

AHP를 활용한 중소기업 스마트 팩토리의 ESG 성공 요인 도출 연구

김소라^{1*}, 조용윤²

¹순천대학교 사회복지학과 교수, ²순천대학교 인공지능학부 교수

A Study on Deriving Success Factors for Small and Medium-Sized Enterprise Smart Factories from an ESG Perspective Using AHP

Sora Kim^{1*}, Yongyun Cho²

¹Professor, Department of Social Welfare, Suncheon National University

²Professor, Department of Artificial Intelligence, Suncheon National University

요약 이 연구는 ESG(Environmental, Social, Governance) 관점에서 중소기업 스마트 팩토리의 성공 요인을 체계적으로 도출하고자 하였다. 이를 위해 AHP(Analytic Hierarchy Process) 기법을 활용하여 ESG 성과를 향상시킬 수 있는 요인들 간의 상대적 중요도와 우선순위를 정량적으로 분석하였다. ESG와 스마트 팩토리 분야에 있어 28명의 전문가들을 대상으로 AHP를 활용한 쌍대 비교를 수행한 후 각 비교 항목들 간에 가중치를 통해 결과를 종합하여 최종 우선순위를 도출하였다. 분석 결과, 상위 과제에서는 정부 지원(31.86%)이 가장 높은 가중치를 보였으며, 인적 자원(30.73%), 기술적 자원(23.19%), 환경적 요인(14.22%) 순으로 나타났다. 세부 과제의 종합가중치 분석에서는 경영진의 의지(10.05%)가 1순위를 차지했으며, 전담 인력(9.47%), 제도·법규(9.23%), 스마트기술 인력 확보(8.85%)가 뒤를 이었다. 특히 상위 4개 과제 중 3개가 인력 관련 항목이라는 점에서 인적 자원의 중요성이 강조되었다. 이러한 결과는 ESG 스마트 팩토리 구축이 단순한 기술 도입이 아니라 경영진의 리더십과 전문 인력을 중심으로 한 조직 전체의 변화 관리가 필요한 전략적 과제임을 시사한다. 또한 정부의 재정 지원과 제도적 기반이 중소기업의 ESG 연계 스마트팩토리 도입을 촉진하는 핵심 요소로 작용하고 있음을 확인하였다.

주제어 : 스마트 팩토리, ESG, 중소기업, AHP, 정부 지원, 인적 자원, 기술적 자원, 환경적 요인

Abstract This study aimed to systematically identify success factors for smart factories in small and medium-sized enterprises(SMEs) from an ESG(Environmental, Social, Governance) perspective. To achieve this, the Analytic Hierarchy Process(AHP) methodology was employed to quantitatively analyze the relative importance and priority of factors that can enhance ESG performance. After conducting pairwise comparisons using AHP with 28 experts in the fields of ESG and smart factories, the results were as follows: Among the higher-level tasks, government support(31.86%) showed the highest weight, followed by human resources(30.73%), technical resources(23.19%), and environmental factors(14.22%). In the overall weight analysis of sub-criteria tasks, management commitment(10.05%) ranked first, followed by dedicated personnel(9.47%), regulation and laws(9.23%), and smart technology operations(8.85%). These results suggested that ESG smart factory implementation is not merely a matter of technology adoption, but rather a strategic initiative requiring organizational change management centered on management leadership and specialized personnel. Furthermore, it was confirmed that government financial support and institutional frameworks serve as key factors in facilitating SMEs' adoption of smart factories for ESG.

Key Words : Smart Factory, ESG, Small and Medium-Sized Enterprises(SMEs), AHP, Government Support, Human Resource, Technical Resource, Environmental Factor

*교신저자 : 김소라(srkim@scnu.ac.kr)

접수일 2025년 10월 12일

수정일 2025년 11월 20일

심사완료일 2025년 12월 04일

1. 서론

4차 산업혁명의 핵심 동력인 스마트 팩토리는 IoT(Internet of Things), 빅데이터, 인공지능(AI), 로봇 공학 등의 첨단기술을 활용하여 생산성 향상, 품질 개선, 비용 절감을 실현하는 차세대 제조시스템으로 주목받고 있다. 특히 글로벌 경쟁 심화와 팬데믹 이후 공급망 불안정성이 증대되면서, 중소기업들에게도 디지털 전환을 통한 경쟁력 확보가 생존의 필수조건으로 대두되고 있다. 한국의 중소기업은 전체 기업의 99.9%를 차지하며 고용의 80% 이상을 담당하는 경제의 핵심축이지만[1], 대기업 대비 상대적으로 낮은 디지털화 수준과 기술 도입 역량의 한계로 인해 스마트 팩토리 구축에 어려움을 겪고 있다[2]. 정부는 이러한 문제 해결을 위해 '스마트 제조 혁신 2025' 등의 정책을 통해 중소기업의 스마트 팩토리 보급 확산을 지원하고 있으나[3], 단순한 기술 도입을 넘어선 지속가능한 성공모델의 정립이 시급한 상황이다. 현실적으로 많은 중소기업들이 하드웨어나 소프트웨어 설치에만 집중한 채 운영 효율성과 비즈니스 프로세스 통합을 간과하여 투자 대비 가시적 성과를 창출하지 못하고 있다. 또한 구성원들의 스마트 팩토리에 대한 이해도 부족과 인력 역량의 한계, 기존 설비의 노후화와 시스템 통합의 어려움 등으로 인해 도입 후에도 지속적인 운영상의 문제를 겪는 사례가 빈번하게 발생하고 있다[4].

글로벌 투자시장에서 ESG(Environmental, Social, Governance) 요소는 기업 가치 평가의 핵심지표로 자리잡았으며, 이는 제조업계에도 근본적인 변화를 요구하고 있다. 환경(E) 측면에서는 파리기후협약에 따른 지구 평균기온 상승을 1.5℃ 이하로 억제하기 위한 탄소중립 달성, 자원 효율성과 폐기물 최소화를 위한 순환경제 전환, 그리고 온실가스 배출을 대폭 줄이는 친환경 생산공정 구축이 필수적으로 요구되고 있다. 사회(S) 측면에서는 근로자의 안전보건과 근무환경 개선, 지역사회와의 상생발전과 사회적 책임 이행, 그리고 전 세계적으로 강화되고 있는 공급망 내 인권보호와 윤리적 조달 관행이 중시되고 있다. EU의 공급망 실사법(Corporate Sustainability Due Diligence Directive)이 2024년부터 본격 시행되면서 역내에서 영업활동을 하는 기업들이 협력·납품업체들의 인권 현황과 환경오염, 온실가스 배출량 등을 자체 조사하고 문제 해결을 의무화하도록 규정하고 있어, ESG 경영은 더 이상 선택이 아닌 생존을 위한 필수요건이 되고 있다[5]. 그러나 중소기업중앙회의 2021년 조사에 따르면 중소기업 10곳 중 9곳이 ESG 도

입에 어려움을 겪고 있으며[6], 서울경제 2023년 조사[7]에서는 중·중견기업들이 ESG 도입의 주요 장애요인으로 전문 인력 부족(46.7%), 정보 부족(43.3%), 투자 예산 부족(42.2%)을 꼽아 자원과 전문성이 제한적인 중소기업들에게는 ESG 경영 실천이 또 다른 도전과제로 작용하고 있음을 보여주고 있다.

