

# 미래 제조시스템 구현을 위한 자가재구성 제조시스템과 스마트 제조실행시스템

글 \_ 류광열 \_ 부산대학교 산업공학과 \_ kyryu@pusan.ac.kr

## 1. 서 론

현재 제조산업은 과거 대량 생산, 대량 맞춤 중심의 제조산업에서 인간의 가치와 개성을 중요시하는 제조산업으로 그 패러다임이 점차 변화하고 있다. 과거의 값 싸고 질 좋은 제품을 짧은 시간에 만들 수 있으면 무조건 일등이 되던 시대는 사라지고 있으며, 고객의 만족과 생산노동력의 가치를 동시에 높일 수 있어야 살아남을 수 있는 시대가 된 것이다.

제조시스템의 개선 목적을 살펴봐도 과거와 앞으로 미래의 상황은 달라야만 한다. 현재 또는 과거의 제조시스템 개선의 목적은 주로 생산성 및 품질의 향상에 초점을 두고 있다. 제조시스템의 구성원인 작업자는 제조시스템의 부품 정도로 취급될 만큼 철저하게 기계 중심이 되어가고 있으며, 짧은 시간에 값 싼 제품을 생산하기 위해 효율적인 자동화/무인화 장비 및 운영관리시스템 개발이 제조 혁신의 방향으로 간주되어 왔다. 그러나, 앞으로의 제조시스템 개선의 목적은 인간 및 기술의 가치를 극대화하는데 중점을 두어야 한다. 즉, 인간 친화 제조시스템의 개발을 위해서는 고객 개개인의 특성을 고려한 제품생산과, 생산에 직접 참여하고 있는 노동력의 개인특성(인종, 성별, 등)을 고려한 적응형 제조시스템, 유해 위험감지 및 방지기술, 대피 시뮬레이션 기술 등 산업안전이 최우선이 되는 제조시스템, 인력간, 인력-자동화 시스템 간의

협업이 자유로운 제조시스템, 지속가능한 환경친화 제조시스템, 생산현장에서 종사하고 있는 노동자, 특히 청년층이 자부심을 느낄 수 있을 만큼의 제조환경, 노령화 시대에 장년층도 쉽게 공장에서 일할 수 있는 제조시스템 등에 대한 구현에 힘써야 한다.

또한 기술력의 가치를 극대화하기 위한 기술 중심의 제조시스템 개발에도 박차를 가해야 한다. 국내에서 연구 개발되고 있는 생산자동화솔루션(예: 산업용 제어시스템, 자동화기기, 가공장비, 운영관리 솔루션 등)이 향후 급속도로 중국, 인도 등의 신흥 제조강국에도 보급될 것이며, 이 때는 이러한 자동화 솔루션을 효과적으로 이용할 수 있는 엔지니어와 자동화 솔루션으로도 대체할 수 없는 공정에 필요한 오랜 기간 축적된 숙련공의 노동력이 제조업의 성패를 결정짓는 요인이 될 것이다. 세계 경제 위기 이후, 독일의 경제가 미국보다 빠르게 회복 중이며, 이는 독일 GDP의 25%나 차지하는 하이테크 기술 중심의 제조업(특히, 고품질/고부가가치 제품) 덕분인 것으로 보인다.

현재는 다양하고 시공간적으로 분산된 정보와 제조 자원들이 사용되는 현장과 다품종 생산 및 단납기 달성이 요구되는 시장 변화에 대응할 수 있는 제조시스템 구축 환경 및 지원기술의 개발이 요구되고 있다. 제조업체들은 세계시장에서 생존하기 위해 높은 유연성과 생산성, 그리고 낮은 생산비용을 동시에 만족시

킬 수 있는 생산시스템을 원하고 있는 것이다. 현재의 제조시스템은 과거에 비해 급변하는 주변의 상황에 빠르게 대처하여야 제조기업으로 하여금 시장 경쟁력을 확보하고 수익을 창출할 수 있다. 제조시스템은 예기치 못한 시장 환경의 변화, 고객 요구의 다양화 및 개성화, 빠른 기술의 변화, 제품 수명의 단축 등에 대처해야 하며, 제품의 고품질화 또한 동시에 달성해야 하는 기술조건을 필요로 한다. 또한 외부 환경의 변화에 신속하게 대응하면서 고객의 요구에 부합하는 고부가· 고품질 제품의 빠른 시간 안에 생산하기 위해서는 제조시스템 자체가 능동적이고 지능적이어야 한다.

