

eManufacturing의 Driver로서 정보기술의 기능

The Function of Information Technology as a Driver of eManufacturing

김 태 운^{1)*}, 김병남²⁾

^{1)*}경성대학교 응용공학부

²⁾ 부경대학교 산업안전시스템 공학부

요 약

Based on the rapid development of information technology (IT) including networks, manufacturing environment faces more customer engagement, global collaboration, greater emphasis on agility, increasing reach and connectivity through world-wide web, and micro transaction tracking and intelligence to name a few. The new ideas of manufacturing concept, eManufacturing is discussed in view of IT. In specific, a framework to identify IT application in the product realization process and collaboration and coordination to implement eManufacturing is proposed.

Key Words : eManufacturing, Manufacturing, Supply chain, Information technology

1. 서론

지난 90년대를 돌아보면 컴퓨터, 통신, 정보기술 등에 획기적인 발전이 있었으며, 이로 인한 성과 중 에서 일부를 예를 들면, 고속 컴퓨팅, 네트워크의 확산, WWW, 인터넷, 글로벌 접속 및 연결, 가상현실, 기업 통합 등을 들 수 있다. 동시에 기업의 조직구조와 시장환경에 있어서도 가상조직, 비즈니스 프로세서 통합, 고객중심의 공급사슬, 전자 상거래, 개별 고객중 심의 영업전략 등으로 많은 변화를 가져왔다.

생산제조 분야에 있어서도 유연 생산, 가상제조 시스템, 글로벌 생산, 민첩 생산, 경량 생산 (lean manufacturing), 등 새로운 개념과 패러다임의 전환이 시도되어 오고 있다.

본 논문에서 생산 제조 (manufacturing)의 개념은 생산하고 조립하는 과정 뿐 만 아니라 상품을 만들어 가는 과정까지를 포함하는 광범위한 개념으로 정의하고자 한다. 따라서 이 생산제조 과정은 고객의 요구를 파악하는 과정에서부터 시작하여 신상품을 설계하고 공정을 개발하며 프로토타입을 만들고 시험을 거쳐서 실제 상품을 생산하여 판매하고, 고객 서비스까지 행하는 수명주기 개념에 입각한 전 과정을 고려하고자 한다.

정보기술의 개념은 하드웨어, 소프트웨어 뿐 만 아니라 인터넷, 통신, 네트워크 관련 기술을 포함하는 것으로 정의한다. 최근의 정보기술이 바탕이 된 eManufacturing을 고려하기 위해서는 생산제조 시스템 이 바탕을 두고 있는 경제환경의 변화를 주목하지 않을 수 없다. 전통적인 경제구조와 정보통신 기술이 접목한 90년대 후반이후의 디지털 네트워크 경제는

여러 가지 분야에서 획기적으로 구분이 가능한데, 다음 표 1은 이들간의 관계를 잘 나타내 주고 있다.

(표 1)에서 보듯이 정보기술이 과거와 같이 단순히 enabler 나 facilitator가 아니라 하나의 driver로서 경제와 경영의 중심에서 주도적인 역할을 수행하고 있다. 따라서 eManufacturing에서 조직이 그들의 목적 을 위해서 정보기술을 적극 이용하고 생산제조를 위한 조직자체도 정보기술 발전에 따라 갈 수 있도록 되어야 한다.

(표 1) 기술, 비즈니스 내용 및 전략의 변화

항목	70-90년대 초반 전통적인 경제	90년대 중반이후 네트워크 경제
기술의 역할	enabler	driver
시장	seller-centric	buyer-centric
자산	물리적	지적: knowledge
return to scale	감소	증가
통합의 방법 및 대상	수직적 (규모)	수평적 (속도)
평가수단	시장 점유율	전략적 통제
마케팅전략	firm-centric	network-centric
고객 전략	목표를 분할	개별적 관계 정립

전자상거래 혹은 eBusiness분야는 시장의 변화와 고객의 요구가 직접 더 신속히 반영되어야 하므로 이러한 변화가 이미 경영의 각 분야에 큰 변화를 일으키고 있다. 생산제조 분야는 시장의 요구와 변화를 일단 외부에서 여과를 거쳐서 받아들여지게 되므로 다소 늦게 영향을 미치는 것은 하지만, 이제는 피할 수 없

는 과제가 되었다. 따라서 이미 고객의 요구가 직접 반영된 새로운 시스템이 출현하고 있으며, 따라서 이미 대량생산 (mass production)에서 탈피하여 대량 차별화 /개인고객화 (mass customization / mass personalization)로 전환하고 있는 상태에 있는데, 특히 소비재 위주의 기업에서는 이미 이러한 개념이 현실화되고 있다. 예를 들면, 청바지 제조회사인 Levi's사에서는 전국의 매장에서 소비자의 신체치수와 좋아하는 색깔을 직접 선택하여 온라인으로 청바지를 주문하면 회사는 일주일 이내에 주문형 청바지를 제조하여 고객에게 전달하는데 비록 가격이 20-30% 높아도 고객의 만족도가 훨씬 더 높은 것으로 나타나고 있다.

