

가상 기업을 위한 네트워크 기반 가상 생산 시스템에 관한 연구†

공상훈¹ · 한영근² · 이교일³

¹서울대학교 대학원 / ²명지대학교 산업시스템공학부 / ³서울대학교 기계항공공학부

A Study on the Networked Virtual Manufacturing System for Virtual Enterprises

Sang-Hoon Kong¹ · Young-Geun Han² · Kyo-Il Lee³

Virtual manufacturing systems that perform production activities ahead of real production in virtual world can reduce time and cost to develop, design, plan, and manage new products. In this paper, a virtual manufacturing system is constructed as a tool to support decision making by using VRML and Java. The basic structure of the virtual manufacturing system and the operation models are also presented.

The developed system helps any related persons to share design and manufacturing information, and to perform their tasks collaboratively through Internet. The other function of the system is to monitor operation status in real time.

1. 서론

치열한 경쟁, 급변하는 환경과 소비자의 취향 변화에 유연히 대응하기 위하여 기업들은 제품을 신속하게 생산하여 적기에 공급할 수 있어야 한다. 새로운 제품을 개발하고, 생산 설비를 갖추어 신제품을 제작하는 과정에는 많은 노력과 시간, 비용이 필요하며, 이에 따른 제품 개발 기간의 단축과 개발 비용의 절감에 관한 연구가 필요한 실정이다.

정보화 사회를 바탕으로 한 국제적인 경쟁 사회에서 기업이 생존할 수 있는 대표적인 경영 전략이라고 할 수 있는 CALS (Commerce At the Light Speed)와 함께 이를 바탕으로 등장한 가상 기업(Virtual Enterprise, VE)의 개념은 제품에 대한 시장 수요가 존재하는 경우에 한해서만 조직, 생산 활동을 수행하는 동적인 생산 능력을 지닌 기업 형태라고 할 수 있다. 가상 기업에서 가장 필요한 특성은 지역적으로 분산되어 있는 조적이나 작업자들 사이의 협조 체계를 통하여 유연하고 빠른 의사 결정과 생산 활동의 수행이라고 할 수 있으며, 이러한 가상 기업을 위한 의사 결정 지원 시스템으로서 가상 생산 시스템의 역할이 대두되고 있다.

가상 생산(Virtual Manufacturing, VM) 시스템은 제품과 실제

생산 시스템의 물리적 요소와 논리적 요소, 그리고 그 거동을 엄밀하게 모델링하여 구성된 컴퓨터 모델로서(Lee, Noh, 1997; Lee *et al.*, 1998), 제품의 설계 및 생산 전 과정에 걸쳐서 모든 레벨에서의 의사 결정의 질을 향상시키기 위한 통합화된 모의 환경이다(Institute for systems research, 1994). 가상 생산 시스템은 실제 제조 환경을 표현한 컴퓨터 모델을 구축하여, 생산 환경의 변화시 실제 생산 환경을 수정함으로써 제품의 개발 기간을 단축하고 개발 비용을 절감하기 위한 것으로서, 생산 설비 모델뿐만 아니라, 제품 모델과 생산 환경 모델을 가지고 있으며(Kimura, 1993), 이에 따라 생산 현장의 형태, 상황, 거동에 관하여 유용한 정보를 발생시키므로(Iwata *et al.*, 1997) 이를 기반으로 하여 설계, 생산 관리, 공정 계획, 일정 계획 등 일련의 제조 활동을 수행할 수 있다(Lee, Noh, 1997). 따라서 실제 생산 설비를 사용하지 않고도 여러 가지 생산 전략, 설계 변경, 설비 추가 등에 대해 미리 이를 평가하고 개선할 수 있다.

가상 생산 시스템에 관한 기존 연구로 Onosato 등은 가상 생산 시스템의 정의를 제안하였고(Onosato, Iwata, 1993). 이 정의에 따라 Kimura 등은 가상 생산 시스템을 구축하는 과정에서 제품과 공정 모델링을 수행하였으며(Kimura, 1993). 가상 생산을 위한 일반적인 모델링과 시뮬레이션 구조를 제안하였다(Iwata *et al.*, 1995). 이 연구에서 가상 공장 모델링을 위한 개방

† 본 연구는 서울대학교 제어계측신기술연구센터의 지원으로 수행되었음.

형 도구인 Virtual Works의 프로토타입과 그 시뮬레이션을 위한 DSM(Distributed Simulation Manager)을 제시하였다.

본 논문에서는 가상 기업을 위해 필수적인 가상 생산 시스템의 구조를 제안하고, 이를 전세계적인 글로벌 통신망인 인터넷을 기반으로 구축하였다. 개발된 가상 생산 시스템은 전세계에 분산되어 있는 사용자들이 인터넷을 통하여 정보를 공유하고, 유기적으로 업무를 수행할 수가 있으므로 CIM(Computer Integrated Manufacturing) 시스템의 구축, 더 나아가서는 CALS의 실현을 위해서는 필수적이라 할 수 있다.