제조시스템 운영의 극대화를 위해 제조기업은 다양한 제조지원시스템(Manufacturing Support Systems)을 활용하고 있다. 특히 국내 중소 제조기업의 정보화 수준은 낮은 단계에 머물러 있으며, 현재 다수의 기업이 전사적자원관리(ERP; Enterprise Resource Planning) 솔루션을 활용하고 있다. 제조기업은 이러한 ERP를 통해 자재 및 생산계획에만 머물러 않고, 제조현장의 직접적인 모니터링 및 실시간 제어를 위해 향후 급속한 제조실행시스템(MES; Manufacturing Execution Systems)의 확산이 이루어질 전망이다. 정보화 수준이 낮은 국내 중소 제조기업으로의 빠른 MES 확산 및 보급을 위해서는 이와 관련된 다양한 기술의 개발이 필수적이다.

본 논문에서는 미래에 개발되어야 할 스마트 미래 제조시스템 구현을 위한 핵심 도약기술의 일환으로 자가재구성 제조시스템(Self-reconfigurable Manufacturing System)과 스마트 제조실행시스템(Smart MES) 기술을 소개하고자 한다. 각 기술에 대한 필요성 및 주요 필요기술에 대한 논의를 함으로써 관련 연구자로 하여금 Insight를 갖게끔 하고자 하며, 이러한 기술 개발은 향후 우리나라 중소 제조기업으로 하여금 제조 경쟁력을 확보하는데 일조할 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 우리나라 제조산업의 문제 및 대응 방안

### 2.1 우리나라 제조산업의 현황 및 당면 문제

우리나라 제조업은 1970년대부터 2011년까지 연평균 10.5%의 성장률을 보이고 있으며, 제조업의 성장 기여도는 2.5%로 전체 성장에서 33% 이상을 기여하고 있다. 특히, 제조업 중 전기전자, 석유화학, 운송장비 부분에서 높은 성장 기여도를 보이고 있다. UN의 통계를 따르면 지난 40여년간 세계 180여개 국가 중 국내 제조업의 성장속도는 5위를 차지하였으며 GDP 규모는 2010년 기준 세계 7위를 차지하고 있다.

우리나라 제조산업은 중국 및 동남아 신흥개도국의 급속한 추격에 따른 가격 경쟁력이 점차 낮아지고 있으며, 일본 정부의 무제한 양적 완화와 함께 제조업 부활 정책으로 위기가 더해지고 있다. 2011년 기준 우리나라의 노동생산성은 OECD 회원 34개국 중 23위를 차지하였으며 노동 시장의 유연성이 부족하고, 고령화 및 청년 구직자의 제조업에 대한 거부감이 더해져 점차 제조업의 발전에 저해가 되는 요소가 많아지고 있다. 1983년 이후, 국내 연구개발투자의 80% 이상이 제조업에서 이루어지고 있으며 2011년 기준 국내 제조업의 R&D 투자액은 33.4조 원으로 전체 R&D 투자액 38.2조 원의 87.5%를 차지하고 있다.

세계적으로 보았을 때, 제조업 부문의 비중은 하락세를 보이고 있으며 GDP 규모는 8,700억 달러에서 10조 달러로 늘었지만 전체 GDP에서 제조업이 차지하는 비중은 27.7%에서 17.8%로 낮아졌다. 이러한 추세는 제조업에서 생산되는 재화의 상대가격이 다른 부문에 비해 낮기 때문인 것으로 판단된다. 그림1에서 볼 수 있는 바와 같이 세계 경제에서 제조업이 차지하는 비중은 1970년대에 17.6%에서 2010년대 18.1%로 서비스업에 비하여 낮은 비중을 차지하는 것으로 나타났다.

