Journal of Korea Society of Industrial Information Systems Vol.29 No.2, Apr. 2024 :153-167
http://dx.doi.org/10.9723/jksiis.2024.29.2.153 ISSN:1229-3741

DMAIC 방법론의 생산시스템 개발자 과제 최적화 모델링: 배터리 제조 중심으로.

(Optimization of DMAIC for production system developer task : Focused on Battery Manufacturing)

박 신 철[1], 이 주 연[2]*, 정 명 석[3]*
Shin Chul Park, Joo Yeoun Lee, and Myoung Sug Jung)

요 약 DMAIC는 배터리 제조 관련 엔지니어들에게 가장 친숙한 문제해결방법론이나, 배터리 생산시스템 개발자의 다양한 과제에 대한 무분별한 적용으로 과제 지연, 성과 미흡 및 부분 최적화 등 지속적인 문제 발생이 되고 있는 실정이다. 배터리 생산시스템 개발자 과제를 효과적으로 대응할 수 있는“DMAIC 방법론의 최적화 모델”을 확보하고자 3단계 연구모형을 활용하여 생산시스템 개발자 과제 방법론의 요구특성을 도출하고, DMAIC의 적합성을 분석하여 부족한 부분을 보완하여 최적화 모델링을 실시하였다. 본 연구 결과물인 “시스템 구조적 7단계 방법론”을 활용하여 개발자 과제에 적용해 봄으로서 DMAIC 방법론을 보다 적합성을 높일 수 있다는 점을 확인하였다. 하나의 방법론으로 보다 학습이 용이하고 다양한 산업별 특성에 맞춰 차별화 운영을 할 수 있도록 하여 향후 다양한 산업분야에 적용 가능할 것으로 기대된다.

핵심주제어: DMAIC, 생산시스템, 시스템 구조적 7단계 방법론, 최적화, 배터리

Abstract DMAIC is the most familiar problem-solving methodology to battery manufacturing-related engineers, but continuous problems such as task delay, insufficient performance, and partial optimization are occurring due to indiscriminate application to various tasks of battery production system developers. In order to secure an "optimized model for DMAIC methodology" that can effectively respond to battery production system developers' tasks, a three-stage research model was used to derive the required characteristics of the production system developer task methodology, analyze the suitability of DMAIC, and conduct optimization modeling by supplementing the shortcomings. It was confirmed that the DMAIC methodology can be more suitable by applying the "system structural seven-step methodology", which is the result of this study, to developer tasks. It is expected that it will be applied to various industrial fields in the future by making it easier to learn and allowing differentiated operations according to the characteristics of various industries.

Keywords: DMAIC, Production system, System Structural 7 Step, optimization, battery

* Corresponding Author: jooyeoun325@ajou.ac.kr
* Corresponding Author: mschung333@gmail.com
Manuscript received December 15, 2023 / revised February 24, 2024 / accepted March 30, 2024

1) 아주대학교 과학기술정책학과, 제1저자
2) 아주대학교 과학기술정책학과, 교신저자
3) 아주대학교 과학기술정책학과, 교신저자

1. 서 론

1.1 연구의 배경

대부분의 기업에서는 비즈니스 전략에 따라 매년 새로운 제품 전략을 수립하고, 새로운 제품은 생산시스템의 변경을 요구하며, 제품의 신규성 정도에 따라 생산시스템의 재설계 또는 신규 개발을 요구하는 경우가 지속적으로 발생하게 된다.

이러한 생산시스템의 기능 추가 또는 성능 향상 및 새로운 생산시스템 개발 설계는 품질, 생산성, 비용 측면에서 기업의 경쟁력을 좌우하는 중요한 전략과제로, 배터리 제조회사의 경우 글로벌 파트너사의 제품전략에 맞춰 배터리 제품 개발 및 배터리 생산시스템 신규 구축 또는 재구축이 추진되고 있다.

국내 모 대기업의 경우 이러한 전략과제 중 핵심 하위과제의 성공적인 결과 확보를 위하여 생산시스템 개발자를 선발하여 기술연수센터에서 문제해결방법론과 기술과목으로 구성된 “5주 Expert 교육과정”을 실시하고 추가적인 심화학습과 과제지도를 제공하고 있다. 이러한 노력에도 불구하고‘23년 10월에 실시한 개발자 Survey결과 “우리 과제에는 맞는 과제해결 방법론이 없다. 분석할 Data가 없다. 과제의 난이도가 높고 다양한 이해관계자의 요구가 있다.”로 나타나는 등 다양한 유형의 VOC(Voice of Customer)가 발생한 바, 배터리 생산시스템 개발자 과제에 특화된 방법론 개선 또는 개발의 필요성이 지속적으로 요구되고 있다.

최근 배터리와 같은 첨단 제조업에서는 생산시스템의 최적화 개발, 기능 개선 및 성능 향상, 체계적인 유지·보수 활동이 무엇보다 중요한 차별화 경쟁력으로 떠오름에 따라, Pyun (2022)이 공공서비스별 특성을 반영하여 광범위한 공공영역의 서비스에 대한 맞춤형 품질개선 기법과 개선사례를 개발하는 것이 필요하다고 주장하고 있듯이, 배터리 생산시스템 개발자가 다양한 과제에 대응하는 바람직한 과제관리 방법론 연구 역시 맞춤형 개발이 필요하다고 판단할 수 있다.

1.2 연구의 목적

본 연구의 목적은 다양한 문제해결방법론 중에서 모기업 생산시스템 개발전문가 Survey 결과 16명/18명 (88.9%)이 가장 친숙하게 느낀다고 나타난 DMAIC 방법론의 배터리 생산시스템 개발자 과제에 대한 적합성이 6.5점/10점으로“다소 낮음”수준으로 파악되어, DMAIC 방법론을 배터리 생산시스템 개발자 과제의 유형과 요구사항에 보다 적합하게 최적화함으로써, 효과적이고 용이하게 배터리 생산시스템 개발자 과제를 해결할 수 있도록 하는 것이다.

DMAIC는 프로세스 산포를 개선하여 품질 향상을 추구하는 목적으로 개발된 방법론이며, 제조, 구매, 물류, 품질 등 다양한 영역에 대한 프로세스 혁신과제에 활용되었고, 제조부문에서 가시적인 성과도 있었으나, Chung et al. (2006)은 프로세스가 없는 제품 및 서비스 개발 과제의 경우, 부득이 “제품 및 서비스 개발과제”에 최적화한 DFSS (Design For Six Sigma) 활용이 필요하다고 주장하고 있는 것처럼 개발과제 유형에는 다소 부적합하다는 것을 알 수 있다.

DFSS (DMADOV) 방법론을 활용하여 제품 및 상품 개발과제에 대한 DMAIC의 부적합 부분을 어느 정도 보완할 수 있었으나, Soderborg (2004)는 DFSS 방법조차 개발, 재개발, 개선에 따라 하나의 방법론으로 다루는 것은 어렵다고 주장하였고, Watson and DeYoung (2010)는 비즈니스 모델과 운영 모델에 따라 DFSS 방법론 역시 다르게 적용해야 한다고 주장하였다.

