J. Korea Saf. Manag. Sci. Vol. 26 No. 2 June 2024
http://dx.doi.org/10.12812/ksms.2024.26.2.117
ISSN 1229-6783(Print)
ISSN 2288-1484(Online)

중소규모의 스마트제조 기업을 위한 MES 구축에 필요한 요소 연구

박 종 식 · 한 영 근
명지대학교 산업경영공학과

A Study on the Elements Required for Implementing MES in Small and Medium-sized Smart Manufacturing Enterprises

Jong-shik Park · Young-geun Han
Department of Industrial and Management Engineering, Myongji College / University

Abstract

The objective of this study is to identify the priority of elements for effective implementation of MES in small and medium-sized manufacturing enterprises trying to develop into smart factories. For this purpose, the Delphi method and the Analytic Hierarchy Process(AHP) mothod are applied. As a result of the study, the cooperation of the members in the supply chain is the most important factor for small and medium-sized enterprises in order to survive in the global competitive environment. Therefore, the enterprises need to make various efforts to create synergies through the technical strength of suppliers and the cooperation in the process of introducing and operating MES.

Keywords : MES Implementation, Smart Factory, Delphi Method, AHP

1. 서 론

제조현장에서 실시간으로 데이터를 수집하여 그 정보에 기초하여 의사 결정과 운영 관리를 지원하는 MES (Manufacturing Execution Systems)는 스마트 팩토리에서 핵심 역할을 수행한다. 이에 따라 많은 중소 제조기업들이 제조현장에서의 치열한 생산성 경쟁과 품질 고도화, 데이터의 활용도 향상을 위해 MES의 성공적인 도입을 위해 노력하고 있다.

정부와 기업에서는 스마트팩토리와 MES의 효과적인 구축을 다양한 방법으로 시도하고 있다. 그러나 효과적으로 MES를 구축하고 운용하는 데는 현실적으로 기업구성원들이나 이해관계자들 중간에서 많은 저항에 직면할 수 있다. 기업들은 이러한 저항을 줄이기 위해 저항의 원인들을 선제적으로 관리하여야 한다. 또한 MES를 구축하고 운용하는 과정에서 제조기업의 최고경영자는 조직 구성원들과 합의 하에 MES의 구축과 운용 목표를 구체적이며 명확하게 설정할 필요가 있다.

중소제조기업의 경우 효과적인 MES의 구축과 운용을 위해서는 중소제조기업 고유한 업의 특성을 반영한 MES시스템 구축이 추진되어야 한다. 대기업과는 달리 중소기업은 일반적으로 제한된 납기와 수주 정보의 잦은 변경, 생산공정의 비표준화 및 안정화의 어려움, 제한된 인력 및 인프라 등으로 인해 대기업의 MES 구축보다 더욱 어려운 생산환경을 가지고 있으므로, 대기업 위주의 MES 구축 전략으로는 성공적인 구축이 매우 힘든 실정이다. 따라서 중소제조기업을 중심으로 효과적으로 MES를 구축하고 운용하기 위한 연구와 조사가 중요하다고 할 수 있다.

지금까지 중소제조기업을 대상으로 효과적인 MES 구축과 관련된 연구는 주로 실증분석 중심으로 수행된 경향이 있다. 이들 연구에서는 효과적인 MES 구축에 미치는 요인들을 도출하고 설문조사를 통한 효과요인과 성과와의 관계를 규명하는 방식으로 이루어져 왔다. 그밖에 스마트팩토리 구현을 위한 MES 관련 연구 역시 스마트팩토리 구축에 영향을 미치는 요인을 확인하거나, 스마트팩토리 구축을 통한 경영성과 달성을 위한 요소를 몇 가지 제시하고 설문조사를 통한 인과관계를 규명하는 연구 형태로 이루어졌다.

†Corresponding Author : Young-Geun Han, Dept. of Industrial Engineering, Myongji University, 116 Myongji-ro, Cheoin-gu, Yongin, Gyeonggi-do, E-mail: yghan@mju.ac.kr
Received May 19, 2024; Revision June 12, 2024; Accepted June 16, 2024

기업에서 필요한 시스템을 성공적으로 도입하기 위해서 필요한 핵심요소는 연구자의 여러 연구 목적에 따라서 다양한 형태로 제시되었다. 중소제조기업에서의 MES 도입을 통한 경영성과를 확인하기 위한 연구에서는 조직요인, 산업환경요인, 변화관리요인, 정보시스템 요인의 중요성을 강조하였고[1], CEO 지원, 투자비용, 사용자 참여도, 시스템의 질, 정보의 질 등을 강조한 연구 결과도 있다[2]. 또한 효과적으로 MES를 설계하기 위한 연구에서는 생산성 및 효율성 향상을 위해 설계자동화와 시스템 분석 시간 절약 등을 제시하기도 하였다[3]. 반면, 시스템을 성공적이고 안정적으로 도입 및 운용하기 위해 필요한 요소를 추출하고 이들에 대한 우선순위를 적용한 연구는 거의 이루어지지 않았음을 확인할 수 있었다.

