

자동차 가상생산 기술 적용(IV) — 가상공장 정보 관리

노상도^{1*} · 안현식² · 박영진³

¹성균관대학교 시스템경영공학부 / ²(주)인포미아 정보화사업부

³(주)GM DAEWOO Auto & Technology 생산기술연구소

Virtual Manufacturing for an Automotive Company(IV) — Information Management for a Virtual Factory

Sang-Do Noh¹ · Hyeon-Sik Ahn² · Young-Jin Park³

¹School of Systems Management Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, 440-746

²Information Business Division, Informia Co., Seoul, 150-877.

³Production Research Center, GM Daewoo Auto & Technology, Incheon, 403-714

Virtual Manufacturing is a technology facilitating effective development and agile production of products via computer models representing physical and logical schema and the behavior of the real manufacturing systems including manufacturing resources, environments and products. For the successful application of this technology, a virtual factory as a well-designed and integrated environment is essential. To construct a virtual factory in effective and concurrent manners, a supporting information infrastructure for managing diverse models of virtual factory is very important. In this paper, we constructed the web-based information management system for many engineering activities related with a virtual factory. Using this system, users can handle all information and diverse digital files including attributes, parameters, 3-D CAD files, simulation models, and etc. of a cell, line and whole factory. We expect that this information management system for a virtual factory helps us achieve great time savings and advances in accuracy for construction and maintenance activities of virtual factories.

Keywords: virtual manufacturing, virtual factory

1. 서론

가상생산(virtual manufacturing)은 '생산 시스템의 물리적, 논리적 구성 요소들과 거동을 엄밀하게 모델링하여 통합된 컴퓨터 모델을 구성하고 3차원 CAD, 시뮬레이션 등 다양한 컴퓨터 기술을 활용하여 생산의 전 과정에 걸쳐 각종 오류의 사전 검증과 효율적 의사결정을 수행함으로써 신속하고 효율적인 제품 개발 및 제조를 실현하려는 기술'이다(Lee et al., 1997; 노상도,

이창호 외, 2001).

가상공장(virtual factory)은 생산행위가 수행되는 하나의 공장을 대상으로 제품(product), 설비(resource), 공정(process) 등을 가상생산의 관점에서 모델링하여 통합적으로 구성한 컴퓨터 모델로서 제품 개발, 생산 준비, 양산의 전 부문에서 가상생산 기술을 적용하는데 기반이 된다. 일반적으로 가상공장은 방대한 양의 3차원 CAD 모델과 시뮬레이션 모델로 구성되는데, 보통 모델의 적용 범위, 상세화 정도에 따라 작업, 셀, 라인으로 구분

본 논문은 2002년도 성균학술연구비(신차 개발 기간 단축을 위한 디지털 엔지니어링 방안 및 추진 전략 수립, 2002-0252-000)의 지원으로 수행되었음.

*연락처 : 노상도 교수, 440-746 경기도 수원시 장안구 천천동 300 성균관대학교 시스템경영공학부, Fax: 031-290-7610, e-mail : sdnoh@skku.ac.kr

2002년 8월 접수, 1회 수정 후 2002년 11월 게재 확정.

할 수 있으며, 공정과 각 공정에 속하는 세부 작업들, 그리고 이에 관련된 각종 정보를 통합적으로 관리, 사용해야 한다(노상도, 홍성원 외 2001).

Kimura는 구축된 가상생산 환경을 제품 개발과 공정 모델링을 통합적으로 수행, 관리하는 핵심적인 개념으로 보고, 그 대상이 되는 제품, 공정 정보를 분류하고 각각의 특성을 정리하였다(Kimura, 1993; Krause, 1993). Iwata 등은 이러한 개념을 실현하는 구체적인 구현 환경으로 VirtualWorks를 개발하고 이를 통한 가상생산 시스템의 구축을 제안하였으나, 가상생산을 수행하는데 필요한 제품, 공정에 관련된 정보를 통합적으로 다룰 수 있는 정보기술의 도입이 필요함을 주장하였다(Iwata et al., 1995; Iwata et al., 1997).

