

[그림 1] 수평적 가치 네트워크

※ 출처: Kagermann et al. 2013

들에 의해서 정의되는 스마트 팩토리의 개념을 살펴 보면 다음과 같다. 독일연구재단(German Research Foundation)의 지원으로 설립된 엑셀런스 넥서스 센터(Center of Excellence Nexus)는 스마트 팩토리 라는 용어를 처음 사용한 기관 중 하나이다. Bauer et al.(2004)는 제품의 개인화 정도가 높은 자본재를 생산하는 공장의 생산성과 유연성을 높이기 위하여 현재 시점의 정확한 정보를 바탕으로 상황을 인지 하여 공장을 운영할 수 있는 넥서스 플랫폼(Nexus Platform)을 제시하였다. 이후, Lucke et al.(2008)은 상황의 인지를 통하여 작업을 수행하는 사람과 설비 에 도움을 줄 수 있는 공장을 '스마트 팩토리'라 정의 하였다. 특히, 물리적 세계(Physical world)와 디지털 화 된 가상의 세계(Virtual world)로부터 정보를 활 용하여 작업을 수행할 수 있음을 설명하였다.

스마트 팩토리에 대한 이와 같은 관점은 독일 의 국가 하이테크 비전 2020의 일환인 인더스트리 4.0(Industrie 4.0)에서도 살펴볼 수 있다. 인더스트리

4.0은 스마트 팩토리를 명확히 정의하고 있지는 않지 만, 개개인의 소비자 요구를 만족시키기 위하여 [그림 1]과 같이 단 하나의 공장이 아닌 여러 기업들 간의 동적인 비즈니스 프로세스와 네트워크가 구현되어 야 하며, 가상-물리 시스템(Cyber-physical System) 이 사용될 수 있음을 설명하고 있다. 이를 통해 새로 운 가치와 비즈니스 모델을 개발하고, 사회가 당면한 문제를 해결해야 함을 논의하고 있다(Kagermann et al. 2013). 미국의 대표적인 표준화 기관인 NIST (National Institute of Standards and Technology) 는 변화하는 수요와 공장, 공급망, 소비자의 요구 상 황을 만족시키기 위하여 실시간으로 반응하는 완전 히 통합된 협력적 제조시스템을 '스마트제조'라 정의 하고 있다. 이와 같이 스마트 팩토리에 대한 의미는 하나의 지능화된 자율적인 공장에서 소비자에게 제 품을 제공할 수 있는 공급망 또는 공장의 자원을 상 호간에 공유하여 다양한 소비자의 요구에 대응하기 위한 공장의 네트워크로 확대되어 가고 있다.

<표 1> 인용 관계 분석

구분	핵심 연구 지역	주요 연구 내용
인용 연결 그룹 1	중국	생산 모니터링과 스케줄링을 위한 RFID와 멀티에이전트(Multi-agent) 기반의 지능형 의사결정 시스템
인용 연결 그룹 2	미국	정치적, 경제적 관점의 조망 스마트 팩토리 도입 프로세스를 촉진하기 위한 정부와 민간의 노력
인용 연결 그룹 3	유럽	스마트 팩토리 기술을 위한 테스트베드 운영적 관점에서의 스마트 팩토리의 구현 방법

<표 2> 핵심어 분석

구분	핵심어	주요 연구 내용
핵심어 그룹 1	실시간, 무선 기술 생산과 에이전트	센서, RFID, 사물인터넷 등의 기술을 이용한 실시간 공장 데이터 수집과 이를 통한 제조 공정 운영 및 관리
핵심어 그룹 2	RFID, 지능형 생산 시스템과 실시간 생산	다품종 제조로 불확실성과 복잡성이 증가하는 제조 시스템을 운영하기 위한 RFID 기반의 실시간 제조 실행시스템
핵심어 그룹 3	지능형 생산, 온톨로지와 멀티 에이전트	환경의 변화를 스스로 진단하고, 적응하고, 개선해나가는 자율형 공장 과 지능형 에이전트들 간의 의사결정
핵심어 그룹 4	스마트 생산, 클라우드 컴퓨팅, 클라우드기반 생산과 지속가능성	클라우드기반의 시스템을 활용하여 서로 다른 조직들이 협업하고, 자원의 공유를 통하여 지속가능한 제조 환경을 구성
핵심어 그룹 5	최적화, 유연 생산, 스케줄링과 시뮬레이션	높아지는 제품의 개인화 수준에 대응하기 위한 동적인 단기 공급망 스케줄링과 에너지 비용 절감을 고려하는 생산 최적화