기존의 스마트 팩토리 관련 연구들은 주로 기술적 측면이나 경제적 성과에 초점을 맞춘 연구가 대부분이었으며, ESG 관점에서 스마트 팩토리의 효과성을 분석한 연구는 상대적으로 부족한 실정이다. 또한 대기업 중심의 연구가 주를 이루었으며, 중소기업의 특수한 환경과 제약조건을 고려한 연구는 미흡한 상황이다. 이 연구는 스마트 팩토리와 ESG 경영이 단순히 병렬적인 관계가 아닌 실제로는 두 요소가 상호 시너지를 창출할 수 있는 통합적 관점의 연구를 추구하고자 한다. 중소기업이 제한된 자원으로 스마트 팩토리를 성공적으로 구축하고 운영하기 위해서는 ESG 요소를 전략적으로 활용하는 방안에 대한 실증적 연구가 절실히 요구된다.

본 연구는 ESG(Environmental, Social, Governance) 관점에서 중소기업 스마트 팩토리의 성공 요인을 체계적으로 도출하고자 한다. 이를 위해 AHP(Analytic Hierarchy Process) 기법을 활용하여 ESG 성과를 향상시킬 수 있는 요인들 간의 상대적 중요도와 우선순위를 정량적으로 분석함으로써 중소기업이 제한된 자원 하에서 효과적으로 스마트 팩토리를 구축할 수 있는 실행 가능한 전략과 프레임워크를 제시하는 것을 목적으로 한다. 본 논문의 2장에서 관련 연구를 검토하고, 3장에서는 AHP를 통한 연구 절차를 설명한다. 4장에서는 분석 결과, 5장에서는 논문의 결론 및 시사점이 제시된다.

2. 관련 연구

본 장에서는 중소기업의 스마트 팩토리 현황과 ESG 경영 관련 선행 연구에 대해 간략히 기술한다.

2.1 중소기업 스마트 팩토리 현황 및 성과

스마트 팩토리 도입으로 창출되는 비재무적 성과는 다양한 영역에 걸쳐 나타난다. 주요 성과 영역으로는 제품 품질 혁신, 납기준수를 개선, 개인화 제조 역량, 인적자원 운영 효율성, 자원활용 최적화, 환경·안전 기준 향상, 통합형 협업 생산체계, 동적 생산 최적화, 신사업 기회 발굴, 고도화된 협업 네트워크, 제품-서비스 융합 생산,

고객 서비스 품질 제고 등이 제시되었다[8]. 스마트 팩토리 전환 과정에서 반복적 단순 업무 인력은 축소되는 반면 소프트웨어 전문 인력에 대한 수요는 증가하는 구조적 변화가 수반된다. 관련 연구들에서도 불량률 개선, 납기 단축, 인력 운용 효율화, 자원 활용도 증대, 환경 및 안전성 기여, 신규 비즈니스 모델 창출, 고수준 협업 및 제조 안정성 확보 등을 핵심 성과 지표로 분류하고 있다[9].

한국의 스마트 팩토리 기술력과 운영 노하우는 제조업 혁신의 선도적 역량을 인정받고 있으나, 중소기업 차원에서는 디지털 전문인력 확보의 어려움과 초기 인프라 구축에 따른 재정적 부담이 주요 걸림돌로 작용하고 있다. 중소기업들은 스마트 팩토리가 기업 혁신과 미래 경쟁력에 미치는 전략적 중요성을 인식하고 있음에도 불구하고, 빠른 기술 변화에 적시 대응하기에는 현실적 제약이 많다. 이러한 상황에서 중소기업의 제조업 경쟁력 강화를 위한 정부의 체계적 지원은 필수불가결한 요소가 되었다[10]. 한국 정부는 스마트 팩토리의 지속가능하고 안정적인 운영 기반 마련을 위해 금융 지원과 전문인력 양성을 포함한 종합적 인프라 구축 사업을 동시에 추진하고 있다. 관계부처 합동으로 수립된 중소기업 스마트 제조혁신 전략을 바탕으로, 민관 협력 거버넌스인 스마트 제조혁신추진단을 통해 '공장 혁신', '일터 혁신', '산단 혁신' 등 다각적 접근을 통해 중소·중견기업의 스마트 팩토리 도입 및 기업 경쟁력 제고를 체계적으로 지원하고 있다[11].

지금까지 스마트 팩토리 도입에 영향을 미치는 요인들에 대한 다수의 연구가 수행되었다. 권세인(2019)은 스마트 팩토리 성공 요인을 기술적 차원과 조직적 차원으로 구분하여 분석하였다. 기술적 차원에는 보안, 센서 네트워크, 플랫폼 기술, 정보시스템, 지능형 자동화가 포함되며, 조직적 차원에는 최고경영진 리더십, 조직구성원 역량 개발, 디지털 문화 조성, 협력 체계 등이 해당된다[12].

이록과 김채수(2020)는 스마트 팩토리 성공 요인으로 '사업모델 혁신 및 직원 안전·건강을 위한 친환경 공장 운영', '생산공정 포함 전사 업무의 정보시스템 구성', '데이터 분석 역량', 'AI 기반 업무 프로세스 집중형 플랫폼', '내부 구성원 역할 변화에 따른 개인 역량 향상', 'IoT와 운영기술 융합을 통한 기술 경쟁력 강화', '인터넷 연결 환경에서의 IoT 보안 우려 대비 보안 강화' 등을 제시하였다[13]. 조직구성원의 역량 강화를 강조한 Hecklau et al.(2016)의 연구는 복잡하고 고도화된 제조 현장에서 새로운 기술 환경에 적합한 자격을 갖춘 인력 육성을 위해서는 구성원들의 지속적인 고수준 교육훈

련 및 역량 강화가 필수적이라고 제안하였다[14].

2.2 중소기업의 ESG 경영

중소기업의 ESG 경영은 대기업과는 다른 특성을 갖는다. 자원의 제약, 규모의 한계, 전문성 부족 등의 구조적 제약 요인이 존재하지만, 의사결정의 신속성, 조직의 유연성, 지역사회와의 밀접한 관계 등의 장점을 활용할 수 있다. 중소기업의 ESG 경영은 단순히 대기업 모델을 축소 적용하는 것이 아니라, 중소기업 고유의 특성을 반영한 차별화된 접근이 필요하다[15]. 글로벌 공급망에서 ESG 기준이 강화되면서 중소기업들도 ESG 경영 도입의 필요성이 증대되고 있다. 특히 대기업과의 거래 관계에서 ESG 평가가 중요한 선정 기준으로 작용하고 있으며, 금융기관의 ESG 금융 확산과 소비자들의 윤리적 소비 확산은 중소기업의 ESG 경영 도입을 가속화하고 있다[16].

국내 중소기업의 ESG 경영 도입 현황은 초기 단계로 평가된다. 대부분의 중소기업들이 ESG의 개념과 중요성은 인식하고 있으나, 실제 경영 활동에 체계적으로 적용하고 있는 기업은 제한적이다. 환경(E) 영역에서는 에너지 효율성 개선과 폐기물 관리에, 사회(S) 영역에서는 직원 복지와 지역사회 기여에, 지배구조(G) 영역에서는 투명성 제고와 윤리 경영에 초점을 맞추고 있다[5].

