p=.000$)						

*** $p < .001$

라) ESG활동이 경영성과에 미치는 영향

본 연구에서는 ESG활동이 경영성과에 미치는 영향을 알기 위해 단순회귀분석을 실시하였는데, 그 결과는 [표 4-17]과 같다.

ESG활동이 경영성과를 설명하는 회귀모형의 설명력은 50.6%로 나타났으며, 회귀모형의 통계적 유의도를 나타내는 F값은 322.406($p < .001$)로 나타나

본 회귀모형은 적합한 것으로 나타났다.

한편 독립변수(매개변수)인 ESG활동($\beta = .711$, $p < .001$)은 경영성과에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 ESG활동이 높을수록 경영성과가 높은 것으로 나타났다.

[표 4-17] ESG활동이 경영성과에 미치는 영향

종속변수	독립변수	비표준화 계수		표준화 계수	<i>t</i>	<i>p</i>
		<i>B</i>	<i>S.E</i>	β		
경영성과	(상수)	.437	.098		4.448***	.000
	ESG활동	.736	.041	.711	17.956***	.000
$R^2 = .506$, $\text{adj.}R^2 = .504$, $F = 322.406^{***}$ ($p = .000$)						

*** $p < .001$

마) 공장에너지관리시스템이 경영성과에 미치는 영향

본 연구에서는 구조방정식모형 분석의 기획, 실시, 점검, 조치가 경영성과에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 다중회귀분석을 실시하였는데, 그 결과는 [표 4-18]과 같다.

먼저 공선성 진단결과 VIF 값이 모두 10 이하였고, 공차 한계는 모두 .10 보다 크게 나타나므로 다중 공선성의 문제는 없는 것으로 볼 수 있다.

ESG활동이 경영성과를 설명하는 회귀모형의 설명력은 61.9%로 나타났으며, 회귀모형의 통계적 유의도를 나타내는 F값은 126.809($p < .001$)로 나타나 본 회귀모형은 적합한 것으로 나타났다.

한편 독립변수의 기획($\beta = .262$, $p < .001$), 실시($\beta = .124$, $p < .05$), 조치($\beta = .448$, $p < .001$)는 경영성과에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다.

따라서 기획, 점검, 조치가 높을수록 경영성과가 높은 것으로 나타났다.

[표 4-18] 공장에너지관리시스템이 경영성과에 미치는 영향

종속변수	독립변수	비표준화 계수		표준화 계수	<i>t</i>	<i>p</i>	공선성 통계	
		<i>B</i>	<i>S.E</i>	β			허용 오차	VIF
경영성과	(상수)	.057	.098		.575	.565		
	기획	.269	.051	.262	5.232***	.000	.486	2.056
	실시	.132	.056	.124	2.347*	.020	.435	2.297
	점검	.067	.055	.061	1.235	.218	.493	2.030
	조치	.485	.057	.448	8.519***	.000	.442	2.265
$R^2=.619$, $\text{adj.}R^2=.614$, $F=126.809^{***}$ ($p=.000$)								

* $p<.05$, *** $p<.001$

5) 구조방정식모형 분석

가) 외생변수²³⁾의 확인적요인분석

(1) 측정모형의 적합도 검증

본 연구는 탐색적 요인분석을 통해 선정된 측정항목에 대한 타당성 검증을 위하여 확인적 요인분석(AMOS)을 실시하였다. 확인적 요인분석(AMOS)은 본 연구에서 설정한 측정모형을 구조방정식 모형의 적합도 판단기준에 따라 [표 4-19]과 같이 검증하였다.

측정모형은 적합도 지수 평가에서 $\chi^2 = 190.048$ ($p<.001$), $\text{RMR}=.033$, $\text{GFI}=.924$, $\text{TLI}=.945$, $\text{CFI}=.957$, $\text{RMSAEA}=.073$ 으로 χ^2 값이 기준값을 충족하지 못하였다.

23) 외생변수 기획, 실시, 점검, 조치의 독립변수

그러나 적합도는 절대적 기준이 아니므로 다른 지표들과 통합하여 판단할 수 있다(김계수, 2007). 따라서 RMR, GFI, TLI, CFI, RMSEA 등의 적합지수가 기준값을 충족하고 있으므로 측정모형이 타당한 것이라 볼 수 있다.

[표 4-19] 측정 모형의 적합도 검증

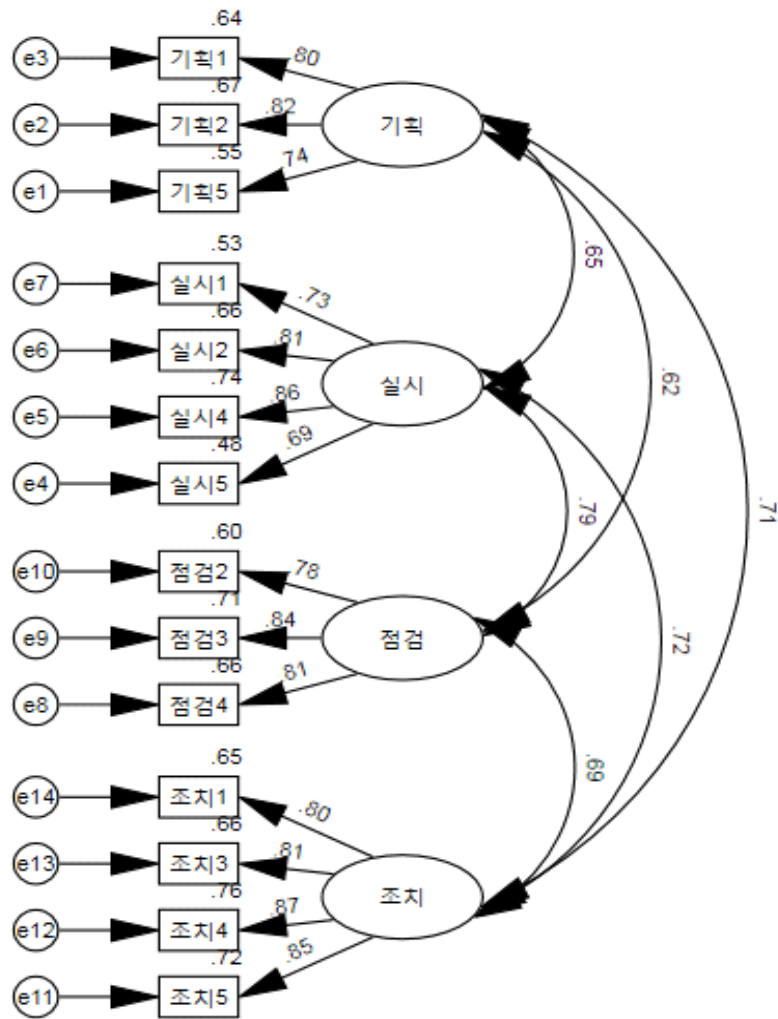
구분	χ^2	RMR	GFI	TLI	CFI	RMSEA
기준	$p > .05$	.05 이하	.8 이상	.9 이상	.9 이상	.08 이하
측정모형	190.048 $p = .000$	.033	.924	.945	.957	.073

(2) 측정모형의 집중타당성 검증

본 연구에서는 측정모형에 대한 집중타당도 분석을 하였는데, [그림 4-1] 및 [표 4-20]과 같다.

집중타당성은 잠재변수를 측정하는 관측변수들의 일치성을 평가하는 것으로서, 표준화된 요인 적재치(standardized factor loading), 개념 신뢰도(construct reliability), 평균 분산추출지수(Average Variance Extracred : AVE) 등을 통해 평가한다.

측정모형이 집중타당성을 갖기 위해서는 표준화된 요인의 적재치 .5이상, 경로계수의 통계적인 유의성을 나타내는 C.R(Critical Ratio)값이 ± 1.96 이상이어야 한다. 그리고 평균 분산추출지수가 .5이상이고, 개념 신뢰도가 .7이상이면 집중 타당성이 있는 것으로 간주된다(배병렬 2014).



[그림 4-1] 외생변수 측정모형

분석 결과는 모든 측정변인의 표준화된 요인 적재치는 0.6 이상으로 요인적재치 기준을 충족하고 있으며, C.R값도 모두 ± 11.00 이상으로 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 집중타당도를 검증하기 위하여 AVE와 C.R값을 도출한 결과로는 모두 분산추출지수가 .6 이상이고, 개념 신뢰도가 .8 이상으로 나타났다으므로 집중타당도가 확보되었다. 그러므로 잠재변인을 측정하는 관측변인이 일치성이 확보되었다.

[표 4-20] 측정모형의 집중타당성 분석 결과

잠재요인			표준 화 계 수	비표준 화 계수	S.E.	C.R.	p	개념 신뢰 도	AVE
기획5	←	기획	.742	1				.859	.670
기획2	←	기획	.821	1.224	.091	13.44 ₂	.000**		
기획1	←	기획	.798	1.071	.081	13.16 ₃	.000**		
실시7	←	실시	.694	1				.888	.667
실시6	←	실시	.859	1.53	.112	13.63 ₉	.000**		
실시4	←	실시	.812	1.363	.105	13.03 ₉	.000**		
실시3	←	실시	.726	1.179	.100	11.79 ₁	.000**		
점검4	←	점검	.813	1				.882	.713
점검3	←	점검	.842	1.049	.065	16.10 ₇	.000**		
점검2	←	점검	.777	0.846	.057	14.72 ₃	.000**		
조치5	←	조치	.850	1				.926	.759
조치4	←	조치	.871	1.051	.054	19.40 ₅	.000**		
조치3	←	조치	.810	1.052	.061	17.34 ₄	.000**		
조치1	←	조치	.803	1.040	.061	17.12 ₆	.000**		

*** p<.001

(3) 측정모형의 판별타당성 검증

본 연구에서는 측정모형의 판별 타당성을 알기 위하여 상관행렬과 각 변수에 대한 평균분산추출지수(Average Variance Extracted; AVE)를 측정하였다. 판별 타당성의 평가는 두 구성개념 간 각각의 AVE값과 두 구성개념 간 상관계수 제곱 값을 비교하여 AVE 값이 상관계수의 제곱값 보다 클 경우 판별타당성이 확보된 것으로 본다(우종필, 2012).