본 논문에서는 국내의 한 자동차 회사를 대상으로 차체, 도장, 조립 공장 등을 대상으로 여러 개의 가상공장을 구축, 운영, 관리하는데 있어서 다양하고 방대한 모델 및 관련 정보를 통합적으로 관리하는 가상공장 정보관리 시스템에 대한 필요성과 객체지향 스키마를 이용한 정보 모델을 제시하고, 이를 바탕으로 Web 환경에서 구축, 사용하고 있는 Web 기반 가상공장 정보관리 시스템을 설명하고자 한다.

2. 가상공장 정보 체계

2.1 가상공장

가상공장은 생산 전 분야에 걸쳐 생산되는 제품(product), 적용되는 공정(process), 사용되는 자원(resource)의 각종 정보와 연관관계, 그리고 거동을 포함하는 통합된 환경이며, 일반적으로 <그림 1>과 같은 구축 절차를 단계별로 수행하게 된다.

<그림 1>의 진하게 표시된 부분에서 볼 수 있는 것과 같이 가상공장을 구축하는 작업은 크게 3차원 CAD 모델의 구성, 시뮬레이션 모델 구현을 통한 운영 모델의 구축 등으로 이루어진다. 두 작업 모두 상당한 시간과 노력이 요구되는 힘든 작업이므로 3차원 CAD 모델링 작업 수행과 시뮬레이션을 통합적으로 포함하는 모델링 환경의 구축과 기 구성된 두 종류의 모델들에 대한 재사용이 필수적으로 요구된다. 또한 가상공장 구축 후에는 구성된 CAD 모델과 시뮬레이션 모델에 대한 엄밀한 검증을 통하여 모델의 적합성을 확인하여야 하고 추후 변경이나 현장 맞춤 등을 계속적으로 반영하여 모델의 신뢰성을 계속 유지하는 것이 필요하다(노상도, 홍성원 외, 2001).

가상공장의 원활한 구축과 운영을 위해서는 생산하는 제품, 제조에 사용되는 각종 설비와 자원, 생산 순서와 방법들을 나타내는 공정, 그리고 작업에 대한 각종 정보를 통합하여 체계적으로 관리해야 한다. 관련된 정보는 설비의 사양, 위치, 특성 등 각종 데이터, CAD 파일, 그리고 기타 관련 파일 등 매우 다양하며, 이러한 정보들은 제품설계 부서, 공정설계 부서, 설비업체, 협력/외주업체 등 여러 곳에 분산되어 있는 엔지니어들

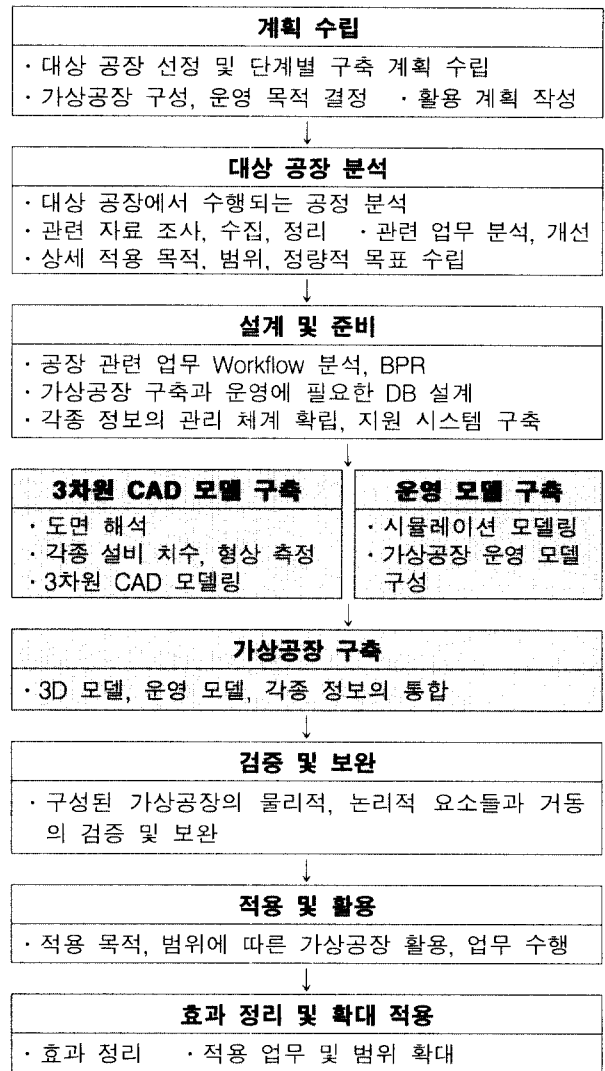


그림 1. 가상공장 구축 절차.