이러한 측면에서 본 연구에서는 스마트팩토리를 지향하는 중소제조기업에서 효과적으로 MES를 구축하고 안정적으로 운용을 하기 위해 필요한 핵심요소들을 도출하고, 그 도출된 요소에 대하여 우선순위를 선정하기 위한 연구를 수행하고자 한다. 이를 위해서 관련된 선행연구에서 제시하고 있는 성공요소를 추출한 후, 중소제조기업에서 효과적으로 MES를 구축 및 운용하기 위한 요소를 5가지(조직, 환경, 정보시스템, 변화관리, 공급자)로 구분하였다. 선행연구에서의 요소들 외의 추가적인 요소를 도출하기 위해 관련 분야 전문가(교수, 연구원, 경영자, 공장장, 생산관리책임자 등)로부터 의견을 수렴하여 필요한 요소를 확보한 후 우선순위를 분석하였다.

2. MES 성공 요인의 설정

중소기업기술정보진흥원에서는 기업들이 자체적으로 스마트팩토리 수준 확인을 위한 자가 진단서를 배포하고 있으며, 해당 내용에서는 10가지 영역(리더십과 전략, 제품개발, 생산계획, 공정관리, 품질관리, 설비관리, 물류운영, 정보시스템, 설비자동화, 성과)으로 구분하여 레벨 0에서 레벨 5까지 측정할 수 있도록 하고 있다. 이 자가진단서의 제시 내용이 MES, ERP, PLM, SCM 등을 위한 핵심요소에 관련된 선행연구에서 강조하고 있는 내용과 유사하다. 본 연구에서는 중소제조기업이 효과적으로 MES를 구축하고 운용하기 위해 필요한 요소를 도출하기 위한 선행연구를 고찰함에 있어서 MES, ERP, PLM, SCM과 함께 스마트팩토리에 대한 내용도 포함하여 살펴보았다.

본 연구의 목적 달성을 위해서 선행연구 고찰을 통해 성공요소를 도출한 후, 델파이 기법을 활용하여 전문가로부터 추가적인 성공요소를 도출한다. 여러 선행연구에서 제시된 핵심요소의 고찰을 기반으로, 본 연구 목적에 부합한 핵심요소를 선정하고 선행연구에서 제시된 세부 내용을 재구성한다.

많은 연구자들이 제시한 요인들을 정리해 보면 5가지 요인(조직 요인, 환경 요인, 정보시스템 요인, 변화관리 요인, 공급자 요인)으로 추출하여 설명하고 있음을 알 수 있었다. 이 결과에 의해 본 연구에서는 스마트팩토리를 지향하는 중소제조기업에서 효과적인 MES 구축 및 운용을 위한 성공요소를 이 5가지로 결정하였다.

세부항목으로서 조직 요인은 46가지, 환경 요인 22가지, 정보시스템 요인 24가지, 변화관리 요인 27가지, 공급자 요인 21가지로 모두 140가지를 도출하였다.

3. 연구의 설계

3.1 연구 절차

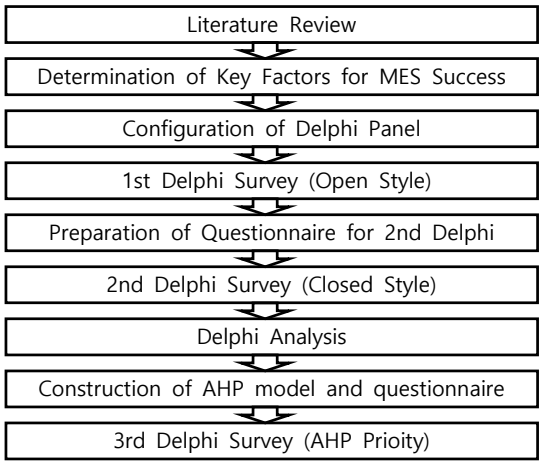
본 연구는 다음과 같은 단계로 진행되었다. 1단계에서는 MES 관련 선행연구에 대해 중점적으로 선행연구 조사를 실시하였고, 시스템을 효과적으로 운영하기 위해 필요한 요소와 항목을 추출하였다. 그 결과는 앞 장에 서술한 대로 5가지(조직 요인, 환경 요인, 정보시스템 요인, 변화관리 요인, 공급자 요인)였고, 확정된 5가지 요소에 해당되는 세부항목들을 정리하였다.

2단계는 델파이 1차 조사 단계인데, 개방형 설문으로 진행하였으며, 선행연구에서 추출된 요인항목 외에 다른 요인항목을 추가하기 위한 목적을 갖는다. 델파이 1차 조사단계에서는 연구자가 전문가들로부터 편견 없는 다양한 의견을 도출하기 위해 최대한 개방적인 질문 내용을 통하여 진행되었다.