다음 [표 4-21]에서와 같이 각 요인들 간의 분산추출지수 값이 상관계수 제곱값 보다 크므로 요인들 사이에는 판별타당성이 확보 되었다고 할 수 있다.

[표 4-21] 측정모형의 상관행렬과 분산추출지수

	기획	실시	점검	조치
기획	.670*			
실시	.336	.667*		
점검	.269	.345	.713*	
조치	.446	.343	.349	.759*

* = AVE

나) 내생변수²⁴⁾의 확인적요인분석

(1) 모형의 적합도 검증

본 연구는 탐색적 요인분석을 통하여 선정된 측정항목들에 대한 타당성 검증을 위하여 확인적 요인분석(AMOS)을 실시하였다.

확인적 요인분석(AMOS)은 본 연구에서 설정한 측정모형들을 구조방정식 모형의 적합도 판단기준에 따라 [표 4-22]와 같이 검증하였다.

측정모형은 적합도 지수 평가에서 $\chi^2 = 64.567(p < .001)$, RMR=.026, GFI=.956, TLI=.965, CFI=.977, RMSEA =.073으로 χ^2 값이 기준값을 충족하지 못하였다.

그러나 적합도는 절대적 기준이 아니므로 다른 지표들과 통합하여 판단할 수 있다(김계수, 2007). 따라서 RMR, GFI, TLI, CFI, RMSEA 등의 적합지수가 기준값을 충족하고 있어 측정모형이 타당한 것으로 볼 수 있다.

24) 내생변수 : 매개변수인 정부지원, ESG활동과 종속변수인 경영성과

[표 4-22] 측정 모형의 적합도 검증

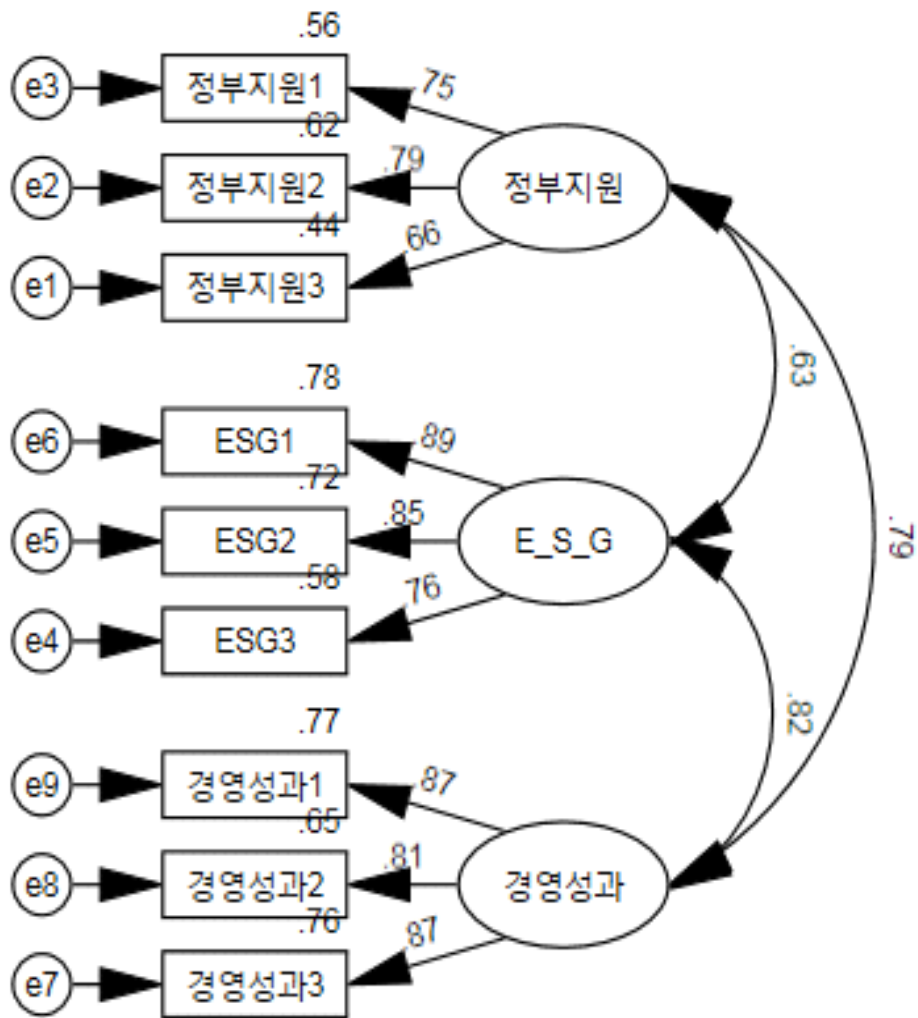
구분	χ^2	RMR	GFI	TLI	CFI	RMSEA
기준	$p > .05$	.05 이하	.8 이상	.9 이상	.9 이상	.08 이하
측정모형	64.567 $p = .000$	.026	.956	.965	.977	.073

(2) 측정모형의 집중타당성 검증

본 연구는 측정모형에 대한 집중타당도 분석을 하였는데, [그림 4-2] 및 [표 4-23]과 같다.

집중타당성은 잠재변수를 측정하는 관측변수들의 일치성을 평가하는 것이므로, 표준화된 요인 적재치(standardized factor loading), 개념 신뢰도(construct reliability), 평균 분산추출지수(Average Variance Extracred : AVE) 등을 통하여 평가한다.

측정모형이 집중타당성을 갖기 위해서는 표준화된 요인 적재치 .5이상, 경로계수의 통계적인 유의성을 나타내는 C.R(Critical Ratio)값이 ± 1.96 이상이어야 한다. 그리고 평균 분산추출지수가 .5이상이고, 개념 신뢰도가 .7이상이면 집중 타당성이 있는 것으로 간주된다(배병렬 2014).



[그림 4-2] 내생변수 측정모형

분석 결과, 모든 측정변인들의 표준화된 요인 적재치는 0.6 이상이므로 요인적재치 기준을 충족하였고, C.R값도 모두 ± 10.00 이상으로 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 집중타당도를 검증하기 위해 AVE와 C.R값을 도출한 결과 값은 모두 분산추출지수가 .6이상이고, 개념 신뢰도가 .8이상으로 나타나므로 집중타당도가 확보되었다. 따라서 잠재변인을 측정하는 관측변인의 일치성을 확보되었다.

[표 4-23] 측정모형의 집중타당성 분석 결과

잠재요인			표준화 계수	비표준화 계수	S.E.	C.R.	p	개념 신뢰도	AVE
정부 지원3	←	정부 지원	.662	1				.849	.652
정부 지원2	←	정부 지원	.786	1.288	.117	11.01	.000**		
정부 지원1	←	정부 지원	.751	1.174	.109	10.724	.000**		
ESG3	←	ESG 활동	.760	1				.903	.756
ESG2	←	ESG 활동	.851	1.167	.075	15.468	.000**		
ESG1	←	ESG 활동	.885	1.106	.069	16.012	.000**		
경영 성과3	←	경영 성과	.872	1				.917	.786
경영 성과2	←	경영 성과	.806	1.093	.061	17.777	.000**		
경영 성과1	←	경영 성과	.875	.985	.049	20.306	.000**		

*** p<.001

(3) 측정모형의 판별타당성 검증

본 연구는 측정모형의 판별 타당성을 살펴보기 위해서 상관행렬과 각 변수에 대한 평균분산추출지수(Average Variance Extracted; AVE)를 측정하였다. 판별 타당성의 평가는 두 구성개념 간 각각의 AVE값과 두 구성개념 간 상관 계수 제곱 값을 비교하여 AVE 값이 상관계수의 제곱 값 보다 클 경우 판별 타당성이 확보된 것으로 본다(우종필, 2012).

다음 [표 4-24]에서와 같이 각 요인들 간의 분산추출지수 값이 상관계수 제곱 값 보다 크므로 요인들 사이에는 판별타당성이 확보되었다고 할 수 있다.

[표 4-24] 측정모형의 상관행렬과 분산추출지수

	정부지원	ESG활동	경영성과
정부지원	.652*		
ESG활동	.278	.756*	
경영성과	.437	.531	.786*

* = AVE

다) 연구모형의 검증

(1) 연구모형의 적합성 평가

본 연구는 공장에너지관리시스템을 독립변수로, 정부지원과 ESG활동을 매개변수로, 경영성과를 종속변수로 설정한 연구모형을 구조방정식 모형의 적합도 판단기준에 따라 [표 4-25]와 같이 검증하였는데, 연구모형은 적합도 지수 평가에서 $\chi^2 = 635.967 (p < .001)$, RMR=.033, GFI=.862, TLI=.901, CFI=.918, RMSAEA=.080로 χ^2 값이 기준값을 충족하지 못하였다.