2. 가상 기업

의심할 여지없이 세계는 전자 경제 시대를 맞이하고 있으며, 인터넷을 통한 생산 활동 및 관련 비즈니스 활동의 필요성이 대두되고 있다. 인터넷은 생산자와 소비자 사이에서 경제 활동에 필요한 비즈니스 정보와 기술 정보를 전달하는 매개체의 역할을 수행하고 있다.

또한 인터넷을 통하여 기업이 소비자의 욕구를 파악하고 새로운 시장에 알맞은 제품을 생산할 때, 생산자들은 매우 빠른 스피드와 유연성을 필요로 하지만, 일반적인 기업은 새로운 기술을 도입하기 위한 시간과 자본이 부족한 것이 일반적인 실정이다. 이러한 상황에서 상호 보완적인 기술을 보유하고 있는 조직간에 협조적인 생산 활동을 수행하는 것이 시너지 효과를 기대할 수 있는 매우 바람직한 활동이라고 할 수 있다.

따라서 현재와 같은 국제 경쟁 시대에 있어서 인터넷과 같은 컴퓨터 네트워크를 통하여 서로 다른 정보 시스템을 사용하는 조직들을 유연하게 통합하는 것이 기업의 국제화에 절실히 필요한 사항이다. 단기간의 활동으로 고수익을 창출할 수 있는, 협조적인 기업들에 의해서 구성되는 가상 기업은 이러한 필요성에 부합하는 가장 적절한 모델 중의 하나라고 할 수 있겠다.

가상 기업은 제품에 대한 시장 수요가 존재하는 경우에 한해서만 조직, 생산 활동을 수행하는 동적인 생산 능력을 지닌 기업 형태로서, 시간상의 민첩함과 지역적으로 떨어져 있는 조직이나 기업간의 협조 체제를 가장 큰 특징으로 한다. 지리적으로 분산되어 있는 가상 기업이 스피드 향상과 유연한 생산 활동이라는 새로운 목표와 기존 기업이 가지고 있던 목표를 동시에 수행하기 위해서는 무엇보다도 필요한 정보를 필요한 시점에 획득할 수 있고, 기업간의 기술력을 서로 공유할 수 있는 정보 인프라 구조가 필수적이다. 가상 기업 체제에 있어서 설계 및 생산 정보의 처리는 기존의 CIM 시스템이 추구하던 것처럼 조직 내에서 만의 정보 처리가 아니라 지리적으로 분산되어 있는 조직간에도 정보가 전달, 공유될 수 있고, 시스템의 확장 및 유지, 보수가 용이하여야 한다.

이와 같은 가상 기업을 위해서는 전세계의 글로벌 통신망과 연결된 투명하고 경제적이며 안전한 서비스를 갖춘 초고속 통

신망이 구축되어야 하는데, 현재 교육 연구와 상업 서비스를 포함한 세계 최대의 통신망인 인터넷이 가상 기업의 기본 통신망으로 발전해 갈 것이라는 것은 의심할 여지가 없으며, CIM 시스템의 구축, 더 나아가서는 CALS의 실현을 위해서는 설계와 생산에 관련된 모든 정보를 통합한 데이터베이스를 구축하고, 전 세계에 분산되어 있는 사용자들이 인터넷을 통하여 이 정보를 공유할 수 있는 시스템이 마련되어야 할 것이다.

3. 가상 생산 시스템

최근 활발히 논의가 되고 있는 가상 생산 시스템은 제품과 생산 시스템의 물리적 요소, 논리적 요소, 그리고 그 거동을 엄밀하게 모델링하고 프로그램화하여 구성된 가상 모델이다. 이는 단순히 가공 기계, 가공품, 공구와 같은 물리적인 생산 설비뿐만 아니라, CAD(Computer Aided Design), CAPP(Computer Aided Process Planning), CAM(Computer Aided Manufacturing), 생산 관리, 자재 관리, 일정 계획과 같은 논리적인 활동도 포함한다.

가상 생산 시스템은 컴퓨터 네트워크와 데이터베이스를 바탕으로 실제 생산 시스템을 통합, 운용하기 때문에 실제 생산 현장과 똑같은 정보의 흐름과 데이터를 가지고 있으며, 이를 매개로 한 가상 세계와 실제 세계의 통합이 용이하다. 따라서 설계자에게는 제조에 필요한 정보를 제공하고, 실제 생산 설비를 사용하지 않고도 여러 가지 생산 전략, 설계 변경, 설비 추가 등에 대하여 미리 시뮬레이션을 통한 각 실행 단계를 최적화할 수 있기 때문에, 가상 생산 시스템은 여러 엔지니어링 활동을 시험해 볼 수 있는 좋은 테스트 환경을 제공한다.

이러한 이유로 가상 생산 시스템을 적용하면, 생산 환경이나 시장의 변화에 민첩하게 대처하여 시간, 비용, 인원의 절감을 통하여 생산성을 향상할 수 있으며, 설계자, 주문자, 생산자 등 다양한 분야의 사람 등에 의하여 유기적이고 동시에 이루어지는 생산 기술의 여러 연구, 개발 활동이 가능해진다.