3단계에서는 선행연구와 1차 진행한 델파이 조사를 통하여 수집된 자료들을 정리하는 작업을 하였다. 그다음 유사 문항들을 통합하고 제거하는 작업을 시행한 후 최종적인 요인들을 정리하였다. 이후 구조화된 리커트(Likert) 5점 척도 설문지를 구성하여 설문조사를 실시하였다.

4단계는 도출된 요인에 대하여 우선순위를 도출하기 위한 조사이다. 이를 위해 델파이 2차 조사 결과에서 확정된 문항에 대해서 우선순위를 도출하기 위한 모형을 구축하고 AHP(Analytic Hierarchy Process) 분석을 위한 설문지를 구성한 후 설문을 진행하였다. [Figure 1]은 연구 절차의 전체 흐름을 보여 준다.

ISSN 1229-6783(Print)
ISSN 2288-1484(Online)



[Figure 1] Flow of research

3.2 전문가 패널의 구성

델파이 방법과 AHP분석 방법에서는 전문가 패널 선정이 중요한 과정이다. 따라서 전문가 패널 선정을 위해 다음과 같이 세 가지 기준을 적용하였다. 첫째, 전문가의 다양한 자질 측면이다. 본 연구 과정에 선정된 패널은 중소제조기업의 환경을 이해하고 MES에 대한 지식과 기술을 보유하고 있는 전문가들로 구성하였다. 둘째, 보편타당성을 추구하였다. 특정하게 이해관계자별로 의견이 치우침이 없도록 다양한 직업에서의 전문가들로 구성하였다. 셋째, 전문가의 진정성 있는 답변을 유도하기 위해 지속적으로 설문 응답이 가능한 성실한 패널로 구성하였다. 이러한 전문가 패널을 구성하는 원칙에 따라 총 30명의 전문가 패널을 구성하였다.

3.3 자료의 분석

본 연구에서는 델파이 조사를 통해 회수된 자료를 SPSS V.24.0을 활용하여 통계 분석하였다. 델파이 2차 조사에서 평균 이하 값을 먼저 제거하였고 타당도, 신뢰도, 안정도의 분석을 통해 항목을 순차적인 방법으로 제거하는 과정을 거친 후 최종적인 항목을 얻을 수 있었다. AHP 분석에 SPSS V.24.0을 활용해 빈도분석을 실행하였고, Expert Choice V.11.0을 사용하여 최종적으로 우선순위를 도출하였다.

3.4 설문의 구성

3.4.1 1차 개방형 델파이 조사 설문의 구성

1차 델파이 설문의 문항은 선행연구를 통해 조직측면, 환경측면, 정보시스템측면, 변화관리측면, 공급자측면의 5가지를 구성하였고, 각 요인별로 자유롭게 의견을 구술하도록 하였다.

3.4.2 2차 폐쇄형 델파이 조사 설문의 구성

2차 델파이 조사는 5점 리커트 척도로 구성된 폐쇄형 설문조사이다. 이를 위해서 선행연구에서 도출된 항목 140가지와 델파이 1차 조사에서 도출된 항목 90가지를 통합하였다. 중복된 내용 58가지를 제거한 후 최종 172항목을 폐쇄형 설문지를 구성하였다. 조직적 측면 57문항, 환경적 측면에서 26문항, 정보시스템 측면에서 26문항, 변화관리 측면에서 39문항, 공급자 측면에서 24문항을 구성하였다.

2차 델파이 조사를 위한 설문지는 1차 설문조사 이후 각 측면별로 평균, 안정도, 타당도, 신뢰도, 수렴도 등을 확인하여 기준치에 부합하지 않은 항목을 제거하였다. 최종 문항을 중심으로 중소제조기업에서 효과적인 MES 구축 및 운용을 위한 우선순위 조사를 위한 모형 구성에 활용하였다.

3.4.3 3차 AHP 조사 설문의 구성

AHP 분석 설문지는 가장 일반적으로 사용되는 쌍대비교 7점 척도로 작성하였다. 설문은 전문가 패널 30명 중 설문에 응답한 15명을 대상으로 하여 일대일 면담으로 진행하였다. 면담의 내용은 연구의 목적과 설문의 취지 그리고 설문지 작성방법 등에 대한 설명을 하였고, 다기준 의사결정모형에 대한 개략적인 이해와 AHP 분석방법에서 쌍대비교의 특징인 중요도 순서 및 중요도 비중을 자세히 설명하고 이해를 구하였다.

3.4.4 AHP 모형

AHP 분석 설문지 구성을 위해 먼저 <Table 1>과 같은 계층구조를 설정하였다.

여기서 제1계층에는 본 연구 방법의 목표인 '중소 제조기업의 효과적인 MES 구축 및 운용을 위한 우선순위'로 지정했고, 제2계층에는 5분류(조직적 측면, 환경적 측면, 정보시스템 측면, 변화관리 측면, 공급자 측면)로 지정을 했으며, 제3계층에 2차 델파이 조사에서 최종 선정된 47개 요인 중에서 전문가 3인의 의견을 수렴하고 평균점수를 고려하여 각 측면별로 4개의 세부항목 전체 20개의 하부요인을 확정하였다.