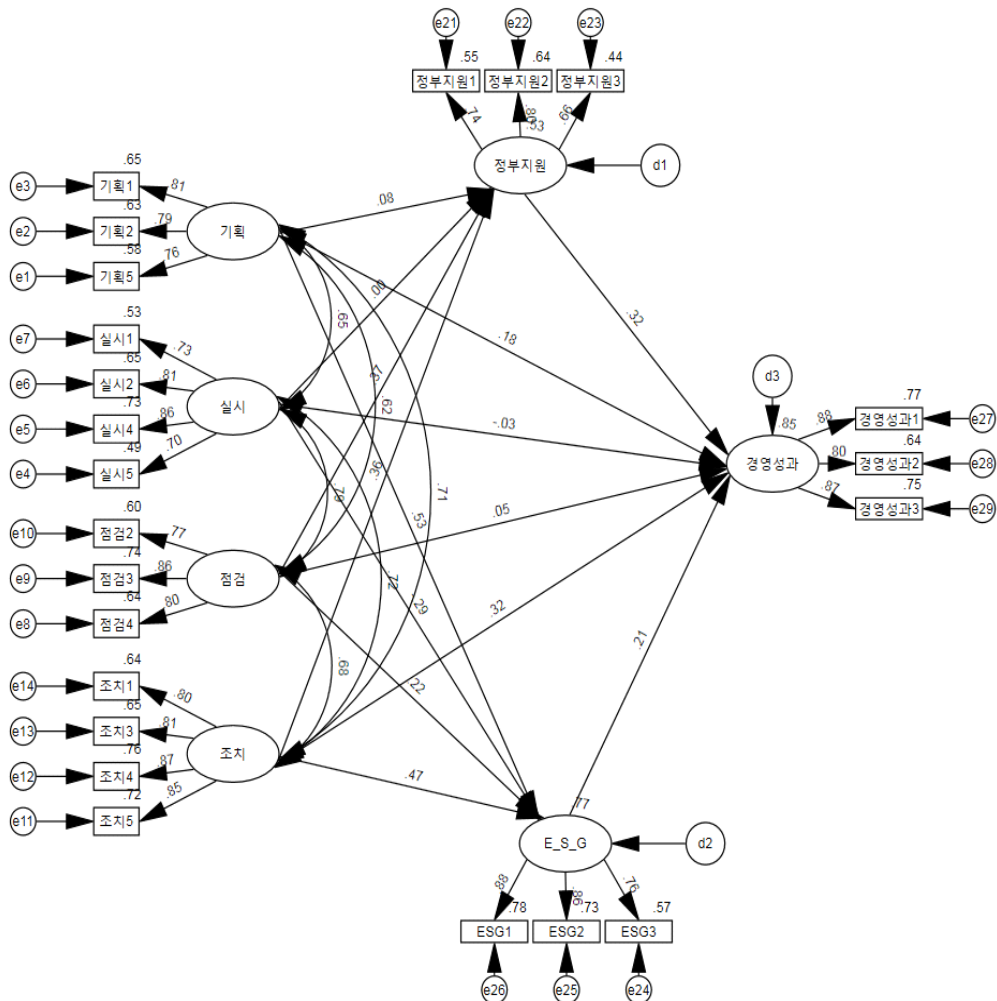
그러나 적합도는 절대적 기준이 아니므로 다른 지표들과 통합하여 판단할 수 있다(김계수, 2007). 따라서 RMR, CFI, GFI, TLI, RMSEA 등의 적합지수가 기준값을 충족하고 있으므로 연구모형은 타당한 것으로 볼 수 있다.

[표 4-25] 연구모형의 적합도 검증

구분	χ^2	RMR	GFI	TLI	CFI	RMSEA
기준	$p > .05$	.05 이하	.8 이상	.9 이상	.9 이상	.08 이하
연구모형	635.967 $p = .000$	.033	.862	.901	.918	.080

(2) 연구모형의 모수 추정치

연구모형의 모수 추정치 결과 및 통계적 유의성 검증을 실시한 결과 다음 [그림 4-3] 및 [표 4-26]와 같다.



[그림 4-3] 연구모형의 모수 추정치

[표 4-26] 연구모형의 모수 추정치

잠재요인			표준화 Estimte	비표준화 Estimte	S.E.	C.R.	p
정부지원	←	기획	.078	.069	.080	.863	.388
정부지원	←	실시	-.001	-.001	.123	-.012	.991
정부지원	←	점검	.366	.292	.090	3.259	.001**
정부지원	←	조치	.363	.312	.086	3.616	.000***
ESG활동	←	기획	.525	.513	.078	6.545	.000***
ESG활동	←	실시	-.291	-.345	.112	-3.080	.002**
ESG활동	←	점검	.217	.192	.076	2.526	.012*
ESG활동	←	조치	.474	.452	.077	5.859	.000***
경영성과	←	정부지원	.324	.377	.074	5.089	.000***
경영성과	←	ESG활동	.213	.224	.099	2.264	.024*
경영성과	←	기획	.181	.185	.085	2.169	.030*
경영성과	←	실시	-.030	-.037	.106	-.354	.723
경영성과	←	점검	.053	.049	.075	.656	.512
경영성과	←	조치	.317	.318	.084	3.776	.000***

* p<.05, ** p<.01, *** p<.001

제 4 절 가설검정

1) 공장에너지관리시스템이 경영성과에 미치는 영향

공장에너지관리시스템의 하위요인인 기획이 경영성과에 이르는 경로에서 C.R값 2.169, $p=.030$ 으로 경영성과에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타나므로, 공장에너지관리시스템의 기획이 높을수록 경영성과도 높아지는 것으로 나타났다. 공장에너지관리시스템의 하위요인인 조치가 경영성과에 이르는 경로에서 C.R값 3.776, $p=.000$ 으로 경영성과에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타나므로, 공장에너지관리시스템의 조치가 높을수록 경영성과도 높아지는 것으로 나타났다.

그러나 공장에너지관리시스템의 실시, 점검은 경영성과에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

2) 공장에너지관리시스템이 정부지원에 미치는 영향

공장에너지관리시스템의 하위요인인 점검이 정부지원에 이르는 경로에서 C.R값 3.259, $p=.001$ 로 정부지원에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타나, 점검을 잘할수록 정부지원도 많아지는 것으로 나타났다. 공장에너지관리시스템의 하위요인인 조치가 정부지원에 이르는 경로에서 C.R값 3.616, $p=.000$ 으로 정부지원에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타나, 조치를 잘할수록 정부지원도 많아지는 것으로 나타났다.

그러나 공장에너지관리시스템의 기획, 실시는 정부지원에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

3) 공장에너지관리시스템이 ESG활동에 미치는 영향

공장에너지관리시스템의 하위요인인 기획이 ESG활동에 이르는 경로에서 C.R값 6.545, $p=.000$ 으로 ESG활동에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타나, 기획을 잘할수록 ESG활동도 커지는 것으로 나타났다. 공장에너지관리시스템의 하위요인인 실사가 ESG활동에 이르는 경로에서 C.R값 -3.080, $p=.002$ 으로 ESG활동에 부(-)의 영향을 미치는 것으로 나타나, 실사를 많이 할수록 ESG활동은 낮아지는 것으로 나타났다. 공장에너지관리시스템의 하위요인인 점검이 ESG활동에 이르는 경로에서 C.R값 2.526, $p=.012$ 로 ESG활동에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타나, 점검을 잘할수록 ESG활동도 커지는 것으로 나타났다. 공장에너지관리시스템의 하위요인인 조치가 ESG활동에 이르는 경로에서 C.R값 5.859, $p=.000$ 으로 ESG활동에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타나, 조치를 잘할수록 ESG활동도 커지는 것으로 나타났다.

4) 정부지원이 경영성과에 미치는 영향

정부지원이 경영성과에 이르는 경로에서 C.R값 5.089, $p=.000$ 으로 경영성과에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타나므로, 정부지원이 높을수록 경영성과도 높아지는 것으로 나타났다.

5) ESG활동이 경영성과에 미치는 영향

ESG활동이 경영성과에 이르는 경로에서 C.R값 2.264, $p=.024$ 로 경영성과에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타나므로, ESG활동이 높을수록 경영성과도 높아지는 것으로 나타났다.

6) 정부지원, ESG활동의 매개효과

공장에너지관리시스템과 경영성과와의 관계에서 정부지원, ESG활동의 매개효과를 살펴보면 다음 [표 4-27]과 같다.

공장에너지관리시스템의 하위요인인 실시(coeffect=.150, $p<.01$), 조치(coeffect=.279, $p<.001$)는 정부지원에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 공장에너지관리시스템의 하위요인인 조치가 정부지원을 거쳐 경영성과에 미치는 경로에서는 직접효과 .303($p<.001$)로 유의미하였다.

또한, 공장에너지관리시스템의 하위요인인 조치는 정부지원을 거쳐 경영성과에 이르는 경로에서의 간접효과 크기는 .085(.007~.149)이었으며, bootstrap 95%의 신뢰구간에서 하한값과 상한값 사이에 '0'이 존재하지 않아 간접효과는 유의미하여, 정부지원은 부분 매개효과가 있는 것으로 나타났다.

공장에너지관리시스템의 하위요인인 기획(coeffect=.458, $p<.001$), 조치(coeffect=.401, $p<.001$)는 ESG활동에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 공장에너지관리시스템의 하위요인인 조치가 ESG활동을 거쳐 경영성과에 미치는 경로에서는 직접효과 .220($p<.001$)로 유의미하였다.

또한, 공장에너지관리시스템의 하위요인인 기획, 조치는 ESG활동을 거쳐 경영성과에 이르는 경로에서의 간접효과 크기는 각각 .101(.021~.210), .088(.021~.169)이었으며, bootstrap 95%의 신뢰구간에서 하한값과 상한값 사이에 '0'이 존재하지 않아 간접효과는 유의미하여, 정부지원은 부분 매개효과가 있는 것으로 나타났다.

반면, 공장에너지관리시스템의 하위요인인 점검(coeffect=.150, $p<.01$)은 ESG활동에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났지만, ESG활동을 거쳐 경영성과에 이르는 경로에서의 간접효과 크기는 .033(.004~.079)으로 bootstrap 95%의 신뢰구간에서 하한값과 상한값 사이에 '0'이 존재하는 것으로 나타났다. 즉, 간접효과는 유의미하지 않지만, ESG활동은 완전 매개효과가 있는 것으로 나타났다.