에 의하여 입력, 조회, 수정될 수 있어야 한다(노상도, 안현식, 2001; Blank et al., 2000). 이를 위해서는 업무 분석, 각종 문서들에 대한 표준 수립, 자료 입출력 절차 확립과 이를 기반으로 한 유연한 구조의 통합 데이터베이스 설계가 선행되어야 한다. 또한 CAD 등 각종 파일의 인터페이스 방법에 대한 면밀한 검토와 사용하기 편리하고 신뢰성이 있는 제품/설비/공정 정보 관리 체계와 이를 지원해주는 전산 시스템이 필수적이다(Turner et al., 1987).

2.2 가상공장 정보 객체지향 모델

2.2.1 가상공장 객체지향 모델링

객체지향(object-oriented) 모델링은 객체(object)와 클래스(class) 및 클래스 간의 관계로 구성된다. ‘객체’는 ‘A차량 차체 용접 40공정용 6축 로봇 #1’, ‘1공장 건물 동쪽 외벽’ 등과 같이 공장에 있는 실물을 대표하는 하나의 개념으로서, 모든 객체

는 다른 객체와 구분되는 자기만의 고유한 속성(attribute)을 가지게 된다. 클래스란 비슷한 속성을 가지는 객체들의 집합을 나타내는 추상적 개념이며, 각각의 클래스는 소속 객체의 공통 특성을 구체적으로 기술할 수 있는 항목을 갖고 있어야 한다(Yourdon, 1994). 예를 들어 벽, 로봇, 컨베이어와 같은 단어들은 클래스라 할 수 있으며, 각 클래스는 소속 객체들을 표현할 수 있는 대표 속성 항목을 갖는다. 건물 외벽 클래스의 객체들은 길이, 높이, 두께 등과 같은 해당 클래스의 공통 속성들을 가져야 한다. 예를 들어, 공장의 남쪽 외벽, 북쪽 외벽, 동쪽 외벽, 서쪽 외벽이라는 벽들에 대해 개념을 정리하면 다음의 <표 1>과 같다.

본 논문에서는 객체와 클래스의 개념을 가상공장의 모든 물리적 요소들인 설비, 장비, 구조물 등에 적용하였으며, 클래스 간의 관계 설정으로서 '상속' 개념을 적용하였다. 상속은 한 클

표 1. 클래스 개념 예제

		클래스 '공장 건물 외벽'			
		객체 '남쪽벽'	객체 '북쪽벽'	객체 '동쪽벽'	객체 '서쪽벽'
클래스 '공장 건물 외벽'의 속성	길이	100 m	150 m	50 m	50 m
	두께	30 cm	30 cm	20 cm	30 cm
	높이	4 m	3.5 m	3 m	2.5 m

래스와 그로부터 파생된 하나 또는 여러 개의 클래스 사이의 관계를 설정하는 개념으로, 다른 클래스들이 파생되는 부모 클래스를 슈퍼 클래스(super class)라 하고 파생되는 클래스들은 서브 클래스(sub class)라고 부른다. 예를 들어 설비(equipment) 클래스는 로봇과 컨베이어 클래스의 슈퍼 클래스가 된다. 서브 클래스들의 공통된 속성이 곧 슈퍼 클래스의 속성이 되는데, 이를 서브 클래스가 슈퍼 클래스를 상속했다고 표현한다.

이상의 객체지향 정보 모델링의 개념을 적용하여 자동차 공장 내에 존재하는 모든 객체 정보들을 분류하여 객체 지향 클래스를 <그림 2>와 같이 작성하였다. 클래스의 분류 체계는 트리 형태이며 이것은 최상위 루트 클래스, Plant를 제외한 모든 클래스가 부모 클래스를 갖는다는 뜻이 된다. 루트 클래스, Plant의 모든 하위 클래스들은 Plant 클래스의 속성 항목을 공유하게 된다. 클래스들은 이 트리 구조의 노드가 되며 가지들은 클래스 간의 관계를 나타낸다.

