

스마트제조 기술 국내연구 고찰

Review of Domestic Research on Smart Manufacturing Technologies

박종경(Jong-Kyung Park)*, 장태우(Tai-Woo Chang)**

초 록

최근 세계 각국은 4차 산업혁명의 중심에 있는 스마트제조 시스템 구축에 앞장서기 위하여 산학연이 협력하여 활발한 연구, 개발 및 비즈니스화를 추구하고 있다. 기존의 연구 보고 [4]에 따르면 우리나라는 스마트공장의 기초기술, 하드웨어, 소프트웨어 분야의 경쟁력이 선진국 대비 70% 미만의 수준으로 보고되고 있다. 본 연구에서는 기존 연구문헌 검토 및 분석을 통하여 제조업에서 스마트제조 기술의 활용사례 현황과 연구의 주요 이슈를 파악하여 핵심 기술 연구자들과 비즈니스 프로세스를 가지고 있는 기업과의 협력에 아이디어를 제공하고자 한다. 공장과 제조분야에 적용되거나 고려된 기술로는 사물인터넷이 가장 활발한 연구가 이루어지고 있었으며, CPS, 로봇의 순서로 많은 연구가 이루어지고 있음을 볼 수 있다. 각 요소 기술의 기업 적용사례를 통하여 초기 단계의 연구자와 기업과의 협력이 이루어지고 있음을 볼 수 있다.

ABSTRACT

Recently, countries are pursuing vigorous research, development and commercialization in cooperation with industry, academia and researcher to take the lead in building a smart manufacturing system that is at the center of the fourth industrial revolution. According to a research report [4], the competitiveness of Korea in the area of basic technology, hardware, and software of the smart factory is reported to be less than 70% of the developed countries. In this study, we reviewed the existing research literature and analyzed the current status of smart manufacturing technology and major issues in the manufacturing industry. We tried to provide ideas for collaboration with core technology researchers and companies with business processes. Internet of Things, CPS and robot technologies have been the most active in smart manufacturing area. It can be seen that cooperation between researchers and industries in the early stage is being done through the case of industry application of each core technology.

키워드 : 스마트제조, 스마트공장, 문헌연구

Smart Manufacturing, Smart Factory, Literature Review

This work was supported by the GRR program of Gyeonggi province[(GRR 경기2017-B01), Research on Industrial Big-Data Analytics for Intelligent Manufacturing].

* Co-Author, Intelligence & Manufacturing Research Center, Kyonggi University(pjkyoung@naver.com)

** Corresponding Author, Department of Industrial & Management Engineering/Intelligence & Manufacturing Research Center, Kyonggi University(keenbee@kgu.ac.kr)

Received: 2018-04-19, Review completed: 2018-05-18, Accepted: 2018-05-25

1. 서 론

최근 세계 각국은 4차 산업혁명의 일환으로 제조업을 강화하기 위한 국가적 전략을 추진하고 있다. 이에 비해, 국내 제조업은 제조 효율성의 저하와 생산 거점의 해외 이전 등으로 인해 성장 동력이 약화되고 있다. 4차 산업혁명의 속성은 기술의 혁신, 제조업의 혁신, 플랫폼기반 서비스의 혁신이라는 관점에서 살펴볼 수 있다. ICT를 기반으로 유전학과 생명공학기술과 같이 이전에는 서로 단절되어 있던 분야들이 경계를 넘어 분야 간 융·복합을 통해 공진화하며 다양한 사회, 경제, 구조적 측면의 혁신적인 변화를 야기하고 있다. 제조업 분야에는 3D 프린팅, 클라우드컴퓨팅, IoT, 빅데이터 등 ICT가 제조공정에 적용되며 온디맨드 환경에 대응하는 디지털 제조공정의 여건이 마련되고, 주문에서 제조, 소비자에게 전달 및 사후관리에 이르는 제조 가치사슬 전반을 능동적으로 관리할 수 있는 스마트공장이 고도화되고 있다. 또한 제조업의 부가가치가 제품이 아닌 서비스가 이동하는 패러다임 변화도 목격하게 될 것이다[23].

