

◆특집◆ 지능형생산시스템

## 신(新)제조업과 지능형생산시스템

최병욱\*

### New Manufacturing and Intelligent Manufacturing Systems

Byung-Wook Choi\*

**Key Words** : 신제조업(New Manufacturing), 제조환경(Manufacturing Environment), 지능형생산시스템(Intelligent Manufacturing Systems), 국제IMS프로그램(International IMS Program), 지속가능생산시스템(Sustainable Manufacturing Systems), e-Manufacturing

#### 1. 서론

1990년대에 두 개의 주요 이니셔티브가 제조기업의 미래를 정의하는 기반을 제공하였다. 하나는 미국의 NGM(차세대생산)프로젝트이고, 다른 하나는 국제IMS(지능형생산시스템)프로그램이다<sup>1</sup>. NGM 프로젝트는 미국 국립과학재단의 지원 하에 미국의 산업계가 주도하여 제조업이 향후 2010년까지 국제적인 경쟁력을 갖추기 위해 취해야 할 단계적 조치들을 규명할 목적으로 실시되어 제조업의 미래에 대한 비전과 실천방안을 도출하였다<sup>2</sup>. 어떤 경우에는 경영과 노동력의 관행에 변화를, 어떤 경우에는 시스템과 장비에 새로운 표준을 적용할 것을, 어떤 경우에는 보다 간단한 제조공정을 이용할 것을, 그리고 어떤 경우에는 모든 것을 함께 시도해 보도록 제안하고 있으며, 상당수는 지금 당장 구현되고 있다.

국제IMS프로그램은 우리나라를 포함하여 세계의 7개 지역·국가들(한국, 일본, 미국, 캐나다, 호주, EU, 스위스)이 수행하고 있는 국제공동연구조직으로, 수주, 개발, 설계, 생산, 물류, 경영 등 각 부문이 각각

지능화되어 외적인 환경변화 등에 유연하게 대응할 수 있고, 국제적으로 호환성 있는 형태로 이들을 네트워킹에 의해 탄력적으로 통합하여 제조업의 전체적인 입장에서 가장 효율적인 생산시스템을 구축하는 것을 목표로 삼고 있다<sup>3,4</sup>.

한편, 21세기의 첫 20년은 급변하는 환경 속에서 제조관련 기존기술이 크게 향상하고 신기술이 출현하며 국경을 초월하는 제조환경이 조성되는 등 제조업계에도 큰 변화를 몰고 올 것으로 예측되고 있는 상황에서 국제IMS프로그램은 제조환경에 크게 영향을 주고 있는 요인들을 분석하고 프로그램의 장래 및 제조업의 장래는 어떠해야 할 것인가를 다각도로 검토하였으며<sup>5,6</sup>, 최근에도 미국에서는 제조업의 새로운 방향을 모색하는 모임을 갖고 있다<sup>7</sup>.

본 특집에서는 국제적 제조 환경의 변화와 근래에 새롭게 정의된 '신제조업'(New Manufacturing)의 특성을 알아보고 제조기술의 진보와 제조업의 진화과정에 큰 영향을 미치는 현존 기술 및 떠오르는 기술들을 조망한다. 또한 국제IMS프로그램에서 추구하는 지능형생산시스템(IMS)과 동 프로그램이 선정한 연구개발 우선영역이 최근의 제조시스템 개념(예: e-Manufacturing, 디지털제조시스템, 지속가능생산시스템)과 어떤 관계를 갖고 있는지 살펴본다.

\* 한국생산기술연구원 생산시스템본부 지능형생산시스템팀  
Tel: (041) 589-8291, Fax: (041) 589-8290,  
E-mail: bwchoi@kitech.re.kr  
지능형생산시스템 및 시스템제어 기술 분야에 관심을 두고 있으며, 국제IMS프로그램의 한국IMS사무국장을 맡고 있다.

## 2. 국제적 제조환경의 변화

### 2.1 사회·경제적 관점에서의 변화

환경친화적 제품을 개발/생산하고 지속가능 제조 공정을 운용하라는 사회적·법적 압력 및 고객들의 압력이 점증하고 있다. 제조업의 국제적 특성을 받아들인다면(예: 유럽에서 설계하고 아시아에서 제조·조립하여 미국에서 판매), 그러한 압력에 대해 어느 한 지역이 홀로 대응하는 것은 적절치 못하다. 수명주기 분석적 접근, 환경친화설계(제조 설계 또는 조립 설계와 구분), 수명이 종료된 제품에 대한 이슈, 지속가능 제조의 국제적 표준과 벤치마킹을 개발하기 위하여 역(逆)물류를 포함하는 회수시스템을 국제적 차원에서 연구해야 한다.