구성된 가상공장 객체지향 정보 모델을 살펴보면 크게 건축에 관계된 객체들을 포함하는 클래스인 Building, 배관에 관계된 객체들을 포함하는 클래스인 Utility, 라인에 설치되는 시설에 관계된 객체들을 포함하는 클래스인 Aux. Structure, 그리고 각종 공정의 수행을 위한 설비 객체들을 포함하는 Equipment로 분류되며, 각 클래스에는 그 특성에 따라 분류된 하위 클래스들이 포함되어 있다. 예를 들어, 공장에서 물류 장치로 많이

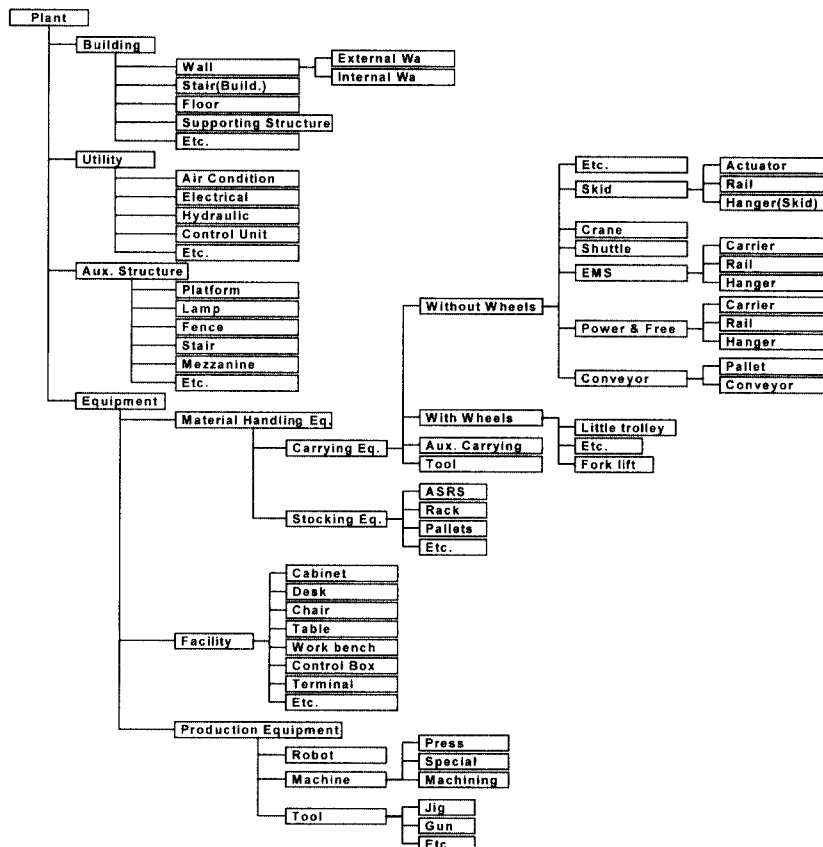


그림 2. 가상공장 정보 객체지향 모델.

사용되는 컨베이어 객체들을 찾고 싶은 경우, Plant 클래스 → Equipment 클래스 → Material Handling 클래스 → Carrying Equipment 클래스를 찾고, 다시 Without Wheels → Conveyor로 계층 분류에 따라 찾아 들어가면 해당되는 객체들을 모두 찾아볼 수 있는 것이다. 이러한 클래스 개념을 통하여 사용자가 공장, 가상공장 안에 존재하는 다양한 종류의 객체들을 그 종류, 특성에 따라 직관적으로 쉽게 찾고, 각 객체의 정보에 빠르게 접근할 수 있게 된다.

<그림 3>은 가상공장의 각종 정보를 객체지향 모델로 유지, 관리하기 위하여 구성된 데이터베이스의 구조이다.