<Table 1> Structure of questionnaire

Factor	Detailed Element
Organizational aspects	Implementation of work standardization
	Support of CEO
	Capability of human resource
	Understanding of MES
Environmental aspects	Establishment of a real-time management system
	Establishment of a plan that reflects market requirements
	Establishment of a detailed plan linked to OT, IT, and AT
	Automation of facilities
Information systems aspects	Provision of accurate information
	Provision of appropriate information
	Removal of obstacles
	Always available environment
Variation management aspects	Strengthening of user training
	Implementation of standardization and commonization
	Establishment of management goals
	Planning of phased introduction
Suppliers aspects	Supplier's technology level
	Appropriate evaluation of new technology adoption
	Collaboration with partner companies
	Capabilities of partner companies

4. 분석 결과

4.1 델파이 1차 조사

1차 델파이 개방형 설문지가 1차 조사 응답자에게 배부되었는데, 이 설문지의 주 내용은 5가지 측면에서 개선되어야 할 사항을 자유롭게 기술하는 것이다.

1차 델파이 조사 응답자는 20명으로 교수 4명(20%), 연구원 3명(15%), 경영자 6명(30%), 공장장 3명(15%), 생산관리책임자 4명(20%)이었다. 학력은 박사수료/졸업이 6명(30%), 석사수료/졸업 4명(20%). 학사 6명(30%)이었다. 경력은 11년~15년 미만 3명(15%), 15년~20년 미만이 5명(25%), 20년 이상이 12명(60%)로 확인되었다.

델파이 1차 조사를 통해 120가지의 의견이 도출되었으며, 중복된 항목을 제외하고 전체 90가지를 확인할 수 있었다. 핵심요소별로는 조직요인 32가지, 환경요인 7가지, 정보시스템 요인 17가지, 변화관리 요인 27가지, 공급자 요인 7가지로 확인되었다.

4.2 델파이 2차 조사

델파이 2차 조사는 179개의 설문 문항으로 구성이 되었는데, 이것은 선행연구에서 도출된 140가지 요인과 1차 개방형에서 도출된 90가지 요인 중에서 중복된 문항 51개를 제외한 항목이다. 15명의 응답자를 기준으로 분석을 실시하였으며, 2차 델파이 조사에서는 최종 항목을 선정하기 위하여 첫째, 평균을 기준으로 요인별 평균 이하인 항목을 제거하였다. 둘째, 내용타당도 검사를 통하여 CVR 값이 0.49 이하인 문항을 제거하였다. 이는 Lawshe의 패널 수에 대한 권장 사항을 참고하였다[4]. 셋째, 신뢰도 분석을 수행하여(Chronbach α)값을 확인하였고 0.6 이하인 문항을 제거하였다. 넷째, 안정도(Stability)가 0.8 이상인 항목을 제거하였다. 다섯째, 수렴도를 파악하였다. 수렴도는 0에 가까울수록 적합하다고 판단한다. 여섯째, 합의도를 파악하였다. 합의도는 1에 가까울수록 적합하다고 판단한다.

2차 델파이 조사 응답자는 22명으로 교수 4명(18.2%), 연구원 5명(22.7%), 경영자 4명(18.2%), 공장장 2명(9.1%), 생산관리책임자 7명(31.8%)였다. 학력은 박사수료/졸업이 10명(45.5%), 석사수료/졸업 6명(27.3%). 학사 6명(27.3%)였다. 경력은 11년~15년 미만 3명(13.6%), 15년~20년 미만이 5명(22.7%), 20년 이상이 12명(63.6%)으로 확인되었다.

4.2.1 조직적 측면 분석 결과

조직적 측면 57문항에 대한 분석을 실시한 결과 전체 평균은 3.96점으로 확인되었다. 첫째, 평균(M=3.96)을 기준으로 평균 이하인 항목 31문항을 제거하였다. 둘째, 안정도는 모두 0.8 이하인 것으로 확인되었다. 셋째, 내용타당도(CVR)가 0.49 미만인 항목은 4문항 제거되었다. 넷째, 신뢰도는 7문항이 0.6 미만으로 제거되었다. 다섯째, 수렴도와 합의도는 모두 0에 근사하였고 1에 근접하였다.

분석 결과 조직적 측면 57문항 중, 42문항이 제거되었고 15문항이 확정되었다

4.2.2 환경적 측면 분석 결과

환경적 측면 26문항에 대한 분석을 실시한 결과 전체 평균은 4.06점으로 확인되었다. 첫째, 평균(M=4.06)을

기준으로 평균 이하인 항목 11문항을 제거하였다. 둘째, 안정도는 모두 0.8 이하인 것으로 확인되었다. 셋째, 내용타당도가 0.49 미만인 항목은 없었다. 넷째, 신뢰도는 8문항이 0.6 미만으로 제거되었다. 다섯째, 수렴도와 합의도는 모두 0에 근사하였고 1에 근접하였다.