본 연구에서는 가상 생산 시스템의 실제 생산 시스템에 대한 적용을 대체로 다음의 세 가지로 나누어 생각한다.

- ① 새로운 생산 시스템을 구축하는 단계에서는 기존에 준비되어 있는 설비와 함께 가상 생산 시스템을 병행하여 사용한다. 이를 통하여 실제로는 미완성인 시스템을 완전한 시스템으로 수정하고, 각 부분에서 설계상의 문제점을 찾아가면서 생산 공정을 설계할 수 있으므로 제조 과정을 사전에 검증할 수 있다(<그림 1(a)>).
- ② 구축된 생산 시스템을 운영하는 단계에서 가상 생산은 항상 현장에서의 정보를 수집하고 분석하여 실제 생산 시스템의 현재 상태를 반영하고 작업자에게 적절한 정보를 제공할 수 있기 때문에 공장 모니터링 기능을 담당한다(<그림 1(b)>).
- ③ 또한 가상 생산 시스템은 실제 생산 시스템과 가상 생산

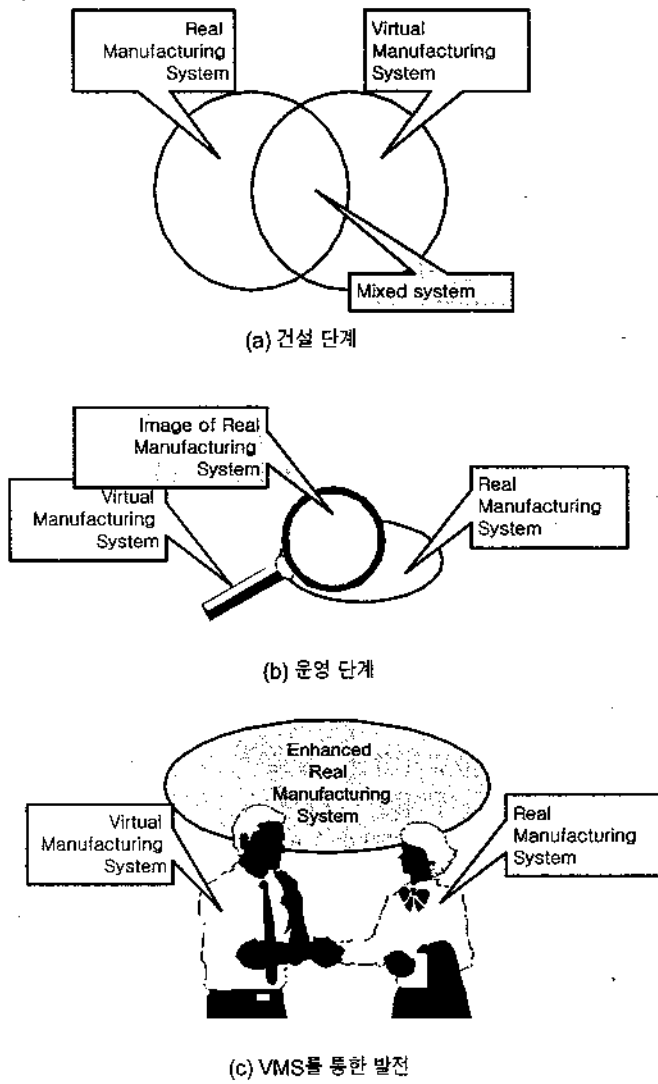


그림 1. 가상 생산 시스템의 적용.

시스템간의 정보 교류와 수정을 통하여 실제 생산 시스템을 더 좋은 성능을 가지도록 개선하는데 이용할 수 있다(<그림 1(c)>).

위와 같은 과정 속에서 가상 생산 시스템은 공장과 생산 설비의 전 라이프사이클에 따라 이루어지는 여러 가지 연구, 개발 활동을 통합하는 역할을 하게 된다. 또한 공장이 건설될 때부터 지속적으로 공장 내부의 데이터들을 종합적으로 관리할 수 있는 공통의 데이터베이스를 구성하고 운영하게 된다.

3.1 인터넷과 가상 생산 시스템

가상 생산 시스템은 컴퓨터 네트워크와 데이터베이스를 이용하여 지리적으로 분산되어 있는 조직간에도 정보가 전달, 공유되어 필요한 정보를 필요한 시점에 얻을 수 있기 때문에, 조직 또는 기업간의 상호 협조체제가 이루어질 수 있다. 이러한 목표를 달성하기 위해서는 전세계의 글로벌 통신망과 연결된 개방적이고 경제적인 특성을 갖춘 컴퓨터 네트워크가 구축

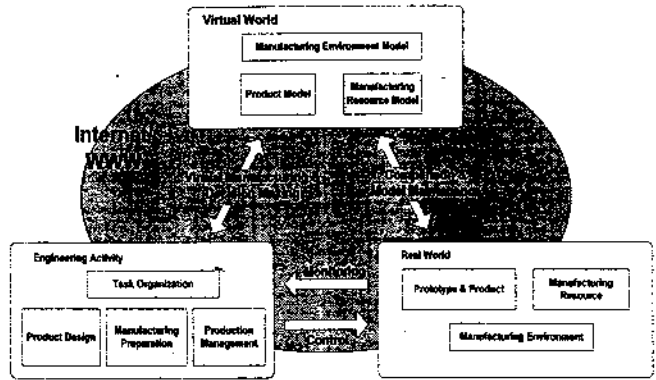


그림 2. 인터넷 기반 가상 생산 시스템.