이제 제조와 서비스를 하나의 가치사슬 내에서 파악하는 융합적 사고로의 전환이 필요하다. 기존의 방식대로 제품을 판매하며 서비스가 덧붙는 경우에서부터 제품이 플랫폼화 되어 서비스가 주력 비즈니스가 되는 모델까지, 산업구조는 매우 유연하게 변화하고 있다. 이러한 혁신적인 변화에 정부, 기업, 개인이 뒤처지지 않고 새로운 포지셔닝에 성공하기 위해서는 유연함이 필요하다는 점을 인식하고, 각 경제주체들의 전략적 대응마련이 시급한 실정이다.

우리나라 스마트공장의 기초기술, 하드웨어, 소프트웨어 분야 경쟁력은 선진국 대비 70% 미

만 수준으로 한국 제조업이 재도약하기 위해서는 스마트공장을 통한 첨단 기술과 융합한 생태계 혁신이 필요하다. 일부 발표[26]에서 4차 산업혁명 준비 정도는 25위에 불과하다고 보고된 바 있다. 이의 개선을 위해 4차 산업혁명 시대 과학기술, ICT 정책 대응방안으로 핵심기술 확보, R&D 혁신, 융합형 신산업 창출, 사회 인프라 개선, 4차 산업혁명으로 초래되는 부작용 대비 등이 제시되고 있다[26].

또한 새로운 개념의 산업형태의 출현에 뒤처지 않고 앞장서기 위해서는 연구개발 분야에 대한 고찰이 필요하다. 기술수준을 측정하는 연구[8]에서 한국의 종합점수는 77.4점에 불과하며, 기반산업별로도 선도국 대비 기술 격차가 20점 이상으로 매우 큰 것으로 나타났고, 특히 IT 서비스 부문에서는 중국에게도 추월당한 것으로 나타났다. 기술 측면에서의 발전전략과 현황검토 역시 필요하다. 정부는 스마트제조를 핵심전략으로 삼고 2015년 12월 스마트제조 R&D 중장기로드맵을 최종발표하고, 앞으로 우리나라 제조업을 혁신할 8대 기술을 사물인터넷(IoT, Internet of Things), 클라우드(Cloud), 사이버물리시스템(CPS, Cyber-Physical System), 빅데이터(Big Data), 스마트센서(Smart Sensor), 3D프린팅(3D Printing), 에너지 절감, 홀로그램(Hologram)을 제시하고, 이를 중심개념으로 연구개발을 진행하고 있다.

기술 외의 기업 경쟁력 및 역량 측면의 연구도 필요하다. 시스템 구축의 관점에서 최영환과 최상현의 연구[4]는 기업의 경쟁력을 높일 수 있는 성공적인 스마트공장의 추진을 위해 최고 경영자의 의지, 정부지원, 외부 컨설팅 그리고 조직참여가 미치는 영향에 대해서 살펴보았다. 실증연구를 통해 기업의 글로벌 경쟁력 확보를 위한

스마트공장의 성공적 구현에 있어서 조직의 참여도가 가장 큰 영향을 미치는 것으로 파악되었고, 정부지원, 외부 컨설팅 그리고 최고경영자의 지 순서로 영향을 미치는 것으로 발표했다[4].

본 연구는 스마트제조 기술 측면의 연구 분야에 대해 고찰하고, 기업·기관과 연구자들의 경쟁력 강화를 위한 기술 검토에 도움을 주고자 국내에서 발간된 관련 문헌을 분석하여 국내의 스마트공장의 현황을 살펴본다. 스마트제조 관련 기술의 전반적인 동향과 연대적 흐름을 살펴보는 연구가 일부 있었으나[2, 13], 적용 기술을 중심으로 개별 논문에 대한 검토로 스마트제조 기술 연구에 대해 정리한 논문은 쉽게 찾을 수 없는 실정이다. 본 연구는 특히 스마트제조 8대 기술을 중심으로 분석한다. 이를 위해 2014년부터 2017년까지 이루어진, 스마트제조 8대 기술과 인공지능 및 로봇 기술을 포함하는 연구를 대상으로 한정하여 검색하였으며 스마트제조 및 스마트공장의 개념과 거리가 먼 논문들은 제외하였다.

