

# 기술추월을 위한 미래제조시스템

글 \_ 김덕영, 김남훈 \_ UNIST(울산과학기술대학교) 디자인 및 인간공학부 \_ dykim@unist.ac.kr

## 1. 서론

오늘날의 제조 산업은 대량 생산, 대량 맞춤 등의 양과 자동화(Quantity & Mass) 중심의 제조산업에서 인간의 가치와 개성을 중요시하는 제조산업으로 변화하는 추세이다. 값싸고 질 좋은 제품을 짧은 시간에 많이 만들 수 있으면 무조건 일등이 되던 시대는 사라지고 있다. Apple사의 iPhone과 Dyson의 진공청소기의 성공이 기존의 제조 패러다임의 변화를 반영하고 있다.

과거의 생산성 및 품질향상을 목표로 하는 기계중심의 제조 시스템의 경우 짧은 시간에 값싼 제품을 생

산하기 위하여 효율적인 자동화/무인화 장비 및 운영관리시스템 개발을 제조 혁신 방향으로 간주하였다. 이와 같은 제조공정에서는 인간을 생산 시스템의 부품 정도로 취급하였으나, 미래의 제조 시스템은 인간과 기술의 가치를 극대화하는 방향으로 발전하여야 한다. 즉, 제품의 품질과 생산성 향상만이 성공을 결정하는 요인이 아니라, 고객의 만족과 생산노동력의 가치를 동시에 배가시킬 수 있는 것이 미래 제조 산업의 방향으로 제안되고 있다.

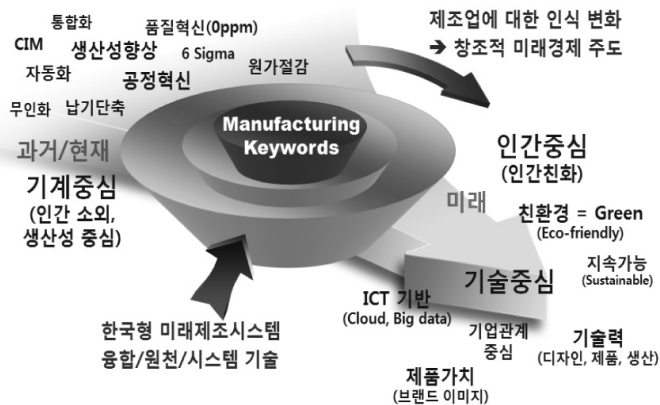


그림 1. 제조산업혁신을 위한 키워드의 변화

## 2. 기술추월을 위한 제조산업혁신의 필요성

지속적인 국내 제조산업 발전을 위해서는 제조 및 제품 설계와 관련하여 신속한 기술 추월을 통한 초일류 제품 생산을 위한 전략이 필요하다. 국내 제조 기업은 단기간 괄목할 만한 제조혁신을 통해 상대적으로 품질 좋은 제품을 생산해내고 있지만 독일 및 일본 등과 비교하여 아직도 미묘한 기술력의 차이를 보이고 있다. 이러한 2% 부족한 차이는 BMW, Porsche, GE와 같이 초일류 기술력의 기업이 수십 년에 걸쳐 쌓아온 기술 노하우를 신속하게 추월 및 더 나아가 독주하기 위해서는 정보통신기술(ICT)기반의 스마트 제조 시스템 개발이 필요하다. 그러나 한번 설치된 제조 시스템의 경우 그 특성상 변경이나 재 설치가 쉽지 않다. 그러므로, 구축된 제조 시스템의 life cycle을 극대화하여 지속 가능한 시스템을 구축하기 위해서는, 근본적인 제조시스템의 최적설계, 시스템 모니터링을 통한 공정 제어 및 system adjustment 기술, 새로운 공정의 적용이나 제품의 생산을 위해 기존의 제조 시스템을 최대한 활용하여 최소의 비용으로 제조 시스템을 reconfiguration 기술 등이 필요하다. 이를 위해 제조 시스템 및 사용되는 제품의 정확한 모니터링을 통

해 발생한 문제의 근본원인을 적시에 파악하고, 최적의 대응전략을 수립하고, 더 나아가 제조 시스템을 지속적으로 진화시키는데 활용되는 기반 기술 개발이 필요하다.