기존의 ESG 경영 연구는 대부분 대기업에 집중되어 왔다. 중소기업이 ESG 실행에서 직면하는 구조적 제약으로 인해 중소·중견기업 대상 연구는 상대적으로 부족한 상황이다. 일반적으로 중소기업은 이사회 기능이 제한적이며 의사결정이 소수에게 집중되는 특성을 보인다[17]. 중소기업의 ESG 도입 결정요인을 다룬 연구[18]가 있으며, 국내에서도 ESG 실행 성과를 분석한 연구들이 진행되었다[19-20]. ESG 관리체계 구축도 중요하지만, 이를 수용하고 활용하는 조직구성원들의 태도와 인식이 ESG 성공의 핵심요소이다. 기업의 주요 의사결정권자들의 의지와 몰입도가 ESG 경영 도입과정에서 결정적 역할을 하게 된다.

2.3 스마트 팩토리와 ESG 경영과의 관계

최근 해외에서 스마트 팩토리의 ESG 성과에 관한 연구들이 진행되고 있다. 스마트 팩토리에서의 디지털 기술을 ESG 핵심 성과지표와 연결하는 통합 프레임워크를 제시한 연구에서는 IoT센서, 디지털 트윈, AI기술이 ESG 모니터링 및 최적화에 어떻게 기여하는지 분석하였

다[21]. 다른 연구에서는 중소기업의 디지털 전환이 ESG 성과에 미치는 영향을 분석하고, 혁신역량과 서비스화 수준이 매개 역할을 한다는 것을 검증하였다[22]. 이 외에도 데이터 기반 의사결정과 프로세스 최적화를 강조하는 스마트 제조 기술이 제조 관행을 ESG 목표에 맞추는 수단을 제공한다고 제시한 연구[23], 디지털 전환이 제조 기업의 ESG 성과에 긍정적 영향을 미치며, 주요 메커니즘은 기업 투명성 향상을 통한 것이라고 밝힌 연구[24], 지능형 제조 파일럿 프로그램이 기업의 ESG 성과를 유의하게 향상시킨다는 것을 실증 분석한 연구[25] 등이 있다.

한국의 경우 중소기업의 ESG 경영과 스마트 팩토리 연계에 관한 연구는 아직 초기 단계에 있으나, 고경일(2023)이 분석한 풀무원 사례는 의미 있는 시사점을 제공하였다[5]. 풀무원은 디지털 스마트 팩토리를 전략적으로 도입하여 생산설비와 유틸리티 시설에 대한 실시간 모니터링 체계를 구축하였으며, 기존의 노후화된 설비를 고효율 에너지 설비로 교체하는 등 제조 공정의 지속적인 효율화를 추진하고 있다. 이러한 체계적인 노력의 결과로 풀무원은 에너지 사용량의 절감 효과를 실현하였다.

선행 연구에서 제시된 ESG 영역별 중소기업 스마트팩토리의 기대 성과를 보면, 환경 영역에서 ISO 인증, 재생 에너지 도입, 탄소 저감, 친환경 제품 개발이 두드러지고, 사회 영역에서는 지역사회와 상생, 인재 육성, 안전 보건 강화, 사회공헌 활동 등이 포함될 수 있다. 지배구조 영역에서는 투명성 강화, 윤리경영, 공정거래 프로그램 운영 등으로 ESG 경영 기반에 기여할 수 있다. 또한 중소기업을 통해 전사적 안전관리 체계를 통한 근무환경 개선을 사례를 보여 주었다[26].

3. 연구 방법

본 연구는 중소기업 스마트 팩토리의 ESG 성과 달성을 위한 핵심 성공 요소를 체계적으로 발굴하고자 AHP 분석 방법을 활용하였다. AHP는 복잡한 의사결정 과제를 단계별 구조로 분해하여 대안들 간의 상대적 우선도와 중요성을 정량적으로 평가할 수 있는 다기준 분석 기법으로 광범위하게 적용되고 있다[23]. 분석을 위해 Microsoft Excel 2024를 활용하여 AHP 분석의 전 과정을 수행하였으며, 계층구조 설정, 쌍대비교 행렬 작성, 가중치 산정, 일관성 검증의 4단계 절차를 거쳐 분석을 진행하였다.

3.1 조사 대상 및 자료 수집

중소기업의 ESG 지향적 스마트 팩토리 성공 요인을 탐색하기 위해 관련 전문성을 보유한 전문가 그룹을 조사 대상으로 선정하였다. 참여자는 중소 제조업체의 스마트 팩토리 구축 실무 경험을 가진 임원진 및 관리층, 스마트 팩토리 기술 개발 및 구현 분야의 전문가, 중소기업 지원 정책을 담당하는 공공기관 실무자, 중소기업 ESG 경영 컨설팅 전문가 등 ESG와 스마트 팩토리 영역에 걸친 전문 지식을 보유한 인력들로 구성하였다. 우선순위 도출 대상 과제들을 식별하기 위해 기존 연구 검토, 선행 문헌 분석, 예비 인터뷰 등을 통해 주요 평가 기준과 후보 과제를 발굴하였다. 연구 전 과정에서 전문가 의견의 합치성을 강화하고 연구 목적에 적합한 전용 설문 도구를 구축하였다(표 1).

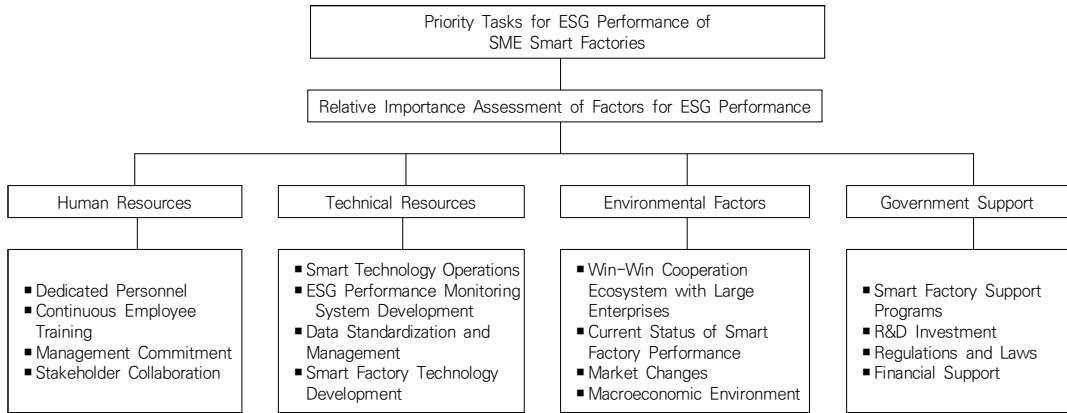
2025년 8월 11일부터 9월 23일까지의 조사 기간 중 총 28명의 전문가를 대상으로 쌍대 비교 설문을 시행하여 각 평가 요소별 상대적 중요도 정보를 수집하였다. 설문 진행은 e-mail과 현장 면담을 병행하는 방식으로 이루어졌으며, 응답 결과의 신뢰성 확보를 위해 AHP 이론 및 평가 방법에 관한 사전 교육을 실시하였다. 참여 전문가는 학계 10명, 산업계 9명, 정부 기관 7명, 민간 연구소 2명으로 분포되어 다양한 전문 영역의 견해를 반영하였다. 조사 참여자들의 평균 업무 경력은 약 7년 6개월이었으며, 최소 2년 6개월부터 최대 17년 5개월에 이르는 폭넓은 경험 범위를 나타냈다.

