

스마트 공장 기술과 린 시스템 간의 관계 연구

손환식, 김응석, 백승성, 황재문, 황인극*
공주대학교 산업시스템공학과

A Study on the Relationship between Smart Factory Technology and Lean System

Hwan-Sik Son, Eung-Seok Kim, Seung-Sung Baik, Jae-Moon Hwang, In-Keuk Hwang*
Department of Industrial & System Engineering, Kongju National University

요약 본 연구는 스마트 공장 핵심 기술과 린 시스템 도구와의 영향 관계를 분석하는 것이다. 먼저 문헌 고찰을 통해 스마트 공장의 핵심 기술과 린 시스템에 대해 살펴보고, 선행 연구를 바탕으로 전문가 집단을 통해 상호 관계를 분석하여 결과를 도출하였다. 연구의 결과는 린 시스템의 수준이 3단계(고도화 단계)의 경우는 스마트 공장 기술의 대부분이 강한 영향 관계와 약한 영향 관계로 나타났다. 린 시스템의 수준이 2단계(시스템 시작 단계)의 경우는 스마트 공장 기술의 분포가 골고루 적용되었으나, 3D 프린팅의 경우는 영향 관계가 없는 것으로 확인되었다. 마지막으로 린 시스템의 수준 1단계(거버넌스 구축 단계)의 경우는 스마트 센서 기술이 모든 린 시스템의 도구와 강한 영향 관계가 있는 것으로 확인되었다. 스마트 공장 핵심 기술은 성장이 둔화된 린 시스템의 도구를 더욱 고도화할 것이며 지능화, 스마트화의 공장으로 전환할 수 있는 성장 동력이 될 것이다.

Abstract This study analyzed the relationship between Smart Factory core technologies and Lean System tools. First, through literature review, the core technologies of Smart Factory and Lean System were reviewed. Then, based on previous studies in the literature, the results were derived by an expert group analyzing the interrelationships. The result of the study mentions that most of the Smart Factory technologies showed a strong influence relationship and a weak influence relationship in level 3(Advanced stage) of the Lean System. In the case of the Lean System level 2(System-up stage), the distribution of Smart Factory technologies yielded similar results. But, as an exception, there was no influencing relationship in 3D printing. Finally, for level 1(Governance building stage) of the Lean System, the Smart Sensor technology was confirmed to have a strong influencing relationship with all Lean System tools. Hence, the Smart Factory core technologies will further advance the tools of the lean system, which at present have slow growth. In addition, it will become a growth engine that can transform an ordinary factory into an intelligent and smart factory.

Keywords : Core Technologies, Intelligent, Interrelationships, Lean System, Smart Factory

1. 서론

최근에 사물 인터넷(IoT), 빅 데이터(Big data), 사이버 물리 시스템(CPS) 등의 기술이 전통 제조업을 혁신할

수 있는 정보통신기술(ICT)로 부각되고 있으며, 3D 프린터, 차세대 로봇 등 첨단 디지털 제조장비는 제조공정을 획기적으로 혁신할 수 있는 기회로 활용되고 있다[1]. 제조업과 정보통신기술(ICT)을 융합하여 경쟁력을 창출하

*Corresponding Author : In-Keuk Hwang(Kongju National Univ.)

email: ikhwang@kongju.ac.kr

Received October 5, 2021

Accepted January 7, 2022

Revised November 9, 2021

Published January 31, 2022

는 4차 산업혁명이 가속화됨에 따라 이제 스마트공장 구축을 통한 맞춤형 유연 생산 체제로의 전환은 선택이 아닌 필수가 되었다.

린 생산 시스템은 1990년대 초부터 제조업에서 매우 효율적인 프로세스를 구축하기 위한 주요 접근방식이 되었으며[2], MRP, ERP 등의 정보시스템의 구축으로 린 생산 시스템은 고도화 단계로 성장할 수 있었다. 표준화 기반의 공장 자동화, 최적화로 3차 산업혁명의 목표를 달성하고, 데이터 기반의 자율생산 체제인 스마트 공장을 목표로 하는 4차 산업혁명으로의 전환은 관련 핵심 기술들이 선도할 것이다[3]. 스마트 공장 시대에 갑자기 정보통신기술(ICT)이 나타난 것이 아니라, 정보화 시대를 거치면서 4차 산업혁명 기술들이 융합된 것이라 할 수 있다. 즉, 제3차 산업혁명 시대에서 부족했던 기술들, 디지털 변환, 데이터 자동 및 실시간 수집, 빅 데이터 분석, 인공지능을 통한 자율운영 체제 등의 기술이 추가된 것이라 할 수 있다.

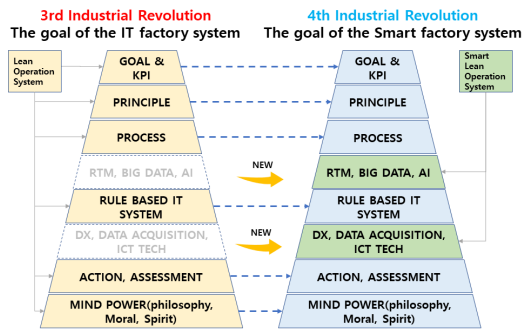


Fig. 1. Comparison of activity items between Lean System-based Factory and Smart Factory[4]

린 시스템 및 Industry 4.0의 두 패러다임은 제조 분야에서 미래 과제를 해결할 것으로 예상하였다[5]. 특히 Industry 4.0과 관련된 기술은 다양한 문제를 해결하고 다양한 수준의 새로운 기능을 개발하기 위해 다양한 방식으로 구현될 수 있다[6]. 또한 스마트 공장에서 린 시스템이 중요한 이유는 린 시스템이 업무처리의 근간이 되는 올바른 표준 프로세스이기 때문이다. 만약 린 시스템에 대한 반영이나 검토 없이 스마트 솔루션을 기업에 구축한다면 구부러진 길을 포장하는 것과 같은 결과가 나오기 때문에 상당히 중요하다[7].

본 연구에서는 스마트 공장의 핵심 기술에 대해 살펴보고, 스마트 공장이 전통적인 생산 시스템으로 알려진 린 시스템과의 상호 관계가 어떻게 형성되는지를 문헌 고찰을 통해 확인하고, 스마트 공장 기술과 린 시스템의

원칙 및 도구와의 영향 관계를 규명하고, 성공적인 스마트 공장 구축 및 운영을 위한 시사점을 제시하고자 한다.

2. 본론

2.1 린 시스템과 4차 산업혁명과의 연관성

3차 산업혁명 시대를 대표하는 린 생산 시스템의 환경은 공정 간, 기계와 기계의 상호 연결, 데이터의 증가로 인하여 제조 현장의 변동성이 높아지고 점점 더 복잡해지는 한계에 직면하였다. 반면에 이러한 복잡성을 처리하고 유연성을 증가시켜 린 생산 시스템의 한계를 극복할 수 있는 4차 산업혁명 시대의 Industry 4.0의 기술은 린 생산 시스템과 더불어 추가적인 잠재력을 실현할 수 있는 원동력이라고 할 수 있다. 전통적인 제조 시스템을 4차 산업혁명의 디지털화로의 전환, 즉 스마트 공장으로서의 전환은 린 생산 시스템을 기반으로 하여 스마트 공장이 구현되어야 한다는 것이다[5-8].