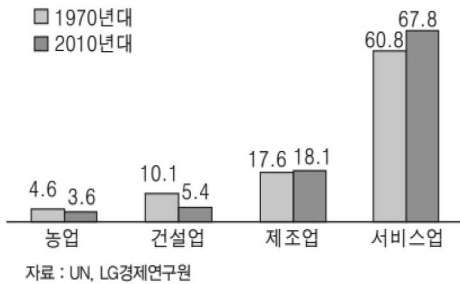


그림 1. 세계 경제에서 각 산업의 비중

전세계 제조업 추세로는, 미국과 유럽은 회복세를 보이고 있으나 우리나라, 중국을 비롯한 대부분 아시아 지역은 저조한 양상을 보이고 있다. 세계 경제 위기 이후 독일의 경제가 미국보다 빠르게 회복 중이며, 이는 독일 GDP의 25%나 차지하는 제조업(특히, 고품질/고부가가치 제품) 때문인 것으로 볼 때 미국 보다는 독일 등의 유럽 국가의 제조업 활성화 정책을 유심히 살펴봐야 할 것이다. 특히 우리나라는 IT 강국으로 불리우고 있지만 이러한 IT 기술력 점수는 2005년에 가장 높았었고 이후 미국에 추월당하는 상황이 되었다. 구체적으로 말하자면 우리나라의 IT 기술력 점수는 2005년 8.70에서 2013년 8.12로 급격히 하락한 반면 미국은 동기간 8.68에서 8.59로 소폭 하락하였고, 이에 비해 일본의 IT 기술력 점수는 2000년 5.72에서 2013년 8.10으로 꾸준히 개선되어 결국 우리나라의 IT 경쟁력은 더 이상 두각을 나타내기 어려운 실정이 되었다.

우리나라 제조산업은 활성화를 위한 방향 설정에 있어 여러 문제가 있다고 볼 수 있다. 높은 실업률에도 불구하고 제조업 내 전문 숙련 노동자를 구하지 못하는 현실과 더불어 산학연계 직업훈련제도로 제조 전문가를 육성하고는 있으나 사회적 요인으로 전문 노동력 이탈이 점차 심화되는 현상이 발생하고 있다. 이는 제조업에 대한 사회적 인식 및 처우가 미약하거

나 제조업 근무 환경 및 직업의 안정성 면에서 타 산업에 비해 떨어지기 때문이다. 노동 시장의 해외 이전 또한 가속화 되고 있으며 제조 경쟁력의 심각한 저하, 부가가치의 서비스 편중이 심화되는 것 또한 이러한 기조에 일조하고 있다. 특히 2011년 기준 우리나라의 노동생산성은 OECD 회원 34개국 중 23위를 차지할 만큼 저조하며, 고령화 및 청년구직자의 제조업에 대한 거부감과 비정규직 문제로 인해 더욱더 심각한 사회 문제가 발생하고 있다. 우리나라는 해외 제조강국과 수출시장에서 점유율 확보를 위한 정부의 정책 개선과 기업의 노력이 부진한 실정이며, 중국과 같은 신흥 제조강국에 대한 경쟁력 확보를 위한 핵심·원천 기술 확보를 위한 장기적인 투자 계획이 미흡한 실정이다. 또한, 기술인력 확보를 통한 제조기업 생산성 안정화 및 품질 향상이 어려우며 신규 인력 고용 및 유입 수준 역시 국내 제조산업의 경쟁력 확보 및 성장에 부정적인 영향을 미치고 있다.

## 2.2 자가재구성(Self-reconfigurable) 제조시스템 기술 개발의 필요성

자가재구성 제조시스템은 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. 이러한 자가재구성력을 갖는 제조시스템은 장비의 도입·이동·고장 등 생산현장의 환경변화에 대해 작업자의 개입을 최소화하고 시스템이 능동적·자율적으로 대응하여 원활한 제품생산 유지 및 단납기 신제품 생산에 신속한 대응이 가능하다. 자율적 지능형 분산 제조시스템인 자가재구성 제조시스템 개발을 위해서는 다음과 같은 사항이 연구되어야 한다(그림2 참조).

- 하나의 생산라인에서 다양한 모델의 신속한 제품생산 지원기술 개발
  - \* 자가재구성 지원을 위한 분산생산시스템 구조 개발
  - \* 신제품의 빠른 출시지원으로 기회비용 및 브랜드 가치상승 등 무형적 가치상승을 위한 개방형 컨트롤러 및 분산 생산시스템 구축
- 지식기반 자가재구성 제조시스템 운용기술 개발
  - \* 모듈형 생산장비 및 기존 생산장비를 제어할 수 있는 개방형 제어장치의 설계 및 개발
  - \* IT/UT 및 에이전트 기술 기반의 재구성형 생산시스템을 구축·운용하기 위한 공통 기반기술 및 핵심 요소기술 개발
  - \* 제조현장에서의 신제품 개발기간 단축, 품질 향상, 제조공정의 불량률 감소 지원을 위한 시스템 기술 개발