되어야 하는데, 개방적인 세계 최대의 컴퓨터 통신망인 인터넷이 가장 적당한 네트워크이다.

초기 WWW의 부족한 점이었던 서버와 클라이언트 사이의 양방향 통신은 CGI (Common Gateway Interface)나 Java 언어 등을 사용하여 이루어질 수 있으며, 인터넷의 확산에 가장 큰 걸림돌로 지적되었던 신뢰성, 보안 문제를 극복하기 위하여 많은 기술들이 개발되고 있으며, 전송 속도 문제를 해결하기 위하여 정보 고속도로가 건설되고 있다.

본 연구의 네트워크 기반 가상 생산 시스템은 가상 세계 (Virtual World), 실제 세계 (Real World), 엔지니어링 활동 (Engineering Activity)으로 구성되며, 모든 모듈들은 인터넷을 통하여 통합된다(<그림 2>).

인터넷 기반으로 구축된 가상 생산 시스템은 설계와 생산에 관련된 모든 정보를 통합한 데이터베이스를 가지고 있으며, 전 세계의 사람들이 인터넷을 통하여 이 정보를 공유하고 있으므로 가상 기업을 실현하는데 핵심적인 역할을 할 것이다.

3.2 Workflow Modeling

기존의 생산 시스템에서는 대부분의 엔지니어링 활동들이 기능적인 방법에 의하여 수행되었기 때문에, 작업을 수행하기 위한 정보가 제대로 갖추어지지 않으면 큰 문제가 생기는 단점이 있었다.

이러한 문제에 따른 해결책으로서 제시할 수 있는 생산 정보 모델은 CIM 시스템의 출현과 CALS의 확산으로 대변되는 새로운 생산 시스템의 가장 중요한 요소 중 하나로서, 생산 정보 모델의 통합을 통하여 정확한 정보를 적절한 시기에 필요한 장소에 전달할 수 있는 장점을 가진다.

본 논문에서는 가상 생산 시스템의 통합된 정보 모델을 구축하기 위하여 기능 모델링에는 IDEFO를, 정보 모델링에는 IDEFIX를 사용하였다.

<그림 3>은 가상 생산 시스템의 IDEFO 모델의 일부를 보인 것이다. 각 박스는 생산 활동과 엔지니어링 활동을 나타낸 것으로, 좌측에는 소재, 주문, 관리와 같은 입력이, 우측에는 공정의 결과가 위치한다. 시스템 정보, 공정, 룰베이스와 같은 엔지

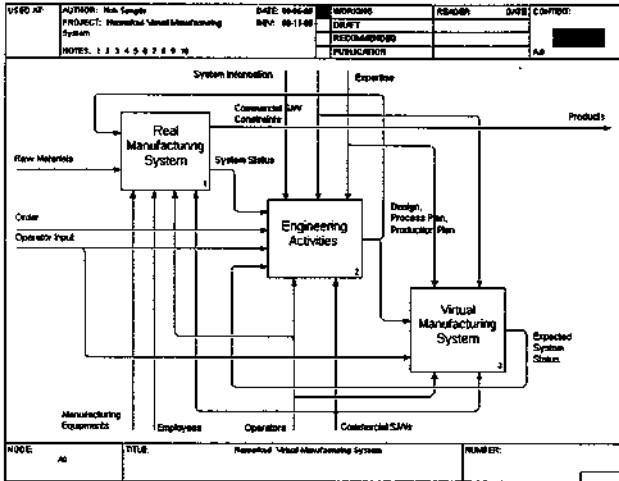


그림 3. 가상 생산 시스템의 IDEF0 모델.

니어링 활동에 관한 컨트롤은 박스의 상단에 표시되며, 그 활동을 지원하는 소프트웨어나 하드웨어, 작업자와 같은 요소들이 박스의 하단에 위치한다.

<그림 4>는 가상 생산 시스템의 IDEF1X 모델을 보인 것으로서, 가상 생산 시스템의 정보 모델에서는 생산 설비에 관한 정보뿐만 아니라 모든 엔지니어링 활동에 관한 정보들이 entity로 정의되어 있으며, 이러한 entity들 사이의 관계들도 정의되어 있다.

정의된 생산 설비 체계는 객체 지향적 기법에 따라서 모델링을 수행하였다. 예를 들어, 공장 기계, AS/RS (Automatic Storage / Retrieval System), AGV(Automatic Guided Vehicle)와 같은 설비와 공구들은 main resource와 auxiliary resource로부터 그 속성을 상속받아 모델링되었다. 이러한 구조를 채택함에 따라서, 프로그램의 효율적인 개발과 직접적인 관계형 데이터베이스 시스템

탐 구축이 가능하였다. 주문, 작업, 공정 등과 같은 정보들은 생산 설비와는 별도로 모델링되었다.