단기간에 기술선진국이 가진 설계 및 생산기술을 추월하여 초일류 제품을 생산하기 위한 전략기술은 위그림에서 보이는 바와 같이 설명할 수 있다. 크게 설계-제조-서비스 세 단계로 제품의 생애주기를 고려할 때 제품이 출시되어 사용되는 서비스(use & service) 단계가 시간적으로 가장 길기 때문에 이때 습득되는 제품의 운용정보를 적극적으로 활용할 수 있는 기술이 필요하다. 즉, 제품운용 및 품질 문제 정보가 생산이력 및 품질 검사정보와 통합되어 분석될 수 있어야 하며, 더 나아가 설계 정보와도 결합되어야 한다. 이와 더불어, 단계간의 정보의 공유 및 해석, 단계 내에서의 해석 기술이 필요하다. 세부적으로는 설계 단계에서의 해석 기술의 경우 시뮬레이션, 모의가공, 캐소조형 기술 등이 있고, 제조단계의 해석 및 최적 대응기술은 공정 모니터링 및 예지보전, 자가재구성 생산시스템, 증강생산, 스마트 MES 기술 등이 있다. 또한 서비스 단계의 경우, 원격 진단 및 유지관리 기술 등이 있다.

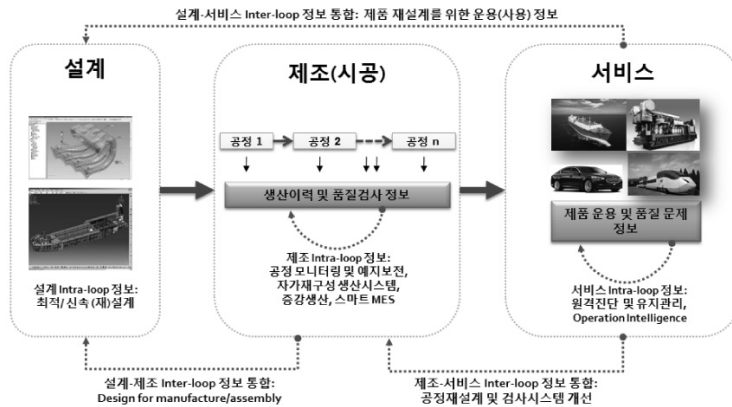


그림 2. 제품생애주기 및 결합원인 분석

## 2.1 결함 원인 분석 및 신속재설계 기술

일반적인 제품의 성능 또는 품질 문제의 원인으로 는 근본적으로 제품의 설계가 잘못되었거나, 생산단계 에서 잘못 만들어진 경우(Out-of-tolerance), 또는 사용 자의 부주의, 오작동 및 제품 조작시의 환경 변수 등 으로 인한 결함들을 예로 들 수 있다.

대표적으로, 2009년 말부터 2010년 초까지 세계 제 1의 자동차 업체인 도요타는 자동차의 안전에 중요한 가속 페달, 실내바닥매트, 그리고 브레이크 시스템 등 의 오류로 수많은 차량을 리콜하였으며, 고장 원인을 적시에 찾지 못하는 일련의 사태는 도요타 자동차 신 리도에 막대한 악영향을 미쳤다. 이외에도, 제품 성능 에 대한 불만 및 결함으로 수리서비스센터에 맡겨지 는 많은 경우는 비록 고장 난 부품을 교체 및 수리해 주더라도, 문제의 근본적인 원인이 무엇인지 알 수 없 는 경우가 대부분이며, 따라서 동일한 문제가 같은 모 델의 제품에 발생할 확률이 매우 높다.