3.2 AHP 계층 구조 설계

본 연구의 AHP 프레임워크에서는 "중소기업 스마트 팩토리의 ESG 성과 향상을 위한 전략적 과제 우선순위 결정"을 최상위 목표로 정하였다. 상위 영역 과제 계층에는 '인적 자원', '기술적 자원', '환경적 요인', '정부 지원' 등 4개의 주요 평가 영역을 설정하였다. 3단계 계층에는 각 주요 영역과 연관된 구체적인 하위 과제들을 상세 평가 요소로 분류하였다. <그림 1>에 도식된 계층적 구조를 통해 각 영역별 과제에 대한 체계적 평가가 가능하도록 설계하였으며, 이를 바탕으로 ESG 중심의 스마트 팩토리 성공 전략을 제시하고자 하였다. 설계된 계층 구조에 기반하여 실시한 설문조사에서는 각 평가 요인별 상대적 중요도를 파악하기 위한 쌍대비교를 진행하였다. 두 하위 과제 간의 중요성 정도를 비교하기 위해 7단계 평가 척도를 사용한 쌍대비교 매트릭스를 구성하였다. 총 28명의 해당 분야 전문가들로부터 수집한 평가 결과는 기하평균 산출 방법을 적용하여 각 요소별 최종 가중치를 계산하였다.

〈Table 1〉 Description and Sources of Survey Items

Higher-Level Task	Detailed Task	Description	Source
Human Resource	Dedicated Personnel	Core personnel professionally allocated to systematically and continuously achieve ESG management goals through smart factories	[28]
	Continuous Employee Training	Systematic and continuous learning programs provided to employees for successful integration of smart factories and ESG management	[29-31]
	Management Commitment	The firm belief and execution will of top management regarding achieving ESG management goals through smart factories, representing strategic leadership and execution will of top decision-makers	[32-33]
	Stakeholder Collaboration	Collaborative ecosystem building activities with all related parties that influence or are influenced by corporate activities to achieve ESG performance through smart factories	[33]
Technical Resource	Smart Technology Operations	Acquiring digital technology expertise necessary for effectively operating smart factory systems and achieving ESG management objectives	[34-35]
	ESG Performance Monitoring System Development	An integrated data management and analysis framework that systematically measures, tracks, and analyzes ESG-related performance generated through smart factory operations to enable continuous improvement and objective achievement	[36]
	Data Standardization and Management	An integrated data governance framework that systematizes various data generated for smart factory operations and ESG performance achievement according to consistent standards and formats, ensures data quality, and enables efficient utilization	[37]
	Smart Factory Technology Development	Technology innovation activities that integrate ICT technologies throughout manufacturing processes to build and continuously improve intelligent, automated, and optimized production systems for achieving ESG management objectives	[10][38]
Environmental Factors	Win-Win Cooperation Ecosystem with Large Enterprises	A collaborative network system where large enterprises and SMEs mutually share technology, resources, and information to enhance each other's competitiveness and achieve sustainable growth through smart factory establishment and ESG management	[39-40]
	Current Status of Smart Factory Performance	Current status and development trends that comprehensively analyze performance indicators from the integration of smart factory technology adoption and ESG management in the domestic manufacturing sector	[31]
	Market Changes	Market environment changes that include external environmental change factors such as external pressures and competitive strategies	[31]
	Macroeconomic Environment	External environmental factors encompassing the overall national economic situation and government economic policy directions that directly and indirectly influence SMEs' smart factory establishment and ESG performance achievement	[41]
Government Support	Smart Factory Support Programs	Programs that promote smart factory establishment and sustainable management performance creation by comprehensively providing technology, funding, and consulting services to achieve productivity improvement	[42]
	R&D Investment	Government research and development support system aimed at strengthening technological innovation capabilities and securing sustainable competitiveness	[4][29]
	Regulations and Laws	A comprehensive government policy framework that provides the legal and institutional foundation necessary for achieving ESG performance through smart factories	[29][37]
	Financial Support	Various forms of financial support including subsidies, loans, and tax benefits provided by national and local governments to address funding shortage issues necessary for smart factory establishment and ESG management implementation	[4]



[Fig. 1] AHP Model for Priority Tasks for ESG Performance of SME Smart Factories

4. 연구 결과

본 연구에서는 ESG 관점에서의 중소기업 스마트 팩토리의 성과를 향상시키기 위한 주요 과제를 논의하기 위해 AHP를 활용한 쌍대 비교를 수행한 후 각 비교 항목들 간에 가중치를 통해 결과를 종합하여 최종 우선 순위를 도출하였다. 네 개의 상위 과제에 따른 각 하위 과제에 대한 전문가들의 평가를 통해 스마트 팩토리의 ESG 성과를 높이기 위한 시사점을 제시하였다.

4.1 스마트 팩토리의 ESG 성과를 위한 상위 과제의 중요도

AHP 분석에서 C.R.값은 응답자가 쌍대 비교를 할 때 얼마나 일관되게 판단했는지를 나타내는 값이다. 예를 들어, A가 B보다 3배 중요하고 B가 C보다 2배 중요하다면 논리적으로 A는 C보다 6배 중요해야 한다. 만약 A와 C를 직접 비교할 때 4배라고 응답했다면, 이는 비일관성이 발생한 것으로 볼 수 있다. 일반적으로 C.R.값이 0.1(10%) 이하이면 일관성이 확보되었다고 보고 있으며, 0에 가까울수록 일관성이 높은 것으로 볼 수 있다. C.R.값이 0.05 이하이면 우수한 일관성으로 볼 수 있으며, 0.05에서 0.1이하이면 양호한 일관성으로 보고 수용한다[43]. 네 개의 상위 과제 영역의 상대적 중요도와 우선 순위를 보면(표 2), C.R. 값이 0.0196(<0.1)으로 응답자들의 판단이 논리적으로 일관되었음을 의미한다. 정부 지원이 31.86%로 가장 높은 중요도를 차지하였다. 정책적 지원, 재정적 지원, 제도적 기반 등이 핵심 성공 요인임을 시사한다. 이 결과는 이론적으로도 중소기업이 디지털 기술을 기존의 인적 자원과 통합하여 ESG 성과를

향상시키는 방법을 설명하고 관리자의 자원 통합 역할을 강조하는 자원조정이론의 맥락에서 설명할 수 있다[44]. 나아가 동적역량이론에서 급변하는 비즈니스 환경에서 경쟁우위를 위해 기업이 내외부 자원을 통합, 육성, 재구성함을 강조하는 것에도 일치한다고 볼 수 있다.

인적 자원은 정부 지원과 거의 비슷한 수준(30.73%)의 중요도를 보여주었다. 이는 정부의 지원이 있더라도 이를 실행할 인력과 역량이 없다면 성공할 수 없음을 의미한다. 스마트 팩토리의 ESG 성과를 위해 정부의 지원이 중요하다는 것은 제도이론과 신호이론을 통해서도 설명될 수 있다[22][45]. 공식 규제, 표준화 정책, 지원 정책은 ESG 관행의 채택과 효과성을 지원하거나 방해할 수 있는 제도적 환경의 핵심 요소가 될 수 있다. 또한, 신호이론은 정부 보조금이 시장에 기업에 대한 정부의 지원을 신호하는 역할을 한다고 제시한다. 이러한 외부 투자자들이 정부 정책 동향과 잠재력이 높은 기업을 식별하는 데 도움을 주며, 이를 통해 해당 기업에 더 많은 외부 자원을 제공하게 된다. 정부 지원과 인적 자원이 합쳐서 전체의 61.59%를 차지하는 것은 이 두 요인이 압도적으로 중요한 핵심 요소임을 보여 준다.