1.3 연구의 방법

기존 연구의 문헌조사를 통하여 배터리 생산시스템 개발자 과제의 주요 요구사항을 수집하고, 주요 요구사항에 대응하는 CTQ(핵심요구특성)와 기본요소를 도출하여, DMAIC 방법론의 적합성을 평가하고 부족한 점을 보완하여 배터리 생산시스템 개발자 과제에 맞춘 DMAIC 최적화 모델링 개발 하였다. 최적화 방법론을 실무 사례에 적용해 봄으로써 적용 가능성을 확인하고, 마지막으로 전문가 Survey를 통해 적합성에 대한 통

계적 유의성을 검정하였다.

2. 문헌 조사

생산시스템 개발자의 주요 과제를 라이프 사이클 관점에서 살펴보면, 크게 개발단계에서 생산시스템 개발 또는 재개발, 개발 이후 양산단계에서 생산시스템의 기능 추가 또는 개선 및 성능 향상과 같은 개선과제, 지속적인 성능 유지를 위한 예방 & 보전과제로 볼 수 있다.

1차로 생산시스템 개발자에 대한 주요 요구사항과 DMAIC 방법론에 관한 문헌조사를 실시한 결과, Jeong et al. (2010)은 제품 라이프 사이클에서 요구되는 사항을 개발에서 폐기까지 정리하였다.

또한, Kwon (2016)은 품질 4요소(정보, 시스템, 서비스, 흥미)를 정리하였고, Park (2002)은 DR(제품 기획)의 주요 검토 내용을 정리하였다.

문헌조사를 통해 생산시스템 개발자 과제관리 방법론의 핵심특성(CTQ, Critical to Quality)은 Table 1와 같이 “생산시스템의 전체 최적화”, “다양한 고객 요구의 수용 적합성”을 보다 용이하고 효과적으로 수행하는 것으로 파악하였다. 국내 모기업 생산시스템 개발 전문가 18명 대상의 설문조사를 통해, 8.35점/10점으로 “다소 높음”으로 판정함에 따라 도출된 핵심특성의 중요성을 확인하였다.

Kwon (2018)은 6시그마의 프로세스를 개선대상으로, 체계적인 절차와 과학적인 분석을 성공요소로 제안하였고, 2010년 이후 디지털 기술에 따른 도입, 변화에 따라 DMAIC 절차는 그대로 활용하되 단계별 활동과 도구는 달라져야 한다고 주장하였다.

Choi (2006)는 6시그마 방법론 1~3세대 변천과정의 특징을 설명하고 있다. 다양한 도구의 장점 활용, 경영 품질(QOB: Quality of Business) 추구에 따른 방법론의 발전 방향을 설명하고 있다.

Shim(2020)은 6시그마의 이론적 특성으로 고객 만족의 관점에서 프로세스의 문제를 발견하고 통계적 사고의 문제를 해결하는 과정을 측정, 분석, 개선, 관리하는 4단계 방법이라고 하였다.

문헌조사를 통해 DMAIC 방법론의 특징을 정리하면, 첫째“프로세스 개선 방법론”이고, 둘째 “체계적 절차”이고, 셋째 과학적인 분석(통계적인 접근)이 요구되고, 넷째 DMAIC 절차는 그대로이나 계속해서 기술과 시장의 요구에 따라 각 단계의 적합한 활동과 도구의 변화가 요구된다는 점을 파악할 수 있었다.

Table 1 CTQ of previous studies

Author	Requirements	CTQ
Jeong et al. (2010)	Layout	Overall System Optimization
	Easy	
	testability	Fitness for customer needs
	Availability	
	Reliability	
	stability	
	the human element	
	Security	
	Eco-friendly	
	Transferability	Ease of use
	Interoperability	
	Maintenance	
	Effective Design	Effectiveness
	Productivity	
	assemblability	
Park (2002)	Quality	Overall System Optimization
	Compatibility	
	Cost	
	Price	
	maintenance	
	Standardization	
	publicization	
	Productivity	
	Function	Fitness for customer needs
	Performance	
	Appearance	
	Form	
	Strength	
	Reliability	
	Patent	

	Regulations	
	standard	
	assemblability	Ease of use
	ease of manufacture	
	Easy procure.	
	Work load	Effectiveness
	Schedule	
	Other Resoure Problem	
Kwon (2016)	System	O. System Optimization
	Service	Fitness for CS
	Information	Ease of use
	Interest	Effectiveness

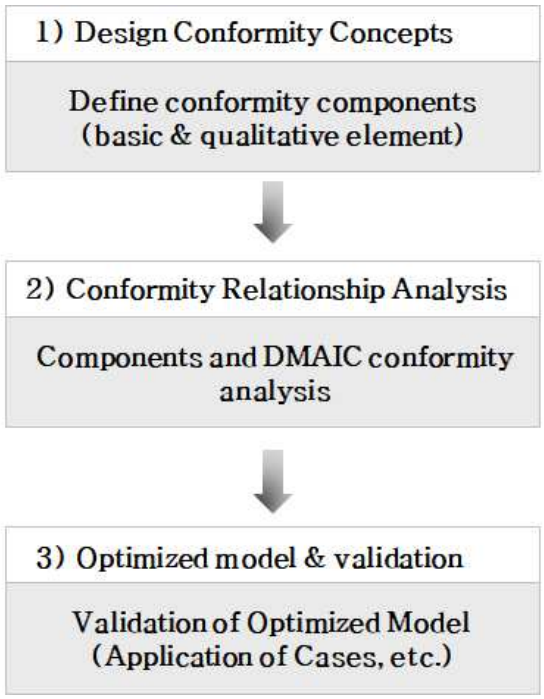

Fig. 1 Optimization Research Model

3. 연구모형

Hong et al. (2014)의"Developing the assessment model for Thechnology selection: Based on the BSC and ANP"연구에서 활용한 3단계 접근방식을 Fig. 1와 같이 본 연구에 적용하여, DMAIC 최적화 모델을 도출하고 실무 과제에 적용해 봄으로써 DMAIC의 부적합 부분을 확인하고 배터리 생산시스템 개발과제에 맞춘 DMAIC 방법론 최적화 모델을 제안하고자 한다.

1단계로 문헌조사와 국내 모기업 생산시스템(설비, 공정)개발자 L1~L4레벨 (Beginner, Intermediate, Advanced, Expert) 중 생산시스템 기능설계 및 작동 메카니즘 설계 및 분석이 가능한 L4 (Expert) 수준의 최고 엔지니어로서 평균 경력이 16.9년이고 과·차장급인 개발자를 대상으로 Survey를 실시하여 생산시스템 개발자 과제의 주요 요구특성을 도출하고, 2단계로 기본적인 개발자 과제 요구사항과 DMAIC의 적합성을 평가하고, 3단계로 전체적인 개선과 단계별 개선안을 도출하여, DMAIC 방법론을 배터리 생산시스템 개발자 과제에 적용함으로써 적합성을 향상하고자 한다.

4. DMAIC 방법론 최적화 모델링

4.1 주요 요구특성 도출

4.1.1 생산시스템 개발과제의 기본 요구특성

디지털 변혁이 시작되면서, 대부분의 제조업의 생산시스템은 단독 설비 수준을 넘어서 여러 개의 설비가 서로 연동되어 각각의 기능과 역할을 수행하는 복합체로 변모하였다. 따라서 시스템 한 부분의 변경은 다양한 이해관계자의 영향분석을 요구하게 되었다. 심지어 한 부분의 변경이 다른 설비에도 영향을 크게 미칠 것이 우려되어 변경이 불가한 경우도 발생한다.