과거에는 생산의 목표를 린 시스템으로 달성할 수 있었지만 지금은 스마트 공장 기술을 도입하여야 과거보다 훨씬 더 높은 생산성을 달성할 수 있다[8]. 또한 린 생산 시스템의 방법과 도구는 스마트 공장으로 인해 크게 그 기능이 향상될 수 있다[5]. Prinz et al.(2018)은 린 시스템의 구현과 Industry 4.0 기술의 결합으로 생산성 증가에 대한 내용을 아래의 <Fig. 2>와 같이 제시하였다.

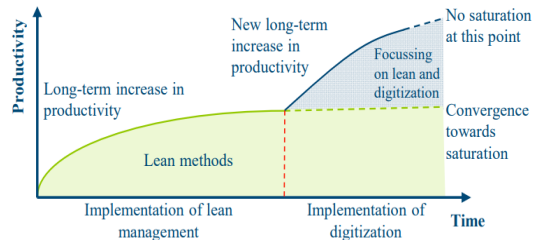


Fig. 2. Possible productivity increase with provided Lean Implementations and Industries 4.0[8]

Industry 4.0 기술의 구현은 생산 시스템의 복잡성을 줄일 수 있고, 이러한 기술이 더 높은 효율성을 활용하기 위해서는 제조 공정에서 린 생산 시스템이 구현되어 있어야 한다는 의미이다.

2.2 스마트 공장 핵심 기술

최근에 제품과 생산 시스템의 디지털화 또는 디지털 변환의 패러다임을 미국에서는 스마트 제조[9,10], 독일

에서는 Industry 4.0이라는 용어로 사용되고 있다. Industry 4.0의 주요 핵심 기능 중 하나는 스마트 공장이다[11]. 스마트 공장은 모든 종류의 제품 생산에 필요한 모든 작업을 수행하는데 필요한 데이터를 생성, 전송, 수신 및 처리하여 사람 없이 운영되는 완전히 연결된 제조 시스템의 미래 상태를 나타내며[12], 사이버 물리 시스템(CPS)이 사물 인터넷(IoT)을 통해 통신하고 사람과 기계를 연결하여 작업을 수행하는데 도움이 되는 공장이다[13]. 기존의 자동화 공장은 단순 반복적 기능이 강화된 공장이고, 스마트 공장은 스스로 판단하여 운영하는 공장으로서[14], 스마트공장추진단에서는 ‘기획, 설계, 생산, 공정, 유통, 공급망 관리 등 제조과정에 정보통신기술(ICT)을 적용하여 생산성, 품질, 고객 만족도를 향상시키는 공장’으로 정의하고 있다[15].

KOSMO(2020)에서는 3차 산업혁명의 목표인 표준화 기반의 공장 자동화에서 4차 산업혁명의 달성 목표인 데이터 기반의 자율생산 체계인 스마트 공장으로서의 전환은 사물 인터넷, 빅 데이터, 인공지능, 증강현실, 3D 모델링, 3D 프린팅, 드론/코봇, 디지털트윈 등의 핵심 기술이 바탕이 되어야 한다고 하였으며, 기존 공장에 4차 산업혁명의 핵심 기술을 적용하여 생각하는 공장, 똑똑한 공장을 만들어 글로벌 시장의 리더가 되는 것이라 하였

다[3]. 스마트 공장을 구축하기 위해선 관련된 핵심 기술을 적용해야 한다. 고도화 단계의 스마트 공장을 구축하기 위해 필요한 기술들을 스마트제조 혁신센터에서는 <Fig. 3>과 같이 아홉 가지의 기술을 소개하였다[16].



Fig. 3. Smart Factory Core Technologies[16]

Na et al.(2020)은 스마트 공장 핵심 기술을 사물 인터넷(IoT), 클라우드(Cloud), 빅 데이터(Big data), 인공지능(AI), 로봇(Robot), 가상/증강/혼합현실(VR/AR/MR), 디지털 트윈(DT), 3D 프린팅(3D Printing) 으로 정의하

Table 1. Technologies applied to Smart Factory

No	Smart Factory Technologies	References															
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯
1	IoT/IIoT	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●		●	●	●
2	CPS/CCPS/DT	●	●	●	●	●	●	●	●								●
3	Cloud Computing		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●				●
4	VR/AR/MR	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
5	Big data & Analytics	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
6	AI	●	●					●			●	●	●	●	●		
7	5G		●														
8	3D Printing	●	●	●	●	●		●			●	●		●			
9	Robot/AGV	●	●	●				●	●	●	●	●		●		●	●
10	Blockchain							●									
11	RFID										●	●		●		●	
12	Smart Sensor			●	●		●				●		●				
13	Energy saving			●	●	●											
14	Mobile/Smartphone			●							●						
15	Intelligent Control					●											
16	Cyber Security					●											●
17	Smart products/parts/materials					●											
18	IT based production management					●											
19	Technology & Process								●								●
20	Real-time data									●	●	●					
21	Real-time monitoring										●	●	●				
22	Digital Automation										●	●		●			
23	Simulation	●															●
24	System Integration																●

①-[3] ②-[16] ③-[14] ④-[17] ⑤-[18] ⑥-[19] ⑦-[7] ⑧-[20]
 ⑨-[21] ⑩-[22] ⑪-[23] ⑫-[24] ⑬-[2] ⑭-[11] ⑮-[6] ⑯-[25]

고 각 기술에 대한 개념과 정의, 유형과 장단점, 제조업 분야 적용 사례 등을 설명하였다[7].

Rosin et al.(2020)은 Industry 4.0 기술의 영향이 린 시스템의 구현에 미치는 영향을 분석하면서 Industry 4.0과 관련된 9가지 주요 기술을 자율 로봇(Autonomous robots), 시뮬레이션(Simulation), 시스템의 수평 및 수직 통합(Integration of Systems), 사물인터넷(IoT), 빅 데이터(Big data), 클라우드(Cloud), 적층 제조(Additive Manufacturing), 증강현실(AR), 사이버보안(Cyber Security)을 제시하면서, 이러한 기술들은 운영 계획, 설비 유지관리 및 재고 관리 등을 포함하여 생산의 여러 측면을 개선한다고 주장하였다[6].

스마트 공장 적용 기술은 기술 발전과 시간이 지남에 따라 언제든지 새로운 개념의 기술이 등장할 수 있다는 것을 염두에 두어야 하며, 스마트공장의 고도화 단계의 수준으로 달성하기 위해 필요한 기술들에 대해 선행연구를 근거로 정리하여 <Table 1>에 나타내었다.

2.3 린 시스템

2.3.1 린 시스템의 정의

“린 생산(Lean Production)” 또는 “린 제조(Lean Manufacturing)”라는 용어는 Womack et al.(1990)의 저서 “The Machine That Changed the World”에서 처음 사용하였다[26]. 두 번째 책인 “Lean Thinking”에서는 린 제조가 기술 그 이상이라 설명하였다[27]. Liker(2004)는 린(Lean)은 “낭비 없는 제조”를 의미하고, 낭비는 생산에 절대적으로 필요한 최소한의 장비, 재료, 부품 및 작업 시간 이외의 것이라고 정의하였다[28].