[표 4-27] 정부지원 및 ESG영향의 매개효과

종속 변수	독립변수	coeffect	se	t	p	LLCI	ULCI
정부 지원	(상수)	1.129	.109	10.366	.000***	.915	1.343
	기획	.108	.055	1.956	.051	-.001	.217
	실시	.150	.056	2.684	.008**	.040	.261
	점검	.104	.055	1.889	.060	-.004	.213
	조치	.279	.061	4.561	.000***	.158	.399
ESG 활동	(상수)	.336	.094	3.566	.000***	.151	.522
	기획	.458	.048	9.555	.000***	.364	.552
	실시	-.111	.049	-2.283	.023*	-.206	-.015
	점검	.150	.048	3.133	.002**	.056	.244
	조치	.401	.053	7.573	.000***	.296	.505
경영 성과	(상수)	-.288	.096	-2.988	.003**	-.477	-.098
	기획	.152	.048	3.176	.002**	.058	.246
	실시	.036	.044	.816	.415	-.050	.121
	점검	.008	.043	.193	.847	-.076	.092
	조치	.334	.051	6.518	.000***	.233	.435
	정부지원	.303	.044	6.968	.000***	.218	.389
	ESG활동	.220	.050	4.372	.000***	.121	.319
간접효과							
경로		Effect	BootSE	BootLLCI	BootULCI		
기획→정부지원→경영성과		.033	.031	-.015	.105		
실시→정부지원→경영성과		.046	.026	-.002	.100		
점검→정부지원→경영성과		.032	.025	-.017	.083		
조치→정부지원→경영성과		.085	.036	.007	.149		
기획→ESG활동→경영성과		.101	.048	.021	.210		
실시→ESG활동→경영성과		-.024	.018	-.065	.005		
점검→ESG활동→경영성과		.033	.019	.004	.079		
조치→ESG활동→경영성과		.088	.037	.021	.169		

* p<.05, ** p<.01, *** p<.001

제 5 절 가설검정 결과요약

본 연구의 가설 검증결과를 요약하면 다음 [표 4-28]과 같다.

[표 4-28] 가설검증결과 요약

구분	가설	채택/기각
가설 1	FEMS의 기획은 경영성과에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.	채택
가설 2	FEMS의 실시는 경영성과에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.	기각
가설 3	FEMS의 점검은 경영성과에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.	기각
가설 4	FEMS의 조치는 경영성과에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.	채택
가설 5	FEMS의 기획은 정부지원에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.	채택
가설 6	FEMS의 실시는 정부지원에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.	기각
가설 7	FEMS의 점검은 정부지원에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.	기각
가설 8	FEMS의 조치는 정부지원에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.	채택
가설 9	FEMS의 기획은 ESG활동에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.	채택
가설 10	FEMS의 실시는 ESG활동에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.	채택
가설 11	FEMS의 점검은 ESG활동에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.	채택
가설 12	FEMS의 조치는 ESG활동에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.	채택
가설 13	FEMS의 정부지원은 경영성과에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.	채택
가설 14	FEMS의 ESG활동은 경영성과에 정(+)의 영향을 미칠 것이다..	채택

가설 15	FMES가 경영성과에 영향을 미칠 때 정부지원이 매개효과가 있을 것이다.	부분채택
15-1	기획이 경영성과에 영향을 미칠 때 정부지원이 매개효과가 있을 것이다.	기각
15-2	실시가 경영성과에 영향을 미칠 때 정부지원이 매개효과가 있을 것이다.	기각
15-3	점검이 경영성과에 영향을 미칠 때 정부지원이 매개효과가 있을 것이다.	기각
15-4	조치가 경영성과에 영향을 미칠 때 정부지원이 매개효과가 있을 것이다.	채택
가설 16	FMES가 경영성과에 영향을 미칠 때 ESG활동이 매개효과가 있을 것이다.	부분채택
16-1	기획이 경영성과에 영향을 미칠 때 ESG활동이 매개효과가 있을 것이다.	채택
16-2	실시가 경영성과에 영향을 미칠 때 ESG활동이 매개효과가 있을 것이다.	기각
16-3	점검이 경영성과에 영향을 미칠 때 ESG활동이 매개효과가 있을 것이다.	채택
16-4	조치가 경영성과에 영향을 미칠 때 ESG활동이 매개효과가 있을 것이다.	채택

제 5 장 결 론

제 1 절 연구결과의 요약

본 연구 목적은 ESG 환경 하에서 탄소중립에 대한 정부와 중소기업의 에너지 절감 노력이 요구되는 상황에서 중소기업이 참여하고 기여 할 수 있는 분야로 공장에너지관리시스템을 선정하고, 효율성과 시너지효과에 대한 중소기업의 특성, 생산공정, 사회적 요구들과 기업의 운영 항목들과 연계하여 공장에너지관리시스템이 경영성과에 미치는 운영 요소에 대해 모색하였다.

본 연구를 통하여 공장에너지관리시스템(FEMS)을 도입한 중소기업을 대상으로 공장에너지관리시스템의 운영에 대한 기획, 실시, 점검, 조치 요소들이 경영성과에 미치는 요소들과 정부지원과 최근 이슈가 되어 기업들이 관심을 갖기 시작한 ESG활동에 따른 중소기업의 경영성과에 미치는 매개효과를 실증분석을 하여, 중소기업이 공장에너지관리시스템의 도입을 촉진하는데 기여하기 위한 경영성과에 미치는 요소들을 활용을 위해 연구결과를 도출 했다.

결론적으로, 본 연구의 실증분석 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, ESG환경과 중소기업의 스마트공장, 공장에너지관리시스템, 에너지 수요관리의 정부지원 관련 선행연구 및 문헌, 현황 등을 검토하여, 공장에너지관리시스템의 운영요소인 기획, 실시, 점검, 조치를 독립변수로 하고, 정부지원과, ESG활동을 매개변수로 하여 중소기업의 공장에너지관리시스템이 경영성과에 미치는 요소 대해 실증연구를 위한 근거를 모색하였다.

둘째, 본 연구에서는 스마트공장을 도입한 국내의 중소기업 내부에서 공장에너지관리시스템에 대한 합리적이며, 효율적 측면에서 경영할 수 있는 운영 요소에 대한 선행연구는 다음과 같다. 중소기업별 특성과 생산공정 측

면, 사회적인 요구사항과 기업 입장에서의 요구사항, 효율적 에너지 관리에 필요한 기술측면과 관리적인 요소들과 스마트공장 도입 환경에 맞는 시스템 적 요소들과 상호 연계가 가능한 시스템 구축과 실행 등을 선행연구 하였다. 그 결과 ISO의 에너지관리(경영)시스템의 운영 항목들을 바탕으로 운영요소의 분류를 ISO에서 실시하는 PDCA 사이클에 준하는 운영요소인 P[기획(Plan)], D[실시(Do)], C[점검(Check)], A[조치(Action)] 요소로 정의하고, 공장에너지관리시스템의 운영요소에 대해 연구 할 수 있는 분석의 틀을 마련하고 실증연구를 하였다.

본 실증연구 결과는 다음과 같다.

첫째, FEMS의 기획과 조치는 경영성과에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 즉 FEMS의 기획과 조치가 잘 이루어질수록 경영성과도 높아지는 것으로 나타났다.

둘째, FEMS은 기획과 조치는 정부지원에 정(+)영향을 미치고, 기획, 실시, 점검, 조치는 ESG활동에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 즉 기획과 조치가 잘 이루어 질수록 정부지원도 잘 받을 수 있고, 기획, 실시, 점검, 조치가 잘 이루어 지는 것은 ESG활동이 높기 때문인 것으로 나타났다.

셋째, FEMS에 대한 정부지원은 경영성과에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 즉 FEMS에 대한 정부지원이 많을수록 경영성과도 높아지는 것으로 나타났다.

넷째, FEMS의 ESG활동은 경영성과에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 즉 FEMS의 ESG활동이 클수록 경영성과도 높아지는 것으로 나타났다.

다섯째, FEMS의 조치가 경영성과에 영향을 미칠 때 정부지원은 매개효과가 있는 것으로 나타났다. 즉 조치가 잘 이루어지면 정부지원도 강화되고 이에

따라 경영성과도 높아지는 것으로 나타났다.

여섯째, FEMS의 기획, 점검, 조치가 경영성과에 영향을 미칠 때 ESG활동은 매개효과가 있는 것으로 나타났다. 즉 기획, 점검, 조치가 잘 이루어지는 것은 ESG활동이 조직에 영향이 커지면 경영성과도 높아지는 것으로 나타났다.

일곱째, 매개변수의 매개효과 준석을 위하여 베타값으로 분석해 보면, 1) 기획이 잘 이루어 질 때, ESG활동이 커지면서 경영성과가 가장 큰 것으로 나타났다으며, 2) 조치가 잘 이루어질 때, 정부지원도 강화되고, ESG활동도 커지면서 경영성과가 두 번째로 높아지는 것으로 나타났으며, 3) 점검이 잘 이루어 질 때, 정부지원도 강화되고 이에 따라 경영성과가 네 번째로 높아지는 것으로 나타났다.

제 2 절 연구의 시사점

1) 이론적 시사점

본 연구의 이론적 고찰에서 중소기업의 공장에너지관리시스템이 경영성과에 미치는 요소에 관한 연구에서 지구환경의 변화에 따라 세계적으로 ESG 중에 환경에 대한 관심이 높아지면서, 세계의 정부들과 글로벌 기업들이 적극적으로 참여하며, RE100 개발과 에너지절감에 대해 많은 연구와 지원을 하고 있는 환경에서 다음과 같이 제언하고자 한다.

첫째, 정부는 중소기업이 공장에너지관리시스템을 구축하도록 지원금액을 증대시키고, R&D기술개발을 촉진시키며, 제도적인 측면에서는 정부사업에 가점제도를 적용해야 한다.

둘째, 중소기업은 공장에너지관리시스템을 구축하기 전이라도 우선적으

로 PDCA절차에 따라 에너지절감 활동을 전사적으로 실시하여 에너지절감 노력을 생활화하여야 하고, 효율적인 에너지관리를 위하여 정부지원을 받아 공장에너지관리시스템을 구축하여야 한다.

셋째, 실증연구 결과에 따라, 중소제조기업들은 정부지원을 받아 “공장에너지관리시스템을 구축하고 운영해 나갈때 운영요소 중에 기획, 조치, 점검 순으로 적용”하며 경영성과를 높여 나가야 한다.