분석 결과 조직적 측면 26문항 중, 19문항이 제거되었고 7문항이 확정되었다.

4.2.3 정보시스템 측면 분석 결과

정보시스템 측면 26문항에 대한 분석을 실시한 결과 전체 평균은 4.4점으로 확인되었다. 첫째, 평균(M=4.4)을 기준으로 평균 이하인 항목 11문항(5, 6, 7, 11, 18, 19, 20, 23, 24, 25, 26)을 제거하였다. 둘째, 안정도는 모두 0.8 이하인 것으로 확인되었다. 셋째, 내용타당도가 0.49 미만인 항목은 없었다. 넷째, 신뢰도는 7문항이 0.6 미만으로 제거(3, 8, 9, 10, 17, 21, 22)되었다. 다섯째, 수렴도와 합의도는 모두 0에 근사하였고 1에 근접하였다.

분석 결과 조직적 측면 26문항 중, 18문항이 제거되었고 8문항이 확정되었다.

4.2.4 변화관리 측면 분석 결과

변화관리 측면 39문항에 대한 분석을 실시한 결과 전체 평균은 3.85점으로 확인되었다. 첫째, 평균(M=3.85)을 기준으로 평균 이하인 항목 20문항을 제거하였다. 둘째, 안정도는 모두 0.8 이하인 것으로 확인되었다. 셋째, 내용타당도가 0.49 미만인 항목 2문항(13, 24)은 제거하였다. 넷째, 신뢰도는 8문항이 0.6 미만으로 제거되었다. 다섯째, 수렴도와 합의도는 모두 0에 근사하였고 1에 근접하였다.

분석 결과 조직적 측면 39문항 중 30문항이 제거되었고 9문항이 확정되었다.

4.2.5 공급자 측면 분석 결과

공급자 측면 24문항에 대한 분석을 실시한 결과 전체 평균은 4.21점으로 확인되었다. 첫째, 평균(M=4.21)을 기준으로 평균 이하인 8문항을 제거하였다. 둘째, 안정도는 모두 0.8 이하인 것으로 확인되었다. 셋째, 내용타당도가 0.49 미만인 항목은 제거하였다. 넷째, 신뢰도는 8문항이 0.6 미만으로 제거되었다. 다섯째, 수렴도와 합의도는 모두 0에 근사하였고 1에 근접하였다.

분석 결과 조직적 측면 24문항 중 16문항이 제거되었고 8문항이 확정되었다.

4.2.6 델파이 2차 조사 결과의 요약

전체 측정항목 172문항 중에서 124문항이 제거(평균 제거 81문항, 내용타당도 제거 6문항, 신뢰도 제거 38문항)가 되었고 최종 48문항(조직 15문항, 환경 7문항, 정보 8문항, 변화 9문항, 공급자 8문항)이 확정되었다.

이후 2차 델파이 분석에서 확정된 최종항목을 중심으로 전문가 3인의 의견을 수렴하고 평균 점수를 고려하여 각 측면별 4개의 세부항목을 선정하여 본 연구의 분석 목적으로 사용하였다.

4.3 델파이 3차 AHP 분석

3차 델파이 조사를 위해 델파이 2차에서 도출된 항목에 대하여 전문가의 의견과 평균을 중심으로 우선순위를 위한 모형을 구성하였고, 설문조사를 실시한 후 Expert Choice 11.0을 사용하여 분석을 진행하였다.

AHP 분석을 위한 응답자는 총 15명이었고, 직업은 교수 4명(26.7%), 연구원 1명(6.7%), 경영자 4명(26.7%), 공장장 2명(13.3%), 생산관리책임자 4명(26.7%)였다. 학력은 박사수료/졸업이 8명(53.3%), 석사수료/졸업 4명(26.7%). 학사 3명(20.0%)였다. 경력은 11년~15년 미만 2명(13.3%), 15년~20년 미만이 3명(20.0%), 20년 이상이 10명(66.7%)로 확인 되었다.

분석전, 응답자의 일관성 비율(C.R : Consistency Ratio)를 확인하였고 0.1 미만인 응답자에 대해서만 결과 분석에 활용하기로 하였다. 응답자 15명에 대한 일관성을 확인한 결과 15명 모두 일관성비율이 0.1 미만인 것으로 확인되었고, 설문조사 결과를 분석에 활용해도 문제가 없다고 판단하였다.

4.3.1 상위요소 우선순위 분석 결과

5가지 요소에 대한 가중치를 확인한 결과 조직적 측면 0.231, 환경적 측면 0.145, 정보시스템 측면 0.145, 변화관리 측면 0.095, 공급자 측면 0.384로 확인되었다. 이를 통해서 1위는 공급자 측면, 2위는 조직적 측면, 3위는 환경적 측면과 정보시스템 측면, 5위는 변화관리 측면 순서임을 알 수 있었다. <Table2>는 상위요소 우선순위의 분석결과를 보여준다.