## 2.2 연구 동향 분석

Strozzi et al.(2017)이 최근 발표한 스마트 팩토리 개념에 대한 문헌 연구 결과는 여러 시사점을 제시해주고 있다. 그들은 지난 10년간 출판된 462편의 저널과 학술발표 논문을 분석하였다. 인용 네트워크 분석(Citation Network Analysis)을 통해 논문의 인용 관계를 살펴보았으며, <표 1>은 세 가지 주요 인용 관계를 보여준다. 논문들의 주요 인용 관계를 살펴보면 크게 중국, 미국, 유럽의 세 지역의 연구로 구분되며 인용연결 그룹별로 서로 다른 특성이 있음을 확인할 수 있다. 첫 번째 그룹의 경우는 중국이 중심이며, 주로 공장의 지능형 의사결정을 지원하기 위

한 개별적인 기술에 관한 연구에 집중하고 있는 것을 알 수 있다. 두 번째 그룹은 미국이 중심으로 구성되어 있으며, 스마트 팩토리의 도입과 확산을 위한 동인에 대한 연구가 많이 이뤄짐을 알 수 있다. 유럽에 비해서 스마트제조에 대한 정부의 지원이 늦게 이뤄지고, 민간주도의 연구가 진행되고 있는 상황을 보여주고 있다. 마지막으로 세 번째 그룹은 유럽 중심이며 스마트 팩토리를 위한 테스트베드 등을 통하여 스마트 팩토리 구현을 위한 실질적인 노력을 하고 있음을 알 수 있다.

Strozzi et al.(2017)은 어떤 핵심어가 논문에서 같이 사용되었는지를 분석하고 이를 다섯 개의 그룹으

로 분류하였다. 각 그룹의 핵심어와 주요 연구 내용은 <표 2>와 같다.

첫 번째 그룹과 두 번째 그룹은 모두 RFID 등의 무선 통신 기술을 이용하여 실시간으로 데이터를 수집하고, 생산 운영의 의사결정을 보다 지능적으로 빠르게 수행하는 제조 시스템을 추구한다는 점에서 매우 유사하다. 세 번째 그룹은 멀티에이전트 기술을 활용하여 변화를 자율적으로 인식하고 스스로 반응하여 작동하는 자율형 공장을 추구하고 있다. 네 번째 그룹은 여러 공장의 네트워크 또는 공급망 관점에서 협력적이고 효율적인 제조 시스템을 만들어가기 위한 연구를 수행하고 있다. 마지막 그룹은 두 번째 그룹과 동일하게 점점 개인화되는 제품을 효율적으로 생산하기 위한 방법을 논의하고 있으나, 제조 실행 시스템의 관점보다는 운영 관리의 관점에서 최적화 방법들을 연구하고 있다.