Karsten Schweichhart (2018)는 제조현장은 1) 유연한 시스템 및 기계, 2) 기능이 네트워크 전체에 분산, 3) 참가자 상호작용, 4) 계층 수준, 5) 모든 참가자 간의 의사소통, 6) 제품이 네트워크의 일부가 되는 등 여섯 개의 특성을 가져야 한다고 주장하고 있다.

따라서 개발단계에서도 생산시스템을 개발할

경우에는 반드시 기획하고 있는 새로운 제품에 맞춰 요구되는 생산시스템의 구조와 기능 설계를 수행하고, 고객 제품 개발 마스터 계획에 맞춰 생산시스템 개발 일정계획을 수립하고, 일정에 맞춰 개발 활동을 할 것이 요구된다.

유럽 자동차 OEM은 2015년 VDA Working Group에서 개발한 소프트웨어 프로세스의 적합성 평가 기준인 A-SPICE를 산업표준으로 활용하고 있다. 결국 Software 개발 방식도 엄격히 “V Model” 방식을 따라야 하는 것이다.

결론적으로, 배터리 생산시스템 개발자 과제의 경우 여러 개의 설비와 부품으로 구성된 복합체로 한 부분의 변경이 쉽지 않고, 생산시스템 개발 역시 상당한 규모의 투자가 들어가고 신제품 개발 일정계획에 맞춰 생산시스템 개발 일정관리가 요구되는 바, 다양한 이해관계자의 요구사항을 빠트림 없이 조사하여 개발 완성도를 높여야 한다는 점을 알 수 있다.

Park (2002)은 DR(제품기획)의 주요검토 내용에서, 다양한 이해관계자의 요구사항의 중요성과 요구사항에 대한 전체 시스템 엔지니어링 관점에서의 구조적, 기능적, 비 기능적 대안 도출의 필요성을 정리하였다.

4.1.2 배터리와 같은 첨단산업의 요구 특성

생산시스템 개발자 과제의 기본적인 요구사항 외 배터리와 같은 첨단산업의 생산시스템은 기술적인 측면에서 디지털 테크놀로지의 집합체로, IoT를 기초로 Smart Factory를 지향하는 결과, 물리적인 연결 외 데이터, 정보 연결에 따른 복잡성 (Complexity)이 한층 높아졌다. 이에 따라 플랫폼화, 표준화, 모듈화에 대한 요구가 높아졌고, 사회적인 측면에서 자동차 배터리의 경우 사용자의 안전과 자연 환경 이슈와 직결된 관계로, 생산시스템의 안전 및 환경 관련 규제에 대한 준수 및 각종 안전성 관련 산업 표준 준수를 요구한다. 경제적인 측면에서 한 번의 품질사고는 돌이킬 수 없는 기업의 생존과 직결되는 치명적인 결과를 야기한다.

따라서 자동차 산업의 경우와 같이 배터리 제조업도 엄격한 품질관리가 요구되는 산업으로, IATF16949와 같은 엄격한 품질경영시스템의 준수를 요구한다.

IATF16949는 APQP PPAP, SPC, MSA 등 데이터 기반 과학적 공정 및 품질관리를 요구하고, 당연히 FMEA를 활용한 “지속적인 위험관리”활동을 요구한다. 아울러 필드 이슈 발생 시, Risk 최소화를 위하여 제품 생산 관련 주요 정보에 대한 추적성 확보, 변경점 관리, 형상관리 등 Table 2에서와 같이 다양하고 엄격한 품질경영시스템 구축 및 운영을 요구한다.

배터리 생산시스템 개발자 과제관리 방법론의 핵심요구특성에 대한 문헌조사와 방법론 최적화를 위한 목적으로, ‘23년 9월~11월 국내 모 기업 생산 설비/공정 전문가 35명 중 18명의 의견을 수렴하여 네 가지 핵심요구특성(질적 요소)에 대한 중요성과 함께 하위특성의 중요성을 Likert 10점 척도로 평가한 결과, Table 3와 같은 주요 특성의 중요성을 확인할 수 있었다.

Table 2 Automotive Battery QMS

Phase	QMS	Requirement	Reference
R&D	IATF16949 VDA6.3	APQP/PPAP FMEA/SPC/ MSA	Automotive QMS
	A-SPICE CMMI	V Model R&D	R&D Process
	ISO26262	System Safety	Testing
Produ ction	IATF16949 VDA6.3 VDA6.5	PPAP	Production Approval
		MSA/SPC	CSR
		FMEA	Risk Mgt.
Others	VDA PSB UL, etc.	Reliability and Safety Assessment	Regulations

Table 3에서 확인할 수 있는 바와 같이, 핵심특성에 대한 중요성은 전체시스템 최적화(8.50)와 고객요구 적합성(8.75)이 상대적으로 높게 나타났다.

Table 3 CTQ Importance Assessment

Classification	Simple	Detail	Mean
Overall System Optimization	8.78	8.21	8.50
Fitness for customer needs	9.17	8.33	8.75
Ease of use	7.94	7.91	7.93
Effectiveness	8.67	7.79	8.23
Total	**8.64**	**8.06**	**8.35**

4개의 핵심특성에 대하여 Table 4와 같이 21개의 하위특성을 도출하여 주요특성을 상세 평가한 결과, 역시 비슷한 결과로 “중요하다”고 응답한 결과를 볼 수 있다. 용이성이 상대적으로 낮게 나온 결과는 추가적인 분석이 필요하겠지만, 생산시스템 개발자 과제는 어떤 방법으로도 쉽게 할 수 있는 것이 아니라는 인식에 따른 결과라고 판단된다.

핵심특성별 하위특성의 상세 중요도 평가 결과를 보면, 전체시스템 최적화 특성에서는“완성도(8.72)”, “안전성(8.89)”항목이 가장 높게 나타났다.

고객요구 적합성 특성에서는 “고객요구의 적합성(9.22)”과“고객의 개발 일정 준수와 표준산출물(8.94)”항목이 가장 높게 나타났다. 용이성 특성에 대해서는 표준화, 단순화 항목으로 세분화하여 질문한 결과 역시 용이성 단순평가 (7.94) 대비 상세평가(7.91)의 결과 차이가 작게 나타났다.

마지막으로 과제관리 방법론의 효과성 특성에 대하여 개발목적에 맞추는 적합성(9.00) 항목이 가장 높게 나타났고, 지속적인 개선지원 등 나머지 하위특성은 상대적으로 낮은 7점에서 8점 사이로 평가되었다. 적합/부적합 기준을 7.0점으로 볼 때, 전체 항목 모두 핵심하위특성으로 적합하다고 볼 수 있겠다.

4.2 DMAIC 방법론 적합성 분석

생산시스템 개발자 과제관리 방법론의 주요 특성에 대하여 DMAIC 적합성 분석을 통해 부적합한 부분을 파악하고, 배터리와 같은 첨단산업 생산시스템 개발자 과제에 적합하도록 보다 바람직하게 보완하여 올바른 가이드를 제공하고자 하는 목적으로 적합성 평가를 실시하였다.