2) 실무적 시사점

본 연구의 이론적 고찰에서 정부지원과 ESG활동이 매개효과를 갖고 있는 것으로 추론 하였으나, 공장에너지관리시스템을 구축하는 초반에는 기대와 만족감이 좋지만, 장기적인 측면에서는 만족하지 못하고 있으므로 다음과 같이 제언하고자 한다.

첫째, 공장에너지관리시스템의 구축에 대한 투자 대비 ROI의 개선을 위해 정부의 R&D지원사업으로 소프트웨어, 하드웨어, 솔루션들의 개발이 활성화 되어야 한다.

둘째, 공장에너지관리시스템을 구축한 후에 연간 지불되는 FEMS운영을 위한 유지·관리비를 최소화하는 연구와 제도적인 지원이 필요하다.

셋째, 실증연구에서 정부지원의 매개효과가 미흡한 결과로 나타난 것은 정부지원 범위가 증대되고, 제도적인 뒷받침이 보강되기를 바라는 중소제조기업의 의견이 반영되었다는 점을 실증연구가 끝난후 전문가들과의 검토에서 추론 하게 되었다. 따라서, 정부는 제도적, 재정적 지원이 더욱 증대되어야 한다.

제 3 절 연구의 한계 및 향후 연구 방향

본 연구는 공장에너지관리시스템을 구축한 중소기업들을 대상으로 수행한 실증연구라는데 의의가 있으며, 공장에너지관리시스템을 구축한 이후에 경영성과에 미치는 운영 요소에 대한 연구였지만, 에너지관리성과를 높이는데 요구되는 시스템 도입 및 활용 환경에는 어떠한 요소들이 있는지, 또, 이들 요소들 간에는 어떠한 관계를 갖고 있는지 등을 구조적인 측면과 체계적인 측면에서 접근하지 못 하였다.

이와 같이 본 연구 결과는 이론적 측면과 실무적 측면에서 다음과 같은 연구 한계와 향후 연구 방향을 갖는다.

첫째, 본 연구가 공장에너지관리시스템을 도입한 일부 중소기업들의 임직원과 에너지관리시스템 공급기업과 전문가(컨설턴트)만을 표본으로 조사하여, 연구 결과를 일반화 하는데 한계가 있으며, 연구에 포함된 많은 변인 외에 다른 거시적인 측면과 환경적인 측면에서의 변인에 대해서는 고려하지 못하였다.

둘째, 공장에너지관리시스템의 궁극적 목적은 중소기업들이 공장에너지관리시스템을 통한 에너지비용 절감과 공정혁신, 국가차원의 에너지 경쟁력을 확보 및 글로벌 ESG 환경운동의 일환으로 탄소중립운동에 동참하는 것에 있으나, 본 연구는 공장에너지관리시스템의 운영 요소에 대한 연구로 국한하여 연구하였으며, 공장에너지관리시스템의 궁극적인 목적을 위한 총체적인 변인들을 고려하지 못하여 완전한 공장에너지관리시스템이 경영성과에 미치는 요소들에 대해 검증하지 못하였다.

셋째, 중소기업들이 공장에너지관리시스템을 구축한 이후 운영 연수에 따른 경영성과를 구분하여 연구하고, 정부지원과 ESG활동이 경영성과에 미치는 영향을 계량적으로 연구하는 부분에 대해 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

1. 국내문헌

- 고영화. (2017). “중소기업의 지속적 성장을 위한 핵심역량에 관한 연구”, 한성대대학원. 국내박사논문
- 고재진 외 4명. (2022). 스마트공장 빅데이터 분석 플랫폼 기술 동향, 『한국산업기술평가관리원』, 22(4), 43-72.
- 공두진. (2004). ERP 시스템의 성공요인이 재무적 성과에 미치는 영향, 『전산회계연구』, 2(2), 135-161.
- 국가기술표준원. (2016). 『2016 표준 기반 스마트공장 R&D 로드맵』
- 국가환경정보센터. (2015). 『FEMS 기술동향과 활용방안』
- 국헌정. (2017), "ISO 50001(에너지경영시스템) 인증요인이 기후대응과 재무적성과에 미치는 영향에 관한 연구". 숭실대대학원. 박사학위논문.
- 권혁진, 이종환, 박정호. (2013), 국가공간정보정책의 평가모형에 관한 연구, 『한국지적정보학회지』, 15(2), 201-219.
- 김광식, 김훈, 김은영. (2020). 기업의 탄소중립 전략과 경영성과에 관한 연구: 한국증권시장을 중심으로. 『한국경영학회지』, 33(2), 489-510.
- 김계수. (2007). 『구조방정식모형 분석』, 서울: 한나래출판사.
- 김규리. (2015). "기업의 지속가능경영활동이 경영성과에 미치는 영향 : 전략적관리시스템 활용도를 중심으로". 가천대대학원. 박사학위논문.
- 김덕기. (2015). 『스마트공장-제1부 기본개념과 구조』, 국가기술표준원(KS 표준안)
- 김동주, 여재은, 구재희. (2005). 공장에너지관리시스템(FEMS) 적용을 위한 식품 공정 에너지 소비 패턴 분석. 『열환경공학학회지』, 16(2), 1-8
- 김대근. (2014). 『FEMS(공장 에너지 관리 시스템)에 대해』, 월간전기
- 김대영. (2022). "기업가 정신과 사회적 가치 지향성이 일반제조업 기업의 경영성과에 미치는 영향에 관한 연구 : ESG경영의 매개효과를 중심으로"

- 로". 한성대대학원. 박사학위논문.
- 김대유. (2024). "이해관계자와 혁신이 성공적 창업 요인에 미치는 영향 : ESG 매개효과 중심으로" 서울기술교육대대학원. 박사학위논문.
- 김말희, 허태욱, 이일우. (2021). 『공장 에너지 관리 시스템(FEMS)와 지속가능성』, 한국전자통신연구원
- 김번주 외 3명. (2019). "소규모 공장을 위한 IoT 기반 공장에너지관리시스템 개발에 관한 연구", 『한국정보처리학회』, 26(2). 242-244.
- 김병기, (2015). MES 중심의 Smart Factory, 『대한산업공학회』.
- 김소연외 (2023). "공장에너지관리시스템(FEMS)를 위한 공정 에너지밸런스에 대한 연구". 중앙대대학원. 박사학위논문.
- 김수길. (2023). "정부 기업지원 사업이 기업성장에 미치는 영향: 정부지원 활용, 기업지원 만족도, 흡수역량, 성장단계의 매개효과 및 조절효과를 중심으로". 대전대대학원. 박사학위논문.
- 김수영. (2017). 스마트팩토리 기술에 의한 중소·중견기업의 제조경쟁력 향상 방안, 『한국IT서비스학회』, 17(1), pp.121-130.
- 김용운, 임정일, 정지석, 이수형, 김용진, 차석근. (2016). 스마트공장을 위한 현장실태와 진화모델, 『대한전자공학회지』, 43(6), pp.38-46.
- 김종우, (2021). "PDCA 모델을 통한 민관협력 거버넌스재난관리 요소 중요도 평가", 광운대대학원, 박사학위논문.
- 김종훈, (2023). "기업의 ESG경영성과와 연구개발투자가 기업가치에 미치는 영향에 관한 연구". 부산대대학원. 박사학위논문.
- 김철우, 김진, 김석민, 황현태. (2015). 제조 산업 에너지 절감을 위한 공장에너지관리시스템(FEMS) 기술 동향 및 적용사례, 『설비저널』, 44(1). 22-27.
- 김태연. (2023). "스마트공장의 에너지 절감을 위한 빅데이터 분석 및 효율화 방안". 부경대대학원. 박사학위논문.
- 김평화. (2021). LGU+, 에너지 관리 시스템으로 ESG경영 강화. 『it 조선』, http://it.chosun.com/site/data/html_dir/2021/04/07/2021040700874.html

- 김현규. (2020). 스마트팩토리 실행전략이 경영성과에 미치는 영향에 관한 연구. 『대한경영학회지』, 33(1), 1475-1492.
- 김형건, 홍인기, 백인걸. (2021). 제조업 분야 에너지 절약시설 투자에 대한 에너지 절감효과 분석, 『Journal of the Korean Data Analysis Society』, 23(2). 661~672,
- 등충평, (2023). "PDCA 모형을 활용한 유아보육전공 교육과정 품질관리 모형 구축에 관한 연구 : -광시 중등 직업 학교를 중심으로-", 세한대대학원, 박사학위논문.
- 박순옥, & 박영준. (2021). ESG성과가 수출기업의 글로벌 경쟁력에 미치는 영향. 『한국경영학회지』, 48(3), 109-131.
- 박은숙. (2023). "집단에너지 수요관리정책 연구 : 역사적 제도주의 경로의존과 정책변동을 중심으로" 단국대대학원. 박사학위논문.
- 박종필. (2017). 인더스트리 4.0시대의 스마트 팩토리 성공 사례 분석 : 국내 대·중·소기업을 대상으로, 『디지털융복합연구』, 15(5), 107-115.
- 박지용·이성인. (2021). 『산업부문 전력 에너지효율 투자 행태분석 및 인센티브 개선방안』, 한국에너지관리공단 『에너지경제연구원』 20(2)
- 박현용. (2020). 에너지 효율 향상위한 'EMS' 보급, 어떻게 늘릴까?. 『디지털 데일리』. www.ddaily.co.kr/m/m_article/?no=204801
- 박형욱. (2015). 스마트 팩토리와의 연관된 생산제조기술 동향, 『정보와 통신』, 33(1), 24-29.
- 배병렬. (2014). 『구조방정식모델링 : 원리와 실제』, 서울 : 청람.
- 배정호. (2016). "중소제조기업 조직역량이 사회적 책임(CSR)활동과 경영성과에 미치는 영향 : 선도적 CSR 활동의 매개효과를 중심으로". 서울벤처대대학원. 박사학위논문.
- 백내용. (2023). "외식기업의 ESG경영활동이 기업평판, 기업이미지 및 재구매의도에 미치는 영향 : 지속성을 조절효과로". 카톨릭관동대대학원. 박사학위논문.
- 산업통상자원부. (2013). 『국내 EMS 도입현황 실태조사』
- 산업통상자원부, (2014). 『2014 ICT기반 ESCO 사업 가이드라인-제2권