사회와 기업이 발전하고 경쟁하는 환경은 지식 사회와 새로운 경제현실(예: 전자상거래, 디지털 경제, 시장의 국제화 등)이라는 맥락 속에서 급격히 변화하고 있다. 노동시장의 변화하는 특성도 고려되어야 하고, 변화에 발맞춰 새로운 조직적 대응을 강화하고 지원하여야 한다. 생산 활동이 점점 더 자동화되고 있으며 아주 수준 높은 노동인력의 수요가 급격하게 증가하고 있으므로 지속적인 학습(교육)에도 많은 노력을 기울여야 한다.

### 2.2 산업 및 기술·시스템 관점에서의 변화

산업계는 저급기술에서 고급기술 생산으로 바뀌고 있다. 설계/생산은 비용효율, 품질, 안전성, 청결함의 전통적 요구사항에 더하여 더 높은 부가가치와 함께 더욱 더 라이프사이클 및 서비스 중심으로 되어가고 있다. 제품은 또한 더욱 복잡해져서 재료, 기계, 전기, 전자, 정보처리 그리고 서비스 관련 컴포넌트들의 혼합체로 구현되고 있다. 이것은 다양한 영역의 전문적 지식에의 접근이 산업적 성공에 필수적임을 의미하며, 여러 전문분야로 이루어진 통합팀의 운영 및 파트너간의 협력이 매우 중요하게 부각될 것이다.

기술과 시스템 관점에서 볼 때, 주류 기술과 시스템은 상대적으로 성숙되어 있지만 계속해서 조금씩 발전하는 속성이 있다. 이런 기술들은 에너지, 환경 보존, 재료, 운송, 커뮤니케이션, 기업경영 및 기타 영역에 영향을 미친다. 떠오르는(emerging) 기술과 통합되는(converging) 기술들은 아직 개발의 상대적 초기단계에 있는 기술과 시스템이지만, 향후 20년에 걸쳐 사회구조와 경제성장의 패러다임 변화를 일으키는 원동력이 될 것이다. 이런 기술들에는 대표적으로, 생물

공학(바이오센서, MEMS), 나노기술(마이크로머시닝, 생체의학장치, 전자부품, 마이크로머신), 무선 통신과 무선 전자상거래, 지능형시스템(진단 및 감시, 제어시스템) 등이 포함된다.

## 3. 신제조업의 등장과 대응전략

### 3.1 신제조업의 특성

위와 같은 제조환경의 변화는 '신제조업'(New Manufacturing)이라는 개념을 탄생시켰다. 원재료를 인간에게 유용한 물건으로 변형하는 행위를 전통적 개념의 제조업이라 할 때, '신제조업'은 제조(생산)만이 아니라 제품의 고안 및 유통까지를 망라하는 통합 시스템이라고 할 수 있으며 다음과 같은 특징을 지닌다<sup>6</sup>.

- 제품 및 프로세스 설계의 신속하고 지속적인 혁신
- 제품의 설계, 생산, 조립, 배분, 서비스에 있어 고도의 지식과 기술 집약
- 제품 '가치사슬'이라는 국제적 특징에서 오는 지식 공유에 대한 국제적 관점
- 시장기회 조사의 필요에 따라 설립·해결하는 협동적 파트너쉽(가상기업)
- 생산 공정 및 생산된 제품이 환경에 미치는 영향에 관한 인식 증대
- 정보통신기술을 이용한 정보기반서비스의 제품어의 통합과 사용이 종료된 제품의 원료 회수 문제와 같은 두 가지를 고려하여 만들어지는 확장제품
- 신기술(예: 제조공정과 제품에 큰 영향을 미칠 수 있는 생물공학과 나노기술)의 가용성 등.

### 3.2 신제조업의 대응 전략

신제조업에서는 앞에서 언급된 특성 외에도 표준의 필요성과 개방형 표준의 축진을 규명할 요구조건, 교육 및 훈련, 환경에의 관심, 그리고 인간과 시스템간의 인터페이스 등의 이슈에 대해서도 관심을 갖고 해결해야 한다.