결과적으로 획득한 논문은 사물인터넷, 클라우드, CPS, 빅데이터, 인공지능, 로봇, 3D 프린팅 관련 연구가 공장과 제조를 염두에 둔 연구로 선정이 되었으며, <Table 1>은 분야의 폭이 넓

은 스마트센서 및 에너지 절감과 제조와는 동떨어진 것으로 판단되는 홀로그래프를 제외한 7대 기술과 공장, 제조를 ‘AND’ 조건으로 검색한 결과이다. 7대 기술과 공장관련 논문 수는 30건이고, 7대 기술과 제조 관련 논문 수는 35건이다. 일부 논문은 사용된 기술에 대한 내용이 명시적으로 기재되어있지 않아서 분석에서 제외하였다.

공장과 제조에 적용을 시도한 7대 기술의 순위를 살펴보면 사물인터넷이 22건으로 가장 활발한 연구가 이루어지고 있음을 볼 수 있다. 다음은 CPS, 로봇의 순서로 연구가 이루어지고 있음을 볼 수 있다.

이후 제 2장에서 스마트제조 기술별 연구내용을 서술하고, 제 3장에서 결론 및 시사점을 제시한다.

2. 기술별 연구내용

2.1 사물인터넷(IoT)

미래의 산업 환경은 제품 생산 과정에 있는 모든 기계와 기계, 공장과 공장을 포함한 모든 공정이 긴밀하게 연결되며, 가상 세계와 실제

<Table 1> Search Results of Seven Technologies, Factory and Manufacturing

Technology \ Keyword	Factory	Manufacturing	Sum
Internet of Things	14	8	22
CPS	6	5	11
Robot	5	5	10
3D Printing	-	9	9
Big data	2	5	7
Cloud	2	2	4
Artificial Intelligence	1	1	2
Sum	30	35	65

계의 결합인, 전체 제품과 생산주기의 디지털화를 통해 마침내 디지털 공장은 현실로 구현될 것이다. IoT는 M2M의 발전된 형태로 RFID, 센서, 액추에이터, 휴대전화와 같이 고유한 주소지정 스키마를 통해 상호작용하고, 공통된 목표에 도달하기 위해 인접한 스마트 구성요소와 협력해야 한다.

제조현장 수준의 IoT 실증 연구는 많이 발표되고 있지 않고 있다. ‘Things’의 개념을 폭넓게 본다면 다수의 연구가 해당되었으나, IoT 기술을 이용한 용접공정의 혁신[21]과 같이 IoT를 표방하고 발간된 새로운 실증 연구는 많지 않다. 기타 연구 사례로는 식물제어시스템 개발을 통한 센서(환경데이터 수집), 무선통신방식(블루투스, 이더넷, 와이파이), 환경데이터 분석 및 제어신호 제공, 제어기(급수 및 조명), 원격제어 및 모니터링에 대한 연구[27], 라즈베리파이를 이용한 스마트 홈 프로토타입 구현[19], IoT 기반 원격 제어 및 모니터링이 가능한 탐사로봇 설계를 위한 플랫폼과 부품, 그리고 네트워크 구성 방안 연구[16], 소규모 서버실 운영관리 시스템[24]에 대한 연구 등 IoT 기술을 실생활에 활용한 사례를 살펴볼 수 있었다.

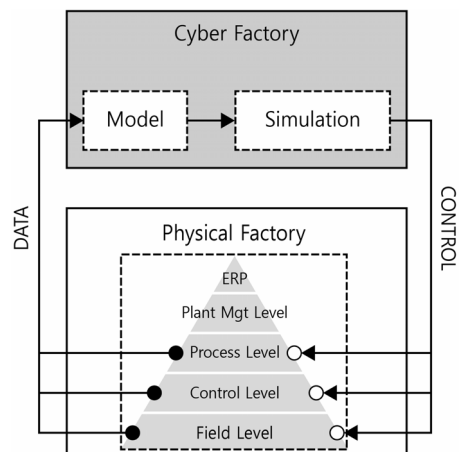
제조업의 IoT 활용성 분석에 대한 황규선 등의 연구[6]는 10대 주력 산업을 6개의 세그먼트로 구분하여 사물인터넷의 사용 수준 정도를 SWOT 분석을 수행한 결과를 제시하고 있다. 세그먼트 1(자동차, 디스플레이 업종)의 경우는 사물인터넷을 도입할 수 있는 기회의 요소는 존재하나, 이를 통한 경쟁력을 갖기 위한 요소는 부족하고, 세그먼트 2(조선, 일반기계 업종)는 사물인터넷을 도입할 기회는 다소 낮으나 도입할 경우 파생될 수 있는 경쟁력은 높은 것으로 분석했다[6].