이러한 원인을 찾기 힘든 제품고장으로 발생한 기 업의 막대한 비용(warranty cost) 손실 및 기업 이미지 의 추락은 다기능, 고품질을 요구하는 글로벌 경쟁시

대에 제조업체의 경쟁력을 저하하고 더 나아가 제조 업체 의 존재를 결정할 만큼 영향력이 크다. 따라서 문 제의 원인이 무엇인지 명확하게 알아내고(Fault diag nosis), 신속히 조치(Self-resilient & rapid redesign)를 취하는 것이 아주 중요하며 이를 위한 필요 기술로는 1) 결함원인 분석 기술 및 2) 신속재설계 기술 등이 있다.

### 2.1.1 결함원인 분석기술

정확한 고장 진단을 방해하는 요인 중 하나는 제품 설계 단계, 생산 단계, 그리고 제품 사용(서비스) 단계 간의 이종 데이터(Heterogeneous data)를 관리할 수 있 는 통합된 시스템의 부재이다. 또한 하나의 제품은 하 나의 OEM에서 개발 및 생산, 관리되는 것이 아니라 OEM 및 공급자(Supplier), 판매 서비스자(Service centre)의 공조를 통해 관리되어야 하며, 따라서 이를 통 합할 수 있는 센서 네트워크 기반의 제조 시스템 및 제품 의 모니터링 및 Fault detection 기술이 필요하다.

자가 진단(Diagnostics - fault isolation) 및 치료(Self-healing) 모듈의 경우, 기존의 전통적인 Failure Mode

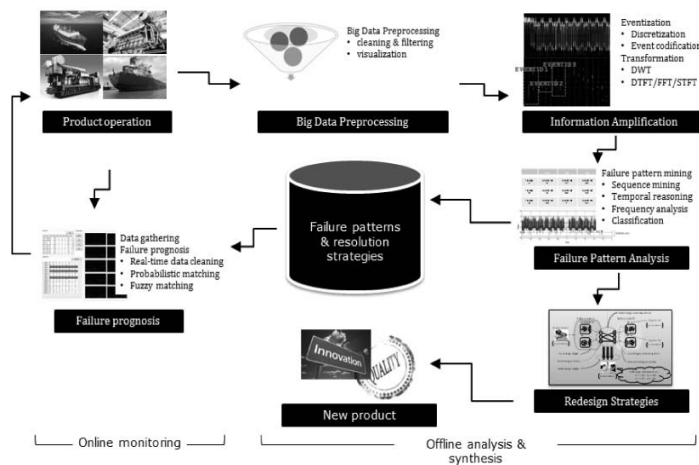


그림 3. 결함분석을 통한 고장예방 및 신속재설계 흐름

Effect Analysis 및 각종 통계기법 (예: 요인분석)의 응용으로 해결하기 힘든 고장 진단을 위해 필요하다. 전통적인 FMEA의 경우 제품 개발 시에 방대한 양의 Fault Tree를 구축하여 제품의 고장 발생 시 이미 구축되어 있는 Fault tree를 역추적하여 고장의 원인 및 그 대응방안을 통계적인 기법 등을 이용하여 찾는 방식이다. 그러나 NFF(No-Fault-Found) Failure의 경우 그 고장 원인이 일반적으로 Fault Tree에 등록되어 있지 않거나(Unknown) 너무 많은 고장 코드의 발생(Indiscernible)으로 실제 주원인이 어느 것인지 판단하기 어렵다. 또한 통계적인 기법을 이용하기 위해서는 충분한 양의 필드데이터가 가정되어야 하나, 대부분의 경우 제품 출시 후에 수개월 이내(제품 개발단계에서 예측하지 못한 고장)에 고장이 발생하며 이에 대한 고장 진단 및 신속한 대처방안을 갈구 하기 위해 자가진단 및 치료와 같은 새로운 방법론이 절실히 필요하다.

이와 더불어 결함을 일으키는 여러 상황패턴을 결합 라이브러리 형태로 저장하여 동일 결함 발생을 사전에 경고 및 회피할 수 있도록 도와주는 상태 예측 바탕의 제조 시스템 관리 및 고장예방(Prognosis)기법의 개발도 필요하다.