2.3.2 린 시스템의 원칙 및 도구

도요타 생산 시스템(TPS)의 가치를 기반으로 Womack & Jones(1996)는 가치(Value), 가치 흐름(Value Stream), 흐름(Flow), 풀(Pull), 완벽 추구(Perfection) 등 5가지 일반 원칙을 제시하였다[27]. 이러한 원칙에 Bauer et al.(2018)은 모든 직원의 신뢰 협력을 기본 바탕으로 간주하는 사람에 대한 존중 원칙이 보완될 수 있다고 제시하였다[29].

Wagner et al.(2017)은 Industry 4.0 기술을 사이버 물리 생산 시스템의 요소에 기반을 두어 데이터 수집 및 데이터 처리, 기계와 기계간 통신(M2M), 인간과 기계 상호작용(HMI)으로 클러스터링하고 린 생산 시스템 요소를 5S, 카이젠(Kaizen), JIT, Jidoka(자동화), Heijunka(생

산평준화), 표준화, Takt time, 풀/흐름, 사람-기계 분리, 사람 및 팀워크, 낭비 제거 등 11 가지로 선정하여 린 생산 시스템에 대한 Industry 4.0 영향 매트릭스를 개발하였다[30].

Hoellthaler et al.(2018)은 린의 관점에서 중소기업의 생산 시스템이 디지털화로의 이동 가능성을 연구하면서 린의 생산 수준을 3단계로 구분하고, 린의 도구를 낭비, 카이젠(Kaizen), 가치흐름, Pull, 실수 방지, 5S, TPM, 가치흐름도(VSM) 등 8 가지를 사용하면서 이러한 린 생산 시스템의 능력을 확장하기 위해서는 디지털 기술의 구현이 필요하고, 디지털화는 린 시스템을 기반으로 추가적인 잠재력을 실현할 수 있다고 하였다[31]. Kolla et al.(2019)의 연구에서는 제조 중소기업에 맞는 린 생산 원칙을 SMED, 지속적인 개선(Kaizen), 생산 평준화(Heijunka), 가치흐름도(VSM), 표준화, KPI, 전략적 계획/구현, 공급업체, 5S, 품질교육 등으로 구성요소를 도출하여 Industry 4.0의 필수 구성요소와 제조 중소기업의 특성과 매핑 하였다[32].

2.3.3 린 시스템 도구 공통성 분석

많은 연구자들이 린 생산 시스템이 Industry 4.0의 기반을 구축하는데 필요하다고 명시하였으며, 또한 Industry 4.0의 기술 발전이 린 생산 시스템을 완성할 수 있다고 주장하였다. 국내의 선행연구를 통해 연구자들이 제시한 43가지의 린 생산 시스템 구성요소를 도출하여 <Table 2>와 같이 나타내었다.

3.1 연구 설계 및 분석

3.1.1 연구 방법

본 연구 목적은 제3차 산업혁명 정보화 시대에서의 린 시스템 도구와 제4차 산업혁명 지능화 시대의 스마트 공장 기술과의 상호 관계를 규명하는 것이다. 따라서 연구의 목적에 맞게 설문을 시작하기 전에 개방형 질문으로 시작하지 않고 수정델파이 기법의 단점을 보완하기 위해 전문가 그룹 FGI(Focus Group Interview)를 통해 설문 사전준비과정을 진행하여 연구의 목적과 취지에 대해 충분한 이해를 구하고, 설문지를 구조화하였다. 델파이(Delphi) 기법을 활용하여 린 시스템 도구에 대한 항목의 선정과 스마트공장 기술에 대한 항목을 선정하기 위해 델파이 조사 1차, 2차 분석을 실시하고, 3차 델파이 분석에서는 린 시스템의 도구와 스마트 공장 기술 간의 관계를 리커트 5점 척도로 점수화하였으며, 전문가 집단

Table 2. Commonality Analysis of Lean Production System Tools

No	Lean System Tools	References												
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬
1	TPM	●			●		●	●	●					
2	Continuous improvement(Kaizen)	●	●	●		●	●	●	●	●	●			
3	Proposal system													●
4	Multi-functional workers	●	●											●
5	Set-up time reduction													●
6	Heijunka	●			●	●		●		●	●			
7	Pull	●	●	●		●	●		●				●	
8	Flow	●	●	●		●	●		●				●	
9	Kanban	●			●		●	●			●	●		●
10	Lot size reduction	●												●
11	Autonomation(Jidoka)					●								
12	Line-Stop(Andon)						●							●
13	5S				●	●			●	●	●	●		●
14	VSM				●	●	●	●	●	●	●	●		●
15	JIT	●				●		●			●	●	●	
16	SMED	●			●		●	●		●	●	●		
17	Visual management			●	●		●	●			●			●
18	Waste reduction		●	●		●	●		●				●	
19	Standardization			●	●	●				●	●			
20	Fool Proof						●	●	●				●	
21	Employee orientation(invovement)			●		●							●	
22	Education/Training									●				
23	Planning and strategies	●								●				
24	TQM	●										●		
25	KPI			●						●				
26	Quality Circle(QC)											●		
27	FMEA											●		
28	DMAIC											●		
29	Time and motion study											●		
30	Perfection(Quality-Based)												●	
31	Safety improvement	●												
32	Process capability measurement	●												
33	New process equipment/technology	●												
34	Cycle time reductions	●												
35	Focused factory production	●												
36	Information system		●											
37	Reengineered production process	●												
38	Competitive benchmarking	●												
39	Cellular manufacturing	●									●			
40	Suppliers									●				
41	Takt time					●								
42	OEE				●									
43	Zero defect			●										

①-[33] ②-[34] ③-[21] ④-[35] ⑤-[30] ⑥-[36] ⑦-[5] ⑧-[31] ⑨-[32] ⑩-[37] ⑪-[38] ⑫-[39] ⑬-[40]

의 구성은 스마트 공장 전문가와 전문 컨설턴트 등으로 아래와 같이 26명으로 구성하여 델파이 분석을 실시하였다.

Table 3. Delphi Survey Expert panel composition

Division	Number	Career
Professor	1	32
Smart Factory Expert	6	28
Professional Consultant	9	26.7
Corporate Expert	10	18.6
Total	26	24.1

3.1.2 스마트 공장 기술 중요도 평가

앞서 <Table 1>에서 선행연구를 통하여 도출한 24개의 스마트 공장 적용 기술들에 대한 내용을 전문가 그룹의 의견을 수렴하여 델파이 1차 분석을 실시하여 항목을 아래의 <Table 4>와 같이 14개 항목으로 도출하였으며, 이렇게 1차 델파이 조사에서 선정된 14개 항목을 전문가 패널들을 통해 2차 델파이 조사를 실시하였다.