Table 4 Sub-CTQ Importance Assessment

CTQ	Sub_CTQs	Mean
Overall System Optimization	Standardzation	8.37
	Complexity Response	7.89
	degree of completion	**8.72**
	Safety Degree	**8.89**
	Compatibility	7.89
	Scalability	7.53
	Mean	8.21
Fitness for customer needs	QMS	8.56
	Customer needs	**9.22**
	R&d Process	8.72
	Schedule/Outputs	**8.94**
	Use standard products	7.33
	Regulatory response	8.06
	New Technology	7.50
	Mean	8.33
Ease of use	Standard	7.87
	Simple	7.94
	Mean	7.91
Effectiveness	**Focused Purpose**	**9.00**
	Responding to Change	7.39
	continuity	7.61
	degree of completion	7.44
	Compatibility	7.64
	Scalability	7.67
	Mean	7.79

4.2.1 질적 요소의 적합성

주요특성과 하위특성에 대한 DMAIC의 적합성에 대한 평가를 실시한 결과, Table 5와 같이 Likert 10점 만점을 기준으로 하여 5.8점에서 6.5점 수준으로 적합성이 “다소 낮음”수준인 것으로 나타났다.

Table 5 CTQ Fit Assessment

Classification	Simple	Detail	Mean
Overall System Optimization	6.88	6.49	6.68
Fitness for customer needs	6.69	5.74	6.22
Ease of use	5.94	5.66	5.80
Effectiveness	6.56	6.43	6.00
Total	**6.52**	**5.83**	**6.17**

각 핵심특성에 대하여 하위특성 단위의 세분화 적합성 평가를 실시한 결과, 역시 Table 6와 같이 단순평가 결과와 동일하게 '다소 낮음'수준인 것으로 볼 수 있었다.

구체적으로 살펴보면, "전체시스템 최적화"특성에서는 "안전성"과 "호환성"항목만 다소 높은 7.33점, 7.00점 수준으로 나타났다. 이런 결과는 DMAIC 방법론 역시 Measure, Improve, Control 단계에서 FMEA와 같은 프로세스 신뢰성 확보 도구를 활용하여 지속적으로 위험관리 계획을 세우고 검토할 것을 요구한 결과로 판단된다.

Table 6 Sub-CTQ Fit Assessment

CTQ	Sub_CTQs	Mean
Overall System Optimization	Standardzation	6.06
	Complexity Response	5.87
	degree of completion	6.67
	Safety Degree	**7.33**
	Compatibility	**7.00**
	Scalability	6.02
	Mean	6.49
Fitness for customer needs	QMS	5.80
	Customer needs	5.93
	R&d Process	5.80
	Schedule/Outputs	5.67
	Use standard products	5.53
	Regulatory response	5.80
	New Technology	5.67
	Mean	5.47
Ease of use	Standard	5.62
	Simple	5.70
	Mean	5.66
Effectiveness	Focused Purpose	5.73
	Responding to Change	5.67
	continuity	5.47
	degree of completion	5.44
	Compatibility	5.33
	Scalability	4.93
	Mean	5.44

DMAIC 방법론은 고객요구 적합성 특성에서 대부분 5점에서 6점 사이로 나타나, 고객의 요구와 품질경영시스템의 요구에 대한 수용력이 다소 낮다는 점을 확인할 수 있었다. 용이성 역시 요구사항의 표준화 요구와 산출물에 대한 단순 대응이 5.66점 수준으로 다소 낮다는 점을 알 수 있었다.

효과성 역시, DMAIC 방법론은 개발 목적에 맞춘 과제관리가 5.44점으로 나타나 부적합하다는 점을 알 수 있었다.

4.2.2 기본 요소의 적합성

배터리 생산시스템 개발자 과제관리를 위한 방법론의 기본요소로 다양한 문헌조사를 실시하였는데, 특히 가장 완성도가 높은 INCOSE (2015)의 Technical Process와 IPO Diagram, 삼성그룹 혁신전문가 양성 교재 (2002)인 DMAIC 로드맵 프레임워크와 15 Step 세분화 로드맵을 참고하여, Fig. 2와 같이 다섯 가지 기본적인 요소(로드맵, 개발 목적 정의, 산업별 가이드, 전제조건의 정의, 로드맵 프레임워크)를 도출하게 되었다.

설비 전문가 18명을 대상으로 실시한 설문조사 결과, 7.6점/10점으로"적합"하다고 평가하였다. 5개 기본요소를 살펴보면 DMAIC 적용에 대한 개선 방향성을 확인할 수 있었다.

첫째, 개발목적에서 DMAIC는 프로세스의 산포를 개선하여 불량을 줄이는 것이 목적인 반면, 배터리 생산시스템 개발자 과제에는 다양하고 엄

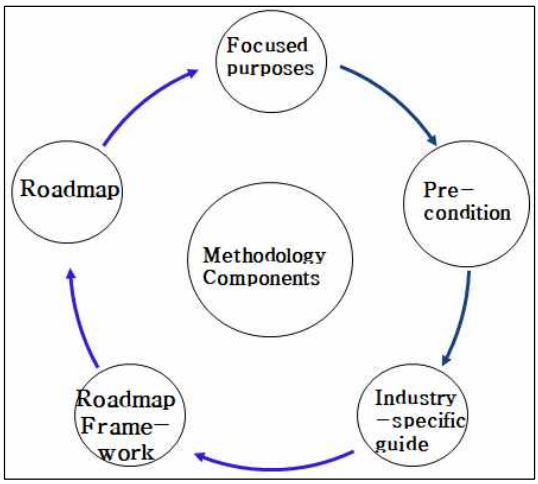

Fig. 2 Basic elements of task management methodology

격한 고객의 요구를 수용하면서 전체시스템 최적화를 추구하는 방법론이 필요하다는 것이다.

둘째, 모든 방법론은 제대로 활용되기 위한 전제조건이 있다. DMAIC는 프로세스와 근본 원인 확인을 위한 데이터 수집을 요구한다. 반면 배터리 생산시스템 개발과제의 경우 개발과제 뿐만 아니라 기능 개선 및 성능 향상 과제 역시 Data 수집이 용이하지 않다.

셋째, 산업별 특화특성을 반영한 차별화 운영 가이드가 요청된다는 점이다. 이에 비해 DMAIC은 일반적인 방법론으로, 산업별 차이점을 고려한 가이드가 아직 없다.

넷째, 로드맵 역시 제품 또는 서비스 개발과제의 경우 DMAIC의 한계를 인정하고 DFSS 을 제시함으로써 두 가지 방법론을 활용하게 하였으나, 생산시스템 개발, 개선 및 유지보수 등 개발자 과제 유형에 따라 방법론이 이원화되는 단점이 있다. 배터리 생산시스템 개발자는 어떤 역할과 기능을 하든 전체시스템 최적화를 해야 하는 공통적인 목적을 가지고 있는 기술 전문가 집단으로, 가능하면 동일한 방법론으로 개발, 개선, 유지관리를 수행할 필요가 있다는 것이다.

다섯째, 배터리와 같은 첨단산업의 질적 특성과 생산시스템 개발 과제의 기본적인 구성요소를 소화하기 위한 로드맵의 각 단계를 구성하는 로드맵의 프레임워크 완성도를 살펴보면, 당초 5단계 Phase 수준의 로드맵을 삼성그룹에서는 15 Step으로 세분화하였지만, 각 단계의 활동을 정의, 입력, 활동, 출력(산출물), 도구만 제시하여, INCOSE (2015)가 제안하는 IPO Diagram 모델과 비교할 경우 사전확인 필요사항(전제조건), 필수요건(Enabler) 확인 등이 미흡하다는 것을 알 수 있다.