우리나라 경제성장의 견인차 역할을 하는 제조업의 발전을 위해서는 제조시스템 기술의 확보가 중요하며 특히 주력 제조업의 지속적인 성장을 위해서는 제조시스템 원천기술 확보가 반드시 필요하다. 이에 대한 일환으로, 최근 급변하는 외부 환경의 변화에 신속하

게 대응하여 시장경쟁력을 확보하기 위해서는 자가재구성 생산시스템 기술의 개발이 필요하다 하겠다. 이와 관련해서 미국의 National Research Council에 의해 수행된 “Visionary Manufacturing Challenges for 2020”에 관한 Delphi 조사에 따르면 미래 생산기술을 위한 중대 과제 중 재구성 생산시스템이 가장 중요성이 높은 것으로 조사되었다. 자가재구성 생산시스템 기술은 선진국도 많은 기술을 보유하고 있지 않으므로 국내 제조업의 혁신 및 제조시스템의 기술 선점이 가능한 분야이다. 선진국의 제조시스템을 그대로 도입하는 것은 국내 제조업 발전의 한계로 작용하므로 자가재구성 제조시스템 개발에 대한 원천기술 확보가 반드시 필요하다.

### 2.3 스마트 제조실행시스템(Smart MES) 기술 개발의 필요성

스마트 제조실행시스템 기술은 제조기업의 제조현장에 대한 정보 수집 및 제어를 실시간으로 수행할 수 있도록 하는 S/W인 제조실행시스템(MES)의 효과적 적용 지원을 위한 기술을 말한다. 스마트 제조실행시스템은 MES의 도입 시 전문가에 의해서만 실행되던



그림 2. 자가재구성 제조시스템 개요 및 필요성

제조공정 분석과 MES 기능 추출을 간단한 프로세스 모델링의 실시를 통해 제조공정을 분석하고 자동으로 분석된 정보를 바탕으로 제조공정에 알맞은 MES 기능을 추천할 수 있다. 이는 복잡한 제조공정을 제조프로세스 모델링 도구를 이용해 정확하게 분석 및 정의하고 정보의 정형화를 위해 분석된 정보를 온톨로지(Ontology) 구조로 자동으로 변환하는 모델을 통해 제조공정의 공정정보 온톨로지를 구축하고 사전에 정의해 놓은 MES의 기능 온톨로지와 매칭시켜 제조공정에 최적화된 MES 기능을 추천함으로써 가능하다. 여기서 온톨로지란 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 기술을 말한다.

스마트 제조실행시스템 기술개발의 목적은 크게 두 가지로 볼 수 있다. 우선, 객관적이고 정량적인 MES 기능모듈 도출 방법을 제공하는 것이다. 제조프로세스 모델링을 통해 정확하게 분석한 제조공정 정보를 이용해 온톨로지를 구축함으로써 기존 MES 도입의 문제점인 소수전문가의 주관적이고 편협한 의견에 의해 발생하는 MES 기능설계 오류를 줄일 수 있다. 또한 온톨로지가 가지는 지식과 정보의 교환 및 공유의 개념을 사용하여 제조공정 정보 및 MES 기능에 관련된 전문가 지식을 온톨로지 구조화 시켜 MES 기능 도출 기준을 명확히 제시하고 전문가가 설계하는 것만큼 합리적인 기능 모듈을 자동으로 도출할 수도 있다. 또 다른 목적은 MES의 도입 비용과 시간을 단축하는 것이다. 제조프로세스 모델링을 통한 공정분석만으로 자동으로 제조공정 온톨로지를 구축하고 사전에 정의된 MES 기능 온톨로지와 매칭시켜 모듈화된 MES 기능을 제시해 줌으로써 MES 기능 설계 시간을 단축할 수 있다. 또한 전문가 지식에 의존하던 MES 기능 설

계를 제조실행시스템 설계지원시스템으로 대체함으로써 많은 비용 및 시간 소요를 감축시키고 MES 자체 개발을 위한 공정분석 및 설계도구로 활용도 가능하다.

앞 서 언급했듯이 우리나라 중소 제조기업의 정보화 수준은 대다수가 ERP 솔루션을 활용하고 있는 정도이다. 그러나 기업의 생산성을 높이고 글로벌 제조 경쟁력을 향상시키기 위해서는 빠른 MES의 확산 및 보급이 이루어져야 하며, 그와 관련된 기술개발이 진행되어야 한다. 현재 MES의 도입을 위해서는 주로 전문가의 컨설팅에 의한 기능 구성 및 개발, 도입이 이루어져 상당한 비용과 시간이 소요되며 이는 MES 확산의 걸림돌로 작용할 것으로 보이는데 특히 예산이 부족한 중소기업에는 더 큰 부담으로 작용할 것으로 판단된다.