4. 가상 생산 시스템의 구축

본 연구에서는 네트워크 기반의 가상 생산 시스템을 구축하기 위하여 3차원 그래픽 모델링의 인터넷 표준 언어인 VRML과 운영체제 독립적인 성격을 갖는 인터넷 표준 프로그래밍 언어인 Java 언어를 사용하였다.

VRML 모델은 3차원 공간의 데이터를 텍스트 형식으로 기술한 파일 포맷으로, 이 파일이 웹 서버에 저장되어 원격지의 사용자가 요청하면 전송된다. 사용자측 컴퓨터는 웹 브라우저 상에서 전용 VRML 플러그인을 이용하여 텍스트 형식의 데이터를 3차원 모델 데이터로 변환함으로써, 가상 공간이 모니터에 표시된다. 사용자는 가상 공간을 마우스 조작만으로 이동할 수 있으며, 공간 안의 물체에 링크시킬 수 있으며, 그 물체를 마우스로 클릭함으로써 다른 3차원 공간을 읽어들일 수 있다.

Java 언어는 WWW의 확장 기술로서 1990년 Sun Microsystems사의 James Gosling에 의해 시작되어 초기에는 Interactive TV 등 가전 제품을 위해 개발되었으나 1994년 웹브라우저에서 이 언어가 지원되면서 큰 주목을 받기 시작하였다(Sun micro-systems). Java의 가장 큰 특징이자 장점은 컴퓨터의 종류에 영향을 받지 않고 프로그램의 수행이 가능하다는 점이다. Java는 서버에서 클라이언트로 프로그램을 다운로드받아 실행함으로써 네트워크를 통한 다양한 프로그램의 구현이 가능하게 해준다.

VRML 언어와 Java 언어의 범용성과 함께 개방성도 시스템 구현에 핵심적인 역할을 하였다. VRML 언어로 모델링된 3차

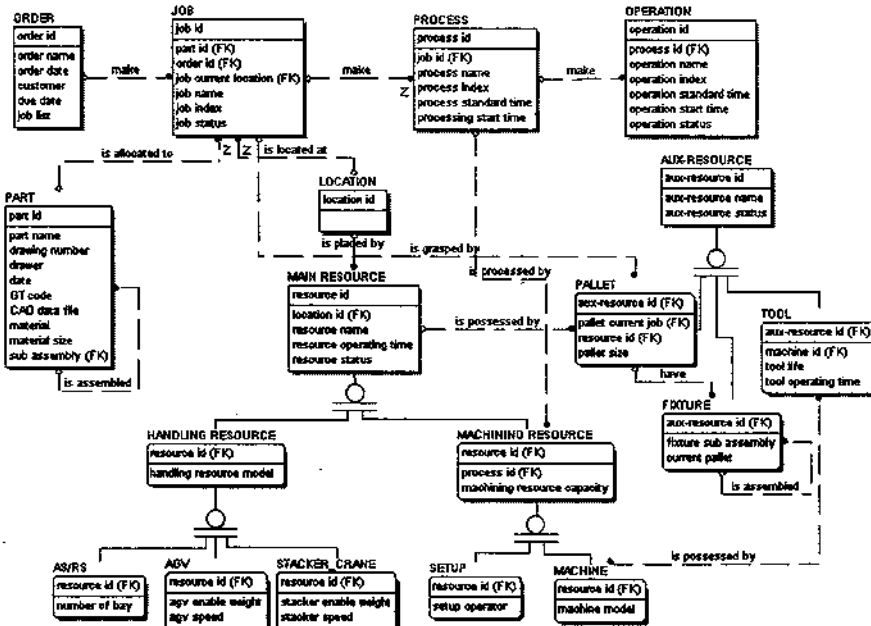


그림 4. 가상 생산 시스템의 IDEF1X 모델.

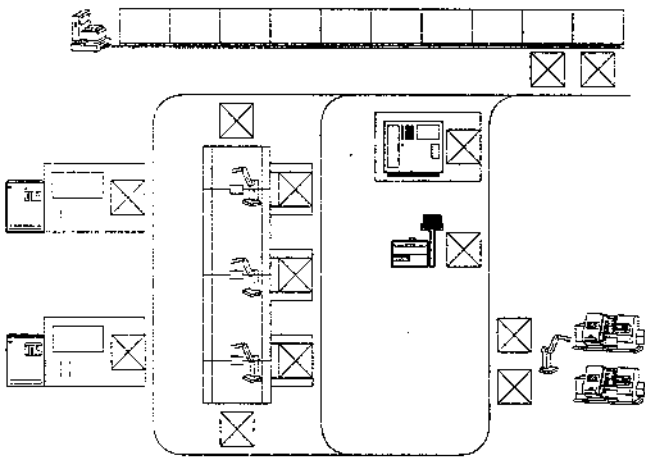


그림 5. 구현 대상 공장의 레이아웃.