<Table 2> Analysis results of high-level element priorities

Factor	C.R	Weight	Priority
Organization	0.02	0.231	2
Environment		0.145	3
Information System		0.145	3
Variation management		0.095	5
Supplier		0.384	1

4.3.2 조직적 측면 하위요소 우선순위 분석 결과

조직적 측면의 세부항목 네 가지에 대한 우선순위를 분석하기 전, 전체 응답자의 일관성 비율을 계산한 결과 0.04로서, 이는 0.1 보다 작기에 적합함을 알 수 있었다. 분석 결과, 업무표준화 실시 0.504, 최고경영자 지원 0.176, 인적자원의 역량 0.264, MES에 대한 이해도 0.057로 확인되었다. 우선순위는 1위 업무표준화 실시, 2위 인적자원의 역량, 3위 최고경영자 지원, 4위 MES에 대한 이해도임을 알 수 있었다. 정리된 결과는 <Table 3>과 같다.

<Table 3> Analysis results of priorities of organizational factors

Element	C.R	Weight	Priority
Implementation of work standardization	0.04	0.504	1
Support of CEO		0.176	3
Capability of human resource		0.264	2
Understanding of MES		0.057	4

4.3.3 환경적 측면 하위요소 우선순위 분석

환경적 측면의 세부항목 네 가지에 대한 우선순위를 분석하기 전, 전체 응답자의 일관성 비율을 확인한 결과 0.005로서, 0.1보다 작아 적합함을 알 수 있었다. 분석결과, 실시간 관리체계 구축 0.275, 시장 요구사항 반영한 계획 수립 0.277, OT/IT/AT와 연동한 상세한 계획수립 0.318, 설비자동화 0.13으로 확인되었다. 우선순위는 1위 OT/IT/AT와 연동한 상세한 계획수립, 2위 시장 요구사항 반영한 계획 수립, 3위 실시간 관리체계 구축, 4위 설비자동화 순임을 알 수 있었다. 정리된 결과는 <Table 4>와 같다.

<Table 4> Analysis results of priorities of environmental factors

Element	C.R	Weight	Priority
Establishment of a real-time management system	0.005	0.275	3
Establishment of a plan that reflects market requirements		0.277	2
Establishment of a detailed plan linked to OT, IT, and AT		0.318	1
Automation of facilities		0.13	4

4.3.4 정보시스템 측면 하위요소 우선순위 분석

정보시스템 측면의 세부항목 네 가지에 대한 우선순위를 분석하기 전, 전체 응답자의 일관성 비율을 확인한 결과 0.000으로서, 이는 0.1보다 작아 적합함을 알 수 있었다. 분석 결과 정확한 정보제공 0.327, 적절한 정보제공 0.348, 장애제거 0.161, 항상 사용 가능한 환경 0.164로 확인되었다. 우선순위는 1위 적절한 정보제공, 2위 정확한 정보제공, 3위 항상 사용 가능한 환경, 4위 장애제거 순임을 알 수 있었다. 정리된 결과는 <Table 5>와 같다.

<Table 5> Analysis results of priorities of information system factors

Element	C.R	Weight	Priority
Provision of accurate information	0.000	0.327	2
Provision of proper information		0.348	1
Removal of obstacles		0.161	4
Always available environment		0.164	3

4.3.5 변화관리 측면 하위요소 우선순위 분석

변화관리 측면의 세부항목 네 가지에 대한 우선순위를 분석하기 전, 전체 응답자의 일관성 비율을 확인한 결과 0.03으로서, 0.1 보다 작아 적합함을 확인할 수 있었다. 분석 결과 사용자 교육강화 0.145, 표준화/공용화 실시 0.488, 관리목표 설정 0.246, 단계적 도입계획 수립 0.12로 확인되었다. 우선순위는 1위 표준화/공용화 실시, 2위 관리목표의 설정, 3위 사용자 교육 강화, 4위는 단계적 도입계획 수립 순으로 밝혀졌다. 정리된 결과는 <Table 6>과 같다.

ISSN 1229-6783(Print)
ISSN 2288-1484(Online)

<Table 6> Analysis results of priorities of variation management factors

Element	C.R	Weight	Priority
Strengthening of user training	0.03	0.145	3
Implementation of standardization and commonization		0.488	1
Establishment of management goals		0.246	2
Planning of phased introduction		0.12	4

4.3.6 공급자 측면 하위요소 우선순위 분석

공급자 측면의 세부항목 4가지에 대한 우선순위를 분석하가 전, 전체 응답자의 일관성 비율을 확인한 결과 0.04로서, 0.1 보다 작아 적합함을 확인할 수 있었다. 분석 결과 공급사의 기술력 0.283, 신기술 수용에 대한 적절한 평가 0.091, 거래업체와의 협업 0.163, 협력사의 역량 0.462로 확인되었다. 우선순위는 1위 협력사의 역량, 2위 공급사의 기술력, 3위 거래업체와의 협업, 4위 신기술 수용에 대한 적절한 평가 순으로 확인되었다. 정리된 결과는 <Table 7>과 같다.