4.3 DMAIC 방법론 최적화 모델링

상기 질적 요소의 요구사항과 시스템 개발자 과제 방법론의 정합성을 높이기 위하여, 질적 요소를 기본요소에 반영하는 방법으로 Lee (2014)는 기업의 현장 개선 수준을 분석, 약점을 발굴하고 보완하는 방법으로 System과 Operation 적합성을 고려하는 2·2 Matrix 진단시트를 제안하였다. 본 연구에서는 Fig. 3와 같이 산업 특성과 시스템 특성 분류 유형에 따라 질적 요소와 기본요소의 2·2 Matrix를 활용하여 배터리 생산시스템 개발자 과제에 대한 적합성을 높이도록 질적 요소의 특성에 따라 적합한 기본 요소를 네 가지 유형으로 반영하도록 하였다.

1사분면과 같이, 특화된 비즈니스 특성과 특화된 생산시스템 특화요구에 대해서는, 예를 들어 질적 요소(산업별 표준화, 고객의 요구사항, 단순화 등)를 기본요소 중 로드맵 프레임워크 내에 담도록 하였다.

2사분면과 같이, 공통된 생산시스템 특성에 대하여 특화된 비지니스 특성에 대해서는 DMAIC 적용 시 산업별 운영 가이드를 제시하도록 하였다.

3사분면과 같이, 공통된 비즈니스 특성과 공통된 생산시스템의 특성에 대한 질적 요소는 로드맵, 개발목적, 전제조건, 로드맵, 로드맵 프레임워크에 반영하도록 하였다.

4사분면과 같이, 공통된 비즈니스 특성에 대하여 특화된 생산시스템 특성에 대해서는 DMAIC 방법론의 기본요소를 차별화하여 반영하도록 하였다. 예를 들어 플랫폼 개발, Sensor, AI, Robotics와 같은 DT 기술 적용을 요구하는 경우, 로드맵과 로드맵 프레임워크에 반영하도록 하였다.

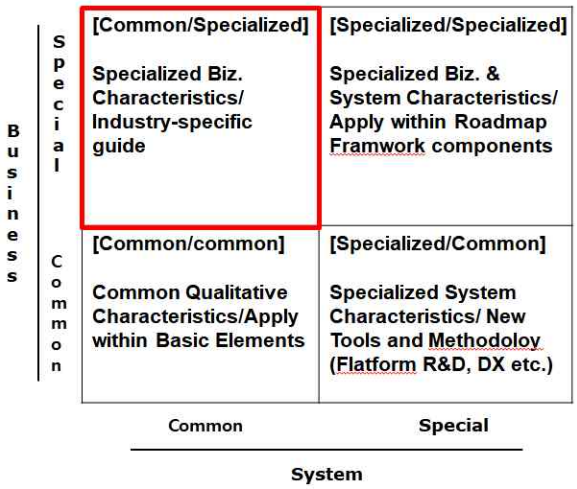

Fig. 3 Characteristic classification and component relationship

공통된 시스템 특성의 특화된 비즈니스 특성에 대한 산업별 운영 가이드 제시는 Fig. 4와 같이 생산시스템의 복잡성과 이해관계자의 요구사항의 복잡성(엄격성)을 고려하여 차별화 운영을 가이드 하였다.

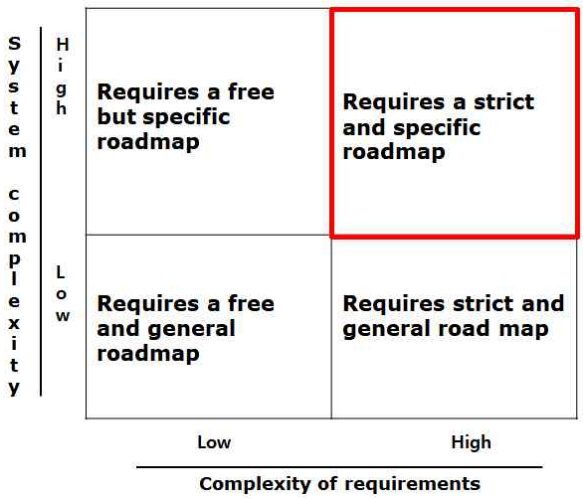

Fig. 4 Operational Model Matrix

예를 들어, 3사분면과 같이 고객의 요구사항이 엄격하지 않고, 생산시스템의 복잡성이 낮을 경우에는 DMAIC 방법론을 보다 유연하게 적용하고, 반대로 배터리 산업과 같이 요구사항의 복잡성이 높고 생산 시스템의 복잡성이 높은 경우에는 1사분면과 같이 보다 구체적인 수준의 DMAIC 최적화 모델을 활용하고, 적용 역시 엄격하게 하도록 가이드 할 필요가 있고, 결국 특성 분류와 요구사항의 복잡성에 따라 차별화가 요구된다는 것을 알 수 있었다.

'19년~22년까지 4년간 국내 모기업 설비 및 공정 전문가의 35건의 실제 수행한 방법론을 분석하고 다양한 방법론의 과제 해결 접근법을 검토한 결과, 시스템 구조적 접근법인 INCOSE (2015)의 Technical Process와 IPO Diagram 방식의 로드맵 프레임워크가 합리적이라고 판단하였고, 자동차 산업의 핵심 Tool인 AIAG-VDA FMEA ver 1.00 의 7단계 접근법을 활용하여 Fig. 5와 같이"시스템 구조적 7단계 방법론"을 모델링하였다. 시스템 구조적 7단계 방법론은 생산시스템의 개발, 재개발, 기능개선 및 성능 향상, 업그레이드와 같은 다양한 배터리 생산시스템 라이프 사이클 단계에서 발생하는 개발자 과제에 동일한 방법론을 적용하여 개발자 과제를 효과적으로 해결할 수 있도록 해 준다.

Fig. 5 System Structural 7 Step

전문가 설문조사 결과, DMAIC 방법론의 배터리 생산시스템 개발자 과제에 대한 단순 적합성은 6.5점/10점으로 "다소 낮음"수준이었으나, 시스템 구조적 7단계에 맞춰 DMAIC 방법론을 배터리 생산시스템 개발자 과제에 최적화할 경우, 적합성이 7.9점으로 "다소 높음" 수준으로 나타

난 것을 볼 수 있었다. Table 7와 같이 Paired T test 결과 P값이 0.0000으로 통계적 유의성을 확인할 수 있었다.

Paired T Test
귀무가설 Ho: μ-차이 =0
대립가설 H1: μ-차이 > 0
T값 4.33, P 값 0.0000

Table 7 Paired T Test Results

Statistics				
Sample	n	Mean	Std.	Std. Error
7 Step	16	8.063	1.192	0.298
DMAIC	16	6.516	1.659	0.415
Paired T Test				
Mean	Std.	Std. Error	95% Low Confidential	
1.547	1.424	0.356	0.923	

DMAIC 로드맵을 시스템 구조적 7단계와 비교하여 설명하면, Define 단계는 Phase 1 비즈니스분석 단계로, Measure, Analyze 단계는 Phase 2~4 구조분석, 기능분석, 실패분석 단계로, Improve 단계는 Phase 5 위험분석 단계로, Control 단계는 Phase 6~7 유효성검정, 표준화 단계로 맵핑하여 비교, 운영하면 된다.