기술적 자원은 3순위를 차지했지만 여전히 상당한 중요도(약 23.19%)를 가지고 있다. 기술적 자원은 직원 관리, 건강 모니터링, 작업장 안전에 적용되어 기업의 사회적 책임 성과를 강화할 수 있으며[46], 이에 따라 혁신적 자원으로서 AI 기술은 기업이 관리 효과성과 운영 효율성을 향상시켜 환경, 사회, 거버넌스 성과를 개선하는 데 도움을 줄 수 있다.

환경 요인은 14.22%로 가장 낮은 중요도를 보여 주었다. 환경 요인은 직접적으로 통제하기 어려운 요인으로

시장 상황, 경제 환경, 업계 동향 등은 주어진 조건으로 받아들여지고, 통제 가능한 내부 요인(인력, 기술, 정부 지원 활용)에 더 집중해야 함을 의미한다. 글로벌 경제가 불안해지면서 2022년 이후 ESG에 대한 회의론이 고개를 들었고, 러시아-우크라이나 전쟁과 같은 글로벌 이슈로 인해 경제 상황이 악화되면서 ESG는 기업들 사이에서 점점 부담스러운 요소로 여겨졌다. 그럼에도 불구하고, ESG 성과를 강화하는 것이 경제정책 불확실성의 부정적 효과를 완화하고 투자를 촉진하는 효과적인 전략이 될 수 있음을 보여 준 연구[47]를 통해 ESG 경영의 완충 효과를 보여주고 있다.

<Table 2> Relative Importance and Priority of Higher-Level Criteria

Category	Importance	Rank
Human Resource	0.3073	2
Technical Resource	0.2319	3
Environmental Factors	0.1422	4
Government Support	0.3186	1
Total	1.0000	

C.R.= 0.0196

4.2 스마트 팩토리의 ESG 성과를 위한 세부 과제의 중요도

조직 및 관리 요인의 중요성을 보면(표 3), C.R.값이 0.05 이하인 0.0059로 우수한 일관성을 보여 주었다. 네 개 세부 요인의 상대적 중요도를 보면, 경영진의 의지가 32.69%로 가장 높은 중요도를 보이며 1순위를 차지하였다. 전담 인력은 30.82%로 근소한 차이로 2순위를 나타냈으며, 지속적인 교육은 22.33%로 3순위, 이해관계자와의 협력은 14.16%로 4순위를 나타냈다. 이러한 결과는 ESG 스마트팩토리 추진에 있어 하향(top-down) 방식의 의사결정과 전문 인력 확보가 핵심적임을 시사한다. 경영진의 강력한 의지와 추진력 없이는 조직 차원의 변화를 이끌어내기 어렵다는 것을 보여주고 있다.

기술적 자원의 상대적 중요성은 <표 4>에 제시되어 있다. C.R.값이 0.0074로 일관성이 확보되었음을 확인하였다. 세부 과제 중 스마트기술인력 확보가 38.17%로 1순위를 차지하였다. 데이터 표준화 및 관리가 23.28%로 2순위, ESG 모니터링 시스템 구축이 22.88%로 3순위를 기록했으며, 스마트 팩토리 기술개발은 15.67%로 상대적으로 낮은 4순위를 나타냈다. 데이터 관련 요인들을 합치면 전체의 약 46%를 차지하여 데이터 인프라의 중요성을 보여 주었다. 연구 결과는 신규 기술개발보다 기

존 기술을 효과적으로 활용할 수 있는 전문 인력 확보가 더 시급한 과제를 나타낸다. 또한 데이터 표준화와 모니터링 시스템 같은 기반 인프라 구축이 기술개발 자체보다 우선되어야 함을 보여주며, 이는 중소기업 입장에서 매우 현실적이고 실용적인 우선순위를 반영한 결과로 해석할 수 있다.

<Table 3> Relative Importance and Priority of Human Resources Sub-Criteria

Tasks	Importance	Rank
Dedicated Personnel	0.3082	2
Continuous Employee Training	0.2233	3
Management Commitment	0.3269	1
Stakeholder Collaboration	0.1416	4
Total	1.0000	

C.R.= 0.059

<Table 4> Relative Importance and Priority of Technical Resources Sub-Criteria

Tasks	Importance	Rank
Smart Technology Operations	0.3817	1
ESG Performance Monitoring System Development	0.2288	3
Data Standardization and Management	0.2328	2
Smart Factory Technology Development	0.1567	4
Total	1.0000	

C.R.= 0.0012

<Table 5> Relative Importance and Priority of Environmental Factor Sub-Criteria

Tasks	Importance	Rank
Win-Win Cooperation Ecosystem with Large-scale Enterprise	0.3902	1
Current Status of Smart Factory Performance in Domestic Manufacturing	0.2029	3
Market Changes	0.2608	2
Macroeconomic Environment	0.1461	4
Total	1.0000	

C.R.= 0.0074

외부 환경 요인에 대한 상대적 중요성 결과는 <표 5>에 나타나 있다. 일관성 검증을 위한 C.R.값이 0.05 이하인 0.0012로 우수한 일관성이 확보되었음을 알 수 있다. 여기에서는 대기업과의 상생협력 생태계가 39.02%로 매우 중요한 요인으로 나타났다. 시장 변화(외부 압

력)가 26.08%로 2순위를 차지했고, 국내 제조업계의 스마트 팩토리 성과(업계동향)가 20.29%로 3순위, 거시 경제 환경이 14.61%로 4순위를 보여 주었다. 이러한 결과는 중소기업이 독자적으로 ESG 스마트 팩토리를 추진하기보다 대기업과의 협력 네트워크 구축이 결정적으로 중요함을 나타낸다. 시장 변화가 2순위를 차지한 것은 외부 압력 및 ESG경영에 대한 수요가 중요한 추진 동력이 될 수 있음을 의미한다.

〈Table 6〉 Relative Importance of Government Support Sub-Criteria

Tasks	Importance	Rank
Smart Factory Support Programs	0.2582	2
R&D Investment	0.1959	4
Regulation and Laws	0.2896	1
Financial Support	0.2563	3
Total	1.0000	

C.R.= 0.0063

정부 지원의 세부 과제에 대한 결과는 〈표 6〉에 제시되어 있다. 다른 결과들과 마찬가지로 C.R.값은 0.0063으로 우수한 일관성을 보여 주었다. 네 개의 세부 과제 중 제도·법규가 28.96%로 1순위를 차지했으나, 다른 과제들과 다르게 4개의 요인이 모두 비슷한 수준의 중요도를 보여 주었다. 스마트팩토리 지원사업이 25.82%로 2

순위, 재정적 지원이 25.63%로 3순위, R&D 투자가 19.59%로 4순위를 나타냈다. 1순위와 4순위의 차이가 약 9.37%p로 다른 과제에 비해 가장 균등하게 분산된 중요도 분포를 보이고 있다.

이는 정책 영역에서는 특정 요인에만 집중하기보다 종합적이고 균형 잡힌 지원이 필요함을 의미한다. 규제 준수를 위한 제도적 기반이 다소 우선되지만, 정부의 스마트팩토리 지원사업, 재정적 지원, R&D 투자 등이 모두 고르게 중요하다는 것을 보여 준다. 특히 R&D 투자가 상대적으로 낮은 순위를 보인 것은 중소기업이 기초 연구보다 실질적 지원과 제도적 뒷받침을 더 필요로 함을 나타낸다.