Table 4. Delphi Survey Results of Smart Factory Technologies

Category	Mean	Median	StDev	CVR	Removed items
IoT	4.65	5	4.485	1.000	
Cloud	4.54	5	0.582	0.923	
Big data	4.50	5	0.510	1.000	
AI	4.35	4	4.485	1.000	
Robot	4.46	5	0.761	0.846	
VR/AR	4.38	4	0.637	0.846	
5G	3.58	4	0.857	0.308	✓
Digital Twin	4.27	4	0.533	0.923	
Smart Sensor	4.12	4	0.952	0.692	
RFID	3.58	4	0.809	0.231	✓
3D Print	4.12	4	0.816	0.615	
Blockchain	2.77	3	1.070	-0.462	✓
Energy saving	3.19	3	0.939	-0.154	✓
Mobile/Smartphone	3.04	3	1.038	-0.231	✓

평균이 4.0 미만이며, CVR 값이 최소 기준 값 0.37에 미치지 못하였고, 평균 및 중위수 값이 4점 미만에 해당하는 항목들은 제거하였다. 제거된 항목은 5G, 블록체인, RFID, 에너지 절감, 모바일 등 5개 항목이다. 델파이 조사 결과는 <Table 4>와 같이 요약하여 정리하였다.

3.1.3 린 시스템 도구 중요도 평가

린 시스템의 도구에 대한 중요도 평가는 전문가 패널에게 스마트 공장 기술 평가와 동시에 2차 델파이 조사를 실시하였다. 평균이 4.0 미만이며, CVR 값이 최소 기준 값 0.37에 미치지 못하였고, 평균 및 중위수 값이 4점 미만에 해당하는 항목들은 제거하였다. 제거된 항목은 전직원 참여, 다기능공화, ABC관리, 교육/훈련 등 4개 항목이다. 델파이 조사 결과는 아래 <Table 5>와 같이 요약하여 정리하였다.

Table 5. Delphi Survey Results of Lean System Tools

Category	Mean	Median	StDev	CVR	Removed items
VSM	4.19	4	0.749	0.769	
TPM	4.62	5	0.637	0.846	
Fool Proof	4.27	4	0.533	0.923	
Heijunka	4.50	5	0.648	0.846	
Employee Involvement	3.81	4	0.801	0.308	✓
Pull System	4.42	4	0.578	0.923	
Flow Production	4.15	4	0.784	0.692	
Autonomation	4.46	4	0.508	1.000	

Multifunctional workers	2.85	3	1.008	-0.462	✓
SMED	4.08	4	1.055	0.462	
ABC	2.88	3	0.993	-0.462	✓
Visual Management	4.08	4	1.017	0.385	
Continuous Improvement	4.12	4	0.711	0.769	
5S	4.50	5	0.510	1.000	
Standardization	4.19	4	0.634	0.769	
Education/Training	3.46	4	0.905	0.154	✓

3.1.4 스마트 공장 기술과 린 시스템 간의 평가

스마트 공장 기술과 린 시스템 도구와의 관계에 대한 델파이 3차 분석을 실시하였다. 앞서 델파이 2차 조사에서 선정된 스마트 공장 9개의 기술이 린 시스템의 12가지 도구와의 상호관계의 영향 정도를 5점 척도로 진행하였다. 각 항목의 기준은 평균과 중위수는 4점 이상이고, CVR 값은 0.37 이상으로 하였다.

린 시스템과 스마트 공장 기술과의 관계의 영향 정도를 3개로 구분하여 상호 영향 정도에 적합한 기준을 아래의 <Table 6>과 같이 제시하였다. '강한 영향 관계'는 평균이 4.0 이상, 중위수 4.0 이상이고, CVR 값은 0.37 이상으로 3개를 만족해야 하며, '약한 영향 관계'는 평균은 4.0 미만~3.0 이상, 중위수는 3점 이상으로 2개를 만족해야 하고, 평균이 3.0 미만일 경우에는 '영향 관계없음'으로 정의하였다.

Table 6. Interpretation Criteria for Results

Division	Mean	Median	CVR
Strong influence	over 4.00	over 4	over 0.37
Weak influence	less than 4.00~over 3.00	over 3	-
No influence	less than 3.00	-	-

델파이 3차 조사 결과 값은 <Table 7>에 나타내었으며, 내용을 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 3단계(고도화 단계)의 항목을 살펴보면, 가치흐름도(VSM)에서는 사물인터넷(IoT), 빅 데이터(Big data), 디지털트윈(DT)은 강한 영향 관계로 나타났고, 클라우드(Cloud), 인공지능(AI), 로봇(Robot)은 약한 영향 관계로 나타났으며, 가상/증강현실(VR/AR), 스마트센서(Sensor), 3D 프린팅(3D Print)은 스마트 공장 기술이 영향 관계가 없는 것으로 확인되었다.

TPM에서는 IoT, Robot, VR/AR, DT, Sensor 등 5개 기술은 강한 영향 관계로 나타났으며, Cloud, Big data, AI, 3D Print 등 4개 기술은 약한 영향 관계로 나타나, 스마트 공장 기술 9개 모두 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

Table 7. 3rd Delphi Survey Results (Relationship between Smart Factory Technologies and Lean System Tools)

Level	Lean tools	Division	Smart Factory Technologies									
			IoT	Cloud	Big data	AI	Robot	VR/AR	DT	Sensor	3D Print	
Level 3	Advanced	VSM	Mean	4.15	3.73	4.31	3.54	3.38	2.23	4.12	2.54	2.15
			Median	4	4	4	4	4	2	4	3	2
			StDev	0.834	0.874	0.736	0.989	0.941	0.908	0.711	0.948	0.967
		TPM	CVR	0.769	0.308	0.846	0.308	0.154	-0.923	0.615	-0.846	-0.769
			Mean	4.27	3.62	3.69	3.54	4.46	4.15	4.31	4.42	3.38
			Median	5	4	4	4	5	4	4	5	4
	Fool Proof	StDev	0.962	0.941	0.838	0.948	0.761	0.881	0.736	0.758	0.941	
		CVR	0.769	0.308	0.462	0.231	0.846	0.538	0.846	0.692	0.077	
		Mean	4.19	3.42	4.54	3.65	4.27	4.04	4.08	4.54	3.35	
	Heijunka	Median	4	4	5	4	4	4	4	5	4	
		StDev	0.694	0.902	0.508	0.977	0.604	0.662	0.796	0.647	0.892	
		CVR	0.846	0.154	1.000	0.308	0.846	0.615	0.615	0.846	0.154	
	Mean	4.46	4.08	4.65	4.19	3.38	2.65	4.23	2.85	2.54		
	Median	5	4	5	4	4	3	4	3	3		
	StDev	0.582	0.744	0.629	0.749	0.898	0.892	0.765	1.190	0.948		
	CVR	0.923	0.692	0.846	0.769	0.231	-0.692	0.769	-0.231	-0.769		
	Pull System	Mean	4.38	2.35	4.31	3.50	4.12	2.77	3.15	3.31	2.35	
		Median	4	2	4	4	4	3	3	3	3	
StDev		0.571	0.977	0.736	0.990	0.653	1.032	0.967	1.011	0.892		
	CVR	0.846	-0.769	0.692	0.231	0.846	-0.538	-0.308	-0.231	-0.923		
	Flow Production	Mean	3.54	2.58	3.23	2.58	4.35	4.38	4.27	3.19	2.54	
		Median	4	3	3	3	5	5	4	4	3	
StDev		0.811	0.902	0.908	1.065	0.745	0.804	0.724	0.981	1.029		
	CVR	0.308	-0.846	-0.077	-0.538	0.692	0.769	0.692	0.077	-0.692		
	Autonomation	Mean	3.62	3.31	4.54	3.58	4.58	2.50	4.31	4.50	2.85	
		Median	4	4	5	4	5	3	5	5	3	
StDev		0.752	0.838	0.647	0.945	0.857	1.030	0.838	0.812	1.190		
	CVR	0.231	0.000	0.846	0.385	0.846	-0.615	0.692	0.615	-0.231		
	Continuous Improvement	Mean	4.23	3.19	4.15	2.62	2.54	3.54	3.46	4.38	4.19	
		Median	4	3	4	3	3	4	4	5	4	
StDev		0.908	0.981	0.613	1.061	0.859	0.811	0.905	0.852	0.849		
	CVR	0.692	-0.077	0.769	-0.538	-0.846	0.385	0.308	0.846	0.769		
	Visual Management	Mean	3.50	2.81	3.42	3.12	2.77	4.12	2.81	4.04	2.65	
		Median	4	3	4	3	3	4	3	4	3	
StDev		0.906	1.021	0.857	1.177	0.908	0.864	1.132	0.999	1.056		
	CVR	0.308	-0.385	0.231	-0.308	-0.538	0.538	-0.154	0.538	-0.692		
	SMED	Mean	3.27	2.77	3.58	2.81	3.46	4.58	4.38	4.46	4.27	
		Median	4	3	4	3	4	5	4	5	5	
StDev		0.874	1.107	0.902	1.167	0.905	0.758	0.571	0.761	0.874		
	CVR	0.077	-0.462	0.308	-0.231	0.077	0.846	0.923	0.846	0.615		
	5S	Mean	3.23	2.77	2.85	2.50	2.77	4.38	4.54	4.12	2.12	
		Median	3	3	3	3	3	4	5	4	2	
StDev		0.951	0.992	1.190	1.208	1.032	0.637	0.706	0.653	1.033		
	CVR	-0.077	-0.538	-0.231	-0.462	-0.538	0.846	0.923	0.692	-0.692		
	Standardization	Mean	4.42	3.50	3.73	3.19	4.08	3.42	3.54	4.23	2.69	
		Median	4	4	4	3	4	4	4	4	3	
StDev		0.587	0.990	1.041	0.981	0.688	0.945	1.140	0.587	1.158		
	CVR	0.923	0.077	0.154	-0.231	0.615	0.154	0.308	0.846	-0.538		