기존의 전통적인 DMAIC 방법론과의 가장 큰 차이는 Measure와 Analyze 단계에서 프로세스 분석을 통한 현 수준과 원인 분석 등의 데이터 기반의 문제해결 접근법을 생산시스템의 구조 및 기능적 접근법으로 대체한다는 점이다. 이러한 "시스템 구조적 7단계 로드맵"은 생산시스템 개발, 재설계, 기능 개선 및 성능 향상, 유지보수 과제 등 생산시스템 라이프 사이클에서 일어나는 모든 생산시스템 개발자 과제에 대하여 하나의 표준화된 방법론의 제시가 가능하다는 것이다.

시스템 구조적 7단계 로드맵 적용에 있어서, 시스템의 복잡성과 이해관계자의 요구 복잡성(엄격성)을 반영하여 산업별 특성에 맞게 유기적으로 운영이 가능할 것이다. 설비, 공정전문가 설문조사를 실시한 결과 "운영모델 Matrix"의 적합성은 8.2/10점 수준으로 "적합"하다고 볼 수 있었다.

"시스템 구조적 7단계 방법론"이 DMAIC 방법의 부적합한 부분을 어떻게 보완, 강화할 수 있는지 Table 8와 같이 정리할 수 있었다.

Table 8 Methodology Comparison and Complementality

Phase		DMAIC	7 Step	Expected Results
Genearal Charateristsics		Process Oriented Method	System Oriented Method	Overall System Optimazation ↑
		Data & Process Approach	System Approach	
D	Focus	User/ Process Problem	System Eng. Problem	Fitness for Customer Needs ↑ ①CTQ (Table1) Fitness ↑ ②QMS Req. (Table2) Fitness ↑
	ex)	Defect ↓	System Lay-Out	
		Lead Time↓	Function Comb.	
		Process Efficency ↑	Sys. Failure ↓	
			Sys.Performace ↑	
			DX Tech. Comb.	
			Platform Design	
M	Focus	Process Metrics	System Score Merrics	Overall System Optimazation ↑
	ex)	Defect Rate	Failure Rate	
		Lead time	Space Efficency	
		Non Value Added	MTBF	
			Performance	
			New Function	
			Balance Score	

A	Focus	Data Based Causes Analysis	System Based Causes & Design	Overall System Optimazation ↑ Ease of Use ↑
	Activity	Mostly mpossible	System Analysis	
			Function Analysis	
			Failure Analysis	
	Tools	Hypothesis Test	Sys. Design Tools	
		Regression	Scorecard	
I	Focus	General Guide	Specific Guide (Req. Response)	Effective ↑
	Tools	Idea Generation	Risk Mgt. (Sys. Failure Reduction)	
		DOE	Verification & Validation	
C	Focus	General Guide	Specific Guide	Effective ↑
	Tools	Error Proofing	Preventive Design	
		Standardization	Operation Framework	

우선 방법론의 기본적인 개선 대상이, DMAIC 방법론은 프로세스 개선을 대상으로 하고 Data를 기반으로 통계적인 잠재인자를 도출하는 방법이지만, “시스템 구조적 7단계” 방법은 배터리 생산시스템 개발자 과제에 특화된 개발 방법론이다. 처음부터 시스템 관점에서 관련되는 생산시스템의 상호작용과 다양한 이해관계자의 생산시스템에 요구되는 다양한 요구사항을 빠짐없이 수집하여 대응하도록 하여 “전체 생산시스템 최적화”를 목적으로 한다. 따라서 Define 단계에서 목적으로 하는 생산시스템의 과제에 대하여 요구되는 이해관계자의 요구를 충분히 반영하도록 함으로써 생산시스템의 CTQ(Table 1)과 이해관계자의 단계별 요구사항(Table 2)에 대한 적합성을 높일 수 있다.

DMAIC 방법론의 Measure 단계의 기본적인 현 수준 지표는 프로세스 중심의 지표인 데에 반하여 “시스템 구조적 7단계”는 생산시스템 개발자 과제에 특화된 지표를 제안함으로써 “전체시스템 최적화”에 대한 목적을 일관성 있게 관리하도록 해준다.

DMAIC 방법은 Analyze 단계에서 통계적 검정을 통한 유효성 있는 주요 인자를 도출하는 활동을 요구하지만, 대부분의 생산시스템 개발자 과제가 Data가 없는 경우가 많은 관계로, 통계적인 검정을 할 수 없는 경우가 많다. 그러한 한계로 DFSS 방법론을 제안하고 있지만, DFSS 방법론의 Analyze 단계 역시 일반적인 Concept Design 필요성만 제안하고 구체적인 도구와 방법이 미흡하다. 이에 비해 “시스템 구조적 7단계”는 Analyze 단계에서 목적으로 하는 시스템의 구조와 기능, 그동안 선행 연구를 통해 축적된 학습으로 알고 있는 고장 유형에 대하여 분석함으로써 전체 시스템의 상호작용과 기능, 고장의 유형과 원인, 연관된 시스템과 이해관계자의 영향까지 미리 파악할 수 있다는 장점이 있다. 이에 따라, 보다 용이하게 전체 시스템 관점에서 구조와 기능을 개발, 개선할 수 있다.

DMAIC 방법론의 Improve 단계는 대안창출과 실험계획법을 활용한 최적화를 일반적으로 가이드하고 있어서, 생산시스템 개발자 입장에서 목적으로 하는 생산시스템의 개발, 개선이 이해관계자의 환경과 요구 목적에 적합한지 평가, 검정하는 방법이 구체적이지 않는 반면, “시스템 구조적 7단계”의 경우 목적으로 하는 시스템의 구조와 기능 개선 또는 개발 시 발생 가능한 Risk를 사전에 분석하고, Define 단계에서 파악된 이해관계자의 요구에 따른 평가 및 인증 항목을 미리 파악하여 목적한 시스템의 유효성을 효과적으로 파악 가능하다.

DMAIC의 Control 단계는 개선에 대한 유효성 검정과 실수방지, 표준화를 하도록 일반적으로 가이드하고 있으나, “시스템 구조적 7단계”에서는 처음부터 선행 학습을 통해 알고 있는 고장 및 발생 가능한 고장을 사전에 Measure, Analyze, Improve 단계에서 예방적 설계를 한 결과 추가적인 이해관계자의 보완 및 개선 요구를 줄일 수 있고, 단순히 표준화를 제안하는 것이 아니라 목

적한 시스템의 안정화를 위한 조직, 역할, 지표 등 통합적인 관리 프레임워크를 설계하도록 하여 보다 지속적인 유지와 개선활동이 가능하도록 할 수 있다.

아울러, 배터리 생산시스템 개발자 실무과제를 통해 “시스템 구조적 7단계 방법론”을 적용하여, 종전 DMAIC 대비 생산시스템 개발과제에 대한 적합성에 대해 유효성을 확인해 보았다.