또한 정보·지식자본·정보통신기술의 가치와 역할, 다른 조직과 문화간의 협력, 새로운 기술을 이용한 국제적 부의 창조 등을 고려해야 한다. 지식사회가 개인과 기업 그리고 사회에 도전하고 있으며, 산업계의 경우 이러한 도전이 지능형생산시스템(IMS)을 발전시키고 있는데, 이는 하드웨어와 소프트웨어에 관한 이슈는 물론 사람, 그리고 사람이 분석적·정서적으로 배우고 경쟁력을 발전시키며 지식을 창출·축적·공유하

는 방법에 대해서도 고려하고 있음을 의미한다.

제품개발이 가상제품개발로 발전하면서 다양한 종류의 지식을 필요로 하고 있다. 특히 기초적·경험적 지식, 재료·제품·공정 및 라이프사이클에 관한 지식, 정보통신기술 도구에 관한 지식, 그리고 국제 문화에 관한 지식이 포함된다. 이러한 상황에서, 산업계는 여러 전문분야가 연계된 연구에 더욱 신경을 쓰고 많은 파트너들과 협력할 필요가 있다. 대학과 기술개발 연구기관들은 단지 산업계 중심 프로젝트의 파트너가 아닌 두뇌집단이 되어야 한다.

제조업계는 생산 주도의 제품 생산자로서의 기존 역할에서, 혁신적이고 여러 면에서 혁명적인 설계·제조공정 개념을 지원하는 기술, 웹기반 정보통신기술 도구와 응용, 첨단운용시물레이션, 유비쿼터스 컴퓨팅과 같은 방법을 통하여 시장 주도의 경제와 소비자 중심 사회를 위한 네트워크 기반, 가상 및 지식 집약적 토털서비스·솔루션공급자로서의 새로운 역할로 진화해야 한다.

오늘날 사회의 발전과 부의 창조는 새로운 지식의 생산·개발과 밀접한 관련이 있으므로 높은 부가가치의 서비스가 제품 안에 포함되거나 제품과 관련이 되도록 해야 하며, 디지털경제는 교육을 잘 받고 계속적으로 기술을 갈고 닦은 기능 인력에 더욱 더 의존하게 될 것이므로 첨단 네트워크 기반의 학습과 인간·기계 사이의 수준 높은 의사소통시스템의 집중적인 이용을 가능하게 해야 한다.

#### 4. 신제조업을 위한 핵심기술

신제조업을 위해 떠오르는 기술, 기존 기술과 통합되는 기술, 현재 개발 중인 기술들 가운데 제조업의 면모를 일신할 만한 핵심기술로 선정된 제조기술들의 미래를 간략히 소개한다.<sup>1,8-10</sup>

##### 4.1 모델링, 시뮬레이션, 디지털공장 기술

제조업계는 소비자들의 요구사항을 인지하고 필요한 제품을 적절한 품질, 필요한 수량, 및 저렴한 가격을 유지하면서 효율적으로 생산해야 한다. 많은 분야에서 제품이 갈수록 복잡해지고, 제품주기가 짧아지며, 제품설계가 수시로 바뀌어야 할 것이다. 설계자, 사용자와 소비자들 간의 장벽이 낮아지고 제품개발 사이클에 완전 통합이 이루어질 것이다.

시뮬레이션 기술은 제조프로세스가 최적으로 시뮬레이션 될 수 있도록 가상 엔지니어링 기술을 활용해

야 할 것이다. 디지털 공장의 출현이 필요한 이유가 여기에 있다.

##### 4.2 나노 제조 및 소형화 기술

나노기술이 오늘날의 정보기술과 인터넷처럼 널리 보급될 것이다. 소형 로봇이 분자 수준의 재료 결합을 찾아낼 것이며 원자 단위의 모터가 일상적으로 제작될 것이다. 의료 진단용 데이터를 제공하는 로봇이 인간의 혈관 속을 헤엄쳐 다닐 것이다. 또한 화학산업, 전자산업, 의료산업 등 대부분의 주요 산업계 및 자동차·항공기·통신산업에서 나노기술의 응용이 폭넓게 활용될 것이다. 빠르게 발전하고 있는 나노기술들은 제조업에도 심대한 영향을 미칠 것이다. Microscope, Lithographic equipment, 나노 분말생산 및 처리시설, 조립시스템 등의 완비는 나노기술의 사회경제적 잠재력의 확산을 위한 전제조건이 될 것이다.