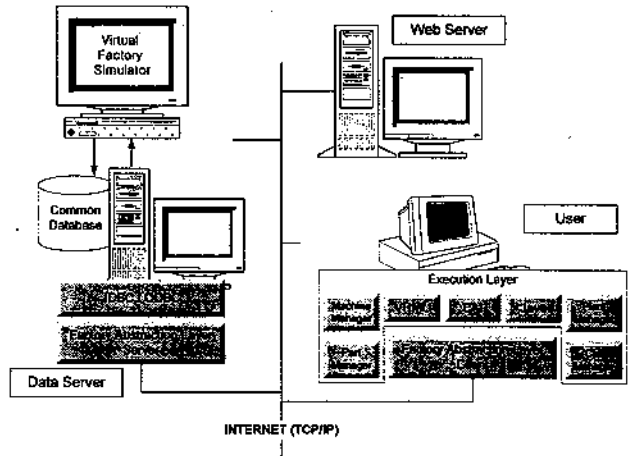


그림 6. 가상 공장의 기본 구조.

원 모델 데이터는 EAI(External Authoring Interface) 기술을 이용하여 Java 언어로 작성된 외부 프로그램에 의하여 실시간으로 삽입, 수정, 삭제가 가능하고, Java 언어로 작성된 프로그램은 JDBC 드라이버를 이용하여 서버측의 데이터베이스에 접속하여 필요한 데이터를 얻을 수 있다.

4.1 대상 생산 시스템

본 논문에서는 가상 생산 시스템의 대상 시스템으로 서울대학교 자동화시스템공동연구소의 FMS/CIM 센터를 기반으로 한 FMS 공장을 선정하였다(<그림 5>). 이 공장에서는 대, 중, 소 세 가지 크기의 전기 모터를 가공, 조립 생산하며, 각 전기 모터는 Case, Rotor, Shaft Cap, End Cap의 네 가지 부품을 생산하여 조립한다. 생산 설비의 자세한 사양은 <표 1>과 같다.

4.2 가상 공장의 기본 구조

가상 공장의 기본 구조는 <그림 6>과 같다. 가상 공장은 공

표 1. 구현된 가상 공장의 생산 설비

설비명	수량	비고
Load/Unload Station	4	셋업(2), 선반(2)
AGV	1	
AS/RS	1	60개 팔릿
검사기	1	APC 장착
세척기	1	APC 장착
머시닝센터	2	APC, ATC 장착
CNC 선반	2	ATC 장착
6축 로봇	2	조립라인(1), 선반(1)
4축 로봇	2	조립 라인
주 컨베이어	1	조립 라인
보조 컨베이어	3	조립 라인

장의 상태, 셀의 상태, 각 생산 설비의 정보, 팔릿의 위치, 가공품의 상태, 각 소재의 재고 상황, 가공품의 설계 정보, 공정 계획 정보 등 실제 생산 현장의 모든 정보를 공통 데이터베이스로부터 JDBC를 통하여 얻어낼 수 있다.

처음 사용자가 접속했을 때 서버측 FAL(Factory Abstraction Layer)은 데이터베이스로부터 획득한 현재 공장 상황 데이터를 인터넷을 통하여 사용자측 FAL로 보낸다. 사용자측에서는 전송 받은 데이터를 바탕으로 공장 상황을 사용자에게 보여준다.

이후 서버와 클라이언트는 지속적으로 통신을 수행하면서 공장의 정보를 실시간으로 FAL과 EL(Execution Layer)을 통하여 사용자에게 3차원 가상 공장의 운영 상황을 제공한다. 사용자에게 정보를 제공하는 기능은 서버와 독립되어 있는 EL이 수행함으로써 공장이 바뀌거나 생산 설비의 오작동, 기타 여러 가지 상황에 유연하게 대처하여 동작할 수 있도록 구성되어 있다.

가상 공장의 실행부에는 Plant Manager, Cell Manager, Machine Manager, Part Manager의 네 가지 서비스가 상주한다. 이들은 각 생산 설비 또는 생산 제품의 각종 정보를 관리하고 사용자의 요청에 의해 데이터를 제공하는 역할을 수행한다.

4.3 VRML을 이용한 생산 시스템의 모델링

가상 공장에 사실감을 부여하기 위하여 가상 현실 기술을 도입하였고, 이를 인터넷을 통하여 원격지에서 체험하기 위해 3차원 모델링의 인터넷 표준 언어인 VRML로 공장 설비들을 모델링 하였으며, 개발된 가상 공장을 대상 공장과 유사한 다른 공장에 쉽게 적용할 수 있도록 하기 위하여 각 설비들을 공장 자체와는 별도로 모델링하여 VRML 라이브러리를 구축하였다.