<Table 7> Analysis results of priorities of supplier factors

Element	C.R	Weight	Priority
Supplier's technology level	0.04	0.283	2
Appropriate evaluation of new technology adoption		0.091	4
Collaboration with partner companies		0.163	3
Capabilities of partner companies		0.462	1

4.3.7 통합 우선순위 분석

총 20가지 항목에 대한 우선순위 분석을 실시하였다. 1위는 협력사 역량 0.163, 2위는 공급사의 기술력 0.1, 3위는 업무표준화 실시 0.098, 4위는 OT/IT/AT와 연동한 상세한 계획수립 0.062과 적절한 정보 제공 0.062이었다. 그 이하 순위를 정리한 것이 <Table 8>에 나타나 있다.

<Table 8> Integrated analysis results of whole elements

Factor	Weight of Factor	Detailed Element	Weight of Element	Total Weight	Priority
Organizational aspects	0.231	Implementation of work standardization	0.504	0.098	3
		Support of CEO	0.176	0.034	12
		Capability of human resource	0.264	0.051	10
		Understanding of MES	0.057	0.011	19
Environmental aspects	0.145	Establishment of a real-time management system	0.275	0.053	9
		Establishment of a plan that reflects market requirements	0.277	0.054	8
		Establishment of a detailed plan linked to OT, IT, and AT	0.318	0.062	4
		Automation of facilities	0.13	0.025	16
Information systems aspects	0.145	Provision of accurate information	0.327	0.058	6
		Provision of proper information	0.348	0.062	4
		Removal of obstacles	0.161	0.028	15
		Always available environment	0.164	0.029	14
Variation management aspects	0.095	Strengthening of user training	0.145	0.012	18
		Implementation of standardization and commonization	0.488	0.04	11
		Establishment of management goals	0.246	0.02	17
		Planning of phased introduction	0.12	0.01	20
Suppliers aspects	0.384	Supplier's technology level	0.283	0.1	2
		Appropriate evaluation of new technology adoption	0.091	0.032	13
		Collaboration with partner companies	0.163	0.058	6
		Capabilities of partner companies	0.462	0.163	1

5. 결론

5.1 연구의 결과 요약

본 연구의 목적은 중소제조기업에서 효과적으로 MES를 구축하고 운용하기 위한 우선순위를 도출하기 위함이다. 델파이 기법을 활용하여 전문가의 의견을 반영한 항목을 도출하고 AHP 기법을 활용하여 우선순위를 도출하였다. 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 상위 요소에서의 우선순위 결과에서 중소제조 기업에서 효과적으로 MES를 구축하고 운용하기 위해서 가장 중요한 요소는 공급자 측면으로 확인되었다. 2위는 조직적 측면, 3위는 환경적 측면과 정보시스템 측면, 5위는 변화관리 측면으로 확인되었다.

둘째, 조직적 측면 네 가지에 대한 우선순위는 1위 업무표준화 실시, 2위 최고경영자 지원, 3위 인적자원의 역량, 4위 MES에 대한 이해도 순으로 확인되었다.

셋째, 환경적 측면의 하위요소에 대한 우선순위 결과는 1위 OT/IT/AT와 연동한 상세한 계획수립, 2위 시장 요구사항 반영한 계획수립, 3위 실시간 관리체계 구축, 4위 설비 자동화가 중요한 것으로 확인되었다.

넷째, 정보시스템적 측면에서 1위 적절한 정보제공, 2위 정확한 정보제공, 3위 항상 가능한 환경, 4위 장애 제거로 확인되었다.

다섯째, 변화관리 측면에서 1위는 표준화/공용화 실시, 2위 관리목표의 설정, 3위 사용자 교육강화, 4위 단계적 도입계획 수립으로 확인되었다.

여섯째, 공급자 측면에서 우선순위는 1위 협력사 역량, 2위 공급사의 기술력, 3위 거래업체와의 협업, 4위 신기술 수용에 대한 적절한 평가로 확인되었다.

일곱째, 전체 우선순위 결과이다. 1위는 협력사의 역량, 2위 공급사의 기술력, 3위 업무표준화 실시, 4위 OT/IT/AT와 연동한 상세한 계획수립 및 적절한 정보제공, 6위 정확한 정보 및 거래업체와의 협업 순으로 확인되었다.

5.2 연구의 의의와 시사점

지금까지 여러 연구자들이 중소제조기업을 중심으로 MES를 구축하기 위한 연구를 수행해 왔다. 이들에 비교하여 본 연구가 가지는 차별성을 중심으로 시사점을 제시하면 다음과 같다.

첫째, 본 연구에서는 중소제조기업이 MES를 구축하고 운용함에 있어 효율성을 갖기 위해 필요한 요소를 MES관련 선행연구 뿐만 아니라 SCM, ERP, PLM, Smart Factory 등의 연구에서 시스템을 성공적으로 구축하기 위해 필요하다고 제시되었던 요소를 도출하여 제시했다는 점에서 특이점을 가진다.