2.2 사이버물리시스템(CPS)

CPS 기술은 “4차 산업혁명이 물리적인 세계와 가상 세계와의 융합”으로 정의되는 개념을 구현할 핵심적인 기술로 여겨진다.

스마트공장 또는 자동화 시스템 도입에 있어서 보안 취약점과 개인정보 보호 문제 해결을 위하여 연산 횟수가 적고 처리 속도가 빠르며 낮은 전력 소비량과 적은 저장 공간을 소비하도록 설계한 경량 암호 프로토콜 제시[7], 공장자동화 시스템의 생산성 향상을 위한 SEB(Smart Electronic Bracket) 시스템 설계 및 제작[3], 스마트공장의 제조 IoT 디바이스 간 통신을 위한 임베디드 시스템 프레임워크 제시[25] 등의 연구가 있었으며, 가상-실공장 연동을 위한 CPS 기반 스마트공장 기술 연구에서 <Figure 1>과 같이 CPPS(Cyber Physical Production System) 아키텍처를 제시했다[9].

노상도는 스마트공장과 CPS 기술 연구에서 산업용 IoT(IIoT) 기반으로 제조 현장 빅데이터를 수집하고, 이를 데이터 애널리틱스를 통해 실시간으로 분석, 현장과 동기화된 사이버모델을



<Figure 1> CPPS Architecture

구성, 활용하여 제조시스템의 효율적인 설계, 운영을 수행하는 CPPS 관련 연구 및 기술개발 동향에 대해 연구를 수행하였다[30].

윤종완 등은 CPS 및 IoT 기술을 통한 제조혁신 동향 및 전망 연구에서 제조혁신과 CPS 및 IoT 기술의 관계를 소개하였다. 이들 기술을 통하여 다품종 소량생산으로 고부가 가치를 창출할 것이며, 제조혁신의 적용뿐만 아니라 지속적인 관리 및 표준화, 보안 등을 강화해야 하며 우리의 제조업 환경에 맞는 한국형 제조 혁신 모델 개발과 전문 인력 양성이 필요함을 제시하였다[36].

2.3 로봇

공장 및 제조 환경의 로봇 연구는 개발 및 현장적용 사례 위주로 발표되고 있다. 공장 환경에서 AGV를 위하여 천장에 설치되는 인공 표지물을 사용하여 AGV의 탐색 경로를 최적화함으로써 특징관찰의 정확도를 향상시키는 인공표식 기반의 포즈그래프 SLAM 연구[5], 작업자의 숙련도에 따라 영향을 받으며, 균일한 제품 품질을 유지하는 데 한계가 있는 수동 공정의 한계를 극복하고 품질 수준을 개선하고 안정화시키기 위해 OLP(Off-line Programming)형 시뮬레이터를 사용하는 다이오드 레이저 열처리 로봇 시스템 개발[11], 작업을 자동화하기 위해 실제 용접조건을 데이터베이스로 만들었으며 자체 개발한 소형로봇을 이용하여 작업자가 용접 시작위치와 종료위치만을 지정해 주면 매 패스마다 토치의 위치와 각도, 용접 전류, 전압, 스피드 등이 자동으로 변경되며 연속 용접을 수행하는 소형로봇을 이용한 후판 다층 자동용접 기술 개발[12], 주어진 작업을 안

전하면서도 효과적으로 완수할 수 있는 생체 모방형 로봇 개발[34] 등의 연구가 이루어졌다.