5. 사례적용

5.1 차세대 Hot Press Charge 개발

본 과제는 모 대기업의 차세대 스마트폰 개발 로드맵에 따라 배터리 제품의 개발 로드맵이 계획되고, 제품 개발부문에서 기획된 배터리 제품 개발 로드맵에 따라 계획된 시점의 각 단계별 제품의 성능을 구현하기 위하여 필요한 “배터리 Cell 생산시스템”구조와 기능에 대한 1차 Concept Design이 완료된 시점에서, 배터리 Cell의 극판, 권취, 조립, 화성공정 中 화성공정의 생산시스템 추가 개선이 요구되는 고객 요구사항을 파악하여 선제 대응하는 과제이다.

본 과제는 대표적인 플랫폼 기반 생산시스템 재설계 과제로 볼 수 있다.

1단계로, 비즈니스 분석단계에서 무선향 제품의 개발 로드맵에 따라 파우치 배터리 제품의 개발 로드맵이 계획되어 있었고, 각 개발 시점 제품의 성능과 규격(예를 들어 Size)에 대한 Concept이 비즈니스 전략에 기반하여 개발 마스터 플랜이 정리되어 있었다.

이에 따라 화성공정에서 최종적으로 요구되는 에너지 밀도(Energy Density)로드맵이 설정되고, 이러한 개발목표에 따라 ‘22년말 까지 “차세대 Heat Press Charge”가 요구된다는 것을 알 수 있었다.

결과적으로 생산시스템 개발자 과제의 경우는 비즈니스 환경에 따른 다양한 이해관계자와 이해관계자 요구사항의 이해, 고객의 제품, 배터리 제품, 배터리 생산시스템에 대한 요구사항과 기능간 연관성에 대한 분석이 반드시 요구된다는 점을 알 수 있었다.

2단계 구조분석 단계에서는, 고전압 LCO/ 고용량 Si계 배터리 제품 개발전략에 따라 화성 생산 시스템은 급속 충전 기술 확보가 필요하다는 요구사항을 정리하였고, 고에너지 밀도, 저저항 설계로 급속 충전 기술을 확보하는 생산시스템의 개발 전략을 수립하였다.

3단계 기능분석 단계에서는, 1차 시스템 기능분석을 통해 시스템 내외 제약요소로 HPC의 공정시간 증가에 따라 추가적인 설비 도입이 요구된다는 사실을 도출하였고, 필요 대수 설치 여부를 파악한 결과 현재 운영 중인 화성공정 내 필요한 설비대수가 공전시간 증가로 (52 min에서 150 min으로 증가) 설치 공간이 부족하다는 물리적 제약 요소를 발굴하였다.

아울러 차세대 배터리의 “고전압 LCO/ 고용량 Si계 적용”에 따라 Full Cycle 중 열/가압이 가능한 신규 HPC 설비를 개발하면서도 동시에 격판 평탄도는 오히려 개선된 성능(0.1 Mpa 이상 점유율을 10%에서 40% 향상)을 추구함에 따라, 생산시스템의 안전성과 신뢰성이 더욱 요구되는 제약요소를 확인할 수 있었다. 기능분석(설계) 활동에서 현재 운영 중인 두 종류의 Hot Press Charge의 구조분석 결과, M Line Plate의 경우 가압력의 작용점과 반작용점이 구조적인 영향으로 설계된 가압력의 Loss와 함께 압력의 편차가 발생한다는 것을 확인할 수 있었고, 이에 따라 기능분석 단계 최적화 활동으로 Hot Press Charge 격판 Size를 최적화하여 격판 유동의 최소화를 실시하였다.

4단계 고장분석 단계에서는, “일반 Hot Press Charge의 고장분석, 원인분석”을 기초로 “고전압 LCO/ 고용량 Si계 ”제품 생산을 위하여 Full Cycle 가운데 열/가압을 해야 하는 관계로 일어날 수 있는 고장은 “격판 평탄도 저하”가 우려되었고, 주요 원인으로 Hot Press Charge 격판 Size(안착 위치), 격판 유동으로 정리할 수 있었다.

5단계 위험 분석 단계에서는, 개발 과제의 위험분석과 같이 기술측면, 비즈니스 환경측면, 프로젝트 운영측면의 위험분석을 실시하여 어떤 위험이 있는지, 위험이 발생할 경우 어떤 프로세스

를 거쳐 의사결정을 할 것인지를 예측 관리할 수 있었다.

6단계 유효성 검정 단계에서는, 본 과제의 경우 Pilot Test 계획 수립단계로, 유효성 검정 실시 계획을 수립하였다.

7단계 표준화 단계에서는, 타사 BP 사례를 벤치마킹한 결과 다양한 글로벌 생산기지를 운영하는 생산시스템의 경우 “글로벌 통합 운영 Control Tower” 기능이 필수적인 요구사항이라는 점을 확인하고 수립계획을 제안하였다.

5.2 사례 적용 결과

DMAIC 방법론을 배터리 생산시스템 개발자 과제에 최적화하여 “시스템 구조적 7단계”방식으로 과제를 수행한 결과, 다양한 이해관계자의 요구사항과 제약조건을 이해할 수 있었고, 요구사항에 대응하는 구조 설계, 기능 설계를 종전 프로세스가 없더라도 수행할 수 있었다. 기능 개선 및 성능 향상 과제 역시 동일한 방법으로 다양한 이해관계자의 요구사항과 해결해야 하는 과제를 체계적으로 해결할 수 있다고 판단된다.

아울러 생산시스템 개발과 개선 등에서 놓칠 수 있는 다양한 위험을 Risk 시나리오 관리를 통해 생산시스템 개발자 과제의 목적 달성을 보다 용이하게 할 수 있었다.

배터리 제조의 경우 V Model 개발 방식에 따라 단위테스트, 통합 테스트, 유효성 테스트와 같이 고객이 요구하는 품질경영시스템에 맞춰 수행하도록 함으로써, 개발 단계별 산출물에 대한 요구사항의 적합성도 높일 수 있었다.

6단계 유효성 검정 단계에서 개선안에 대한 유효성 검정을 DMAIC의 장점인 Data를 기반으로 통계적으로 유효성 검정을 할 수 있었다.

6. 결 론

본 연구의 결과를 통해 다음과 같은 성과를 도출할 수 있었다.

학문적 시사점으로 첫째, 본 연구를 통하여 고품질, 고안정, 고신뢰성 등이 요구되는 배터리 생산시스템 개발자 과제에 있어 DMAIC 방법론 적용 시 부족한 부분과 원인을 체계적으로 파악 되었다.

둘째, 생산시스템 개발자 과제의 바람직한 관리 방법론의 상세 설계 수준과 운영 유연성을 판단하는 기준을 마련하였다. 생산시스템 자체의 복잡성과 이해관계자 요구의 복잡성 기준으로 방법론의 설계 수준을 결정하고, 운영의 유연성을 결정할 수 있는 판단 기준을 제시하였다.

셋째, 종전 DMAIC 방법론은 제품 또는 장비 개발과제의 경우 DFSS와 같은 별도 방법론 활용을 하도록 이원화되어 있었으나, 본 연구를 통해 제안한 시스템 구조적 7단계 접근은 하나의 방법론으로 배터리 생산시스템 개발자 과제를 효과적으로 관리할 수 있다고 판단된다.