FEMS 가이드라인』

- 산업통상자원부, (2014). 『제2차 에너지기본계획』
- 손영환. (2020). 스마트공장 수준 측정의 표준화 방안에 관한 연구, 『상품학 연구』, 38(6), 48~52.
- 송병훈. (2015). [기획] LS산전 수요관리 솔루션, 'FEMS'의 현재와 미래는?. 에너지데일리. www.energydaily.co.kr/news/
- 송재엽, 노희진. (2023). ESG, 탄소중립, 에너지관리시스템. 『대한설비공학회』, 52(3), 18-25.
- 신승호, (2006). “"공공부문 BSC 운용이 조직성과에 미치는 영향에 관한 실증 연구 : PDCA 모형을 중심으로", 단국대대학원, 박사학위논문.
- 신채상. (2022). “컨설팅 프로젝트의 팀 성과에 영향을 미치는 팀 협업에 관한 연구_팀 공유인지, 팀 정보교류, 팀 지식통합, 팀 효능감의 매개효과”, 한성대대학원. 박사학위논문
- 에너지관리공단, (2014). 『에너지관리시스템(EMS) 지원·관리업무 운영규정』
- 에너지경제연구원, (2013). 『중장기 에너지 수요관리 정책추진전략 및 부문별 절감대책개발』
- 오주환, 서진희, & 김지대. (2019). 종업원 기술수용태도와 기술 사용용이성이 스마트공장 기술 도입수준과 제조성과에 미치는 영향. 『Journal of Information Technology Applications & Management』, 26(2), 13-26.
- 우종필, (2012). 『구조방정식모델 개념과 이해』, 서울 : 한나래출판사
- 육설연, (2020). "TQM의 문제해결절차(PDCA) 기반 대학 교수자 자기평가 도구 개발", 계명대대학원, 박사학위논문.
- 여인규. (2020). 온실가스·에너지 규제강화, FEMS ‘주목’. 『Kharn』, www.kharn.kr/news/article.html?no=13643
- 이경구. (2020). "재생 에너지(RE100)기업의 지식경영 성공요인이 경영활동 및 경영효과에 미치는 영향" 동의대대학원. 박사학위논문.
- 이근대, 이유수. (2010). 『수요측 반응을 고려한 실시간 전력요금제 도입방안 연구』, 에너지경제연구원.

- 이록, & 김채수. (2020). 중소기업의 스마트팩토리 기술적용이 품질과 혁신성과에 미치는 영향. 『벤처창업연구』, 15(3), 59-71.
- 이민지, & 김창엽. (2020). ESG경영과 기업가치의 관계 분석: KRX300 지수 구성 종목을 중심으로. 『경영학연구』, 49(3), 609-635.
- 이병수, 정세현, & 전종현. (2021). 수출기업의 ESG성과가 글로벌 공급망 관리 성과에 미치는 영향. 『한국컴퓨터정보학회』, 26(1), 9-16.
- 이상철, & 강수진. (2020). 스마트공장 지원사업이 재무성과에 미치는 영향. 『기술경영』, 5(1), 37-52.
- 이성인, 이지연. (2013). 『국가 에너지절약정책 평가시스템 구축: 정책효과 분석모형 및 방법론 구축(산업·수송부문)』, 에너지경제연구원
- 이수진, 임상현, 최윤아, 유상오. (2021). "IoT를 활용한 에너지절약 시스템 구축", 『ACK』, 28(2), 1075~1078.
- 이용귀, 손지연, 김현중, 전영애, 이학진, 공현중. (2017). 스마트공장기반 오픈하드웨어 플랫폼 환경센싱디바이스 개발, 『대한전자공학회』, 17(6), 1037-1039.
- 이우후이. (2014). "중국 중소기업의 국제화에 환경불확실성이 미치는 영향 : 기업가적 지향성과 정부의 지원의 매개효과를 중심으로", 수원대학교. 박사학위논문
- 이정하. (2016). 정보보호 관리체계 PDCA 모형에 기초한 정보보호경영 PDCA 모형 개발 및 사례분석 : A 생명보험회사 중심으로, 『보안공학연구』, 13(3), 221-238.
- 이충재. (2020). "ESS와 FEMS의 연계 운전을 통한 산업용 수용가의 피크감소 제어 알고리즘 연구" 한밭대대학원. 석사학위논문.
- 이효민. (2022). "대학교육에서 PDCA 및 ADDIE 모형을 활용한 역량기반 교육과정 모형 및 교수설계 방안 개발", 동아대대학원, 박사학위논문.
- 이효복. (2014). "IT기반 공장에너지관리시스템(FEMS)구축을 통한 스팀에너지 효율화 방안". 아주대대학원. 박사학위논문.
- 장기섭. (2022). "AEO 인증 유지수준이 기업 성과에 미치는 영향 연구 : 정부 지원정책의 매개효과를 중심으로" 한남대대학원. 박사학위논문

- 조진균, 박병용. (2019). 데이터센터 에너지 절감을 위한 베이스라인 설정 및 특정/검증 평가기준 조사연구, 『Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration engineering, Vol. 31, No』, 12(1), 576-588.
- 전영수. (2018). 『산업에너지효율 FEMS소개』, LS산전
- 정경화, & 김재명. (2021). 탄소중립 전략이 수출기업의 글로벌 경쟁력에 미치는 영향 : 기업규모의 조절효과. 『한국경영과학회지』, 46(4), 113-132.
- 정보통신산업진흥원. (2012). 『2012년 IT 기반 ESCO 시범사업 가이드라인-제3권 FEMS 가이드라인』
- 정보통신진흥원. (2013). 『2013년 EMS 도입현황 실태조사 보고서』
- 정보통신산업진흥원. (2014). 『2014년 EMS 도입현황 실태조사 보고서』
- 정세호, 이준성, & 조주형. (2020). 국제산업경쟁력 향상을 위한 탄소중립 전략 방안 연구. 『한국경제지리학회지』, 23(2), 199-214.
- 정진호. (2022). "ESG활동과 조직시민행동, 생산성, 경영성과의 관계-기업가치관 인식의 조절효과를 중심으로". 서울벤처대대학원. 박사학위논문.
- 정태석. (2016). 스마트 팩토리 사례를 통한 성공적 공장 융합 자동화 방안 도출, 『한국융합학회논문지』, 7(1), pp.189-196.
- 정해용, 김상훈. (2013), 정보시스템 평가지표 개발에 관한 실증적 연구 : 공공부문을 중심으로, 『한국경영학회지』, 28(4), pp.155-189.
- 주성규. (2009). "정부의 에너지수요관리 정책에 관한 연구 : 수요관리기능 및 소비부문별 정책을 중심으로". 단국대대학원. 박사학위논문.
- 중소기업기술진흥원. (2022). 『중소기업 전략 기술로드맵 2022~2024 자원순환 및 에너지 재활용』
- 중소기업중앙회. (2023). 『2023년 중소기업 현황』
- 중소벤처기업부. (2024). 『2024년 중소기업 기술개발 지원사업 통합공고』
- 진성욱, & 서영욱. (2019). 중소기업의 환경요인과 흡수역량을 통한 Smart Factory 구축 연구. 『융합정보논문지』, 9(7), 67-77.
- 진희승. (2017). 『스마트팩토리에서 SW의 역할』, 월간SW중심사회, 소프트웨어정책연구소

- 차석근, 윤재영, 홍정기, 조현찬, 김석민, 황현태, 유준재, 임호정. (2015). 대우정보시스템, “국제표준을 적용한 FEMS 아키텍처 및 적용 사례, 『한국IT서비스학회』, 15(1), 208-212.
- 최문홍. (2015). FEMS 구축에 따른 자동차부품공장의 에너지절감에 관한 연구. 『대한설비공학회』, 15(1), 1028-1029
- 최영환, 최상현. (2017). 스마트공장 시스템 구축이 중소기업 경쟁력에 미치는 요인에 관한 연구, 『Information systems review』, 19(2), 95-113.
- 추진영. (2018). "스마트공장과 에너지관리시스템 적용을 위한 평가모형의 개발 연구 : 중소제조기업을 중심으로". 한국산업기술대 에너지대학원. 박사학위논문.
- 추진영.이동현. (2018). 스마트팩토리의 에너지관리시스템 수용확산요인이 구성원의 혁신저항 및 업무성과에 미치는 영향. 『디지털융복합연구』, 16(1), 103-116.
- 최기창. (2019). 『탄소 배출 감소'와 'CSR'을 동시에-CEMP』, 인더스트리 뉴스 www.industrynews.co.kr/news/articleView.html?idxno=34118
- 하버드 비즈니스 스쿨 온라인 (2020) 『재무 성과 지표』 (online.hbs.edu/blog/post/financial-performance-measures)
- 하버드 비즈니스 스쿨 온라인 (2023) 『비재무 성과 지표 - 비즈니스통찰력』 (online.hbs.edu/blog/post/business-performance-measurement)
- 한국에너지공단 산업에너지실, (2015). 『공장에너지관리시스템(FEMS) 설치확인 기준 가이드』
- 한국에너지관리공단, (2019). 『IoT기반 공장에너지 관리 시스템』
- 한국에너지공단, (2020). www.kemco.or.kr
- 한국표준협회, (2011). 『KS A ISO 50001 : 2011 에너지경영시스템』
- 한상윤. (2015). 공장 에너지 모니터링 시스템과 베이스라인 분석 기술 개발, 『한국생산제조학회』, 2015(4), 139.
- 황현숙, 서경원. (2019). IoT 기반의 실시간 에너지 사용 데이터 수집 및 분석 시스템 개발, 『Journal of Korea Multimedia Society』, 22(3), 366~373.