공장에 존재하는 모든 장비들은 분류 체계상의 어느 클래스에 속하는 객체가 되며, 가상공장의 설비 관련 정보는 그 객체의 속성 항목에 관련되어 저장된다. 이때 대부분의 속성들은 문자열이나 숫자로 표현되나, 특정한 일부 속성들은 추가 정보를 가지며 다른 속성들과 달리 다루어진다. 예를 들어, 모든 객체들은 3차원 CAD 파일과 같이 일련의 파일들과 연관성을 갖게 되며, 앞서 언급했듯이 사용자들은 이 파일들을 서버에 올리거나 내려받을 수 있다.

또한 모든 객체들은 일련의 생산 프로세스, 공정 정보와 관련되어 있으며, 이러한 정보들은 셀, 라인, 공장 등 규모와 대상에 따라 다양하게 존재하는 가상공장 시뮬레이션 모델들을 관리할 수 있게 한다. 즉, 각각의 객체별로 정보 관리가 가능할 뿐만 아니라, 이를 전체적으로 연관하여 보유하고 3차원 CAD 등 필요 파일을 모두 포함하여야 하는 시뮬레이션 모델 전체에 대한 정보 관리가 가능하도록 구성되어 있다.

3. Web 기반 가상공장 정보관리 시스템

3.1 Web 기반 가상공장 정보관리 시스템

구성된 가상공장 정보 모델을 바탕으로 분산된 다수의 작업

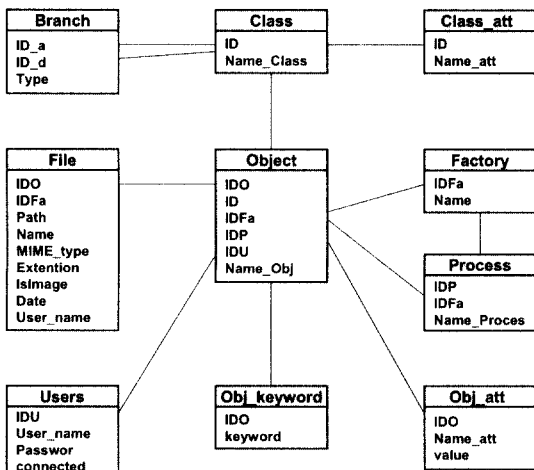


그림 3. 가상공장 정보 데이터베이스 구조.

자가 모델링을 수행하는 환경에서 정보 교환과 모델 관리 및 재사용이 가능한 가상공장 정보관리 시스템을 Web 기반으로 구축, 사용하였다. 가상공장 정보관리 시스템은 각 가상공장 과 관련되어 클래스 분류 체계상의 모든 정보들을 편리하게 다룰 수 있으며, 웹 브라우저에서 클래스 분류 체계를 조회, 관리하고 클래스의 각 속성 및 관계를 탐색, 확인할 수 있다. 또한 사용자가 언제든지 설비 관련 정보 및 관련 파일에 대해 신속히 접근할 수 있으며, 사용자별로 인증을 통한 등록, 수정, 삭제 등 엄격한 관리가 가능하다.

본 시스템은 Microsoft Windows2000 server에서 ASP 언어와 SQL Server2000을 이용하여 개발되었다. <그림 4>와 <그림 5>는 시스템 사용 환경과 기능 구성을 그림으로 나타낸 것이며, 개발된 시스템의 특징은 다음과 같다.

3.1.1 클래스분류 체계 관리

가상공장 정보관리 시스템에 접속한 모든 사용자는 언제든지 클래스 분류 체계에 따라 소속 객체들을 조회할 수 있으며,

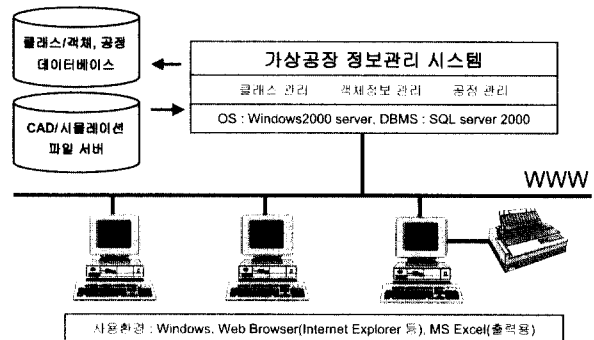


그림 4. 가상공장 정보관리 시스템의 사용 환경.