통합 생산정보시스템의 중요한 연결시스템으로써의 MES 역할이 중요시 되면서 국내외 MES 제공업체들은 MES 기능을 확대하고 모듈화 및 통합 플랫폼 형태로 제공하는 전략을 구사하고 있다. 시장수요의 다양화, 물류비, 제조원가 등 복잡한 원가경쟁에서의 우위 유지, 제조물책임법과 탄소규제 등 법적 규제의 다각화에 대응하기 위해 불가피하게 확장되는 MES 기능 또한 소수 전문가들만으로 설계하기엔 많은 어려움이 존재한다. MES 도입 초기의 분석과 설계단계의 지연으로 인한 전체 MES 도입기간의 연장으로 전문가 초정 비용과 시간이 증가하며, 설치기간의 증가 및 재설계로 인해 부서 및 작업자의 갈등이 심화되는 결과를 야기 시킬 우려가 있어 많은 비용을 들인 MES 도입이 실패할 가능성 또한 증가하는 것이 사실이다. 따라서, 제조기업의 체계적 프로세스분석을 위한 분석 도구 및 MES 기능 설계에 관한 체계적 연구가 필요하다고 할 수 있다. 효과적인 MES의 설계를 위해 공정 및 부품의 흐름, 지속가능성, 협업공정 및 제조활동 등을 명확하게 정의하기 위한 제조프로세스 모델링 도구 개발이 시급하다. MES가 주로 도입되는 장

치산업 위주의 제조분야에서 설계 효율성에 대한 연구 및 MES 아키텍처에 대한 연구는 활발히 진행되고 있으나 MES 기능설계에 대한 연구는 전무한 상태라 할 수 있다. 실제로 MES의 효과적인 도입을 위해서는 도입 초기 단계인 공정분석 및 기능설계가 정확하게 이루어져야 하지만 현재 MES를 포함한 정보시스템의 기능설계는 컨설팅 방식에만 의존하고 있는 상태이므로 이에 대한 대책 마련이 필요하다고 할 수 있다.

### 3. 미래 제조시스템 구현 기술

#### 3.1 자가재구성 제조시스템 기술

자가재구성 제조시스템은 내부/외부의 환경 변화를 시스템이 자체적으로 감지하여 자가재구성 과정을 통해 제조시스템의 자율적 논리구조의 변화를 이룰 수 있는 미래형 제조시스템이라 할 수 있다. 가령, 제조시스템 내의 기계나 컨트롤러가 고장이 났다든지, 새로운 장비가 도입된다든지, 생산해야 하는 제품이 변경되어 시스템의 구성을 새롭게 해야 하는 등의 변화가 발생하였을 경우 자가재구성 제조시스템은 그

림 3에서 볼 수 있는 바와 같이 자율적 의사결정을 통한 논리적 제어구조의 변화를 수행하며, 그에 따른 작업의 분배 또한 자율적으로 수행하게 된다.

자가재구성 제조시스템과 관련해 이미 연구되어진 시스템 모델로는 IMS 국제협력사업을 통한 미국·일본·유럽 등 선진국이 참여하는 Holonic Manufacturing System (HMS), Biological Manufacturing System (BMS), 미국 국가과학기술연구지원기관인 NIST 지원-미시건대 주도로 Reconfigurable Manufacturing System (RMS), 그리고, Fractal Manufacturing System (FrMS) 등이 있다. 현재 전 세계적으로 지능형 생산시스템 및 제조시스템의 자가재구성에 대한 관심이 급속하게 증가하여 활발한 연구가 진행 중이다. 정보기술(IT) 환경을 기반으로 하는 지능형 생산시스템의 핵심 기술개발 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 있다고 파악된다. 선진국의 대표적 제조시스템 관련 전략 기술 및 기술 수준을 보면 표 1과 같다.