2. 국외문헌

- Autio, E., Kenney, M., Mustar, P., Siegel, D., & Wright, M. (2014). Entrepreneurial innovation: The importance of context. *Research policy*, 43(7), 1097–1108.
- Bailey, J. E., & Pearson, S. W., “Development of a tool for measuring and analyzing computer user satisfaction”, *Management Science*, 29(5), pp.530–545, 1983.
- Baroudi, J. K., & Orlikowski, W. J., “A short-form measure of user information satisfaction: a psychometric evaluation and notes on use”, *Journal of Management Information System*, 4(4), pp.44–59, 1988.
- Baums, A. (2015). How to Navigate Digitization of the Manufacturing Sector. https://www.mckinsey.de/files/mck_industry_40_report.pdf
- BlackRock, Inc. (2022). Larry Fink's 2021 letter to CEOs: the power of capitalism.
- Boston Counseling Group. (2015). Man and Machine in Industry 4.0.
- Böhringer, C., Carbone, J. C., & Rutherford, T. F. (2021). Unilateral border carbon adjustments: The case of carbon leakages. *Journal of Environmental Economics and Management*, 108, 102472.
- Breja, S. K., Mathur, V. K., Laxmi, "PDCA Tools for Total Quality Management in Cement Industry", *INTERNATIONAL SEMINAR ON CEMENT AND BUILDING M* 7(4), pp215–132, 2000.
- Burke, R., Mussomeli, A., Laaper, S., Hartigan, M., & Sniderman, B. (2017). The Smart Factory—Responsive, Adaptive, Connected Manufacturing. Deloitte Insights. August, (31), 29.
- Candiello, A., Cortesi, A. "KPI-Supported PDCA Model for Innovation Policy Management in Local Government", *SPRINGER-VERLAG 2011 Lecture Notes in Computer Science* 78(6), pp846–905, 2011.

- 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.
- 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
- 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
- DeLone, W. H., & McLean, E. R., "Information systems success revisited", *Conference on Information Systems research*, 8(3), pp.240–253, 1997.
- Garza-Reyes, Jose Arturo, Torres Romero, Joseth, G Elsevier Science B.V., "A PDCA-based approach to Environmental Value Stream Mapping (E-VSM)", Amsterdam. 2018 *Journal of Cleaner Production* 180(2) pp515–531, 2018.
- Gillingham, K., Newell, R. G., & Palmer, K., *Energy Efficiency Economics and Policy*, Resources for the Future, 2009.
- Gupta, P., "Beyond PDCA – A new process management model", EXECUTIVE SCIENCES INSTITUTE 2007 *Quality control and applied statistics* 52(3), pp254–276, 2007.
- 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
- Hepburn, C., O'Callaghan, B., Stern, N., Stiglitz, J. E., & Zenghelis, D. (2020). Will COVID-19 fiscal recovery packages accelerate or retard progress on climate change? *Oxford Review of Economic*

- Policy, 36(Supplement_1), S359–S381.
- Hesselbach, J., & Herrmann, C. (Eds.). (2013). Functional thinking for value creation: Proceedings of the 3rd CIRP International Conference on Industrial Product Service Systems. Springer Science & Business Media.
- Hirst, E., & Brown, M., "Closing the efficiency gap: barriers to the efficient use of energy", *Resources, Conservation and Recycling*, 3, pp.267–281, 1990.
- Hui, "PDCA Method for Improving Process in Aircraft Precipitation Enhancement", 2013 *JOURNAL OF ANHUI AGRICULTURAL SCIENCES* 41(17), pp78–94, 2013.
- 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.
- 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>
- 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>
- IEA(International Energy Agency), *Energy Efficiency Market Report 2014*, 2014.
- IEA, *Energy Efficiency Market Report 2015*, 2015.
- ISO, *ISO/DIS 50004 – Energy management systems*, 2014.
- Ivanov, D., & Dolgui, A. (2015). A taxonomy of supply chain risk

- management techniques. *International Journal of Production Research*, 53(21), 477–494.
- Ives, B., & Oslan, M. H., “User involvement and MIS success: a review of research”, *Management Science*, 30(5), pp.586–603, 1984.
- Jaffe, A. B., Newell, R. G., & Stavins, R. T., Economics of energy efficiency, *Encyclopedia of Energy*, 2, pp.79–90, 2004.
- John Montgomery. & Mark Van Cleef (2022), “Net Zero Business Models” Winning in the Global Net Zero Economy (24 May).
- Kettinger, W. J., & Lee, C. C., “Perceived service quality and user satisfaction with the information services function”, *Decision Sciences*, 25(5), pp.727–766, 1994.
- Kim, J., & Heo, E., “Asymmetric substitutability between energy and capital: Evidence from the manufacturing sectors in 10 OECD countries”, *Energy Economics*, 40, pp.81–89, 2013.
- Korean Environmental Industry & Technology Institute(KEITI), “FEMS Technology Trend and Application Plan,” *Konetic Report* Vol. 36, pp. 1–10, 2015.
- Krishnan, M., Samandari, H., Woetzel, J., et al. (2022). The economic transformation: what would change in the net-zero transition. McKinsey & Company blog (25 January).
- Kuai, J. "PDCA Cycle and Teaching Reform of Advanced Manufacturing Technology Based on Information", Springer Science and Business Media 2011 *COMMUNICATIONS IN COMPUTER AND INFORMATION SCIENCE* 78(5), pp216–236, 2011
- 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.
- Levine, M. D., Koomey, J. G., McMahon, J. E. Sanstad, A. H., & Hirst,

- E., "Energy efficiency policy and market failures", *Annual Review of Energy and the Environment*, 20, pp.535–555, 1995.
- Linares, P., & Labandeira, X., "Energy efficiency: Economics and policy", *Journal of Economic Surveys*, 24(3), pp.573–592, 2010.
- Longo, F., Nicoletti, L., & Padovano, A. (2017). Smart operators in industry 4.0: A human-centered approach to enhance operators' capabilities and competencies within the new smart factory context. *Computers & industrial engineering*, 113, 144–159.
- Lucas, H. C. Jr., "Performance evaluation and the management of information services", *Data Base*, 4(1), pp.1–8, 1972.
- Lucke, D., Constantinescu, C., & Westkämper, E. (2008). Smart factory—a step towards the next generation of manufacturing. In *Manufacturing systems and technologies for the new frontier* (pp. 115–118). Springer, London.
- McNally, R. C., Akdeniz, M. B., & Calantone, R. J. (2011). New product development processes and new product profitability: Exploring the mediating role of speed to market and product quality. *Journal of Product Innovation Management*, 28(s1), 63–77.
- Myers, B. L., Kappelman, L. A., & Prybutok, V. R., "A comprehensive model for assessing the quality and productivity of the information systems function: toward a theory for information systems assessment", *Information Resource Management Journal*, 10(1), pp.6–25, 1997.
- Net Zero Business Models (2022), Jojn M. & Mark V. C.
- Quemin, S., & Bureau, J. C. (2021). The Carbon Border Adjustment Mechanism and WTO rules: What can be done and what should be avoided?. *European Review of Agricultural Economics*, 48(2), 434–466.

- Park, S. (2016). Development of innovative strategies for the Korean manufacturing industry by use of the Connected Smart Factory (CSF). *Procedia Computer Science*, 91, 744–750.
- Pettit, T. J., Fiksel, J., & Croxton, K. L. (2010). Ensuring supply chain resilience: Development of a conceptual framework. *Journal of Business Logistics*, 31(1), 1–21.
- Pollitt, M. G., & Shaorshadze, I., The Role of Behavioural Economics in Energy and Climate Change, EPRG WP 1130, 2011.
- Porter, M. E. (2008). The five competitive forces that shape strategy. *Harvard business review*, 86(1), 25–40.
- Prashar, Anupama Elsevier Science B.V., "Adopting PDCA (Plan–Do–Check–Act) cycle for energy optimization in energy-intensive SMEs", Amsterdam. 2017 *Journal of Cleaner Production* 22(2), pp145–176, 2017.
- Radziwon, A., Bilberg, A., Bogers, M., & Madsen, E. S. (2014). The smart factory: exploring adaptive and flexible manufacturing solutions. *Procedia engineering*, 69, 1184–1190.
- Ramakrishna, S., Khong, T. C., & Leong, T. K. (2017). Smart manufacturing. *Procedia Manufacturing*, 12, 128–131.
- 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.
- Scheuermann, C., Verclas, S., & Bruegge, B. (2015, August). Agile factory—an example of an industry 4.0 manufacturing process. In 2015 IEEE 3rd International Conference on Cyber-Physical Systems, Networks, and Applications, pp. 43–47, 2015.
- Schewe, C. D., The management information system user : an exploratory behavioral analysis, *Academy of Management Journal*,

- 19(4), pp.577–590, 1976.
- Sheffi, Y. (2017). The resilient enterprise: Overcoming vulnerability for competitive advantage. MIT Press.
- Tukker, A., Cohen, M., & de Bakker, C. (2008). Eco-design: Promises and pitfalls. *Journal of Industrial Ecology*, 12(2), 236–238.
- Van Asselt, H., & Brewer, T. (2021). The Carbon Border Adjustment Mechanism and the Future of Global Climate Governance. *World Trade Review*, 20(S1), S60–S81.
- Van de Graaf, T., Kern, F., & Sovacool, B. K. (2020). Understanding the politics of the carbon border adjustment mechanism (CBAM): Balancing between industrial competitiveness and climate change leadership. *Energy Research & Social Science*, 69, 101715.
- 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.
- 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.
- Wang, H., Chang, Y., Che, W.S., "Application of PDCA–Cycle on the Management of Critical Values Reporting", *TRANS TECH PUBLICATION LTD 2013 Advanced Materials Research*, 4(2), pp712–715, 2013.

중소제조기업의 공장에너지관리시스템(FEMS)이 경영성과에 미치는 요소에 관한 연구

-정부지원 및 ESG활동의 매개효과를 중심으로-

중소제조기업의 공장에너지관리시스템(FEMS)이 경영성과에 미치는 요소에 관한 연구에 관한 설문조사입니다.