## 2.1.2 신속 재설계 기술

제품 설계 및 그 생산과정이 복잡해짐에 따라, 제품을 구성하는 서브시스템, 부품, 생산 프로세스 간의 예측(Simulation)하지 못한 상호작용(Functional interaction)이 발생하게 된다. Dell 컴퓨터와 같이 최근에는 제품 설계에 있어 고객이 직접 제품의 필요 사항을 구성할 수 있으며 이는 제품 설계 변수를 증가시켜 개발 및 테스트 시에 충분한 검증을 할 수 있는 기회를 줄어들게 만들고 사전에 예측 및 대응 방안을 준비하지 못했던 상호작용(Unexplored interaction)은 결국 출시된 제품의 결함 발생 확률을 높이게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 1) 제조 정보의 재활용 극

대화 기술, 2) 제조시스템의 신속변경 기술, 3) 제품 재설계를 위한 Design change propagation network, 4) 재설계를 위한 최적의사결정 모델 및 5) 운영관리(O&M) 정보와 설계정보 통합 기술에 관한 연구가 필요하다.

## 2.2 증강 제조 기술

증강현실(Augmented Reality)이란 가상현실(Virtual Reality)의 한 분야로써, 현실세계와 가상의 체험을 결합하는 기술을 의미한다. 실제 환경에 가상 사물을 합성하여 원래의 환경에 존재하는 사물처럼 보이도록 하는 컴퓨터 그래픽 기법으로써 사용자가 현실세계를 바탕으로 가상의 물체와 상호작용하게 됨으로써 향상된 현실감을 제공할 수 있다. 이를 기반으로 한 증강 제조 기술은 가상 및 실제 제조환경을 동기화하여 가상 제조 기술에 대한 실제 환경으로의 즉시 적용과 실제 환경 정보에 대한 가상 환경으로의 즉시 활용을 통한 제조기술 적용을 의미한다. Chrysler, BMW, 도요타 등의 경우, 현업에서 차량을 생산할 때 프로토타입을 제작하지 않고, 컴퓨터만을 이용해서 설계/시험/설비/제작을 수행하는 Protoless 기반 생산 기법을 도입하여 제품개발 기간 단축에 기여하고 있다.

이러한 증강 제조 기술 도입을 위해서는 아래와 같이 증강 제조 환경 모델링 기술, 제품/공정 설계, 검증, 분석을 위한 증강 기술, 증강 제조 시뮬레이션/모니터링 기술 및 증강 제조 인터랙티브 기술 등이 필요하다.

### 2.2.1 증강 제조 환경 모델링 기술

제품, 공정, 설비 및 공장 또는 그의 일부를 실제 상황과 비교 가능할 수 있도록 모사 및 가시화하는 기술로써 기업의 협업 관계 및 물류의 흐름을 분석하여 AR/VR에 모사함으로써 실제상황과 비교 가능한 환경을 구축하거나(증강제조 환경 네트워크 설계), Factory 내부의 설비 구성도 및 공정의 흐름을 3D로 모델링하여 실제 환경에서 비교/분석을 지원(증강제조



Factory 레이아웃 설계)에 적용될 수 있다.



그림 4. 증강현실 기술 기반의 Factory 레이아웃 설계의 예

### 2.2.2 제품/공정 설계, 검증, 분석 증강기술

제품 설계, 검증, 분석 증강기술은 제품의 설계도를 가상의 환경에 가시화하고 관련제조 기술, 지식 및 친환경 제품정보를 융합함으로써 신속하고 편리한 제품의 설계, 검증, 분석을 지원하는 기술이다. 이는 제품의 설계도를 3D 렌더링하여 HMU(Holographic Mock-up)모델로 구현, 설계 시 발생하는 문제점을 직관적으로 도출하고 해결을 가능하게 해 줄 뿐만 아니라 AR/VR 환경에서 제품의 품질 및 서비스를 평가하고 3D설계도와 1:1맵핑 및 구조 분석을 바탕으로 제품의 분석을 지원하는 기술이다.