### 3. 스마트 팩토리 네트워크

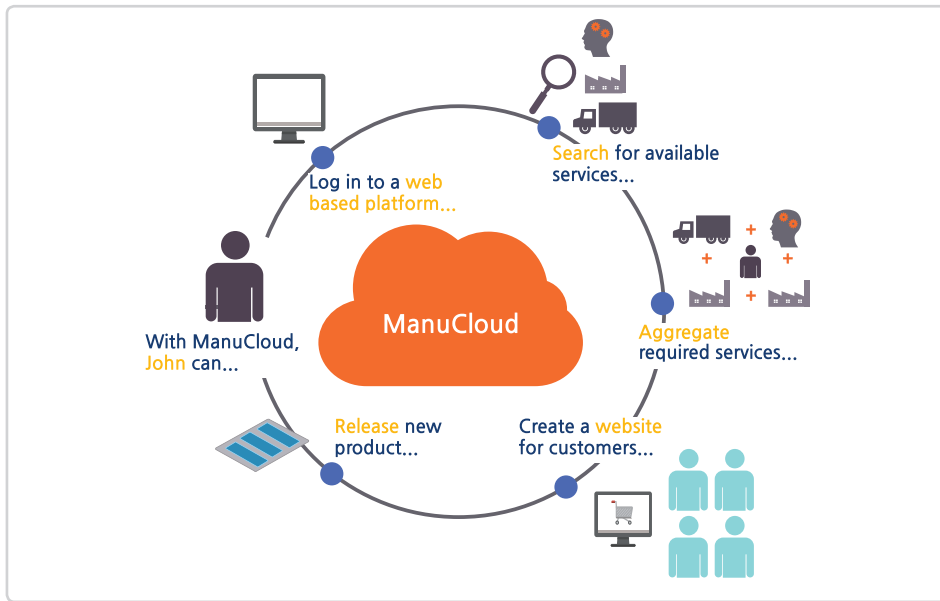
스마트 공장에 대한 개념과 연구 동향을 살펴보면, 하나의 독립적인 스마트 팩토리를 구성하기 위한 연구로부터 여러 공장이 연결되어 있는 스마트 공장의 네트워크 또는 원자재부터 완제품, 소비자로 연결되는 스마트 공급망 관점으로 확대되어가고 있음을 알 수 있다. 이와 관련된 용어로는 네트워크 제조(Networked Manufacturing), 클라우드 제조(Cloud Manufacturing), 스마트 공급망(Smart Supply Chain) 등이 대표적이다. 네트워크 제조는 글로벌화와 인터넷의 발달로 인하여 사용되기 시작된 다소 오래된 용어로, 지리적으로 떨어져 있는 기업들이 인터넷을 기반으로 함께 자원을 공유하고 협력하여 경쟁력을 높이려고 하는 데 목적을 두고 있다. 네트워크 제조의 개념을 바탕으로 클라우드 컴퓨팅 환경과

서비스의 관점을 포함하여 새롭게 제시된 개념이 클라우드 제조이며, 스마트 공급망은 기존의 전통적인 공급망에 대응되는 관점에서 사용되는 용어라 할 수 있다.

클라우드 제조에 관한 연구를 조금 더 살펴보면 다음과 같다. 클라우드 제조란 소비자에게 비용을 받으면서 컴퓨팅 리소스를 제공하는 클라우드 컴퓨팅의 서비스 개념을 제조 서비스 영역으로 확장한 것이다. Xu(2012)는 공유 가능한 제조 리소스(예: 제조 소프트웨어 도구, 제조 설비, 제조 역량 등) 풀에 접근할 수 있는 유비쿼터스하고 편리한 수요 맞춤형 네트워크를 제공하는 모델로 설명하고 있다. 단순히, 제조를 지원하는 전사적 자원관리시스템이나 공급망관리시스템 등의 소프트웨어를 클라우드 환경에서 제공하는 것이 아니라, 실제 제조 장비와 역량까지도 서비스로 제공하는 것이다. 소프트웨어만을 제공하는 클라우드기반의 서비스를 SaaS(Software as a Service)라 칭하며, 제조 리소스를 제공하는 것을 MaaS(Manufacturing as a Service)라고 부르기도 한다.

클라우드 제조의 대표적인 사례로는 유럽에서 진행된 ManuCloud 프로젝트가 있다. [그림 2]는 ManuCloud의 개념과 프로세스를 소개하고 있다. 다양한 지역에 분산되어 있는 제조에 필요한 다양한 종류의 리소스를 공유하고, 소비자는 클라우드 환경에 접속하여 필요한 만큼만 제조 리소스를 사용하는 방식이다. 제조 설비를 소유하지 않고도 소비자가 원하는 제품을 만들 수 있고, 만든 제품을 판매할 수도 있다. 이와 같은 서비스 기반의 클라우드 제조를 위해서는 제조 클라우드 운영자, 공유 가능한 제조 관련 자원, 제조 자원을 사용하는 이용자가 함께 협력하게 된다.