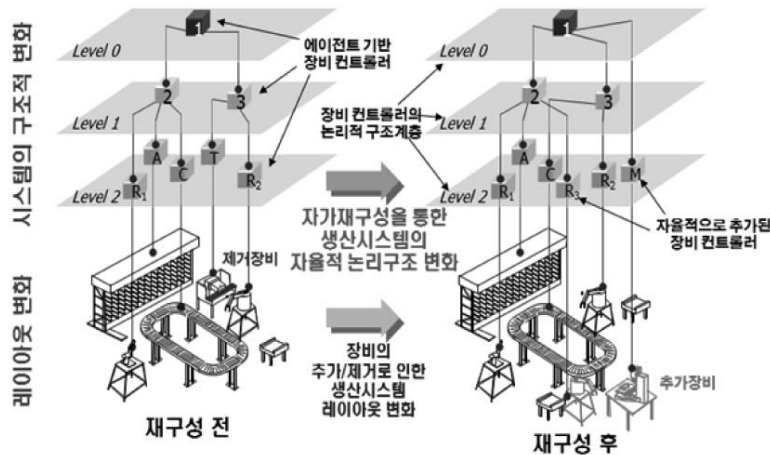


그림 3. 자가재구성 제조시스템의 구조 변화

표 1. 제조시스템 전략기술 및 기술수준

전략기술	세계1위국/기술개발기관	기술 수준
Autonomous Distributed Manufacturing System	일본/오쿠마	Agent 기반 분산형 제조시스템 구축
Agile Manufacturing	미국/Rockwell Automation	이기종간 효율적으로 단기간의 연계를 통한 다양한 형태의 라인구성을 지원하는 설비구성 가능
Intelligent CNC	일본/Fanuc	생산시스템을 구성하는 제어요소들 간 유연한 통합을 통하여 공작기계의 지능형 제어 가능
제조정보 통합 및 연동기술	미국/IBM	PDM 시스템(Enovia)
자율 생산시스템 구축 · 운용 기술	미국, 프랑스/IBM, 다쏘	3차원 기반 CAD 및 S/W 통합기술
제조장비 유연화 · 지능화 요소기술	일본/Mazak	지능형 공작기계 제조

자가재구성 생산시스템 개발을 위한 세부 기술개발 내용은 크게 두 가지로 정리해 볼 수 있다. 첫 번째로, 하나의 생산라인에서 다양한 모델의 신속한 제품생산 지원을 위한 자가재구성력을 갖는 자율적 분산 제조 시스템의 구축을 들 수 있다. 이를 위해서는 자가재구성(Self-organization) 지원을 위한 분산제조시스템의 구조 개발이 선행되어야 한다. 세부적인 연구 내용은 다음과 같다.

- 자가재구성력을 갖는 분산생산시스템 아키텍처 및 프레임워크 정의
- 자가재구성, 자율성, 적응성, 확장성 등 시스템 구성요소의 특성부여를 위한 기능 정의 및 특성 발현을 위한 생산시스템 운영 방법론 개발

또한, 신제품의 빠른 출시지원으로 기회비용 및 브랜드 가치상승 등 무형적 가치상승을 위한 개방형 컨트롤러의 개발 및 분산 생산시스템의 구축이 진행되어야 하며 이와 관련된 세부적인 연구 내용은 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 에이전트 기반 개방형 컨트롤러 제작 및 운영 기술 개발
- 원격 모니터링/진단/제어를 위한 웹기반 장비 · 설비 운용기술 개발
- 제조장비 · 설비와 제조 프로세스간 정보연계 및 동기화 기술 개발
- 자가재구성력을 갖는 생산시스템의 Pilot Plant 운용 · 검증 기술 및 핵심 산업 Field-Test

마지막으로 자가재구성 생산시스템의 구축 및 활용을 통해 제조 패러다임 변화에 대응해 나아갈 수 있어야 하는데, 이는 하나의 생산라인에서 다양하나 모델의 제품을 신속하게 생산할 수 있도록 지원하기 위한 다양한 서비스 지원기술을 개발함으로써 대응이 가능하다.

두 번째로, 지식기반 자가재구성 제조시스템의 원활한 운용을 위한 기술 개발이 이루어져야 한다. 이를 위해서는 모듈형 생산장비 및 기존 생산장비를 제어할 수 있는 개방형 제어장치의 설계 및 개발, 재구성형 제조시스템을 구축 · 운용하기 위한 공통기반 및

요소기술 개발, 제조현장에서의 신제품 개발기간 단축, 품질향상, 제조공정의 불량률 감소 지원을 위한 시스템 기술 개발 및 지속가능한 자가재구성 제조시스템의 목적 주도 프로세스 기술 개발이 이루어져야 한다. 여기서 말하는 목적 주도 (Goal-oriented) 프로세스 기술을 개발한다는 의미는 다음과 같은 세부 기술의 개발을 포함한다.