##### 4.3 초기부품수정기술과 SFF 기술

유연생산시스템(FMS)이 출현한 이후, 제조엔지니어들은 초기부품(first part)을 정확하게 만들어 그 후에 폐기하는 일이 없어지는 것을 꿈꾸어왔다. 자동화된 환경에서 가공공정을 잘 이해하고 재료를 잘 특성화하면 그런 일이 실현가능하리라고 믿었지만 아직까지 그런 일은 잘 일어나지 않고 있다. 초기부품을 정확하게 만들려는 노력이 이제 기대치를 달성할 수 있을 정도로 공정과 재료에 대해 훨씬 더 이해할 수 있게 될 것이다.

초기부품을 위한 전체비용의 80-90%를 차지하는 제품 금형과 치구 비용을 SFF(solid freeform fabrication) 기술로 대폭 줄일 수 있다. SFF 기술이 아직은 초기단계에 있음에도 불구하고 현재 비용절감과 납기단축에 큰 효과를 주고 있으며, 향후 속도 및 대량생산능력에서 엄청난 성장을 구현할 것이다.

##### 4.4 분자조립 기술

분자조립(molecular assembly) 기술은 몇몇 간단한 경우에서 이미 성공을 거두고 있다. 향후, 물리적으로 분자들과 원자들을 함께 움직여주고 이동하여 접합해서 신재료를 만들어냄으로써 필요한 특성을 갖도록 설계된 재료들을 만들 수 있게 될 것이다. 한 예로, 각 면이 서로 다른 온도확장계수를 갖도록 분자조립방법으로 만들어진 한 장의 바이메탈 재료를 생각해 볼 때, 이 부품은 적용 온도를 변화시키면서 간단하게 제어하는 방법으로 구부릴 수 있으며 제어용 구조물체

로 사용될 수 있을 것이다.

#### 4.5 생명공학 이용기술

생명체의 복제 및 인간 게놈지도의 완성 등으로 대변되는 생명공학기술의 발전이 눈부시다. 여기서는 한 가지 사례를 살펴봄으로써 생명공학기술이 제조업에 어떻게 적용될 수 있는지 예측해 본다. 국제IMS프로그램의 차세대제조시스템(NGMS) 개발과제에 참여한 혼다엔지니어링은 생물학적 개념(예: 학습과 진화)을 이용하여 전통적 조립라인을 없앤 '미래형 자동조립공장 모델'을 개발하였다. 이 공장에서는 컨베이어 대신에 자동용접로봇이 자동주행기구(AGV)에 실려 차체 주위를 돌면서 일을 한다. 시뮬레이션에 의하면, 이 방법에 의한 조립공장의 운영비는 하루 자동차 1,000대(20개 서로 다른 차체)를 생산하기 위해 일년에 430만 달러가 소요될 것으로 예상되었고, 이는 현행의 공장 운영비 3,500만 달러에 비하면 무려 87%가 절감된다. 시설비는 현행 방법의 경우와 비슷할 것으로 예상되었다.

#### 4.6 센서기술

네트워크 기능을 갖춘 스마트 센서를 폭 넓게 사용하여 공장이나 제조수행시스템(MES)과 통합하여, 셀 혹은 플로어 레벨의 분산 계측장치·제어시스템들을 보는 것은 이제 상식이 되어 가고 있다. 센서기술이 현대제어이론과 결부되어, 기기들의 모든 영역이 계측 대상이 될 수 있을 것이다. 마이크로일렉트로닉스 기기들이 빠른 속도로 더 많은 응용 분야를 찾고 있다. 센서에 통합된 발신기를 이용하여 무선으로 통신을 하려는 추세도 강화되고 있다.

#### 4.7 지속가능생산시스템 기술

공정, 제품, 설비, 그리고 프로젝트 계획들이 부산물과 폐기물 및 기타 여분의 원재료를 100% 사용, 재사용·재활용할 수 있도록 기능적으로 통합되어야 하며 에너지 소비를 최소화 하고 모든 에너지를 경제적으로 사용하여야 한다. 즉, 제조시스템에 지속가능발전의 필요성을 접목한 지속가능생산시스템(SMS: Sustainable Manufacturing System)이 개발될 것이다. 지속가능한 설계, 제품 및 제조공정, 즉 모델링, 디지털 설계, 동시공학, 공정제어기술, 환경친화기술, 총수명주기 관리기술, 안전 및 위험 평가기술 등이 개발되어야 한다.