Strong influence Weak influence No influence

실수방지(Fool Proof)에서도 TPM과 유사하게 모든 스마트 공장 기술이 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 세부적으로 살펴보면, IoT, Big data, Robot, VR/AR, DT, Sensor 등 6개 기술이 강한 영향 관계에 있고, Cloud, AI, 3D Print 등 3개 기술은 약한 영향 관계로 나타났다.

생산평준화(Heijunka)는 IoT, Cloud, Big data, AI, DT 등 5개 기술이 강한 영향 관계로 나타났고, Robot 는 약한 영향 관계, VR/AR, Sensor, 3D Print 는 스마트 공장 기술이 영향 관계가 없는 것으로 확인되었다.

둘째, 2단계(시스템 시작 단계)의 항목을 살펴보면, 풀(Pull) 시스템에서는 IoT, Big data, Robot, VR/AR 등 4개 기술이 강한 영향 관계로 나타났고, AI, DT, Sensor 등 3개 기술은 약한 영향 관계를 나타냈으며, Cloud, 3D Print 는 영향 관계가 없는 것으로 확인되었다.

흐름(Flow) 생산에서는 Robot, VR/AR, DT 등 3개 기술이 강한 영향 관계로 나타났고, IoT, Big data, Sensor 등 3개 기술은 약한 영향 관계로 나타났고, Cloud, AI, 3D Print 등 3개 기술은 영향 관계가 없는 것으로 확인되었다.

자동화(Automaton)에서는 Big data, Robot, DT, Sensor 등 4개 기술이 강한 영향 관계가 있는 것으로 나타났고, IoT, Cloud, AI 등 3개 기술은 약한 영향 관계가 있는 것으로 나타났고, VR/AR, 3D Print 는 영향 관계가 없는 것으로 나타났다.

셋째, 1단계(거버넌스 구축 단계)의 항목을 살펴보면, 지속적개선(Continuous Improvement)에서는 IoT, Big data, Sensor, 3D Print 등 4개 기술이 강한 영향 관계가 있는 것으로 나타났고, Cloud, VR/AR, DT 등 3개 기술은 약한 영향 관계가 있는 것으로 나타났고, AI, Robot 은 영향 관계가 없는 것으로 나타났다.

눈으로 보는 관리(Visual Management)에서는 VR/AR, Sensor 는 강한 영향 관계가 있는 것으로 나타났고, IoT, Big data, AI 등 3개 기술은 약한 영향 관계가 있는 것으로 나타났고, Cloud, Robot, DT, 3D Print 등 4개 기술은 영향 관계가 없는 것으로 나타났다.

빠른 교체(SMED)에서는 VR/AR, DT, Sensor, 3D Print 등 4개 기술이 강한 영향 관계가 있는 것으로 나타났고, IoT, Big data, Robot 등 3개 기술은 약한 영향 관계가 있는 것으로 나타났고, Cloud, AI 는 영향 관계가 없는 것으로 확인되었다.

5S에서는 VR/AR, DT, Sensor 등 3개 기술이 강한 영향 관계가 있는 것으로 나타났고, IoT 는 약한 영향 관

계가 있고, Cloud, Big data, AI, Robot, 3D Print 등 5개 기술은 영향 관계가 없는 것으로 확인되었다.

표준화(Standardization)에서는 IoT, Robot, Sensor 등 3개 기술은 강한 영향 관계가 있는 것으로 나타났고, Cloud, Big data, AI, VR/AR, DT 등 5개는 약한 영향 관계가 있는 것으로 나타났고, 3D Print 는 영향 관계가 없는 것으로 확인되었다.

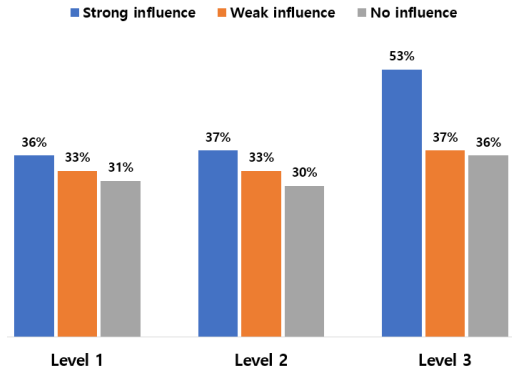


Fig. 4. The Degree of Influence of Smart Factory Technologies on Lean System Tools

3.1.5 최종 분석 결과

앞서 실시한 델파이 3차 조사를 바탕으로 스마트공장 기술과 린 시스템 도구와의 각 항목간의 관계를 ‘강한 영향 관계’, ‘약한 영향 관계’, ‘영향 관계없음’ 등으로 구분하여 아래의 <Table 8>과 같이 영향 매트릭스로 나타내었으며, 영향 관계 그림은 <Fig. 5>로 나타내었다.