2.4 3D Printing

3D 프린팅은 기술의 본질상 설계와 제작 측면에서 활용되고 있음을 알 수 있다. 3차원으로 설계된 제품에 대하여 시제품을 제작하기 전에 3D 프린터로 프로토타입을 제작하고, 설계된 제품을 검증하는 요소기술을 이용하여 LCD 제조공정에서 액정유리기판 반송로봇(LTR)에 사용되고 있는 2단 유성기어 감속기의 설계 검증을 위해 3D 프린팅을 실시하여 설계를 검증한 연구[15], 다양한 기술 수용 이론들을 참고하여 제조 분야에서의 3D 프린팅 도입에 영향을 미치는 연구 모형을 설정하고 실증 분석을 통해 3D 프린팅 도입에 영향을 미치는 요인(기술 특성, 기업 특성, 사회적 영향)을 도출하는 연구 [35], 3D 프린팅 Jetting 기술을 이용한 회로 제작 기술 개발[37], 3D 프린팅을 활용한 수부 보조기의 설계 및 제작[31] 등의 연구를 살펴 볼 수 있다.

2.5 Big Data

빅데이터 기술을 프레임워크부터 현장 적용까지 다양하게 연구되고 있다. 먼저 스마트제조 빅데이터 분석 과정에서 해결되어야 하는 문제점들을 크게 분석성능, 데이터추출, 데이터 특성, 분석방법론, 시각화 등 크게 5개 항목으로 기술하고 이들에 대한 해결책을 사례중심의 설명을 통해 빅데이터 분석 솔루션이 갖추어야 할 기술적 특성을 제시한 스마트제조를 위한 빅데이터 분석솔루션 연구[22], 제조 관련 빅데

이터 분석 알고리즘 연구와 해당 알고리즘을 활용하기 위한 분석 플랫폼에 관한 연구에 대해 설명하고, 제안한 대용량 분석 플랫폼을 국내 다이캐스팅 업체의 품질 문제 해결 과정에 적용해 연구의 결과를 검증한 제조 특화형 라이브러리 기반 빅데이터 분석 플랫폼 구축에 관한 연구[10]가 전반적인 연구의 틀을 연구하였다.

다이캐스팅, 반도체, 코팅제 등의 제조현장에서 발생한 데이터를 분석하는 연구가 많이 나타나고 있다. 데이터들이 발생하는 반도체 공정에서 고속의 빅데이터 처리를 위한 인-메모리 데이터 그리드를 이용한 시스템을 구축하여 실험을 통해 향상된 성능을 입증하였으며, 구현한 시스템은 반도체뿐만 아니라 빅데이터를 사용하는 모든 부분에서 응용 가능할 것으로 판단되는 연구[32], 빅데이터 분석을 활용한 실험계획법 기반의 코팅제 배합비율 최적화 모형을 제시한 연구[29]가 있고, HW-SW 통합 프레임워크를 활용한 제조공정 개선을 위한 실시간 모니터링 시스템과 데이터 분석검증 TA 설계를 제안한 연구[17]도 있다.

데이터 애널리틱스와 뿔 수 없는 시각화 연구들도 많이 나타나고 있는데, 데이터베이스 연동을 통한 빅데이터 분석결과 시각화 연구에서 서버의 데이터베이스를 직접 접근하여 원하는 데이터에 대해 형식에 맞게 가공한 뒤 D3 라이브러리를 이용하여 시각화하는 방법을 제시한 연구[20], 다양한 데이터와 그 분석 결과를 쉽게 이해할 수 있도록 도와줌으로써 제조현장과 같은 실제 산업현장에서도 그 유용성이 기대되고 있는 실험계획법과 데이터 분석 기반의 제조공정 최적화를 위한 정보 시각화 연구[18] 등이 이러한 사실을 보여주고 있다.

2.6 Cloud

클라우드 제조의 연구동향 분석은 안길승 등의 연구[1]에서 제시된 바 있다. 클라우드 제조의 운영 과정을 제조 자원 가상화 및 등록, 고객 요구사항 등록, 서비스 매칭 및 구성, 서비스 스케줄링, 서비스 실행 및 모니터링, 서비스 평가의 여섯 단계로 구분하여, 각 단계별 연구 동향을 분석하였다. 더 나아가, 효과적이고 효율적인 운영을 가능하게 하는 서비스 플랫폼 구조, 비즈니스 모형, 데이터 및 지식 관리를 다룬 논문들을 정리하였다[1].