### 5. 지능형생산시스템과 e-Manufacturing

#### 5.1 지능형생산시스템

국제IMS프로그램에서 정의하는 지능형생산시스템(IMS: Intelligent Manufacturing Systems)은 혁신적 부품 및 공정기술, 적응성과 유연성 및 분산 자율성이 강화된 지능형 장비 및 공정기술, 국제적/글로벌 네트워크 및 개방형 표준화기술, 정보 중심의 기술, 사용자의 요구에 충실하게 대응하는 시장 지향적 기술, 그리고 인간친화적 기술 등을 포괄하는 생산시스템을 일컫는다.

이처럼 IMS의 포괄적 정의는 종래의 공장자동화(FA), 유연생산시스템(FMS) 및 컴퓨터통합생산시스템(CIM)의 개념뿐만 아니라, 근래의 디지털제조시스템(DMS), 가상제조시스템(VMS), e-Manufacturing, 및 지속가능제조시스템(SMS) 등의 개념도 포함하고 있다. 이러한 현상은 국제IMS프로그램이 어느 특정 제조(생산)기술만을 개발하기 위함이 아니라 제조업의 생존 및 발전을 위한 기술 전반을 연구개발 대상으로 하고 있음에 기인한다.

#### 5.2 국제IMS프로그램의 연구개발 우선영역

국제IMS프로그램은 IMS의 개념을 실현하기 위해 1) 제조시스템 및 에너지와 재료의 보존을 강조하는 총 제품 수명주기, 2) 효율적이고 청정한 제조공정, 3) 제조 전략 및 프로세스 리엔지니어링을 위한 기획 설계 도구, 4) 교육 및 훈련을 포함한 제조업의 인간과 사회적 측면 개선, 5) 정보가공 및 유통 개선등의 기술 테마를 선정하고 이 범주 안에서 프로젝트를 도출하여 수행하고 있다<sup>3,4</sup>. 최근, 국제IMS프로그램은 제조업의 국제환경 변화와 신제조업의 출현 등에 부응하기 위해 다음과 같은 10대 연구개발 우선영역을 선정하여 연구개발의 효율화를 꾀하고 있다<sup>11</sup>.

- Sustainable Design, Product, and Processes
- Sustainable Workplace Design
- Knowledge-Based Value Creation on e-Manufacturing
- Smart Organization
- Dynamic Value Creation Collaborative Network
- Extended Enterprise and SCM
- Mobile and ubiquitous e-Business and e-Work
- Modeling and Simulation, Virtual Engineering, Digital Factory
- e-Manufacturing on Demand
- Development and Industrial Applications of NT and BT

### 5.3 e매뉴팩처링(e-Manufacturing)

앞에서 서술한 것처럼 정보통신기술의 급속한 발달, 나노기술 및 생명공학기술의 등장, 환경을 위한 지속가능개발의 필요성 등을 종합적으로 감안한 신제조업의 개념이 탄생하였고, 이러한 개념을 반영한 국제IMS프로그램의 연구개발 우선영역 가운데 다수가 최근에 화두가 되고 있는 e-Manufacturing과 밀접한 관련을 맺고 있다.

제조업에서의 공장자동화, 기업정보화, 생산정보화, e-비즈니스 등의 기술개발이 단계적으로 혹은 독립적으로 이루어져 왔으나, e-Manufacturing은 이러한 영역들을 하나의 네트워크 상에 연결하는 노력이라고 할 수 있다. 국제IMS프로그램의 연구개발 우선영역 가운데 지식기반의 가치창출 기술, 동적(dynamic) 가치창출 협력네트워크 기술, 확장기업과 공급망관리(SCM) 기술, 무선 및 유비쿼터스 e-비즈니스 기술, 모델링 및 시뮬레이션 기반의 가상엔지니어링과 가상공장 기술, 그리고 수요자 중심의 제조기술 등은 e-Manufacturing과 밀접한 관련을 갖고 있다.

e-Manufacturing의 구현을 위해서 이미 개발되어 있는 CAD/CAM, PDM, CPC, e-Business(예: B2B, B2C), CRM, ERP, PLM 등 관련 소프트웨어들의 지능화, 통합 및 글로벌 접근을 가능하게 하는 표준화 기술과 인터페이스 기술 등의 연구개발 노력이 진행되고 있다. 이 외에도 네트워크를 이용하여 모듈화된 생산공정을 일괄적으로 통합관리 및 감시하는 생산시스템, 개방구조형 생산시스템의 표준화 및 관련 기반기술의 상용화, 모듈형 지능 설비들을 개발하고 있으며, 기업의 지식통합을 위한 다기업 병렬네트워크 시뮬레이션 기술, 공급망 운용기술의 수학적 모형을 실무에 적용하기 위한 정보기술과의 통합도 연구되고 있다.<sup>12</sup>