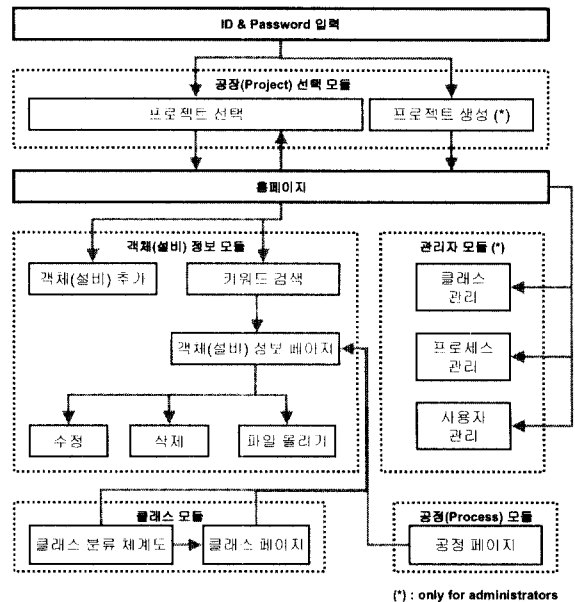


그림 5. 가상공장 정보관리 시스템의 구성.

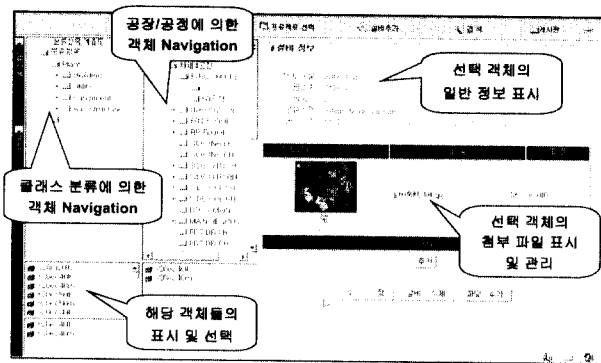


그림 6. Web기반 가상공장 정보관리 시스템의 화면 구성.

클래스 정보에 신속하게 접근하고 수정, 삭제하는 등 가상공장에서 사용되는 클래스 분류 체계를 효율적으로 관리할 수 있다.

3.1.2 각종 객체 정보 관리

실제 또는 가상공장 내의 객체들은 Plant 클래스의 멤버 객체로서 시스템에 저장된다. 사용자는 언제든지 원하는 클래스 정보에 접근해서 그 클래스에 소속한 객체를 추가하고 속성들을 설정할 수 있으며 추가된 객체를 편집하거나 수정할 수 있다. 또한 3차원 CAD, 관련 문서 등 해당 객체에 관련된 다양한 파일을 저장할 수 있으며, 각각의 파일에 대해 서버 내에서의 접근 패스 및 등록 날짜, 파일의 종류를 규정하여 관련 동작을 지시하는 MIME(Multipurpose Internet Mail Extensions)과 같은 부가적인 정보들도 자동 저장된다. 또한, 사용자가 저장되어 있는 각각의 파일 내용을 손쉽게 파악할 수 있도록 미리 보기 그림을 지정, 사용할 수 있다.

3.1.3 시뮬레이션 모델 관리

가상공장 시뮬레이션은 셀, 라인, 공장 등 규모와 대상에 따라 다양한 모델들이 존재하게 되며, 각 모델은 시뮬레이션에 필요한 여러 가지 파라미터와 3차원 CAD 파일 등 필요한 파일들을 포함한다. 가상공장 정보관리 시스템을 이용하면 각각의 시뮬레이션 모델에 대하여 해당 모델의 정보와 함께 관련된 모든 파일을 서버에 정리하여 보관하고, 필요한 경우 언제 어디서나 web에 접속하여 이를 다운받아 즉시 시뮬레이션을 수행하거나 변경 및 재사용할 수 있다.

3.1.4 여러 공장 관리

구축된 가상공장 정보관리 시스템은 여러 개의 실제 또는 가상공장에 관련된 정보를 통합적으로 관리할 수 있다. 각각의 공장마다 고유한 이름이 부여되며, 모든 객체는 반드시 어느 하나의 공장에 속하게 된다.