둘째, 선행연구뿐만 아니라 학계와 업계 전문가를 대상으로 현장에서 요구되는 MES 구축 요소를 도출하여 제시했다는 점에서 실용성을 가진다.

셋째, 선행연구와 델파이 조사에서 도출된 요소를 중심으로 우선순위를 분석하여 제시했다는 점에서 학문적 의미를 가진다고 할 것이며 이것이 본 연구가 갖는 관련 선행연구와의 차별성이라 할 것이다.

넷째, 본 연구에서는 중소 제조기업이 MES를 구축 운용함에 있어서 공급자 측면을 가장 우선적으로 고려해야 한다는 점을 밝힘으로써 실무적 시사점을 제시했다고 할 수 있다. 지금까지 관련 연구에서는 사내 시스템을 성공적으로 구축함에 있어서 기업 내부적인 요소를 고려하여 제시를 했다는 것이 일반적인 특징이다. 하지만 중소 제조기업이 글로벌 경쟁환경에서 생존을 위해서는 공급사슬과 구성원의 협력이 무엇보다 중요한 요소라는 것을 본 연구에서 확인했고, 이 점이 본 연구의 의미 있는 결과라고 할 것이다. 따라서 중소제조기업에서는 MES를 도입하고 운용하는 과정에서 공급사의 기술력을 활용하고 협업을 통한 시너지를 창출할 수 있는 다각적인 노력을 해야 할 필요가 있을 것이다.

다섯째, 본 연구에서는 중소제조기업이 효과적으로 MES를 구축하고 운용하기 위해서 특정 부분을 관리하기보다는 조직적 측면, 환경적 측면, 정보시스템 측면을 고려하여 준비를 해야 한다는 근거를 제공했다는 점이 실무적 관점에서 갖는 시사점이라 할 것이다.

여섯째, 본 연구의 결과는 MES를 구축하기 위해 최고경영자나 임원진에서의 하향식 지시 및 전달을 통한 구축을 하기보다는 단계별로 업무 목표를 수립하고 전사적인 차원에서 조직 구성원의 참여수준을 높임으로써 사용자들이 MES를 적극적으로 활용할 수 있는 환경과 조직을 구성할 필요가 있다는 선행연구[5]에서 제시된 시사점을 재확인했다는 점이 실무적 활용 측면에서 가지는 또 다른 시사점이라고 할 것이다.

6. References

[1] J. H. Choi(2018), “The Impact of MES (Manufacturing Execution System) Deployment on Management Performance in Small Manufacturing Company.” Ph.D Thesis, Kangwon University.

[2] N. R. Kim(2008), “An Empirical Study on Performance Evaluation of Production Information Systems for

SMEs." Ph.D Thesis, Dong-a University.
[3] W. Y. Kwak(2010), "A study on the efficient HMI and MES Design Method." Ph.D Thesis, Hoseo University.
[4] C. H. Lawshe(1975), "A Quantitative Approach to Content Validity." Personnel Psychology, 28:563-575.
[5] S. H. Hong(2021), "A Study on the Effect of Goal Level and Change Management Factors on the Continuous Intention to Use at the Stage of Smart Factory Introduction and Operation." Ph.D Thesis, Hoseo University.
[6] J. S. Park(2023), "A Study on the Selection of Key Factors for Effective Implementation of MES in Small and Medium-sized Manufacturing Enterprises." Ph.D Thesis, Myongji University.
[7] J. S. Ahn(2011), "Developing Evaluation Criteria for Historic Gardens Preservation Condition by Applying Delphi Technique and Analytic Hierarchy Process." Ph.D Thesis, Sungkyunkwan University.
[8] J. R. Lee(2022), "A Study on Critical Success Factors Affecting Business Performance of Smart Factory : Focusing on Semiconductor, Electrical and Electronics Manufacturing Companies." Ph.D Thesis, Hanyang University.
[9] J. Huh(2018), "A Study on Priority of Smart Factory Security Factors Using AHP Approach." Ph.D Thesis, Sangmyung University.
[10] D. T. Harker, L. G. Vargas(1987), "The Theory of Ratio Scale Estimation: Saaty's Analytic Hierarchy Process." Management Science, 33(11):1383-1403.
[11] G. Rowe, G. Wright(1999), "The Delphi Technique as a Forecasting Tool: Issues and Analysis." International Journal of Forecasting, 15(4):353-375

저자 소개

박 종 식
명지대학교 산업공학과 학사
동국대학교 정보통신 석사
명지대학교 산업경영공학과 박사
현. ㈜아이티오 대표이사
명지전문대학 산업경영공학과 겸임교수
관심분야 : 스마트제조 및 정보시스템

한 영 근
서울대학교 기계설계학과 학사, 석사
Pennsylvania 주립대 산업공학과 박사
현, 명지대학교 산업경영공학과 교수
관심분야 : 생산자동화 및 정보화, 스마트제조