4.3 스마트 팩토리의 ESG 성과를 위한 과제의 종합 가중치 및 우선 순위

여기에서는 4개의 상위 과제(인적 자원, 기술적 자원, 환경적 요인, 정부 지원) 아래 총 16개 세부 과제의 종합 가중치를 통해 전체적인 우선순위를 파악하였다(〈표 7〉). 전체 16개 세부과제 중 경영진의 의지가 가장 높은 종합 가중치를 기록했다(10.05%). 이는 ESG 스마트 팩토리가 단순한 기술 도입이 아니라 조직 전체의 변화를 요구하는 전략적 과제이기 때문인 것으로 보인다. 경영진의 리더십이 중소기업 변화 관리의 핵심임을 보여준다. 전담 인력이 2순위(9.47%)를 차지한 것은 경영진의 의지를 실

〈Table 7〉 Overall Weights and Rankings of Tasks for Smart Factory Success from an ESG Perspective

Higher-Level Tasks			Sub-Criteria Tasks		
Criteria	Weights	Rank	Tasks	Overall Weights	Rank
Human Resource	0.3073	2	Dedicated Personnel	0.0947	2
			Continuous Employee Training	0.0686	7
			Management Commitment	0.1005	1
			Stakeholder Collaboration	0.0435	12
Technical Resource	0.2319	3	Smart Technology Operations	0.0885	4
			ESG Performance Monitoring System Development	0.0531	11
			Data Standardization and Management	0.0540	10
			Smart Factory Technology Development	0.0363	14
Environmental Factors	0.1422	4	Win-Win Cooperation Ecosystem with Large-scale Enterprise	0.0555	9
			Current Status of Smart Factory Performance	0.0288	15
			Market Changes	0.0371	13
			Macroeconomic Environment	0.0208	16
Government Support	0.3186	1	Smart Factory Support Programs	0.0823	5
			R&D Investment	0.0624	8
			Regulation and Laws	0.0923	3
			Financial Support	0.0816	6
Total	1.0000		Total	1.0000	

행으로 옮길 실무 조직의 중요성을 나타낸다. ESG와 스마트 팩토리 모두 전문성이 요구되는 영역이므로, 이를 전담할 인력 없이는 지속적인 추진이 불가능할 것이다. 1순위와 2순위가 모두 인적 자원 영역에 속한다는 점에서, 사람이 가장 중요한 자원임을 재확인할 수 있다. 3순위는 제도·법규(9.23%)로 ESG 경영이 이제 선택이 아닌 필수가 되어가는 상황을 반영하고 있으며, 환경규제, 탄소 배출 보고 의무, ESG 공시 제도 등이 강화되면서, 법적 준수가 기업 생존의 기본 조건이 되어 가고 있다. 중소기업이 이러한 제도적 변화에 대응할 수 있는 체계를 갖추는 것이 매우 중요하다. 스마트 기술인력 확보가 4순위(8.85%)를 차지한 것은 기술 영역에서 가장 중요한 요소가 기술 자체가 아니라 기술을 다룰 수 있는 인력임을 보여 준다. IoT, 빅데이터, AI 등 스마트 팩토리 기술을 이해하고 운영할 수 있는 전문 인력 없이는 시스템 도입이 무의미하며, 상위 4개 과제중 3개 과제가 인력 관련 항목이라는 점에서 인적 자원의 중요성이 강조되었다.

뒤를 이어 5순위는 정부의 스마트 팩토리 지원사업(8.23%)으로 중소기업이 정부 지원을 적극 활용해야 함을 시사한다. 스마트제조혁신추진단의 지원사업, 중소벤처기업부의 스마트공장 보급·확산 사업 등 다양한 정부 프로그램이 중소기업의 디지털 전환을 촉진하는 중요한 수단이 된다. 재정적 지원(8.16%)이 6순위를 차지한 것은 중소기업의 재정적 한계를 보여주며, ESG를 위한 스마트 팩토리 구축에는 상당한 초기 투자가 필요하므로, 정부 보조금, 저리 융자, 세제 혜택 등의 재정 지원이 중요한 역할을 한다. 지속적인 교육(6.86%)이 7순위를 차지한 것은 일회성 교육이 아닌 지속적인 역량 개발의 필요성을 나타낸다. ESG와 스마트 팩토리 기술은 빠르게 변화하므로, 조직 구성원들의 지속적인 학습과 역량 강화가 필요하다. 전담 인력만으로는 부족하며, 조직 전체의 역량 향상 역시 필요하다고 할 수 있다. 상대적으로 R&D 투자가 8순위(6.24%)로 낮은 순위를 보인 것은 중소기업의 현실을 반영한다고 볼 수 있다. 중소기업은 대기업처럼 대규모 연구개발에 투자하기 어렵고, 오히려 검증된 기술을 빠르게 도입하고 적용하는 것이 더 효율적이다. 이는 혁신보다 실용성을 우선하는 중소기업의 전략을 보여준다.

대기업과의 상생협력이 9순위(5.55%)를 차지한 것은 다소 의외의 결과일 수 있는데, 환경적 요인 내에서는 1순위였지만, 종합가중치에서는 환경적 요인 자체의 낮은 가중치로 인해 순위가 낮은 것으로 볼 수 있다. 하지만 여전히 중요한 요소로 볼 수 있으며, 공급망 ESG 관리가

강화되는 상황에서 대기업과의 협력은 중소기업의 ESG 도입 동기가 된다. 데이터 표준화 및 관리는 10순위(5.40%)를 차지했는데, 이는 ESG 데이터와 스마트 팩토리 데이터를 체계적으로 관리하는 기반 시스템의 중요성이 다른 우선순위들에 비해 상대적으로 후순위를 보여 준다. 이는 먼저 인력과 제도를 갖춘 후 시스템을 구축하는 단계적 접근이 합리적임을 시사한다.

ESG 모니터링 시스템 구축(5.31%), 이해관계자와의 협력(4.35%), 시장 변화(3.71%)는 다른 요소들에 비해 상대적으로 낮은 우선순위를 보여 주었으며, 모니터링 시스템은 데이터 기반이 갖춰진 후에 구축할 수 있는 고도화 단계의 과제이며, 이해관계자 협력은 중요하지만 경영진 의지나 전담 인력보다는 부차적인 요소로 인식된다. 스마트 팩토리 기술개발(3.63%), 국내 제조업계의 스마트 팩토리 성과/업계동향(2.88%), 거시 경제 환경(2.08%)이 최하위권을 차지한 것은 중소기업이 통제할 수 없거나 직접적인 영향력이 제한적인 요소들이기 때문인 것으로 보인다. 거시 경제 환경과 업계 동향은 중요하지만 주어진 조건이므로, 이에 대응하는 것보다 직접 통제 가능한 내부 요인들을 먼저 강화하는 것이 합리적일 것이다.

5. 결론

본 연구에서의 AHP 분석 결과는 중소 제조기업의 ESG 스마트 팩토리 추진에 대한 명확한 우선순위를 제시하며, 정책 입안자와 기업 경영자 모두에게 중요한 전략적 방향성을 제공하고 있다. 분석 결과, 상위 과제에서는 정부 지원(31.86%)이 가장 높은 가중치를 보였으며, 인적 자원(30.73%), 기술적 자원(23.19%), 환경적 요인(14.22%) 순으로 나타났다. 이는 중소기업의 ESG 스마트 팩토리 도입에 있어 정부의 역할과 인적 자원이 핵심적인 요소임을 보여준다.