이러한 제조 방식은 다품종 소량 생산을 넘어 개



[그림 2] ManuCloud의 개념


※ 출처: Youtube - ManuCloudProject

인화된 제품을 생산하는 데 매우 적합하다. 또한, 제조에 필요한 역량을 모두 갖추고 있지 못한 중소기업에게도 도움이 될 수 있다. 특히, 최근에는 다양한 디자인의 제품을 출력할 수 있는 3D 프린팅 기술이 발전함에 따라 클라우드 제조에 3D 프린터를 활용하는 노력을 하고 있다. 3D 프린터는 재료만 동일하다면 하나의 장비에서 다양한 디자인의 제품을 출력해 낼 수 있기 때문에, 개인화된 제품을 효과적으로 생산할 수 있는 클라우드 제조는 더 큰 장점을 발휘할 수 있다. 최근 한국에서는 개인화 제조를 위한 스마트 팩토리화 클라우드기반의 개방형 제조 서비스 플랫폼인 FaaS(Factory as a Service)가 제시되었으며, 대전, 광주, 안산, 대구 4개 지역에 스마트 팩토리를 구축하여 활용하고 있다. 독일에서는 add2log 프로젝트를 통하여 간헐적으로 발생하는 예비부품들을 효과적으로 생산하고 신속하게 운송해주기 위한 클라우드 제조기반의 소프트웨어 플랫폼을 개발하고 있다.

#### 4. 맺음말

스마트 팩토리는 4차 산업혁명의 핵심 요소이다. 본고에서는 스마트 팩토리의 개념과 연구 동향에 대해서 살펴보고, 네트워크 관점에서의 스마트 팩토리의 개념과 사례를 설명하였다. 특히, 스마트 팩토리에 적용되는 개별 기술보다는 네트워크에 연결된 스마트 팩토리를 운영하기 위한 다양한 노력들을 포함하여 설명하였다. 지난 10여 년간 진행된 연구를 살펴보면, 개별 공장에서 수집된 실시간 데이터를 활용하는 지능화된 자율형 공장으로부터, 스마트 팩토리가 연결된 환경에서의 운영 체계 및 최적화로 연구가 확장되어 진행되고 있음을 확인할 수 있었다.

스마트 팩토리에 관한 이야기를 하면, 흔히들 스마트 팩토리에 적용되는 개별적인 기술들을 우선적으로 생각하고 논의하곤 한다. 하지만 기술은 스마트 팩토리를 작동하기 위해 활용하는 도구에 불과하며,

적용되는 기술은 얼마든지 바뀔 수 있다. 따라서, 스마트 팩토리들이 연결된 환경에서 어떠한 기술이 필요하고, 어떻게 새로운 가치를 창출할 수 있는지에 대한 고민이 더욱 필요하다. 즉, 어떠한 문제를 해결하기 위하여 공장을 스마트하게 변화시키려고 하는지, 그리고 변화를 위해서 어떠한 기술이 필요한지 살펴보아야 할 것이다. 

#### [참고문헌]

- [1] Bauer, Martin, Lamine Jendoubi, and Oliver Siemoneit. 'Smart factory-Mobile computing in production environments'. In Proceedings of the MobiSys 2004 Workshop on Applications of Mobile Embedded Systems (WAMES 2004). 2004.
- [2] Lucke, Dominik, Carmen Constantinescu, and Engelbert Westkämper. 'Smart factory-a step towards the next generation of manufacturing'. In Manufacturing systems and technologies for the new frontier, pp. 115-118. Springer, London, 2008.
- [3] Kagermann, Henning, Wolfgang Wahlster, and Johannes Helbig. 'Securing the future of German manufacturing industry'. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4 (2013).
- [4] National Institute of Standard and Technology, 'Smart Manufacturing Operations Planning and Control', [http://www.nist.gov/el/msid/syseng/upload/FY2014\\_SMOPAC\\_ProgramPlan.pdf](http://www.nist.gov/el/msid/syseng/upload/FY2014_SMOPAC_ProgramPlan.pdf) (Accessed 20 December 2015).
- [5] Strozzi, Fernanda, Claudia Colicchia, Alessandro Creazza, and Carlo Noè. 'Literature review on the 'Smart Factory' concept using bibliometric tools'. International Journal of Production Research 55, no. 22 (2017): 6572-6591.
- [6] Xu, Xun. 'From cloud computing to cloud manufacturing'. Robotics and computer-integrated manufacturing 28, no. 1 (2012): 75-86.