실무적 시사점으로, 첫째, 생산시스템 개발자 과제의 경우는 “시스템 구조적 7단계”방법론을 활용할 경우 배터리 제조부문 엔지니어에게 가장 친숙한 DMAIC 방법론의 장점을 활용하면서 생산시스템 개발자의 과제 특성에 맞춤식으로 적용 가능하도록 하여, 새로운 방법론의 숙달을 용이하게 할 것이다.

둘째, 산업 현장에서 생산시스템 개발 과제에 대한 바람직한 방법론 선정의 혼선이 없이 모든 유형의 생산시스템 개발자 과제를 효과적으로 해결할 수 있게 할 것이다.

셋째, 산업별 비즈니스와 생산시스템 특성에 따라 “시스템 구조적 7단계”방법론을 맞춤화하여 운영하는 것이 가능하도록 하였다.

본 연구의 한계점은 다음과 같다. 배터리 산업에 국한하여 연구된 결과, 다른 산업의 사례 연구를 통한 일반화 가능성에 대한 추가 확인이 필요할 것으로 판단된다. 아울러, 설비, 공정 개발 전문가의 모수가 작은 결과 설문 조사한 샘플의 개수가 작아서 샘플의 대표성에 대한 신뢰성이 다소 떨어진다. 배터리 산업 내 사례 연구 역시 다양한 유형에 대한 추가적인 적용 연구가 필요할 것으로 판단된다.

향후 연구방향으로는 우선 “시스템 구조적 7단계” 방법론의 상세 설계를 통해 보다 완성도 높은 모델을 제시하고자 한다. 아울러 보다 더 다양한 배터리 개발과제 적용을 통해 종전 DMAIC

방법론 대비 유효성을 정량적으로 검정해 보고자 한다. 또한, 반도체와 같은 다른 산업 유형의 생산시스템 개발자 과제에 본 연구 모형을 적용하는 연구도 필요할 것으로 판단되고, 마지막으로 질적 요소(CTQ), 기본요소, 방법론의 적합성, 경영성과, 개발자의 만족도 등 여러 변수의 관계 분석 및 매개변수와 조절변수 유무 확인을 위하여 경로분석 (Path analysis) 또는 구조방정식 분석 (Structural equation Modeling, SEM) 등을 추가로 연구하는 것은 의미 있는 연구가 될 것으로 판단된다.

References

AIAG and VDA (2022). *AIAG & VDA FMEA Handbook*, FMEAAV-1, AIAG

Lin, Q. K., Chen, H. C., Li, R. K., Chen, C.P. and Tsai, C. H. (2009). Research on Increasing the Production Yield Rate by Six Sigma Method, *The Asian Journal on Quality*, 10(1), 1-23.

Choi, S. W. (2019). The Validity of the Korea Production System: Case Study, *Journal of Korean Production and Operations Management Society*, 30(1), 67-85.

Choi, S. W. (2006). A Classification of Six Sigma Innovation Process, Journal of *Korea Safety Management and Science*, 8(4), 239-247.

Chung, K. S., Kang, D. H. (2006). Study of the Design for Six Sigma(DFSS) Application for a Corporate R&D, *e-Business Review*, 7(1), 143-163.

Hong, J., Shin, K. (2012). Developing the assessment model for technology selection: Based on the BSC and ANP, *Journal of Korea Society of Industrial Information Systems,* 17(6), 83-93.

INCOSE (2015). *System Engineering Hand book Fourth Edition Research,* 17(6), 83-93.

Jeong, J. H., Park, Y. W. (2010). Product Quality Index for Concept Design Evaluation, *Journal of Korean Society of Manufacturing Technology*, 19(4), 521-528.

Karsten, S. (2016). *Reference Architectural Model Industrie 4.0(RAMI 4.0)*, Plattform Industrie 4.0.

Kim, H. S., Han, H. S. (2006). Applying 6 sigma techniques in CMMI based software process improvement, *Korea Information Processing Society*, 13(3), 415-424.

Ko, S. G. (2019). New Six Sigma Breakthrough using Big Data, *Journal of Creativity and Innovation*, 12(4), 115-137.

Kwon, Y. (2016). A Study on Frequency Analysis of Websites Quality Evaluation Factors, *Journal of Korea Society of Industrial Information Systems,* 21(4), 55-66.

Kwon, H. M., Hong, S. H., Lee, M. K.(2018). A Future Prospect for Change in each Step of Six Sigma DMAIC Under the 4th Industrial Revolution, *Journal of the Korean society for Quality Management,* 46(1), 1-10.

Lee, D. S. (2017). Development of Assessment Evaluation Check Sheet to Identify Problems in SME Field and to Develop Creative Improvement Plan, *Journal of Korea Society of Industrial Information Systems,* 22(6), 95-105.

Lee, J. W., Lee, H. J., Lee, S. Y. (2013). A Study on the Development of an Assessment Framework for Smart Work Readiness, *Informatization policy* 20(2), 60-72.

Lee, W. H. (2012). An Evaluation Concept of Elements in Website Design, *Journal of Korea Design Forum,* 37(17), 435-444.

Park, S. H. (2002). A Study on the Management of 6 Sigma in R&D, *The Korea Society of Management information Systems,* 12(2), 57-71.

Pyun, J. (2022). A Study on Action Plans for Maintaining and Improving Service Quality Levels in Public Fields, *Journal of Korea*

Society of Industrial Information Systems, 27(2), 101-113.

Samsung 6Sigma Academy (2002). *Samsung DMAIC Black Belt TextBook*(Rev.1.0)

Shim, W. G. (2020). A Study on the Components and Propulsion Methods of 6 Sigma, KBM Journal (K Business Management Journal), 4(2), 131-146.

Soderborg, N. R. (2004). Design for Six Sigma at Ford, *Six Sigma Forum Magazine*, 4(1), 15-22.

Watson, G. H. and DeYoung, C. F. (2010). Design for Six Sigma: caveat emptor, *International Journal of Lean Six Sigma*, 1(1), 66-84.

박 신 철 (Shin Chul Park)

- 학생회원
- 영남대학교 전자공학과 공학사
- 아주대학교 산업공학과 석사
- (현재)아주대학교 과학기술정책학과 박사과정
- 관심분야: 과제해결방법론, 혁신전략, 제조혁신

이 주 연 (Joo Yeoun Lee)

- 정회원
- (현재)아주대학교 공대 산업공학과 교수(과학기술정책학과장 겸직)
- (현재)강원특별자치도 기업호민관, 한국산업융합촉진협회 회장
- (전임)한국산업정보학회 회장, 한국시스템엔지니어링학회 회장
- (전임)POSCO ICT그린사업부문장(전무), SK 전략마케팅본부장(상무)
- 관심분야: 인공지능 응용기술, 디지털 플랫폼, 산업융합기술(초연결가상화, 스마트 그리드 등)

정 명 석 (Myoung Sug Jung)

- 정회원
- 과학기술정보통신부 평가위원, 산업통상자원부 기술평가위원
- 한국생산성본부 디지털 트랜스포메이션 자문위원
- (현재)한국시스템 엔지니어링 학회이사
- (현재)한국산업정보 학회 편집위원
- (현재) 아주대학교 과학기술정책학과 대우부교수
- 관심분야: 디지털 트랜스포메이션, 기술혁신전략, 인공지능, 시스템 엔지니어링