세부 과제의 종합가중치 분석에서는 경영진의 의지(10.05%)가 1순위를 차지했으며, 전담 인력(9.47%), 제도·법규(9.23%), 스마트기술 인력 확보(8.85%)가 뒤를 이었다. 특히 상위 4개 과제 중 3개가 인력 관련 항목이라는 점에서 인적 자원의 중요성이 강조되었다. 이는 ESG경영을 위한 스마트 팩토리가 단순한 기술 도입이 아니라 경영진의 리더십과 전문 인력을 중심으로 한 조직 전체의 변화 관리가 필요한 전략적 과제임을 시사한다.

정부 지원 영역에서는 스마트 팩토리 지원사업(8.23%)과 재정적 지원(8.16%)이 5순위와 6순위를 차지하여, 중소기업의 재정적 한계를 극복하고 디지털 전환을 촉진하는 데 정부의 역할이 중요함을 보여주었다. 제도·법규가 3순위를 차지한 것은 ESG 공시 의무화, 환경 규제 강화 등 제도적 변화에 대응하는 것이 기업 생존의 기본 조건이 되어가고 있음을 반영한다.

기술적 자원 영역에서는 스마트기술 인력 확보가 가장 높은 우선순위를 보인 반면, 스마트 팩토리 기술 개발(3.63%)은 상대적으로 낮은 순위를 기록했다. 이는 중소기업이 독자적인 기술 개발보다는 검증된 기술의 도입과 이를 운영할 수 있는 전문 인력 확보를 더 중요하게 인식하고 있음을 나타낸다. 또한 데이터 표준화 및 관리(5.40%)와 ESG 성과 모니터링 시스템 구축(5.31%)은 중위권 순위를 보여, 인력과 제도를 먼저 갖춘 후 시스템을 구축하는 단계적 접근이 합리적임을 시사한다.

환경적 요인에서는 대기업과의 상생협력(5.55%)이 가장 높은 가중치를 보였으나, 환경적 요인 자체의 낮은 가중치로 인해 종합순위에서는 9순위를 차지했다. 거시 경제 환경(2.08%)과 국내 제조업계의 스마트 팩토리 성과(2.88%)가 최하위권을 차지한 것은 중소기업이 통제할 수 없는 외부 환경보다 직접 통제 가능한 내부 요인들을 우선시하는 현실적 접근을 보여준다.

종합적으로, 중소기업의 ESG 스마트 팩토리 성공을 위해서는 경영진의 강력한 의지와 전담 조직 구성이 최우선 과제이며, 정부의 재정 지원과 제도적 기반을 적극 활용하고, 스마트 기술을 운영할 수 있는 전문 인력을 확보하는 것이 핵심 전략임을 확인하였다. 특히 기술 자체보다 기술을 다룰 수 있는 사람이 더 중요하다는 인식은 중소기업의 한정된 자원을 효율적으로 배분하는 데 중요한 시사점을 제공한다. 따라서 중소기업은 통제 가능한 내부 요인인 인력과 제도를 우선 강화하고, 정부 지원을 적극 활용하며, 검증된 기술을 단계적으로 도입하는 실용적 접근 전략이 필요하다.

REFERENCES

- [1] Ministry of SMEs and Startups Press Release, Small and Medium-sized Enterprises, the Foundation of Our Economy, Account for 99% of All Companies and 81% of Workers", July 28, 2022.
- [2] Ministry of SMEs and Startups, Announcement of the Results of the 2024 Smart Manufacturing Innovation Status Survey, April 28, 2025.
- [3] Ministry of Trade, Industry and Energy, Smart Manufacturing Innovation Vision 2025, 2017.
- [4] J.R. Kim, "Factors Affecting Intention to Introduce Smart Factory in SMEs- Including Government Assistance Expectancy and Task Technology Fit," *Journal of Venture Innovation*, Vol.3, No.2, pp.41-76, 2020.
- [5] K.I. Khoe, "Diagnosis of Current Response Status and Study of Implications through Analyzing ESG Management Cases of SMEs," *Korean Management Consulting Review*, Vol.23, No.1, pp.297-304, 2023.
- [6] Green Economy News, "9 out of 10 Small and Medium Enterprises Face Difficulties in ESG Implementation... The Problem is Cost," November 24, 2021.
- [7] Seoul Economic Daily, "SME and Mid-sized Company CEOs: 'Great Interest in ESG Implementation, but Shortage of Personnel, Information, and Budget Remains a Challenge,'" August 24, 2024.
- [8] J.W. Lim, D.H. Jo, S.Y. Lee, H.J. Park, and J.W. Park, "A Case Study for the Smart Factory Application in the Manufacturing Industry," *Korean Journal of Business Administration*, Vol.30, No.9, pp.1609-1630, 2017.
- [9] S.M. Kim and Y.Y. You, "The Effect of Corporate Competency on Smart Factory Acceptance Intention and Management Performance -Moderating Effect of Regional Characteristics-," *Journal of Digital Convergence*, Vol.18, No.9, pp.125-133, 2020.
- [10] T.J. Kim and H.S. Shin, "A Multiple Case Study on the Success Factors of Smart Factory Execution by Small and Medium Manufacturing Companies," *Journal of Creativity and Innovation*, Vol.15, No.1, pp.1-47, 2022.
- [11] H.J. Park and I.S. Cho, (2020). "The Effects of the Support Level of Korean SMEs in Smart Manufacturing on BSC-based Firm Performance," *Global Business Administration Review*, Vol.17, No.2, pp.103-121, 2020.
- [12] S.I. Kwon, "An Empirical Study on the Critical Success Factors of Smart Factory Implementation and Corporate Performance: Focusing on Domestic Small and Medium-sized Manufacturing Companies," Doctoral dissertation, Dankook University, 2019.
- [13] R. Lee and C.S. Kim, "The Effects of Smart Factory Technologies on Quality and Innovation Performance in SMEs," *Asia-Pacific Journal of Business Venturing and Entrepreneurship*, Vol.15, No.3, pp.59-71, 2020.
- [14] F. Hecklau, M. Galeitzke, S. Flachs, & H. Kohl, "Holistic Approach for Human Resource Management," *Industry 4.0. Procedia CIRP*, Vol.54, pp.1-6, 2016.
- [15] J.H. Lee, "A Study on the Necessity of Promoting ESG Management of SMEs Through Empirical Analysis of ESG Ratings," *The Journal of Humanities and Social Science*, Vol.13, No.2, pp.2787-2802, 2022.