사용자가 가상 공장에 접속했을 때, 시스템은 그 공장의 데이터베이스를 참조하여 VRML 라이브러리로부터 필요한 기계의 모델링 정보를 읽어 사용자의 가상 공장에 추가한다. 추가되는 기계는 머시닝 센터, 선반, 세척기와 같이 그 위치가 고정

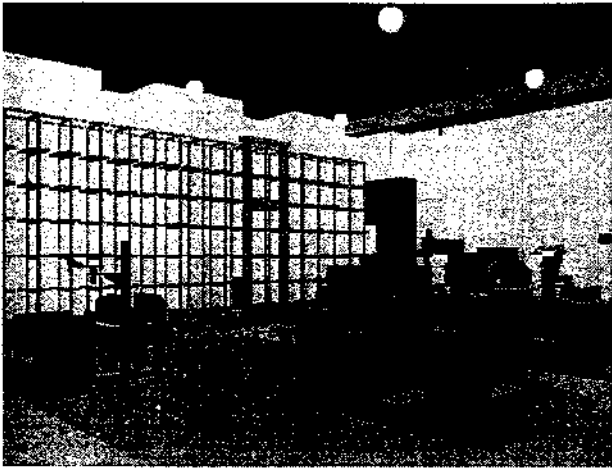


그림 7. VRML로 모델링한 가상 공장.

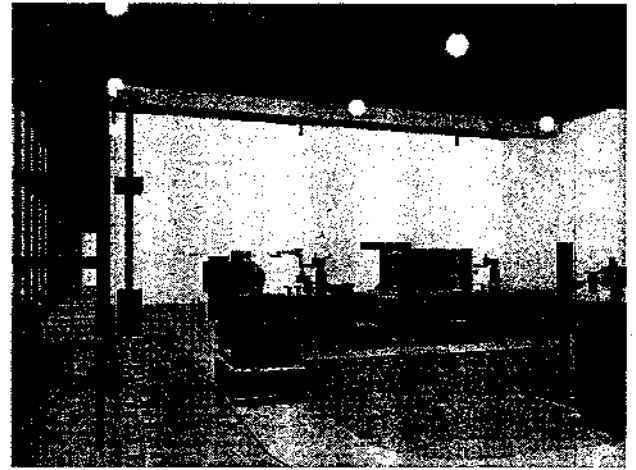


그림 9. 운영중인 가상 공장.

적인 기계들과 AGV, 스택어 크레인과 같이 그 위치가 실시간으로 변할 필요가 있는 기계들로 분류할 수 있다. 위치가 변하는 기계의 경우 사용자의 가상 공장에 기계 정보를 추가하면서 기계의 위치를 나타내는 항목에 대한 핸들러를 별도로 보관해 두었다가 공장이 실시간으로 동작할 때 실제 공장 또는 공장 시뮬레이터와 자료를 교환하면서 기계의 위치를 변경시켜줄 필요가 있다.

4.4 가상 생산 시스템의 운영

개발한 가상 생산 시스템을 운영하기 위하여 본 연구에서는 전문가 시스템 셸인 G2를 이용하여 공장 시뮬레이터를 제작하였으며, 제작한 시뮬레이터의 결과를 검증하기 위하여 상용 시뮬레이션 소프트웨어인 SIMAN을 이용하여 만든 모델과 비교 검증하였다(Lee et al., 1997).

제작한 공장 시뮬레이터를 이용하여 대, 중, 소 세 가지 크기의 전가 모터를 생산한 결과는 <표 2>와 같다. 이 표에서 SIMAN으로 제작된 모델과 본 가상 공장의 시뮬레이션에 사용된 공장 시뮬레이터는 약 5% 정도의 차이를 가지는 것을 알 수

표 2. 공장 시뮬레이터로 생산 운영한 결과

		Utilization					Throughput (part/hr)
		AGV	MCT1	MCT2	NCLT1	NCLT2	
SIMAN	1일	0.802	0.908	0.888	0.759	0.670	1.43
	1주	0.688	0.883	0.873	0.799	0.670	1.54
	1개월	0.659	0.866	0.817	0.766	0.660	1.56
가상 공장	1일	0.799	0.897	0.891	0.713	0.703	1.42
	1주	0.653	0.874	0.864	0.806	0.681	1.52
	1개월	0.632	0.854	0.822	0.781	0.687	1.55

있다. 이것으로 본 공장 시뮬레이터는 상용 시뮬레이션 소프트웨어와 큰 차이 없이 동작한다고 할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 정보화 사회를 바탕으로 한 국제적인 경쟁 사회에서 인터넷을 통하여 서로 다른 조직들을 유연하게 통합할 수 있는 가상 기업을 위한 의사 결정 지원 시스템으로써의 가상 생산 시스템의 구조를 제안하고, 그 한 예로서 가상 공장을 구현하여 운영 방안과 운영 모델을 제시하였다.

개발된 가상 생산 시스템을 이용하면, 전 세계에 분산되어 있는 사용자들이 인터넷을 통하여 정보를 공유하고, 유기적으로 업무를 수행할 수가 있다. 또한 가상 현실 기법을 이용하여 제품, 생산 설비 정보를 포함하여 실제 공장과 연동하여 모니터링 기능을 수행할 수 있다.