아직은 클라우드컴퓨팅 기술이 스마트제조 분야에서 특징 있게 활용된 연구는 두드러지지 않으며, 데이터 저장을 위한 기반 기술로 활용되는 정도에 그치고 있다. 3D 프린팅 기술의 발전으로 복잡한 디자인의 구조물을 부가적인 제조공정을 추가하지 않고도 직접 조형이 가능하며, 3차원 가공에 전, 후 공정을 추가 통합하여 다양한 기능성 제품생산이 가능하지만, 이를 수행 시 발생하는 3D 프린터의 적층 모델링과 그 후속 가공 공정 간의 통합에 따르는 열변형, 프린터의 정밀도 및 공정 시스템간의 독립적 구동 좌표 문제 등을 해결하기 위하여 전, 후 가공 공정 시스템을 인터넷 클라우드에 기반을 두어 통합하는 방식을 제안한 연구[14] 등이 소개된 바 있다. 클라우드컴퓨팅 기반의 NC 포스트프로세서 구축을 위한 융합 연구[33]도 존재한다.

2.7 인공지능

세계적으로 크게 이슈가 되고 있는 인공지능 기술은 다른 기술의 발전으로 더욱 현실에 가

갑게 실현되어 정보통신 분야뿐 아니라 유통, 제조 등 다양한 산업에 크게 영향을 끼칠 것으로 기대되며 국가 경쟁력을 결정하는 주요 기술로 인식되고 있다. 따라서 국내 R&D에서도 반드시 고려해야 할 기술이라 할 수 있는데, 많은 연구에서 아직까지는 데이터 분석을 위한 딥러닝 기술 활용의 형태 정도로 나타나고 있다.

임지연은 글로벌 인공지능 SW 기술 개발 동향에서 세계 주요국들의 정부 지원 및 글로벌 ICT 대기업들의 인공지능 연구개발 동향을 기술 분류 및 시장 분류에 따라 파악하였다. 세계 주요국들은 인공지능 기술에 적용할 대규모의 뇌 연구 및 새로운 패러다임의 컴퓨팅 기술 등 원천 연구개발을 시행하고 있다. 다른 한 편으로 일본은 자국의 경쟁력 있는 로봇 및 자동차 산업과 연계한 국가 주도 인공지능 연구개발 사업을 수행 중이다. 글로벌 ICT 기업들은 주로 인공지능 분석 SW 및 새로운 SW 플랫폼 기술을 개발하고 관련 서비스와 제품들을 시장에 내놓으며 새로운 시장 창출 효과를 기대하고 있는 것으로 파악되었다. 이와 같은 주요국 및 글로벌 ICT 기업들의 기술 R&D 사례 분석 결과를 바탕으로 한국의 인공지능 기술 R&D 전략수립이 가능할 것으로 기대된다[28].

3. 결론 및 추후 연구

본 연구는 스마트제조 또는 스마트공장의 기술 적용 사례 및 기술 동향 내용 있는 논문들을 수집한 후, 8대 스마트제조 기술 중 사물인터넷, CPS, 3D 프린팅, 빅데이터, 클라우드 기술과 인공지능, 로봇이 제조업의 주요 핵심활동에 활용된 사례들을 정리하였다. 연구논문으로 나온

것들만 정리하였고, 기업들이 발간하는 사례들은 고려하지 않았다. 논문화 과정에서 상호 검증된 사례들에서 제시된 기술과 연구 대상 및 연구 전략들은 스마트제조 관련 핵심 기술 연구자들에게 스마트제조 선진화 목표를 이루어 가는데 어떻게 기여를 해야 할 것인가에 대한 아이디어를 제공할 수 있다. 향후 스마트공장 구축과 지원을 고려하고 있는 기업과 정부 관계자, 핵심 기술 연구자들과 핵심 기술을 적용하여 제조 프로세스를 선진화하고자 기업 간의 협력을 어떻게 해야 할 것인지에 대하여 고민하는 연구자들에게 작은 도움이 될 수 있을 것으로 기대한다.

추후 개별 연구들의 구체적인 내용과 텍스트 마이닝 등을 통해 동향을 파악하는 연구와의 정합성 등을 확인할 필요가 있고, 국외 연구와의 통합적인 분석을 통해 정확한 시사점을 제시할 필요가 있다.