- 자가재구성 생산시스템의 목적주도(Goal-orientation)를 위한 Goal Model 개발
- 에이전트 기반 자가 학습형(Self-learnable) 기술 개발
- 자가재구성(Self-reconfiguration) 및 협업 관련 기술 개발
- 자가재구성 생산시스템의 지속가능성 확보 기술 개발

### 3.2 스마트 제조실행시스템 기술

MES는 가동 중인 생산라인에서 발생하는 데이터들을 실시간(Real-time)으로 수집하고 모니터링 하면서 사전에 정의되거나 변경된 생산계획대로 차질 없이 운영되도록 도와주는 시스템으로 정의할 수 있다. 이처럼 MES는 ERP, MRP (Material Requirements Planning) 및 POP (Point Of Production)와 같은 다양한 생산정보시스템을 하나의 시스템처럼 가상으로 통합하기 위한 중요 역할을 수행한다.

스마트 제조실행시스템의 개발을 위해서는 다양한 관련 기술이 개발되어야 하는데 이러한 필요 기술을 정리하면 다음과 같다.

- 기업의 공정별, 수준별 맞춤형 MES 구성이 가능한 S/W Configuration
  - \* MES의 다양한 지원 기능 개발 기술
  - \* MES S/W 모듈화 기술
- 실시간 제조정보 수집 위한 ICT 기반 H/W 지원 및 인터페이스 기술
  - \* 실시간 제조정보 수집을 위한 POP 장비 개발 기술
  - \* MES 기능과 제조현장 설비 및 센서 등과의 원활한 통신 위한 ICT 기반 H/W 지원 기술
  - \* 실시간 데이터 모니터링 및 DB 구축·관리 기술
  - \* MES 활용에 따른 제조정보 자동분석 위한 데이터·프로세스 마이닝 기술
- 제조기업 현황 분석을 위한 통합 제조프로세스 모델링 및 정보연계 기술
  - \* MES의 설계를 위해서는 기존 공정의 흐름뿐 아니라 부품 흐름, 에너지사용량, 지속가능성, 협업공정 및 제조활동 등을 명확하게 정의할 수 있는 모델링 및 분석 도구 개발 기술
  - \* 제조현장 수준에 맞는 MES 기능을 결정하기 위한 제조현장 성숙도 평가모델 개발 기술
- 적용 대상 제조기업의 현황에 최적인 MES 기능의 자동 추천 기술
  - \* 공정분석 및 제조현장 성숙도 평가 등을 통해 진단된 제조기업의 프로세스 온톨로지 구축 기술
  - \* 국제 표준에 맞는 MES 기능에 대한 온톨로지 모델 개발 기술
  - \* 온톨로지간 매칭 알고리즘 개발 및 이를 통한 MES 기능 자동 추천 기술
- MES 기능 자동 추천을 위한 온톨로지 탐색 및 매칭 기술
  - \* 온톨로지 모델 간 유사도 측정 기술
  - \* 유사도 기반 온톨로지 매칭 기술



2.3절에서도 언급했듯이 스마트 제조실행시스템은 제조공정의 공정정보 온톨로지를 구축하고 사전에 정의해 놓은 MES의 기능 온톨로지와 매칭시켜 제조공정에 최적화된 MES 기능을 추천하는 시스템이다. 제조기업의 공정을 명확하게 모델링하여 그 내용으로부터 필요 기능을 추출하는 과정이 진행된다면 다음과 같은 국제 표준 MES 기능모델에 대한 온톨로지 모델 구축이 이루어져야 하고, 이후 도출된 필요기능 모델과 표준 기능모델간의 매칭을 위한 다양한 알고리즘이 개발되어야 한다. 이후 매칭된 결과를 바탕으로 해당 제조기업에 필요한 MES의 기능을 우선 순위에 따라 제안해주는 시스템의 개발 또한 필요하다고 하겠다. 이러한 스마트 제조실행시스템의 개발을 위한 과정을 간단히 요약하면 그림 4와 같이 나타낼 수 있다.