일반 기계 제조업 생산설비의 대부분을 차지하는 공작기계의 경우, 공작기계를 제품으로 간주하고 이의 생산을 위한 e-Manufacturing이라는 관점과 공작기계 자체가 하나의 e-Manufacturing의 구성요소라는 관점의 병행 검토가 요구된다. 즉 공작기계산업에서의 e-Manufacturing을 위해서는 공작기계의 지능화 및 네트워크 연계기능이 중요하다.<sup>13</sup>

## 6. 결론 및 향후 전망

본 특집에서 제시한 국제적 제조환경, 신제조업의 특성과 전략, 핵심기술들은 제조업의 장래를 전망하

는 하나의 관점이지만, 제조업에 관여하는 산·학·연·관 모두에게 주어지는 미래전략의 아이디어와 해법으로 참고가 될 수 있을 것이다.

제조업에서 채용되는 기술들은 새로운 환경에 부응하기 위하여 몇 가지 특성들을 공통으로 가질 필요가 있다. 즉 제조공정들이 신속해져야 하고, 낭비요소를 제거해야 하며, 혁신적이면서 주문에 쉽게 맞출 수 있어야 한다. 청정하고 지속가능한 공정들을 선호하게 될 것이며, 가상의 공정들과 제조 이전 상태의 모델링에 더욱 의존하게 될 것이다. 분산 기업들 간에 국제적 경쟁이 존재하는 한편, 협업이 강화되고 지식의 접근이 쉬워질 것이다. 기술적 연구결과를 유용한 제품으로 변환하고 이런 제품들이 널리 사용될 수 있도록 대량으로 생산하는 방법을 찾아내는 것이 제조엔지니어들에게 주어진 사명이다.

지능형생산시스템의 중요한 핵을 이루고 있는 e-Manufacturing은 아직 초기단계로서 자동차, 항공, 전자 및 반도체 분야 등이 선도하고 있으며 신발산업 등으로의 확산을 위한 노력도 진행되고 있다. 정보 인프라가 잘 되어 있고 정보인력도 풍부한 우리나라는 그러나 e-Manufacturing의 국제적 연구개발 수준에 비하면 아직 미미하여 더욱 할 일이 많다고 해야 할 것이다.

## 후 기

본 연구는 산업자원부의 연구비 지원을 받아 국제IMS프로그램 국내연구개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. Jordan Jr, J. A. and Michel, F. J., Next Generation Manufacturing: Methods and Techniques, John Wiley & Sons, Inc., New York, 2000.
2. NGM Project, Next Generation Manufacturing: Framework for Action (Bethlehem, PA: Agility Forum, 1997). [www.dp.doe.gov/ngm/default/htm](http://www.dp.doe.gov/ngm/default/htm)
3. International IMS Program, <http://www.ims.org>
4. Choi, B. W., et al., "International IMS Program : Its Present and Prospective," J. of the KSPE, Vol. 17, No. 3, pp. 7-14, 2000.
5. International IMS, "Re-Orienting IMS : An Interim Report from the Chair's Initiative Working Group,"

- Unpublished Report, 2000.
6. International IMS, Proceedings of the IMS Vision 2020 Forum, California, USA, Feb. 2000.
  7. National Academy of Science, NRC's 2003 Manufacturing Forum: New Directions in Manufacturing, Washington, March 2003.
  8. Jackson, R. H. F. and Slotwinski, J. A., "Manufacturing in the New Millenium - A Western Perspective," Proc. of the 50th General Assembly of the CIRP, pp. 17-27, Sydney, August 2000.
  9. BusinessWeek, May 2000.
  10. Manufacturing News, May 2000.
  11. International IMS, "Report of the Chair's Initiative Working Group - Appedix D," Unpublished Report, 2001.
  12. 산업자원부/한국생산기술연구원, 주력기간산업 경쟁력 제고를 위한 e-Manufacturing 발전전략 수립, 2003년 5월.
  13. 전자상거래표준화통합포럼/한국전자거래학회, "e-Manufacturing 어떻게 추진할 것인가?," 토론회 자료집, 서울, 2003년 7월.