다음 장에서는 제품실현화 과정과 소비자/고객의 참여증대, 조직의 변화 및 정보기술의 발전 과정과 eManufacturing의 구현을 위해서 이들이 어떻게 작용하는지를 제안하고자 한다.

2. 제품실현화 과정 및 소비자/고객의 참여증대

eManufacturing의 프레임 하에서 제품의 실현화과정 (product realization process)을 이해하기 위해서 자동차를 주문하고 획득하는 과정을 아래와 같은 시나리오를 통해서 살펴보고자 한다. 자동차 구매고객인 '갑돌이는 자기가 선호하는 차의 형태, 사양, 성능 및 가용예산에 대한 사전정보를 가지고 있다. 우선 그는 제품가시화 (product visioning)단계를 위해서 개인화된 멀티미디어 웹 게이트웨이를 통해서 가상 자동차 설계환경에 접속한다. 그곳에서 갑돌이는 그가 원하는 자동차 사양에 대한 대략적인 서술을 말, 동작, 행동을 통해서 표현하면 가상설계시스템은 이를 인식하여 그의 선호도에 따른 사양을 만들어 낸다. 두 번째는 제품사양 및 가상경험 (product configuration and virtual experiencing)단계로서 자동차의 여러 성능에 대한 메뉴를 상호적으로 선택하고 가상적으로 경험해 보는 단계이다. 자동차의 특정 부분에 대해서 고객의 선호도가 반영되고 전체적인 자동차의 구조에서 시작하여 세부 부품과 악세서리에 이르기까지 계층적으로 내용을 보여주고 가상적으로 설계된 자동차를 경험해 볼 수가 있다. 다음은 가격 및 납기협의 (price and delivery negotiation)단계로서 제품의 납기와 자동차의 예상가격이 제시되면 예산을 고려하여 성능과 가격간의 tradeoff를 통한 최종 사양과 가격 및 납기를 결정하게 된다. 다음은 제품 실현화 단계 (product realization)단계로서 위의 단계에서 정해진 사양에 따른 제품을 실제로 설계하고 생산하여 납품하는 단계이다. 이 단계에서는 매 공정마다에 설치된 센서를 통해서 실시간 정보가 감독자에게 전달되어, 이 정보를 이용해서 납기를 고려한 애로공정을 사전에 예측하여 적절한 조치 (corrective action)를 통해서 문제를 사전에 해결하여 성능, 품질 및 납기를 준수할 수 있도록 한다. 마지막으로 사후관리 (product care)단계로서 자동차를 인도받은 후 사용하기 시작하면 자동차 구성품에 장착된 센서를 통하여 자동차의 상태가 항상 A/S센터로 전달되어 자동으로 체크되고 예상 문제에 대한 사전 예측이 행해지고 갑작스런 자동차의 이상에 대해서도 원격리에서 리모트 컨트롤을 통한 조치를 행하게 된다. 이러한 시나리오는 가상소셜 같이 보이지만 Dell사와 같이 PC 산업분야에서는 이미 몇 년 전부터 실행되고 있다.

새로운 생산 및 소비의 패러다임에 대한 견해는 이전의 많은 연구 논문에서 논의되어 왔는데, 그들의 일부를 인용하면, 비즈니스 프로세서 재설계 (Hammer and Champy 1993), 시간에 근거한 경쟁 (Stalk and Hout 1990), 개별 고객화 (Pine 1993), 21세기 조직구조 (Bartlett and Ghoshal 1997) 등을 들 수 있다.