3.1.5 객체 정보의 직관적이고 신속한 접근

사용자가 저장되어 있는 하나의 객체에 대한 정보에 접근하

기 위해서는 해당 설비가 속한 클래스를 분류 체계를 통하여 찾아갈 수 있으며, 설치 공장, 관련 정보를 통하여 직관적으로 찾아갈 수도 있고, 각종 조건 키워드를 이용하여 검색할 수도 있다. 모든 객체들은 소속 공정 정보와 연관되어 저장되어 있으며, 각 객체들이 관련된 공장, 공정 정보는 작업, 셀, 라인으로 구성되는 시뮬레이션 모델과 깊은 상호연관성을 갖는다.

3.1.6 사용자 관리

가상공장 정보관리 시스템으로의 접근은 사용자 이름 및 패스워드, IP 등 두 단계로 승인된 사용자로 제한되어 있으며, 사용자는 일반사용자와 관리자로 구분된다. 일반사용자는 데이터베이스에 저장된 객체들의 모든 정보를 검색할 수 있고, 객체를 추가할 수 있으며, 자신이 추가한 객체에 관련된 정보를 수정하거나 파일을 추가할 수 있다. 관리자는 일반사용자의 모든 기능에 더하여 새로운 실제 또는 가상공장을 생성할 수 있고, 가상공장에 공정을 등록, 수정, 삭제할 수 있으며, 등록된 클래스 분류 체계를 수정할 수 있고, 사용자를 등록, 삭제하거나 승인된 사용자들의 속성 정보를 관리할 수 있다.

3.2 가상공장 정보 관리

<그림 6>은 본 논문에서 구성된 가상공장 정보관리 시스템의 사용자 화면 구성이다. 화면 오른쪽에 설비 등 객체에 대한 상세 정보가 표시되며, 왼쪽에 해당 객체의 클래스 구조, 연관 공정 정보가 트리 구조로 표시되어 사용자가 직관적으로 쉽게 객체를 관리할 수 있도록 구성되어 있다. 또한, web 기반으로 구성되어 관련된 다양한 정보를 브라우저 상에서 바로 읽을 수 있는 등 시스템의 확장성이 크게 구성되어 있다.

전술한 바와 같이 모든 사용자는 클래스 분류 체계 및 소속 객체들을 트리 구조를 통하여 간편하게 조회할 수 있고, 관리자는 클래스 분류 체계, 속성 등을 수정할 수 있도록 구성하였다. <그림 7>은 개발된 시스템에서 클래스 분류 관리를 수행하는 화면이다.

또한 가상공장 모델의 가장 큰 특징 중 하나는 모든 객체들이 3차원 CAD 및 시뮬레이션과 밀접한 연관성을 가지고 있다는 것이다. 본 시스템에서는 등록, 관리되는 모든 객체들이 클래스로 분류되고, 관련 공정과 연결 정보를 가지도록 구성되어 있다. <그림 8>은 개발된 시스템에서 관리자가 특정 공장에 대한 공정을 관리하는 화면이고, <그림 9>는 사용자가 공정을 선택하고, 객체에 대해 공정 정보를 지정하는 화면이다. <그림 10>은 개발된 가상공장 정보관리 시스템에서 관리되는 3차원 CAD, 시뮬레이션 모델의 예로서 차체공장에 대한 모델들이다.

3.3 가상공장 정보관리 시스템 구축 및 운영 결과

본 논문에서 구축, 운영된 가상공장 정보관리 시스템은 2001년 하반기부터 개발이 완료되어 본격적으로 사용하기 시작되

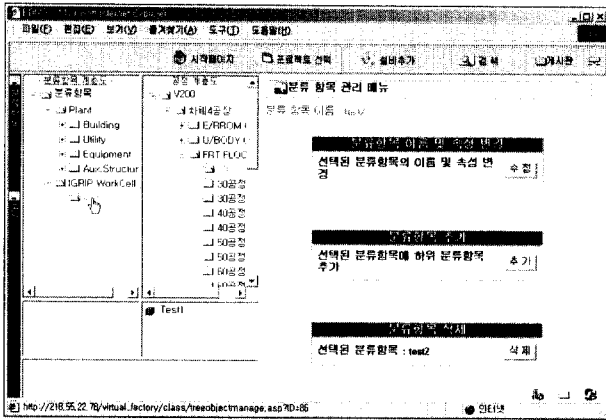


그림 7. 가상공장 정보관리 시스템, 클래스 분류 관리 수행.