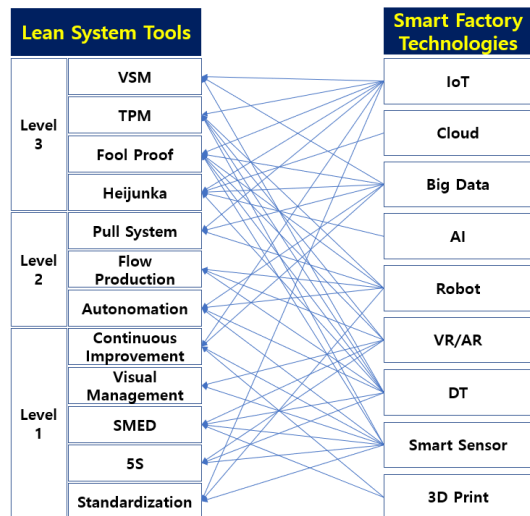


Fig. 5. Influence Relationship Diagram

스마트 공장의 기술이 린 시스템의 도구와의 관계에서 어떠한 영향을 미치는지 매트릭스로 도출한 결과를 아래와 같이 설명할 수 있다.

가치흐름도(VSM)는 재료 및 물류 정보 흐름의 투명성을 강화하여 낭비를 식별하고, 리드타임을 단축하고 생산 흐름을 촉진하는 것이 목적이다[5]. 이러한 프로세스 관점에서 공정 전체의 흐름을 파악하여 낭비를 제거하여야 한다. 디지털트윈(DT)을 통합하여 기존 시스템을 디지털에 연결하여 실시간 정보를 기반으로 가치 흐름을 파악하고 설계된 가치 흐름의 형태로 공정의 최적화를 달성할 수 있다. 데이터 수집을 자동화하면 데이터 수집에 소요되는 시간과 오류 가능성이 줄어들어 가치흐름도를 향상시킬 수 있다[41].

TPM(Total Productive Maintenance)은 설비의 데이터를 수집, 분석하여 디지털트윈(DT)을 통해 최적의 설비유지보수 방안을 찾고, VR/AR과 같은 가상 표현 기술과 헤드 마운트 디스플레이의 조합으로 설비관리의 교육과 유지 보수에 관한 지침을 용이하게 한다. 또한 스마트 센서를 모든 설비에 장착하여 실시간으로 설비의 상태를 파악하여 설비유지관리를 더욱 더 효율적으로 할 수 있다.

실수방지(Fool Proof)는 결함이 있는 제품이 공정을 벗어나는 것을 방지하기 위해 공정의 상태를 감지하고 제거하는 것이다[5]. 스마트 센서와 데이터 분석 등을 사용하여 품질보장을 위해 설비의 최적화를 자동으로 조정할 수 있고, 로봇으로 인간의 실수를 방지하고, VR/AR,

디지털트윈(DT)을 통해 설비 및 공정의 문제점을 찾아 개선하는데 유용하게 활용될 수 있다.

생산평준화(Heijunka)의 목적은 과잉생산 형태의 낭비를 감소하는 것이다[5]. 이러한 관점에서 생산계획이 자동으로 수립되고, 계획 조정을 자동으로 원활하게 할 수 있는 빅 데이터와 사물 인터넷이 필요하다. 또한, 디지털트윈(DT)을 통해 최적의 생산을 위해 공정 레이아웃을 결정하는 등에 활용이 가능하다.

풀(Pull) 방식에서는 각 공정과 설비를 사물 인터넷으로 연결하여 공정 간의 데이터를 수집하고, 고객의 정보를 분석하여 필요한 만큼의 후(後)공정 생산정보를 전(前)공정으로 생산지시가 이루어지고, 또한 공정 간의 흐름을 로봇이 통제할 수 있다.

흐름(Flow) 생산을 위해 데이터 수집과 분석이 필요하고, 디지털트윈(DT)을 통해 공정 전체의 흐름을 분석할 수 있으며, 협동로봇으로 흐름생산을 추구할 수 있다.

제조 현장의 자동화(Automatation)는 사물 인터넷과 빅 데이터를 활용하여 실시간으로 제어가능하고, 인공지능(AI)이 탑재된 로봇은 완전자동화를 추구하고, 디지털트윈(DT)을 활용하면 자동화의 추구가 더 용이해 질 수 있다.

지속적 개선(Continuous Improvement)에서 사물 인터넷으로 공정 데이터를 수집하고, 빅 데이터 분석을 통해 개선점을 찾고, 3D 프린팅으로 제품의 품질개선을 위해 프로토타입의 제품을 제작함으로써 지속적인 개선을 실시할 수 있다.

Table 8. Influence Matrix between Smart Factory Technologies and Lean Systems Tools

Level	Lean System Tools	Smart Factory Technologies								
		IoT	Cloud	Big data	AI	Robot	VR/AR	DT	Smart Sensor	3D Print
Level 3	VSM	●	◎	●	◎	◎	○	●	○	○
	TPM	●	◎	◎	◎	●	●	●	●	◎
	Fool Proof	●	◎	●	◎	●	●	●	●	◎
	Heijunka	●	●	●	●	◎	○	●	○	○
Level 2	Pull System	●	○	●	◎	●	○	◎	◎	○
	Flow Production	◎	○	◎	○	●	●	●	◎	○
	Autonomation	◎	◎	●	◎	●	○	●	●	○
Level 1	Continuous Improvement	●	◎	●	○	○	◎	◎	●	●
	Visual Management	◎	○	◎	◎	○	●	○	●	○
	SMED	◎	○	◎	○	◎	●	●	●	●
	5S	◎	○	○	○	○	●	●	●	○
	Standardization	●	◎	◎	◎	●	◎	◎	●	○

● : Strong influence(m= over 4.0), ◎ : Weak influence(m= over 3.0), ○ : No influence(m= less than 3.0)

눈으로 보는 관리(Visual Management)는 현장의 투명성을 높이는 것이 목적이다. AR을 적용하면 비숙련 작업자에게 도구를 배치할 위치를 쉽게 안내할 수 있고, 도면이나 지침서 등을 물리적으로 배포되었다면, 이제는 AR로 대체 가능해진다[5].

빠른 교체(SMED)는 톨 교체와 셋업 시간 단축 등을 포함한 의미로 공정 교체로 인한 가동 중지 시간과 비용을 줄이는 것이 목표이다. AR, DT, 3D 프린팅을 통해 최적의 셋업 시간을 찾고, 금형이나 톨에 스마트 센서를 장착하여 교체 설정시간 등에 가장 큰 영향이 미칠 것으로 판단한다.

5S는 AR과 DT의 시뮬레이션을 통해 시행착오를 줄일 수 있고, 스마트 센서를 통해 현장의 최적화 구현을 지원할 수 있다.

마지막으로 표준화(Standardization)는 모든 기술의 표준이 되는 것이다. 센서는 표준화가 되어야 하고, 설비 관리의 표준화, 부품의 표준화, 로봇제어에서 사용하는 언어 등의 표준화가 필요하다.