고객의 요구와 관련된 2가지 커다란 변화는 고객의 참여증대와 조직간의 연대의 강화를 들 수 있다. 지난 90년대에 고객을 중시한 기업의 성공에 자극 받아서 더 많은 기업들이 고객중심의 경영을 모든 업무영역에서 추진해 나가고 있다. 처음에는 소비자가 만족하는 사양을 보증하고 납기를 준수하는 등의 공급사슬의 마지막 부분에 해당하는 업무영역에서 주로 고객과의 관계를 고려했으나, 품질함수전개 (QFD: quality function deployment)와 같은 방법 (Hauser and Clausing 1988)의 등장으로 제품의 설계 단계까지도 소비자의 의견 반영이 가능하게 됨으로써 공급사슬의 최초 시작 단계부터 소비자가 같이 참여할 수 있는 환경이 되었다. 또한 mass customization의 개념을 응용해서 각 개인의 취향과 차이를 고려하고 아주 세분화하고 모듈화하여 설계함으로써 대량생산이면서 주문생산과 동일한 효과를 갖도록 한다.

향후의 조직은 이러한 변화를 수용할 수 있도록 변화해 나갈 것이며, 고객중심의 운용체계는 다음과 같이 특징 지을 수가 있을 것이다. 첫째는 고객개별 시장으로써, 한 고객 당 그에 적합한 시장으로 세분화되어서 그 고객의 개별적인 기호와 요구에 맞는 형태로 나타나게 된다. 현재 인터넷의 개별 고객중심의 메뉴나 원하는 정보만을 선택해서 받아볼 수 있게 되는 등 push기술의 활용으로 이미 인터넷에서는 활용되고 있는 분야이다. 둘째는 적극적인 고객의 간섭으로서 의사결정과정에 고객의 의견이 반영되는 것 이상으로 고객과 조직간에 상호 작용을 하게 되는 것이다. 셋째는 광범위한 공정에 걸친 참여로서 설계단계에서부터 시작하여 상품을 실현시켜 나가는 전체 공정에 고객이나 주주들이 참여하게 된다. 넷째는 상품, 공정 및 공급사슬의 고객화로서 기존의 상품의 설계 뿐 만이 아니라 공정의 설계와 더 나아가서 누가 무슨 부품을 어디에서 만들어서 납품하는지 등 공급사슬 부분까지도 고객이 참여하여 요구할 수 있는 상황으로 변하게 된다.

3. 정보기술의 기능

eManufacturing구현과 정보기술과의 관계 중에서 글로벌 driver로서의 정보기술, 생산제조 분야와 관련하여 기업의 통합, 컴퓨터와 인간의 연결, 지능화 및 내장된 자동화, 소프트웨어 패러다임, 가상현실 등의 추세를 아래에 논하였다.

글로벌 driver: eManufacturing과 관련한 글로벌한 driver를 살펴보면 기술변화의 추세가 가속화되고, 기술이 어디에서나 누구에게나 가용해 지고, 시장과 임금 및 기술이전이 글로벌화 되어지고 환경에 대한 책임과 고객 및 주주의 기대가 증대되고 있다. 이러한 추세는 근래에 나타나고 있는 한국기업의 변화에서도 잘 나타나고 있다. 그 동안 주주를 거의 고려하지 않고 경영을 해 온 거래소 시장의 주가가 투자로부터 외면을 당한 반면에 우리사주나 스톡옵션을

통해서 주주 및 종업원의 이익과 가치를 증진해 온 코스닥시장이 활황세를 유지하고 있는 사실에서도 잘 나타나고 있다. 이러한 driver를 CRM (Customer Requirement Management), GSCM (Global Supply Chain Management), SEM (Strategic Enterprise Management), PD (Product Development), KM (Knowledge management)의 관점에서 고찰해 보고자 한다.

CRM: 정보기술의 발전은 개인 고객별로 1:1 차별화된 고객지원과 인터넷 채널관리, front-end의 고객 접점을 통한 고객 서비스 증대 및 서비스와 마케팅 과정에서 생성된 고객/시장정보를 지식으로 변환 축적하는 관리 프로세서의 개발을 필요로 한다.

GSCM: 글로벌 획득 프로세서의 정립을 통한 구매/조달 업무의 On-Line통합화와 중단 없는 (seamless) 프로세서 구현을 위한 기업 내외부 조직간 협업체제를 강화하고, 장단기 visibility확보를 위한 지원을 강화하며 유연하고 경량 (lean)의 공급체인을 통한 변화 대응력을 강화하고, 생산현장정보의 실시간 확보를 위한 현장 시스템을 구축하고자 하는 것이다.

SEM: 기업활동의 제반 자료를 수집 분석하여 제공함으로써 전략적 관리적 의사결정을 지원하고 책임소재를 밝히며, 조직의 유연성을 강화할 수 있는 프로세서를 확립한다.