References

- [1] Ahn, G. and Hur, S., "Survey on Cloud Manufacturing: Focusing on the Operational Process," Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, Vol. 43, No. 6, pp. 422-434, 2017.
- [2] Chang, T. and Yang, H., "Latent semantics analysis of research papers on smart factory", ICIC Express Letters, Vol. 11, No. 4, pp. 899-904, 2017.
- [3] Choi et al., "A study of Big-data analysis for relationship between students," Jour-

- nal of Information and Security, Vol. 16, No. 5, pp. 87-93, 2016.
- [4] Choi, Y. and Choi, S., "A Study on the Factors Influencing the Competitiveness of Small and Medium Companies Applied with Smart Factory System," *Information Systems Review*, Vol. 19, No. 2, pp. 95-113, 2017.
- [5] Heo, H. and Song, J., "Artificial Landmark based Pose-Graph SLAM for AGVs in Factory Environments," *Journal of Korea Robotics Society*, Vol. 10, No. 2, pp. 112-118, 2015.
- [6] Hwang et al., "Analysis of IoT Usage in Korean Key Manufacturing Industries," *The Journal of Society for e-Business studies*, Vol. 21, No. 4, pp. 81-93, 2016.
- [7] Hwang, D. and Kim, J., "Low-weight Secure Encryption Protocol on RFID for Manufactory Automation," *Journal of Information and Security*, Vol. 16, No. 7, pp. 173-180, 2016.
- [8] International Comparison of R&D Status of the Fourth Industrial Revolution Industry, Hyundai Research Institute VIP Report, No. 17-29, 2017.
- [9] Jeon, I. and Kang, S., "CPS-based Smart Factory Technology for Cyber-Physical Factory Interconnection," *Information and Communications Magazine*, Vol. 33, No. 11, pp. 8-15, 2016.
- [10] Jun, C., Kim, B., and Lee, J., "A Big Data Analysis Platform based on the Manufacturing Specialized Library: A Case Study on Implementation of the Platform for Quality Problems," *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol. 43, No. 5, pp. 380-387, 2017.
- [11] Jung, H., 3R in Industry 4.0, Proceeding on the 2017 Conference of the Korean Reliability Society, pp. 95-95, 2017.
- [12] Kang et al., "Development of Multi-Pass Automatic Welding Technology for Thick Plates using Small Robot," Proceeding on the 2017 Conference of the Korean Welding and Joining Society, 2015.
- [13] Kang, H. and Noh, S., "Research Trends of Main Smart Manufacturing Technologies," *IE Magazine*, Vol. 23, No. 1, pp. 24-28, 2016.
- [14] Kim et al., "A Study on Manufacturing System Integration with a 3D printer based on the Cloud Network," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 14, No. 3, pp. 15-20, 2015.
- [15] Kim et al., "Strength Analysis of LCD Transfer Robot Planetary Gear," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, No. 10, p. 66, 2017.
- [16] Kim, B., "A Internet of Things(IoT) based exploration robot design for remote control and monitoring," *Journal of Digital Convergence*, Vol. 13, No. 1, pp. 185-190, 2015.
- [17] Kim, J. and Jin, S., "A Design for Realtime Monitoring System and Data Analysis Verification TA to Improve the Manufacturing Process Using HW-SW Integrated