공정 설계, 검증, 분석 증강 기술의 경우는 공정 설계를 AR/VR기술로 가시화하고 시뮬레이션을 바탕으로 필요한 Component를 도출하여 최적의 공정 설계를 지원하고 공정 설계를 재사용하기 위한 지식시스템을 구축하는데 이용될 수 있다. 이 외에도 AR/VR로 전환된 실제 공정의 레이아웃과 공정 데이터를 이용하여 공정의 효율성 및 워크로드 등을 분석, 결과에 따라 대안을 AR/VR에서 제시, 공정의 각 component 상태 정보를 실시간으로 제공하며 component 성능 비교, 교체 비용, 교체 후 효과 등을 증강 현실로 제공함으로써 의사 결정에도 사용될 수 있다. 즉, 새로운 공정의 설계, 기존 공정의 분석 및 검증을 위한 가상의 공정 흐름을 실제 환경에 투사시킴으로써 현장의 변화를 직관적으로 예측하여 즉시 반영할 수 있는 기술이다.



그림 5. 증강현실 기술을 통한 차체 충돌 실험



클리핑 평면을 이용한 간섭 검증(가상물체의 일부가 손실됨)

그림 6. 증강현실 기술을 통한 공정 검증의 예

### 2.2.3 증강 제조 시뮬레이션/모니터링 기술

증강 제조 시뮬레이션 및 모니터링 기술은 제조현장의 상황을 즉각적으로 컴퓨터 상에 표현하고 미래상황의 예측(시뮬레이션) 결과를 실시간으로 반영함으로써 제조기업의 생산성 향상 및 효율 극대화하는



그림 7. 광산산업 훈련 시뮬레이터

지원 기술을 의미한다. 이러한 기술을 이용할 경우, 실제 공정의 레이아웃과 공정 데이터를 AR/VR로 전환하여 실제 환경에 실시간으로 시뮬레이션을 행할 뿐만 아니라 제조 현장의 상황과 설비, 인적, 물적 자원 및 생산량 등의 정보 및 성능 지표를 실시간으로 증강현실에 제공할 수 있다.

### 2.2.4 증강 제조 인터랙티브 기술

제조지식 및 친환경 정보의 실제 현장정보와의 중첩 표현 기술과 사용자와의 인터페이스(H/W 및 S/W) 기술로써 AR/VR 기술을 실제 제조환경에 구현하기 위한 장비 및 인터페이스를 제공할 뿐만 아니라 증강 제조 H/W를 지원하는 메커니즘 및 알고리즘과 증강 제조 환경 구동 S/W 개발, 증강제조 객체를 실시간으로 인식에 이용할 수 있다.

### 2.3 자가 재구성 제조시스템 기술

현재 전 세계적으로 지능형 생산시스템 및 제조시스템의 자가재구성에 대한 관심이 급속하게 증가하여 활발한 연구가 진행 중이다. 오늘날 정보기술(IT) 환경을 기반으로 하는 지능형 생산시스템의 핵심 기술 개발 동향은 기존의 생산시스템 운용을 위한 S/W 연동 중심의 기술개발에서 점차 생산시스템 내 H/W에 직접 S/W를 탑재한 하이브리드(Hybrid) 통합 지능형 생산시스템으로의 기술 개발로 진행되고 있다.

자가재구성 제조시스템이란 새로운 정보, 전자, 제어, 요소 기술 등을 이용하여 생산시스템의 지식화·최적화·효율화를 추구하고, 구성요소간 유기적 연계성과 유연성을 부여하여 자율적 변화·성장을 통해 다양한 시장요구에 신속하게 대응할 수 있는 생산시스템을 의미한다. 자가재구성능을 갖는 제조시스템은 장비의 도입·이동·고장 등 생산현장의 환경변화에 대해 작업자의 개입을 최소화하고 시스템이 능동적·자율적으로 대응하여 원활한 제품생산 유지 및 단기 신

제품 생산에 신속한 대응이 가능하다. 이러한 자가 재구성 제조시스템 기술 개발을 통해서 신제품의 계속 생산 지원을 위한 재구성이 가능한 자율적 지능형 분산 제조 시스템을 구축하는 것이 목표이다.