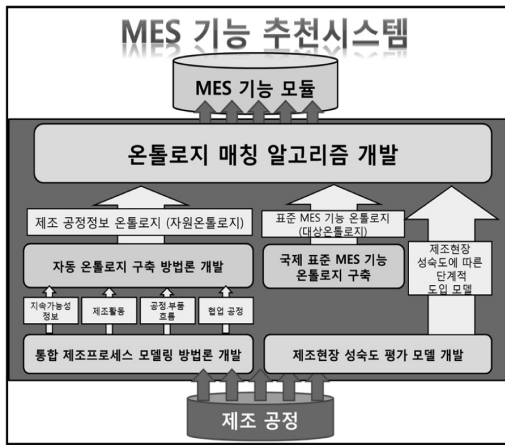


그림 4. 스마트 제조실행시스템 개발 과정

#### 4. 제안 기술 개발에 따른 기대 효과

자가재구성 제조시스템의 개발이 성공적으로 수행이 될 경우 기대할 수 있는 기대효과로는 우선, 제조시스템의 모듈화 설계·생산 기술의 적용대상 및 범위가 확대될 것으로 보인다. 공작기계 산업의 모듈화를 시작으로 반도체·전자부품 분야로 확대 적용하며,

신기술 융합형 제조장비 개발과정으로의 확산이 가능할 것이다. 지능형 제조시스템의 개발·적용 및 제조업의 부가가치 향상을 위한 다양한 기술개발을 통해 신제품 개발기간 단축, 제품 품질향상 등 가시적 성과가 확산될 것으로 기대된다. 또한, 자가재구성 가능 제조시스템의 적용업체 확대로 글로벌 제조경쟁력이 크게 향상될 수 있다. 지속적으로 변화하는 글로벌 고객을 상대로 신속한 신제품 개발 및 생산 지원을 통해 제품의 시장 도입시기 단축을 통한 시장 선점이 가능할 뿐 아니라, 디지털 컨버전스 경향에 부합하는 신기술 융합형 제품의 신속 생산지원을 통해 국내 신산업 성장의 육성도 가능할 것이다. 궁극적으로 자가재구성 생산시스템 원천기술 보유로 제조강국으로의 발판을 마련함으로써, 그동안 미국, 일본, 유럽 등 몇몇 선진국에서 주도해 오던 생산시스템 분야의 핵심 원천 기술을 확보할 뿐 아니라 세계 생산시스템 패러다임의 변화를 유도할 수 있을 것으로 기대된다.

스마트 제조실행시스템 기술의 활용방안 및 기대 효과로는 우선 제조프로세스 모델링 방법론과 제조성숙도 평가 모델을 활용함으로써 공정분석 능력과 성숙도 평가로 인해 제조현장에 시스템 도입뿐만 아니라 제조현장 혁신 및 컨설팅으로 인한 공정혁신 평가 도구로도 활용이 가능할 것으로 보인다. 제조프로세스 모델링 방법론은 제조공정 시물레이션으로 확장이 가능하며 기존 시물레이션 보다 제조공정을 현실적으로 표현하여 시물레이션 적합도가 높을 것으로 예상된다. 프로세스 모델 기반 온톨로지 구축 방법론은 프로세스 모델로 표현이 가능한 모든 데이터 구조 및 특정 영역에 대한 온톨로지 구축을 가능하게 하므로 메타데이터 온톨로지, 표현 온톨로지 및 업무 온톨로지 구축에 대한 연구로 활용이 가능하다. 이는 프로세스로 표현이 가능한 대표적인 연구 분야인 물류운영연구에 적용이 가능하며 물류운영에서 중요 쟁점사항인 이력 추적 및 운영 히스토리 관리에 대한 도구로 사용이

가능할 것이다. 스마트 제조실행시스템 개발을 위해 고안된 다양한 온톨로지 매칭 알고리즘은 정보검색 및 전자상거래 분야에 활용이 가능하며 거래 또는 비즈니스 프로세스 온톨로지에 매칭 알고리즘을 적용해 비즈니스 전략 수립에 도움을 줄 수 있을 것으로 예상된다. 이로서 다양한 시스템의 재설계 및 유지·보수를 적은 비용과 시간으로 가능케 할 것으로 예상된다. 또한, 제조기업에 대한 MES 기능 최적화와 비용 및 시간의 절감을 가능케 할 것으로 예상되며 MES 뿐만 아니라 ERP, MRP와 같은 다른 종류의 정보시스템 기능 설계로 확장 및 변환이 가능할 것으로 예상된다.