- Framework,” KIPS Tr. Software and Data Eng., Vol. 4, No. 9, pp. 357-370, 2015.
- [18] Kim, J. and Jin, S., “Information Visualization for the Manufacturing Process Optimization Based on Design of Experiment and Data Analysis,” KIPS Tr. Software and Data Eng., Vol. 4, No. 9, pp. 393-402, 2015.
- [19] Kim, J., “A Smart Home Prototype Implementation Using Raspberry Pi,” The Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences, No. 10, pp. 1139-1144, 2015.
- [20] Kim, J., Choi, S., Chi, S., and Yoo, K., “Visualization of Big Data Analysis Results Connecting to Database,” Journal of the Korean Society for Big data Service, Vol. 2, No. 1, pp. 1-10, 2015.
- [21] Kim, Y., “Innovation of Welding Process by IoT Technology,” Proceeding on the 2017 Conference of the Korean Welding and Joining Society, pp. 49-53, 2017.
- [22] Lee et al., “Big-data Analytics Solution for Smart Manufacturing,” IE Magazine, Vol. 23, No. 4, pp. 28-34, 2016.
- [23] Lee, E., “The Fourth Industrial Revolution and Changes in the Industrial Structure,” Information and Communications Policy, Vol. 28, No. 15, pp. 1-22, 2016.
- [24] Lee, H. and Oh, J., “Design and Implementation of a Small Server Room Environment Monitoring System by Using the Arduino,” Journal of the KIECS, Vol. 12, No. 2, pp. 385-390, 2017.
- [25] Lee, H., “Embedded System Framework and Its Implementation for Device-to-Device Intelligent Communication of Manufacturing IoT Device considering Smart Factory,” Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, Vol. 27, No. 5, pp. 459-465, 2017.
- [26] Lee, W., “Governmental policies of science and ICT in response to the Fourth Industrial Revolution,” Proceeding on 2017 Fall conference of the Korean Institute of Surface Engineering, 2017.
- [27] Lee, Y., “Development of Smart Garden Control System Using Probabilistic Filter Algorithm Based on SLAM,” Journal of the KIECS, Vol. 12, No. 3, pp. 465-470, 2017.
- [28] Lim, J., “Global R&D Trend and Challenges in Artificial Intelligence SW,” The Journal of Korean Institute of Next Generation Computing, pp. 33-46, 2016.
- [29] Noh, S. and Kim, Y., “Optimization Model for the Mixing Ratio of Coatings Based on the Design of Experiments Using Big Data Analysis,” KIPS Tr. Comp. and Comm. Sys., Vol. 3, No. 10, pp. 383-392, 2014.
- [30] Noh, S., “Smart Factory and Cyber-Physical System Technology,” Information and Communications Magazine, Vol. 33, No. 11, pp. 3-7, 2016.
- [31] Park et al., “Design and Manufacturing of the hand orthosis using 3D printing,” Proceeding on 2016 Conference of the Korea Society of Manufacturing Tech-

- nology Engineers, p. 1, 2016.
- [32] Park, J., Lee, A., and Kim, T., "Implementation of High Speed Big Data Processing System using In Memory Data Grid in Semiconductor Process," J. Korea Inst. Intell. Transp. Syst., Vol. 15, No. 5, pp. 125-133, 2016.
- [33] Ryu, G., "Convergence Research for Implementing NC Postprocessor Based Cloud Computing," Journal of the Korea Convergence Society, Vol. 7, No. 1, pp. 17-23, 2016.
- [34] Shin, D., Human-centered Robotics: A New Concept for Manufacturing Robots, Proceeding on the 2014 Conference of the Korean Society for Precision Engineering, 2014.
- [35] Son, J. and Lee, K., "A Study on Factors Affecting Intention to Introduce 3D Printing in Manufacturing Area," Proceeding on 2015 Spring Conference of the Korea Society of Management Information Systems, pp. 63-68, 2015.
- [36] Yoon, J. and Park, T., "Trends and prospects of Manufacturing innovation by CPS and IoT Technologies," Information and Communications Magazine, Vol. 33, No. 11, pp. 23-28, 2016.
- [37] Yun, H. and Kim, H., "Circuit fabrication development technology by using a 3D printing Jetting Technology," Proceeding of 2016 Fall Conference of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, p. 75, 2016.

저 자 소 개



박종경 (E-mail: pjkyoung@naver.com)
 1987년 전남대학교 화학공학과 (학사)
 1989년 서울대학교 화학공학과 (석사)
 2010년 서울대학교 산업공학과 (박사)
 1987년~1996년 아모레퍼시픽
 1996년~2002년 삼성SDS
 2012년~2016년 한양사이버대학교 겸임교수
 2018년~현재 경기대학교 지능정보융합제조연구센터 책임연구원
 관심분야 스마트공장, PLM, MES, ERP, 제조혁신



장태우 (E-mail: keenbee@kgu.ac.kr)
 1995년 서울대학교 산업공학과 (학사)
 1997년 서울대학교 산업공학과 (석사)
 2004년 서울대학교 산업공학과 (박사)
 2002년~2007년 한국전자통신연구원 연구원/선임연구원
 2007년~현재 경기대학교 산업경영공학과 교수
 관심분야 스마트공장, 물류/SCM, 시스템분석