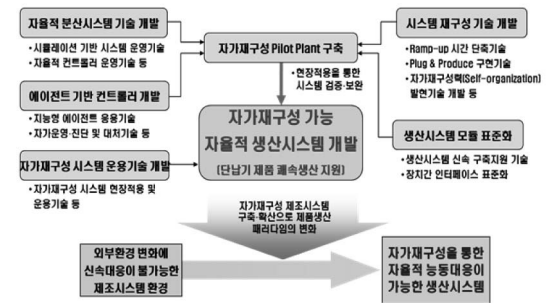


그림 8. 자가재구성 생산시스템 기술 개발 전략

자가 재구성 제조 시스템 개발을 위해서는 하나의 생산라인에서 다양한 모델의 신속한 제품생산 지원을 위한 자가 재구성능을 갖는 자율적 분산 제조시스템 구축이 필요하며 이를 통해 하나의 생산라인에서 다양하나 모델의 제품을 신속하게 생산이 가능한 제조 패러다임 변화에 대응이 가능해 질 것이다. 또한 제조 현장에서의 신제품 개발기간 단축, 품질향상, 제조공정의 불량률 감소 지원 등을 위한 지식 기반의 자가 재구성 제조 시스템 운용 기술 역시 개발되어야 한다.

### 2.4 스마트 제조실행시스템(Smart MES) 기술

Smart MES(Manufacturing Execution System) 기술은 제조기업의 제조현장에 대한 정보 수집 및 제어를 실시간으로 수행할 수 있도록 하는 S/W 인 제조실행 시스템(MES)의 효과적 적용 지원을 위한 기술이다. Smart MES의 도입하게 되면, 전문가에 의해서만 실행되던 제조공정 분석과 MES 기능추출을 간단한 프로세스 모델링의 실시를 통해 제조공정을 분석하고 자동으로 분석된 정보를 바탕으로 제조공정에 알맞은 MES 기능을 추천 받을 수 있다. 뿐만 아니라, 복잡한

제조공정을 제조프로세스 모델링 도구를 이용해 정확하게 분석 및 정의하고 정보의 정형화를 위해 분석된 정보를 온톨로지(특정 대상에 대해 사람들이 세상에 대해 보고 듣고 느끼고 생각하는 것에 대하여 서로 간의 토론을 통하여 합의를 이룬 바를 개념적이고 컴퓨터에서 다룰 수 있는 형태로 표현한 모델로 개념의 타입이나 사용상의 제약조건들을 명시적으로 정의한 기술) 구조로 자동으로 변환하는 모델을 통해 제조공정의 공정정보 온톨로지를 구축하고 사전에 정의해 놓은 MES의 기능 온톨로지와 매칭시켜 제조공정에 최적화된 MES 기능을 검색할 수 있다.

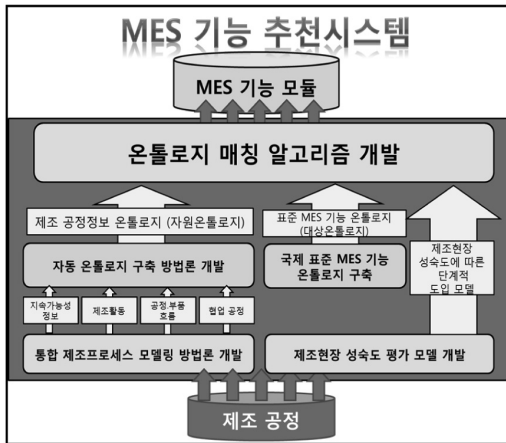


그림 9. MES 기능 추천 시스템 개념도

이러한 Smart MES기술은 1) 기업의 공정별, 수준별 맞춤형 MES 구성이 가능한 S/W Configuration, 2) 실시간 제조정보 수집을 위한 ICT 기반의 H/W 지원 및 인터페이스 기술, 3) 제조기업 현황 분석을 위한 통합 제조프로세스 모델링 및 정보연계 기술, 4) 적용 대상 제조기업의 현황에 최적인 MES 기능의 자동 추천 기술 및 5) MES 기능 자동 추천을 위한 온톨로지 탐색 및 매칭 기술로 구성된다.