PD: 글로벌 R&D 네트워킹 체제를 구축하여 해외업체와 부품개발 및 조달협력 체제를 구축하고 전사적 차원의 제품개발 전략 프레임워크를 수립하여 표적마케팅 및 제품개발 프로젝트 결과에 대한 총체적인 성과 측정을 실시하고, 가상 제품개발 환경을 구축하여 디지털 mockup과 신규 엔지니어링개념을 구현하며, 지식베이스를 기반으로 한 동시공학의 환경을 통해서 제품개발의 지식베이스를 구축하고 관련 부문간의 협력을 활성화한다.

KM: 기업의 구조조정으로 인한 인력유동시의 지식유실을 방지하고 업무수행에 필요한 지식을 확인하고 구할 수 있는 사내 접점을 확보하며, 글로벌화에 대응한 정보공유의 기반을 조성하고, 급격한 환경변화에 대비한 대응능력을 확보하는데 있다.

기업의 통합: 인터넷과 네트워크를 통한 기업의 통합으로 시스템의 기능과 모듈이 상호 연결되고 글로벌한 이용이 가능하게 되었다. 기업의 통합은 조직의 경계를 없애고 파트너 기업과 전 영역에 있어서 업무의 통합과 상호 교류가 가능하게 된다. 또한 기업 통합 시스템은 발전된 디지털 워크플로우 메커니즘을 가능하게 하여 광범위한 영역에서 개별화된 고객관리를 가능하게 해 준다. 그 이외에도 기업통합 시스템은 데이터와 응용프로그램을 저장하고 공유하게 할 뿐만 아니라 분산된 지식의 획득과 저장을 가능하게 함으로써 지식베이스를 발전시키게 해 준다.

컴퓨터와 인간의 연결: 연결이란 물리적인 표준과 프로토콜을 이용하여 인간이 컴퓨터와 연결하여 정보를 교환하는 것을 의미하며, Keen (1991)은 두 가지 관점 즉 도달 (reach)과 연결범위 (range)로 구분하고 있다. 도달이란 누가 접속가능한가를 규정하는 것이고 범위란 접속 가능한 정보의 종류로서 이-메일, 자료교환, 데이터 베이스 접속, 인터넷상의 주문, 상호 접속된 업무처리 등 단순한 기능에서 복잡한 영역에 까지 미치고 있다.

지능화 되고 내장된 자동화(intelligent and embedded autonomy): 마이크로 프로세서 칩이 소형화하는 반면 처리속도는 증가함으로써 Microminiaturization 능력이 가능하게 되어 미세 센서를 극소형의 제품에 내장 (embedded)하여 이용할 수 있게 되었다. 이러한 미세 자동화 및 지능화 기술은 시스템의 모든 변화상태를 거의 원자 (atomic)수준의 처리까지도 추적이 가능하게 하고 국지적인 지능화 (local intelligence), 원격 통제 및 자동운용이 가능하게 해 준다. 따라서 제조공정에 투입된 작업은 특정공정의 확인 시점에서 뿐만 아니라 거의 연속적으로 모니터링이 가능하게 되었다.

객체지향 기술 및 분산환경지원: 객체지향 프로그램과 네트워크로 분산된 컴퓨팅 패러다임은 조직이 정보를 수집하고 처리하는 방법에 큰 영향을 끼쳤다. 객체지향 컴퓨팅은 프로세서와 데이터 중심의 방법 중 최선의 특징을 가지게 되었다. 객체란 실제 세상에 존재하는 실체를 프로그램으로 그대로 구현한 기술로서 캡슐화, 상위계층 속성의 상속 등의 성질을 그대로 가지고 있다. 비즈니스 환경에서 분산된 실체간의 통신과 협동이 아주 용이하다.