참고문헌

이교일, 한영근, 노상도, 공상훈 (1998), 인터넷 기반 가상 공장 개발, *대한산업공학회 / 한국경영과학회 '98 춘계공동 학술대회 논문집*, Session A 06.5.

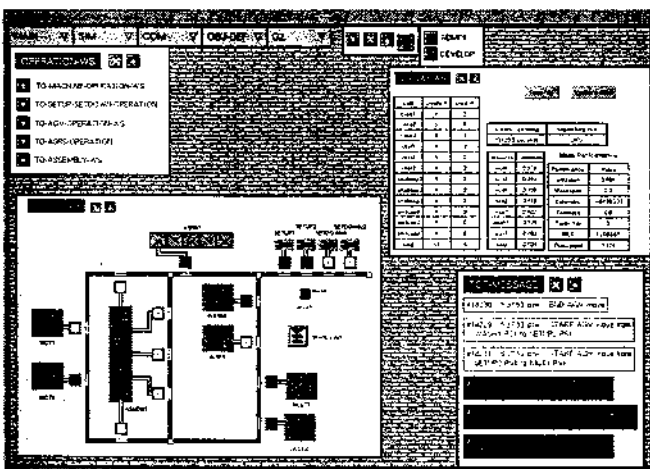


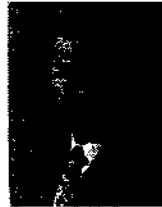
그림 8. 전문가 시스템 셸을 이용한 시뮬레이터.

이교일, 한영근, 노상도, 공상훈, 이성근 (1998), 인터넷 기반 가상 공장 운영 모델, *대한산업공학회'98 추계 학술 대회 논문집, Session C44.3*.
 Institute for systems research (1994), *Virtual manufacturing: VR background project report*, U. of Malyland.
 ISO/IEC WD 14772 (1996), *The Virtual Reality Modeling Language Specification (VRML 2.0)*.
 Iwata, K., Onosato, M. (1994), Random Manufacturing System: a New Concept of Manufacturing Systems for Production to Order, *Annals of the CIRP*, 143(1), 379-383.
 Iwata, K., Onosato, M., Teramoto, K., Osaki, S. (1995), A Modeling and Simulation Architecture for Virtual Manufacturing Systems, *Annals of the CIRP*, 144(1), 399-402.
 Iwata, K., Onosato, M., Teramoto, K., Osaki, S. (1997), Virtual Manufacturing Systems as Advanced Information Infrastructure for Integrating Manufacturing Resources and Activities, *Annals of the CIRP*, 46(1), 335-338.
 Kimura, F. (1993), Product and Process Modeling as a Kernel for Virtual Manufacturing Environment, *Annals of the CIRP*, 142(1), 147-150.
 Lee, K. I., Kim, J. W., Han, Y. G., Noh, S. D., Kong, S. H. (1998), Virtual Manufacturing System on WWW, *Proceedings of the 31th CIRP International*

Seminar on Manufacturing Systems, 266-270.
 Lee, K. I., Noh, S. D. (1997), Virtual Manufacturing System - a Test-Bed of Engineering Activities, *Annals of the CIRP*, 46(1), 347-350.
 Lee, K. I., Noh, S. D., Roh, K. Y. (1997), Integrated Scheduling System for Virtual Manufacturing System, *Proceedings of the 30th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems*, 245-250.
 Lee, K. I., Lee, S. D., Roh, K. Y., Noh, S. D. (1997), Development of a Virtual Manufacturing System, *Proceedings of the 2nd Asian Control Conference*, 61-64.
 Onosato, M., Iwata, K. (1993), Development of a Virtual Manufacturing System by Integrating Product Models and Factory Models, *Annals of the CIRP*, 142(1), 2501-2520.
 Onosato, M., Osaki, S., Nitano, M., Teramoto, K. (1998), Working in a Digital Factory: Interface between Human and Virtual Manufacturing Systems, *Proceedings of the 31st CIRP International Seminar on Manufacturing Systems*, 282-287.
 Robert G. Brown (1996), *An Overview of Virtual Manufacturing Technology*. Society of Manufacturing Engineers (1997. 6), *Virtually Everything, Manufacturing Engineering*, 118(5), 16-19.
 Sun microsystems, <http://www.sun.com/>, <http://java.sun.com/>.



공상훈
 서울대학교 기계설계학과 학사
 서울대학교 기계설계학과 석사
 현재: 서울대학교 기계설계학과 박사과정
 관심분야: Virtual Manufacturing, Collaborative Engineering



이교일
 서울대학교 기계공학과 학사
 Technische Hochschule Aachen 기계공학 Dipl.-ing
 Technische Hochschule Aachen 유압제어 Dr.-ing
 현재: 서울대학교 기계항공공학부 교수
 관심분야: 유공압제어, 생산자동화



한영근
 서울대학교 기계설계학과 학사
 서울대학교 기계설계학과 석사
 Pennsylvania State University 산업공학과 박사
 현재: 명지대학교 산업시스템공학부 부교수
 관심분야: 생산자동화, FMS/CIM, Virtual Manufacturing