3. 결론

국내 제조업에서는 제조 현장의 디지털화 등의 스마트 공장 구축이 활발하게 진행되고 있으나, 제조업 중심으로 린 생산 시스템과 스마트 공장의 핵심 기술과의 관계를 규명하는 연구는 미흡하다. 이러한 점에서 본 연구는 제조 현장에서 린 생산 방식에 적합한 스마트 공장 핵심 기술이 어떤 것인지를 규명하고자 하였다. 모든 기술을 한 번에 받아들이기는 쉽지 않다. 제조 현장의 운영 수준을 파악하고, 스마트 공장 핵심 기술을 순차적으로, 운영 수준에 맞게 적용하여야 한다는 점이 중요하다. 스마트 공장 구축 및 운영 관련하여 무엇보다 해야 할지 망설여지는 중소 제조 기업들에게 스마트 공장 구축 및 운영을 위한 시사점을 제시한 점에서 다른 연구와 차별점이 있을 것이다. 본 연구에서는 스마트 공장 핵심 기술과 린 시스템의 도구와의 영향 관계를 확인하였으며, 연구의 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 린 시스템의 수준이 3단계(고도화 단계)의 경우는 스마트공장 기술의 대부분이 강한 영향 관계와 약한 영향 관계로 나타났으며, 일부분만 영향 관계가 없는 것으로 나타났다. 이는 스마트 공장 기술이 린 시스템을 지원하여 제조 현장을 고도화 수

준으로 향상시켜 제조 경쟁력을 확보할 수 있는 것으로 선행연구와 일치함을 확인하였다.

- (2) 린 시스템의 수준이 2단계(시스템 시작 단계)의 경우는 강한 영향 관계와 약한 영향 관계의 스마트 공장 기술의 분포 정도가 골고루 적용되었으나, 3D 프린팅의 경우에만 아무런 영향 관계가 없는 것으로 확인되었다.
- (3) 린 시스템의 수준 1단계(거버넌스 구축 단계)의 경우는 스마트 센서 기술은 모든 린 시스템 도구와 강한 영향 관계가 있는 것으로 확인되어, 스마트 공장으로서의 전환에서 기초가 되는 센서의 중요성을 확인할 수 있었다.
- (3) 린 시스템은 3차 산업혁명의 정보화 시대의 환경에서 이루어진 것이고, 4차 산업혁명의 지능화 시대의 환경에서는 스마트 공장이 지향점이 된다. 또한 스마트 공장으로서 전환하기 위해서는 린 시스템의 원칙과 도구들은 기본적으로 구현되어 있어야 한다. 더불어 구성원들이 혁신적인 사고와 철학을 보유하고 있다면 스마트 공장으로서의 체제 전환은 무엇보다 쉬운 것이다. 이러한 관점에서 제조 기업은 린 시스템의 원칙과 도구를 계승하고 4차 산업혁명의 혁신 기술, 즉 스마트 공장 핵심 기술들과 융합하여 제조 현장에 적용하여야 한다.
- (4) 스마트 공장 핵심 기술은 성장이 둔화된 린 시스템의 원칙과 도구를 더욱 고도화할 수 있으며, 자동화 수준의 공장을 지능화, 스마트화의 공장으로서 전환할 수 있는 성장 동력이 될 것이다. 또한, 스마트 공장으로서의 단계적인 구현과 제조 현장의 완전한 스마트화를 위해서는 정부에서는 정책, 제도 및 자금을 지원하고, 기업에서 이를 적극적으로 활용하여 스마트 공장을 구축 및 운영한다면 글로벌 경쟁력을 갖춘 제조 기업으로 성장할 것이다.

References

- [1] S. H. Woo, & Y. B. Cho(2018), "Major Technologies and Introduction of Smart Factory", Korea National University of Transportation, 2018.
- [2] D. Kolberg, & D. Zühlke(2015), "Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies" *IFAC-PapersOnLine* 48-3 (2015), 1870~1875. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.359>
- [3] KOSMO(2020), "Government policy and business of

- smart factory in 2020", Educational materials for the 2020 smart factory distribution business, 2020.04.10.
- [4] Y. H. Ahn(2020), "Strategy to establish a business plan for building a Smart Factory", Korea SMEs and Startups Agency(KOSMES), WEB Seminar lecture book. 2020.
- [5] A. Mayr, M. Weigelt, A. Kül, S. Grimm, A. Erll, M. Potzel, J. Franke(2018), "Lean 4.0 - A conceptual conjunction of lean management and Industry 4.0", *Procedia CIRP* 72 (2018), 622~628.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.292>
- [6] F. Rosin, P. Forget, S. Lamouri, & R. Pellerin(2020), "Impacts of Industry 4.0 technologies on Lean principles", *International Journal of Production Research*, 58:6, 1644~1661.
DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1672902>
- [7] H. B. Na, Y. H. An, I. K. Hwang(2020), "Introduction to Smart Factory", publication in CheongRam, 2020.
- [8] C. Prinz, N. Kreggenfeld, B. Kuhlenkötter(2018), "Lean meets Industrie 4.0—a practical approach to interlink the method world and cyber-physical world", *Procedia Manufacturing* 23 (2018) 21~26, 8th Conference on Learning Factories 2018-Advanced Engineering Education & Training for Manufacturing Innovation.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.155>
- [9] M. E. Porter, & J. E. Heppelmann(2015), "How smart, connected products are transforming companies", *Harv. Bus. Rev.* 93(10), 96~114.
<https://hbr.org/2015/10/how-smart-connected-products-are-transforming-companies>
- [10] K. D. Thoben, S. A. Wiesner, T. Wuest(2017), "Industrie 4.0 and smart manufacturing—a review of research issues and application examples", *Int. J. Autom. Technol.* 11(1), 4~16.
DOI: <https://doi.org/10.20965/ijat.2017.p0004>
- [11] H. Kagermann, W. Wahlster, & J. Helbig(2013), "Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0" Final report of the Industrie 4.0 Working Group.
<https://www.din.de/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf>
- [12] H. Lasi, P. Fettke, H.-g. Kemper, T. Feld, M. Hoffmann(2014), "Industry 4.0", *Bus. & Inf. Syst. Eng.* 6(4), 239~242.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s12599-014-0334-4>
- [13] M. Hermann, T. Pentek, B. Otto(2015), "Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review", Working Paper No. 01, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29269.22248>
- [14] H. B. Na(2018), "A Study on Process/Equipment methodology for SME Smart Factory", A Master's thesis at Kongju National University, February 2018.
- [15] MOTIE(2017), "Building 2,200 Smart Factories leading the 4th Industrial revolution this year", Ministry of Trade Industry and Energy, February 02, 2017.
- [16] Smart Manufacturing Innovation Center(2018), "9 Core Technologies that move Smart Factories", Hankyung Business No 1189, September 12, 2018.
<https://www.demo-factory.kr>.
- [17] MOTIE(2015), "Promoting the development of smart manufacturing technology that promotes innovation in the manufacturing industry", Ministry of Trade, Industry and Energy, Press, April 30, 2015.
- [18] S. Mittal, M. A. Khan, D. Romero, T. Wuest(2019), "Smart manufacturing: Characteristics, technologies and enabling factors", *Journal of Engineering Manufacture* 2019, Vol. 233(5) 1342~1361.
DOI: <https://doi.org/10.1177/0954405417736547>
- [19] H. S. Kang, J. Y. Lee, S. Choi, H. Kim, J. H. Park, J. Y. Son(2016), "Smart manufacturing: past research, present findings, and future directions", *Int. J. Precis. Eng Manuf-Green. Technol.* 3(1), 111~128.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s40684-016-0015-5>
- [20] T. Gallo, C. Cagnetti, C. Silvestri, A. Ruggieri(2021), "Industry 4.0 tools in lean production: A systematic literature review", *Procedia Computer Science* 180 (2021) 394~403.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.255>
- [21] U. Dombrowski, T. Richter, P. Krenkel(2017), "Interdependencies of Industrie 4.0 & Lean Production Systems: A Use Cases Analysis", *Procedia Manufacturing* 2017 11: 1061~1068.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.217>
- [22] M. Rossini, F. Federica Costa, A. P. Staudacher, G. Tortorella(2019), "Industry 4.0 and Lean Production: an empirical study", *IFAC PapersOnLine* 52-13 (2019) 42~47.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.122>
- [23] D. Kolberg, J. Knobloch, D. Zühlke(2017), "Towards a lean automation interface for workstations", *International Journal of Production Research*, 55(10), 2845-2856.
DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1223384>
- [24] L. Xu, E. Xu, L. Li(2018), "Industry 4.0: state of the art and future trends", *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941-2962.
DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>
- [25] G. Tortorella, & D. Fettermann(2018), "Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies", *International Journal of Production Research*, 56(8) 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1391420>
- [26] J. P. Womack, D. T. Jones, D. Roos(1990), "The Machine that Changed the World: The Story of Lean Production", Macmillan Publishing Company, New York, 1990.
- [27] J. P. Womack, & D. T. Jones(1996), "Lean Thinking:

- Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation", Revised and Updated 2003 ed. New York: Simon & Schuster.
- [28] J. K. Liker(2004), "The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer", New York, NY: McGraw-Hill.
- [29] H. Bauer, F. Brandl, C. Lock, G. Reinhart(2018), "Integration of Industrie 4.0 in Lean Manufacturing Learning Factories", *Procedia Manufacturing* 23 (2018) 147~152.
DOI: <https://doi.org/10.1016/i.promfg.2018.04.008>
- [30] T. Wagner, C. Herrmann, S. Thiede(2017), "Industry 4.0 impacts on lean production systems", *Procedia CIRP*, 63, 125~131.
DOI: <https://doi.org/10.1016/i.procir.2017.02.041>
- [31] G. Hoellthaler, S. Braunreuther, G. Reinhart(2018) "Digital Lean Production: An Approach to Identify Potentials for the Migration to a Digitalized Production System in SMEs from a Lean Perspective", *Procedia CIRP* 2018 67: 522~527.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.PROCIR.2017.12.255>
- [32] S. Kolla, M. Minufekr, P. Plapper(2019), "Deriving essential components of lean and industry 4.0 assessment model for manufacturing SMEs", *Procedia CIRP* 81 (2019) 753~758, 52nd CIRP Conference on Manufacturing Systems.
DOI: <https://doi.org/10.1016/i.procir.2019.03.189>
- [33] R. Shah, & P. T. Ward(2003), "Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance", *Journal of Operations Management* 21(2) 2003, 129~149.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(02\)00108-0](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(02)00108-0).
- [34] R. Ciarniene, & M. Vienazindiene(2012), "An Empirical Study of Lean Concept Manifestation", *Procedia - Social Behavioral Sciences* 207 (2015) 225~233.
DOI: <https://doi.org/10.1016/i.sbspro.2015.10.091>
- [35] J. Oliveira, J. C. Sá, A. Fernandes(2017), "Continuous improvement through 'Lean Tools': An application in a mechanical company", *Procedia Manufacturing* 13 (2017) 1082~1089.
DOI: <https://doi.org/10.1016/i.promfg.2017.09.139>
- [36] B. Mrugalska, & M. K. Wyrwicka(2017), "Towards Lean Production in Industry 4.0", *Procedia Engineering* 182 (2017) 466~473.
DOI: <https://doi.org/10.1016/i.proeng.2017.03.135>
- [37] P. Jadhav, & N. Ekbote(2020), "Implementation of lean techniques in the packaging machine to optimize the cycle time of the machine", *Materials Today: Proceedings*,
DOI: <https://doi.org/10.1016/i.matpr.2020.12.162>
- [38] A. Palange & P. Dhattrak(2020), "Lean manufacturing a vital tool to enhance productivity in manufacturing", *Materials Today: Proceedings*,
DOI: <https://doi.org/10.1016/i.matpr.2020.12.193>
- [39] S. I. Kwon(2014), "A Study on the Effects of *Employee's Labor Flexibility and Creativity on Lean Innovation Components*", A Master's thesis at Dankook University, June 2014, p. 54~55.
- [40] D. I. Kim(2016), "A Study on the Effect of Critical Success Factors with the implementation of Lean Methods on Business performance", A Ph.D dissertation at Uiduk University, February 2016, p.80.
- [41] S. V. Buer, J. O. Strandhagen, & F. T. S. Chan(2018), "The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: Mapping current research and establishing a research agenda", *International Journal of Production Research* 56 (8): 2924~2940.
DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1442945>

손 환 식(Hwan-Sik Son)

[정회원]



- 2018년 2월 : 공주대학교 일반대학원 산업시스템공학과 (공학석사)
- 2005년 9월 ~ 2018년 6월 : ENA Industry 제조혁신 팀장
- 2018년 3월 ~ 현재 : 동대학원 산업시스템공학과 박사과정 재학 중
- 2018년 6월 ~ 현재 : WINHITECH 근무 중

〈관심분야〉

스마트공장, 자동화, 품질관리, 생산관리, 제조혁신

김 응 석(Eung-Seok Kim)

[정회원]



- 1992년 2월 : 중앙대학교 산업시스템학과 (통계학석사)
- 2012년 8월 : 중앙대학교 대학원 MBA (경영학석사)
- 2021년 2월 ~ 현재 : 공주대학교 일반대학원 산업시스템공학과 박사과정 재학 중
- 2021년 1월 ~ 현재 : 울랄라랩 근무 중

〈관심분야〉

스마트공장, Data Science, 품질 관리

백 승 성(Seung-Sung Baik)

[정회원]



- 1984년 2월 : 한양대학교 산업공학과 (공학학사)
- 2014년 8월 : 한양사이버대학교 경영학과 (경영학석사)
- 2021년 2월 ~ 현재 : 공주대학교 일반대학원 산업시스템공학과 박사과정 재학 중
- 2019년 3월 ~ 현재 : 스마트공장 전문가 및 AI 마스터 전문가 활동

<관심분야>

스마트공장, 인공지능, 기술보호

황 재 문(Jae-Moon Hwang)

[정회원]



- 2017년 2월 : 아주대학교 공학대학원 신입시스템공학과 (공학석사)
- 1991년 1월 ~ 2019년 12월 : 삼성코닝 근무
- 2020년 9월 ~ 현재 : 공주대학교 일반대학원 산업시스템공학과 박사과정 재학 중
- 2020년 3월 ~ 현재 : CJ제일제당 근무 중

<관심분야>

스마트공장, 린, 자동화, 공장혁신

황 인 극(In-Keuk Hwang)

[종신회원]



- 1986년 2월 : 아주대학교 산업시스템학과 (공학학사)
- 1990년 5월 : University of Iowa industrial & Management Eng. (M.S)
- 1996년 8월 : Texas A&M Univ. Industrial Eng. (Ph.D)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 산업시스템공학과 교수

<관심분야>

스마트공장, 품질공학, 6 시그마, 생산관리, 기술경영 등