- [16] S.A. Park and E.H. Shin, "Analysis of the Relationship between ESG Performance and Corporate Financial Values Focusing on SMEs," *Journal of Environmental Policy and Administration*, Vol.29, No.4, pp.151-199, 2021.
- [17] N. Cucari, S.E.D. Falco, and B. Orlando, "Diversity of Board of Directors and Environmental Social Governance: Evidence from Italian Listed Companies," *Corporate Social Responsibility & Environmental Management*, Vol.25, No.3, pp.250-266, 2017.
- [18] Q. Zhu, F. Zou, and P. Zhang, "The Role of Innovation for Performance Improvement through Corporate Social Responsibility Practices among Small and Medium-Sized Suppliers in China," *Corporate Social Responsibility & Environmental Management*, Vol.26, No.2, pp.341-350, 2018.
- [19] J.T. Seo, S.Y. Lee, H.H. Kim, J.H. Bae, and H.J. Kong, "Effect of SMEs' ESG Management on Consumers' Purchasing Intention," *Journal of Korea Culture Industry*, Vol.22, No.1, pp.141-149, 2022.
- [20] H.J. Im, "Analysis on ESG Issues of SMEs Using Text Mining," *The Journal of Humanities and Social Science*, Vol.12, No.4, pp.469-482, 2021.
- [21] C. Spilotro, G. Secundo, N. Magaletti, E. Zini, C. Tognon, and A. Zerega, "Data-Driven ESG KPIs Optimization: A Framework for Smart Buildings and Smart Factories," *Sustainability*, Vol.17, No.23, 10837, 2025.
- [22] D. Chen and Wang, "Digital Transformation, Innovation Capabilities, and Servitization as Drivers of ESG Performance in Manufacturing SMEs," *Sci Rep*, Vol.14, 24516, 2024.
- [23] W.Y. Leong, Y.Z. Leong, and W.S. Leong, "Smart Manufacturing Technology for Environmental, Social, and Governance (ESG) Sustainability," *2023 IEEE 5th Eurasia Conference on IOT, Communication and Engineering (ECICE)*, Yunlin, Taiwan, pp. 1-6, 2023.
- [24] X. Wu, L. Li, D. Liu, and Q. Li, "Technology Empowerment: Digital Transformation and Enterprise ESG Performance—Evidence from China's Manufacturing Sector," *PLOS ONE*, 19, 2024.
- [25] D. Gao, L. Tan, and Y. Chen, "Smarter is Greener: Can Intelligent Manufacturing Improve Enterprises' ESG Performance?" *Humanit Soc Sci Commun*, Vol.12, No.529, 2025.
- [26] S.R. Kim and Y.Y. Cho, "The Social Value of Smart Factory from an ESG Perspective: Focusing on the Cases of Small and Medium-Sized Enterprise," *Journal of Korea Institute of Industry and Academy Innovation*, Vol.4, No.2, pp.53-72, 2025.
- [27] J.A. Bellver and V.C. Mellado, "An Application of the Analytic Hierarchy Process Method in Farmland Appraisal," *Spanish Journal of Agricultural Research*, Vol.3, No.1, pp.17-24, 2005.
- [28] M.H. Park, "The Impact of SME ESG Management on Business Performance," Master's Thesis, Hansung University, 2025.
- [29] S.J. Kang, J.M. Oh, and S.Y. Oh, "Smart Factory Security in the Era of ICT Convergence Security," *Proceedings of the Korea Technology Innovation Society Conference*, pp. 625-643, 2019.
- [30] J.H. Kim, S.H. Chae, and S.H. Lim, "Analysis of the Productivity Improvement Effect of Quality Management Training for Production Workers from an ESG Perspective," *Industry Promotion Research*, Vol.9, No.4, pp.213-219, 2024.
- [31] N.J. Cho and S.M. Moon, "Analysis of the Impact of the Characteristics of Business Environment and Technology on the Adoption and Utilization of Smart Factories by SMEs," *Asia Pacific Journal of Information Systems*, Vol.26, No.3, pp.75-102, 2024.
- [32] J.S. Lee, S.S. Kim, and H.W. Kim, "A Study on Smart Factory Construction Plan of Small and Medium-Sized Enterprises in Korea," *Yonsei Business Review*, Vol.59, No.2, pp.101-126, 2022.
- [33] S. Baek and D.H. Lee, "Can R&D Investment be a Key Driver for Sustainable Development? Evidence for Korean Industry," *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, Vol.31, No.2, pp.838-853, 2024.
- [34] J.H. Yeo, C.Y. Park, and B.J. Kwon, "A Study on the Effects of Dynamic Capability and Smart Advancement on Organizational Performance of Smelting Industry Smart Factory: Based on ser-M Framework," *The E-Business Studies*, Vol.24, No.2, pp.139-156, 2023.
- [35] J.R. Lee and C.W. Lee, "Effect of Technological Factor on Operational Performance in Semiconductor Manufacturing Companies : Focusing on the Mediating Effect of CEO Leadership and IT Expert," *Korean Journal of Business Administration*, Vol.34, No.11, pp.2047-2069, 2021.
- [36] W.H. Choi, I.C. Kang, and C.S. Kim, "A Study on Energy Saving and Safety Improvement through IoT Sensor Monitoring in Smart Factory," *Journal of The Korean Society of Disaster Information*, Vol.20, No.1, pp.117-127, 2024.
- [37] S.Y. Chung, J.Y. Jeon, and J.J. Hwang, "Standardization Strategy of Smart Factory for Improving SME's Global Competitiveness," *Journal of Korea Technology Innovation Society*, Vol.19, No.3, pp.545-571, 2016.
- [38] J.M. Park, "Technology and Issue on Embodiment of Smart Factory in Small-Medium Manufacturing Business," *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol.40, No.12, pp. 2491-2502, 2015.
- [39] H.T. Yang, "Policy Measures for Revitalizing the Artificial Intelligence-Based Smart Factory," *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol.45, No.9, pp.1659-1665, 2020.

- [40] G.N. Lim, "Expert Insights What Are the Sustainable Smart Manufacturing Innovation Strategies?" Automation Technology, Vol.41, No.3, pp.14-27, 2025.
- [41] J.K. Lee and J.H. Rhee, "Current Status and Future Directions of Research on Sustainable Management: Focusing on the ESG Measurement Index," Journal of Strategic Management, Vol.23, No.2, pp.65-92, 2020.
- [42] H.D. Kim, KG. Lee, J.H. Yoon, and S.K. Youn, "Effect of SMEs Business Conditions on Smart Factory Level," Korea Journal of Business Administration, Vol.32, No.9, pp.1561-1579, 2019.
- [43] T.L. Saaty, "How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process," European Journal of Operational Research, Vol.48, No.1, pp.9-26, 1990.
- [44] B. Gerhart and J. Feng, "The Resource-Based View of the Firm, Human Resources, and Human Capital: Progress and Prospects," Journal of Management, Vol.47, 2021.
- [45] A. Jerman, M. P. Bach, and A. Aleksić, 2020. "Transformation Towards Smart Factory System: Examining New Job Profiles and Competencies," Systems Research and Behavioral Science, Vol. 37, No.2, pp.388-402, 2020.
- [46] P. M. Wright, B. B. Dunford, and S. A. Snell, "Human Resources and the Resource Based View of the Firm," Journal of Management, Vol.27, No.6, pp.701-721, 2001.
- [47] X. Cai, H. Xiang, and I. Neskorođieva, "Interrelation between Human Capital Management and ESG Engagement: Evidence from S&P 500 Firms," Humanit Soc Sci Commun, Vol.11, No.1654, 2024.

조 용 윤(Yongyun Cho)

[종신회원]



- 1998년 8월 : 송실대학교 컴퓨터 공학과 (공학석사)
- 2006년 8월 : 송실대학교 컴퓨터 공학과 (공학박사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 국립순천대학교 교수

<관심분야>

사물인터넷, 정보통신, 빅데이터, 인공지능, 시스템소프트웨어

김 소 라(Sora Kim)

[정회원]



- 2000년 8월 : 위스컨신 주립대학 소비자학(소비자학석사)
- 2004년 12월 : 오하이오 주립대학 (소비자학 박사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 국립순천대학교 교수

<관심분야>

스마트 복지, 미디어 복지, 산업 복지, 소비자 정보