안녕하세요?

귀사의 발전과 귀하의 건승을 기원합니다.

1. 본 설문지는 중소기업의 스마트공장과 연계하여 공장에너지관리시스템(FEMS)이 경영성과에 미치는 요소에 관한 연구를 위하여 기업관계자 및 전문가의 인식에 대한 분석을 위해 필요한 자료를 수집하려는 것입니다.
2. 귀하의 성실한 답변이 학문적 연구에 큰 도움이 되며, 산업과 경영환경 개선 및 공장에너지관리시스템(FEMS) 도입을 위한 방안의 요인분석과 활용에 도움이 될 것입니다.
3. 이 설문지는 해당 항목을 체크로 표시하는 방법으로 답변을 선택하도록 설문지를 구성 하였습니다.
4. 본 설문조사에 대한 귀하의 답변은 통계 처리될 것이며, 학술자료 외에는 사용되지 않으며, 통계법(제33조, 제34조)에 따라 비밀 보장이 준수됨을 약속합니다.
5. 본 설문조사에 성실한 답변으로 협조해 주시기 바랍니다.

감사합니다.

2024.01.15.~02.29

설문조사
실시주체

연구자: 한상호 (한성대학교 대학원 스마트융합건설팅학과
스마트융합건설팅전공 박사과정)
연락처: jesse.han@joininc.net
지도교수: 주형근

※ 제조업의 스마트팩토리 환경 하에서 에너지관리시스템은 공장에너지관리시스템(FEMS: Factory Energy Management System)이며, 이는 에너지 소비가 많은 공장의 에너지 운영에 대해 에너지사용에 대한 정보를 실시간으로 수집하고, 관리(Monitoring, Analysis), Control하는 등 에너지의 사용을 효율적이고, 체계적으로 관리하기 위해 구축되는 ICT 기반의 시스템을 의미합니다.

1. 공장에너지관리시스템의 운영요소

다음은 중소기업의 FEMS 운영요소에 관한 문항입니다. 귀하가 동의하는 정도에 따라 표시해 주세요.

매우 그렇다	그렇다	보통이다	그렇지 않다	전혀 그렇지 않다
1	2	3	4	5

문항		매우 그렇 다	그런 편이 다	보통 이다	그렇 지 않다	전혀 그렇 지 않다
기획	1. FENMS에 대한 경영층은 실제로 지원이 잘 되고 있다.					
	2. 에너지관리 목표가 설정되어 있다.					
	3. 시스템 투자예산이 확보되어 있다.					
	4. 에너지관리성과정보가 조직 내에 공유되고 있다.					
	5. 에너지수요관리시스템(DR) 관련 법규의 요구사항을 충족하고 있다.					
실시	1. 관리장비가 잘 구축되어 있다.					
	2. FEMS의 부문별 책임과 권한이 직급별로 분류 되어 있다.					
	3. FEMS 현황(정보)를 가시화하여 쉽게 알 수 있도록 제공한다.					
	4. 생산관리시스템과의 연계가 잘 되고 있다.					
	5. 생산관리시스템과 FEMS 개선과제가 적절히 통합되어 있다.					
점검	1. FEMS에 대한 기준정보가 관리/설정 되고 있다.					
	2. FEMS 정보(Data)가 주기적으로 보존/수집되고 있다.					

	3. FEMS정보의 신뢰도 점검/유지를 위한 관리가 이루어지고 있다.					
	4. FEMS의 기술적/물리적 보안/위험 관리가 이루어지고 있다.					
	5. 취급자에게 FEMS 교육/보안/위험/운영능력 관리가 이루어지고 있다.					
조치	1. 에너지 수급과 수요변화에 대한 대처 계획이 준비되어 있다.					
	2. 에너지 절감/효율 적용부문의 우선순위가 정해져 있다.					
	3. 시스템 관련 제안 및 의견개진의 채널이 마련되어 있다.					
	4. 생산성과 연계한 FEMS의 문제점에 대한 개선/시정의 예방조치가 실행되고 있다.					
	5. 고장/오류에 대한 영역별 대처방안(피드백)이 사전에 미리 마련되어 있다.					
정부 지원	1. 본 기업은 정부지원금을 받은 정도에 만족합니다.					
	2. 본 기업은 정부에서 제공한 상담 건수에 만족합니다.					
	3. 본 기업은 정부가 제공한 컨설팅 서비스가 우리에게 효과적이라고 생각합니다					
ESG 활동	1. 경영진과 구성원(직원)의 성과평가 지표에 ESG경영과 관련된 과제들에 대한 이행 현황이 포함되어 있다.					
	2. 기업의 과거 사용한 에너지 사용량이 ESG활동에 따라 감소하고 있는 추세이다.					
	3. 기업의 1년간 제품 1단위당 사용한 에너지 사용량이 ESG활동에 따른 산업평균에 해당한다.					

2. 경영성과

다음은 중소제조기업의 FEMS 운영에 따른 경영성과에 관한 문항입니다. 귀하가 동의하는 정도에 따라 표시해 주세요.

매우 그렇다	그렇다	보통이다	그렇지 않다	전혀 그렇지 않다
1	2	3	4	5

경영 성과	1. 기업의 원가절감 수준이 향상 되었다.					
	2. 시간 대비 제품 생산량이 증가 하였다.					
	3. FEMS에 대한 구성원의 만족도가 향상 되었다.					

■다음은 일반적인 사항입니다. 해당하는 곳에 √ 해 주시기 바랍니다.

30. 당신의 성별은?

①남성 ②여성

31. 당신의 연령은?

①20대 ②30대 ③40대 ④50대 ⑤60대 이상

32. 귀하의 근무 년수는?

①5년 미만 ②5-10년 미만 ③10-15년 미만 ④15-20년 미만 ⑤20년 이상

33. 귀하의 최종 학력은?

①고졸 ②전문대졸 ③대졸 ④석사 ⑤ 박사

34. 귀하의 직급은?

①사원·대리 ②과장·차장 ③부장 ④임원급이상 ⑤전문가·공급업체

35. 귀하의 회사가 FEMS을 도입하여 활용한 시기는?

①6개월 미만 ②6개월-1년 미만 ③1-2년 미만 ④2-3년 미만 ⑤3년 이상

ABSTRACT

A study on the impact of factory energy management systems (FEMS) on business performance in small and medium-sized manufacturing companies

–Focusing on the mediating effects of government support and ESG activities–

Han, Sang-Ho

Major in Smart Convergence Consulting

Dept. of Smart Convergence Consulting

The Graduate School

Hansung University

In the past, FEMS has been focused on as a field where small and medium-sized manufacturing companies can participate and develop in accordance with the carbon neutrality policy and ESG management trend, but the growth rate is currently sluggish. The reasons for this may be due to insufficient ROI, organizational aspects such as management, as well as external influences such as government support and global trends in ESG activities. Therefore, this study selected the operational factors that ICT-based factory energy management system should have through prior research to secure competitiveness, comply with global ESG regulations, and enter overseas markets, and applied them to small and medium-sized manufacturing companies to verify the operational factors

of factory energy management system on management performance through empirical research and suggest practical operational factors that can enhance factory energy management system (FEMS) to help small and medium-sized manufacturing companies improve their management performance.

To this end, the operational factors of factory energy management system on management performance and the mediating effects of government support and ESG activities were verified by focusing on Korean small and medium-sized manufacturing companies that applied energy management system based on smart factory construction.

The results of this study can be summarized as follows.

First, we reviewed previous studies related to smart factories, factory energy management systems, government support, ESG activities, and business performance of small and medium-sized manufacturing companies, reviewed energy management systems (EMS), energy demand management (DR) policies, ESG activities, ISO operational standards, literature, and current status, and explored the factors that affect factory energy management systems (FEMS) on business performance through previous studies to lay the foundation for practical research.

Second, the factors extracted from previous studies were classified into four categories: planning factors, execution factors, inspection factors, and action factors, each of which consisted of five items, and government support, ESG activities, and factors affecting management performance were classified into three items each.

Third, the operational factors of the factory energy management system on management performance were empirically analyzed by applying the model derived from domestic small and medium-sized manufacturing companies that applied the smart factory energy management system and utilizing the operational criteria.

In this study, PDCA model, four factors for the operation of factory energy management system, was used as independent variables, government support and ESG activities were used as parameters, and management performance was used as a dependent variable, and partial hierarchical regression analysis and structural equation model analysis were used for verification. The results confirmed the validity of the operational factors of factory energy management system on management performance.

To summarize the hypothesis testing empirical results,

First, FEMS planning and measures have a positive effect on business performance; second, FEMS planning and measures have a positive effect on government support, and planning, implementation, inspection, and measures have a positive effect on ESG activities; third, government support for FEMS and ESG activities have a positive effect on business performance; fourth, government support for FEMS and ESG activities have a positive effect on business performance, Government support for FEMS and ESG activities have a partial positive effect on business performance, and fifth, the mediation effect shows that (1) government support has a mediating effect when FEMS measures affect business performance, and (2) ESG activities have a mediating effect when FEMS planning, inspection, and measures affect business performance. The

results of the mediation effect analysis showed that (1) ESG activities have the largest mediating effect when FEMS planning affects management performance, (2) government support and ESG activities have the second highest mediating effect when FEMS measures affect management performance, and (3) ESG activities have the largest mediating effect when FEMS inspections affect management performance. Therefore, under the global ESG environment, it is necessary for Korean small and medium-sized manufacturing companies to improve their management performance by applying the operational elements of the factory energy management system in the order of planning, action, and inspection with the help of government support.

This study is significant in that it suggests the prioritization of field-oriented FEMS operational elements and the direction of improvement strategies that are useful for the development of FEMS in a situation where there are insufficient standards and strategies for specific operational elements for the development of factory energy management systems.

【Key Word】 Factory Energy Management System(FEMS), Smart Factory, ESG, Government Support, PDCA, Energy Demand Management, Government Support, Business performance