## 2.4 제조엔지니어링 지식서비스 클라우드 플랫폼 기술

국내 생산제조 부문 아웃소싱 전문기업인 씨엔엘의 경우, '맞춤형 제조도급 서비스'로 통칭되는 제조도급 서비스를 제조품목, 기업규모 및 내부환경 등에 따라 도급 방향 및 절차 등을 해당 기업의 상황에 맞게 특화 하여 사용하고 있다. 또한 Amazon S3 Service의 경우에는 자체 서버와 스토리지를 보유하기 어려운 소규모 기업이나 개발자들을 대상으로 Amazon의 컴퓨팅 인프라를 이용해 그 기능을 구현토록 하는 클라우드 컴퓨팅 서비스를 제공하고 있다.

이러한 시스템을 가능하게 해주는 기술이 제조지식 통합 서비스 기술이며 기존의 정보를 어떻게 시스템이 분석하여 지식으로 활용할 수 있는냐에 대한 질문의 대안으로 제시되고 있다.

제조지식 통합 서비스 기술은 아래의 그림과 같이, 정보·통신 기술을 활용하여 제조지식을 생산하고 소비하는 제조지식 생태계를 구축함으로써 자생적 지속가능성을 확보하고 제조 경쟁력을 향상시키는 기술이며, 이에 이용되는 제조 지식이란 제품의 설계 및 연구개발, 공정설계, 제품생산 등에 관한 전주기적인 엔지니어링 정보를 의미한다.

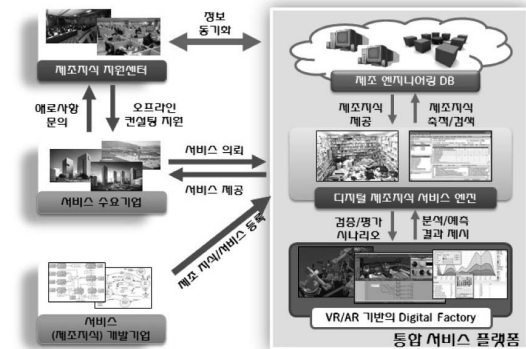


그림 10. 제조지식 통합 서비스 플랫폼 개념도

제조엔지니어링 지식서비스 클라우드 플랫폼기술을 개발하기 위해서는 제조지식 디지털 콘텐츠화, 지능형 제조지식 검색, 제조 지식 오픈 마켓 구축과 같은 제조지식 통합 서비스 기술과 제조 클라우드 인프라 기술, 제조 클라우드 S/W 플랫폼 기술, 제조 클라우드 서비스 기술 등과 같은 제조 클라우드 컴퓨팅(Manufacturing Cloud Computing; MCC)기술에 대한 연구가 중요하다.

### 3. 기대효과

앞 서 제시된 기술들의 개발을 기반으로 앞으로는 제품 설계, 제품설계, 공정 및 생산정보, 그리고 더 나아가 제품이 사용/운용되는 모든 정보를 ICT기반의 정보 플랫폼을 통해 언제 어디서든지 쉽게 공유되어 명실상부한 설계-제조-서비스의 정보네트워크 구축이 가능할 것이다.

또한, 공유 수집된 제품 및 생산정보의 해석, 신속 재구성이 가능한 생산시스템, 오류를 최소화해 줄 수 있는 증강제조 기술 등을 통해 다른 경쟁국가들 보다 제품성능의 문제점에 대한 솔루션을 효과적으로 찾을 수 있고, 고객의 요구에 민첩하게 대응할 수 있어, 신속하게 혁신제품을 시장에 출시할 수 있다. 이는 제조 시스템을 지속적으로 진화시키고, 신속하게 제품의 재설계를 진행할 수 있는 기반기술이 될 것이다.

궁극적으로는 기술선진국이 수십 년, 또는 길게는 백 년 이상 축적되어온 제품설계 및 생산기술의 신속한 추월 및 더 나아가 기술 독주를 할 수 있는 지속적인 진화형 (Continuous evolutive) 생산시스템을 구축하는데 많은 도움을 줄 수 있을 것이다.