디지털, 가시화 및 가상현실의 구현: 네트워크를 통한 상호연결로 수많은 데이터에 접속이 가능하게 되고 있으며, 그래픽과 가상현실 같은 풍부한 미디어의 도움으로 수많은 데이터를 의미 있게 분석하고 처리할 수 있는 능력을 갖추게 되었다. 디지털화는 상품과 서비스의 디지털 표현을 의미한다. 멀티 미디어의 도움으로 이미 문자, 그래프, 오디오, 비디오와 가상현실이 가능하게 되었다. 디지털화는 배달을 더 용이하게 하고 프로세서를 향상시킬 수 있다. 가시화 (visualization)는 영상처리 및 영상복합기술을 이용하여 문제해결과 이해 및 새로운 방법발견을 도와주는 것을 의미한다. 자료 가시화 알고리즘은 공간적, 추상적, 연속적, 자연수 데이터, 숫자, 정적, 양적인 특징들을 표현하고자 한다 (Lohse et. al. 1994). 인간두뇌가 이러한 특징들을 어떻게 처리하는지를 이해하게 되면 이런 가시화 문제는 훨씬 더 발전 가능할 것이다. 가상현실은 컴퓨터와 인간을 인터페이스 시켜서 3차원 가상공간에서 객체와 상호 작용하는 경험을 제공하는 기술이다. 가상현실의 구성요소로는 컴퓨팅, 그래픽, 자료, 기하학적 모델링, 인터페이스와 상호작용이다. 최근에는 인터넷 환경에서 멀티미디어 기술을 결합하여 가상현실을 실현하는 시도가 되어지고 있다 (Nicol et. al. 1999).

이상에서 서술한 기술이외에도 데이터 처리능력, 밴드 폭, 자료압축, 데이터 베이스, 광섬유, 무선통신, 멀티미디어 통신, 알고리즘, 보안, 가격 등도 eManufacturing의 구현을 위해서 중요하게 요구되는 정보기술 분야이다.

4. eManufacturing 의 프레임워크

eManufacturing은 electronic data interchange (EDI), eTransaction, eCommerce나 eBusiness처럼 인터넷, 네트워크, 정보기술이 기존의 생산제조 개념에 새로운 패러다임의 변화를 부여한 것으로 정의할 수 있다. eCommerce는 전자적 수단에 의해서 관련 당사자간에 가치를 교환하는 것으로 정의할 수 있으며, 고객의 문제를 고려하지 않는다. 반면에, eBusiness는 높은 수준의 비즈니스 모델을 만들기 위한 비즈니스 프로

세서, 정보기술 및 조직 인프라의 결합으로 정의할 수 있으며, 온라인 쇼핑 같은 시장의 상호교환을 촉진하고, 공급사슬 파트너들간에 온라인 정보교환을 통한 관련 주주 및 이해 당사자들 간에 협력을 증대하고 일년 24시간 연중무휴로 고객지원을 강화하며 회사의 미래에 대한 전략적인 통제를 하는 방법을 추구해 나간다.

정보기술이 비즈니스의 목표를 어떻게 달성해 나가고 이로 인해서 eManufacturing을 구현하는데 기여하는가를 살펴보기 위해서 정보기술의 능력을 다음과 같이 분석해 볼 수 있다.

- 정보흐름을 신속히 하고 정보의 확산을 도모한다.
- 상호접속, 동시성, 멀티미디어 통신 등으로 이해 관계자들이 의사결정에 참여가능토록 도와준다.
- 지능화, 기업통합과 업무의 디지털화로 비즈니스 프로세서에 있어서 수 작업을 줄이고 자동화하며 불필요한 중간 단계의 일을 줄여준다.
- 디지털 제품의 온라인 배달과 원거리 비디오 화상 회의는 물리적인 이동을 디지털 이동으로 변환함으로써 시간과 비용을 획기적으로 줄여준다. 예를 들면 디지털화된 프로세서 계획과 원격 생산시스템은 물리적인 이동을 디지털 이동으로 전환할 수 있는 좋은 가능성을 제시해 주고 있다.
- 미세 센서와 전자기술의 발전으로 실시간 검색, 추적 및 확인을 가능하게 하여 주고 있다.
- 인공지능, 지식관리와 지식경영 및 데이터 마이닝 기술을 이용하여 전 세계에 산재한 자료로부터 유용한 지식과 정보를 추출해 낼 수가 있다.

정보기술이 eManufacturing의 프레임워크에 기여하는 역할은 다음과 같이 요약되어 질 수 있다.

일치성 확인 (consistency checker): 설계와 관련하여 제반 부 시스템 및 구성요소에 대해서 연속적으로 일치성 여부를 확인하고 피드백을 제공한다. 따라서 만약에 불일치가 발생하면 경고 메시지를 보내고 관련자들이 토의할 수 있게 해준다.

제 설계사 (monitoring re-scheduler): CAD기술을 이용하여 설계과정의 제반문제를 확인함으로써 향후 발생 가능한 문제를 사전에 예측하고 필요시 재설계가 가능하도록 도와준다.

개선 주도자 (Design improvement initiator): 고객의 구매패턴, 제품 사용 경험, 현재의 성능, 경쟁상품과의 비교, 기타 구매 옵션 사양 등 향후 판매 후에 예상되는 제반 문제점들을 예측하고 정보를 수집하여 설계단계에 반영되도록 하는 주도자의 기능을 수행한다.

계획의 조정자 (Plan coordinator): 제품의 수명주기 동안 관련되는 여러 담당자들의 상호 상충되는 이해를 조정하고, 정보를 통합관리하며, 상호 협의 과정을 도와주는 조정자의 역할을 수행한다.

상태 확인자 (Status monitor): 재고, 품질, 기계 상태, 자재관리, 판매 현황 등 생산 및 영업과 관련한 제반 현황을 모니터링 함으로서 현상과 관련된 문제점을 즉시 발견하여 개선할 수가 있다.

지능적인 감독자 (Intelligent supervisor): 네트워크와 온-라인된 시설과 장비에 내재된 센서 등을 통해서 현장의 프로세서 상황을 연속적으로 감독해 주는 역할을 수행한다.

애로공정 해결자 (Bottleneck solver): 생산 제조와 관련하여 애로 공정 발생 시 이해가 상충하는 당사자간에 온-라인 토론이나 자동으로 생성된 대안들을

제시함으로써 다른 부서 및 기능들 간에 문제 해결자의 역할을 수행한다.

가치사슬 후원자 (Value chain supporter): 가치사슬이란 회사의 공급측면 (원자재, 내부 로지스틱스, 생산공정 등)과 수요측면 (외부 로지스틱스, 마케팅, 판매, 고객지원 등)에 대한 일련의 가치 부가활동을 의미한다 (Rayport and Sviokla 1995). 이런 가치사슬 모델에서는 정보를 가치부가의 후원자로서 이용하게 된다. 예를 들면 Federal Express 회사는 인터넷이 보급된 초기인 1995년경부터 인터넷상에 우편물 추적 서비스를 제공함으로써 고객에게 서비스의 가치를 높이고 결과적으로 회사의 권위 (loyalty)가 제고되는 효과를 거두었다.

5. 결론

정보기술의 발전이 초래한 생산 제조 시스템의 새로운 패러다임은 기존의 개념에서 완전히 새로운 변화를 가져오고 있다. 설계 및 생산의 전 과정에서 고객의 연속적인 참여, 파트너의 변화, 글로벌 환경, 인터넷 연결, 민첩성과 단순화, 연속적인 추적 등 10년 전 만해도 불가능한 개념들을 실현시켜 주고 있다.

본 논문은 정보기술의 발전추세를 고찰하고, eManufacturing의 구현을 위하여 정보기술이 어떻게 기여하고 역할 하는지를 분석하여, 금세기에 나타날 새로운 생산제조 시스템의 형태인 eManufacturing에 대한 새로운 모형을 제시하고자 하였다.

참고문헌

- 김문호, *Next Generation Manufacturing Framework*, LG-EDS, Working paper, 1999.
- Bartlett, C. A., and S. Ghoshal, *The Individualized Corporation: A New Doctrine for Management*, Harper Business Publishers, New York, 1997.
- Hammer, M., and J. Champy, *Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution*, Harper Collins Publishers, New York, 1993.
- Hauser, J. R., and D. Clausing, "The House of Quality," *Harvard Business Review*, May-June, 63-73, 1988.
- Keen, P. G. W., *Shaping the Future*, Harvard Business School Press, Boston, Massachusetts, 1991.
- Lohse, G. L., and K. Biolsi, N. Walker, and H. H. Rueter, "A Classifications of Visual Representations," *Communications of the ACM*, 37(12):36-49, 1994.
- Nicol, J. R., Y. S. Gutfreund, J. Paschetto, K.S. Rush, and C. Martin, "How the Internet Helps Build Collaborative Multimedia Applications," *Communications of the ACM*, 42(1):79-85, 1999.
- Pine, B. J., *Mass Customization: The New Frontier in Business Competition*, Harvard Business School Press, Boston, 1993.
- Rayport, J. R., and J. J. Sviokla, "Exploring the Virtual Value Chain," *Harvard Business Review*, 75-85, Nov.-Dec. 1995.
- Stalk, G., and T. M. Hout, *Competing against Time: How Time-based Competition is Reshaping Global Markets*, Free Press, New York, 1990.