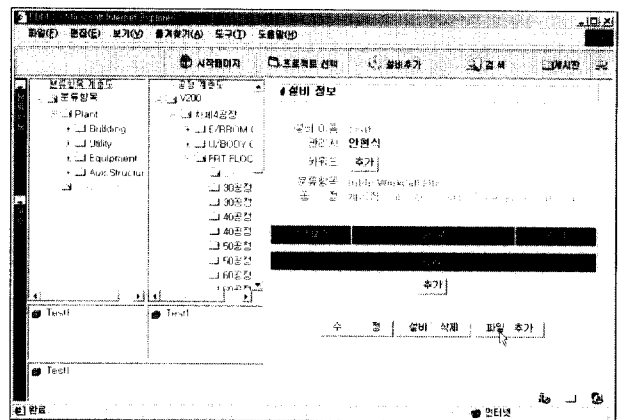


그림 9. 가상공장 정보관리 시스템, 공정정보 지정.

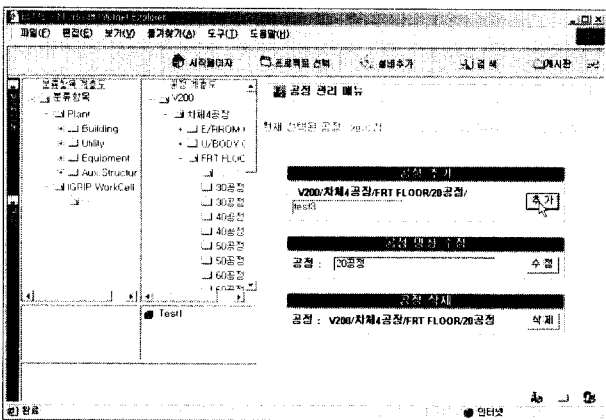


그림 8. 가상공장 정보관리 시스템, 공정 관리 수행.

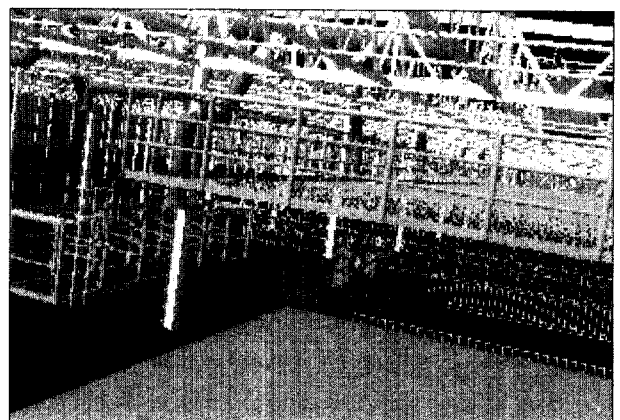


그림 10. 가상공장 모델의 예(차체공장).

였으며, 현재 해당 자동차 회사의 550여개의 공정이 등록되어 관련 객체들을 관리하고 있으며, 130여개의 시뮬레이션 파일이 등록되어 사용되고 있다. 가상공장 정보관리 시스템의 구축 결과 및 적용 효과는 다음과 같다.

3.3.1 CAD, 시뮬레이션 모델링 생산성 향상

3차원 CAD, 시뮬레이션 모델링 작업이 진행되는 과정에서 그 결과물을 web 상에서 공유할 수 있으므로 작업시 기존 모델을 검색하여 재사용할 수 있게 되었다. 특히, 동일 공장, 또는 유사 공정에서 비슷한 기능을 사용하는 객체들은 그 형상이 유사한 것이 보통이므로 모델 재사용을 통한 가상생산 엔지니어들의 생산성 향상 효과는 매우 크다고 할 수 있다. 기존에는 가상생산 적용 작업시마다 3차원 CAD 모델링과 시뮬레이션 모델링이 수행됐다면, 본 논문에서 구축된 가상공장 정보관리 시스템을 이용하여 먼저 기존의 유사 CAD, 시뮬레이션 모델을 검색하여 전체 모델을 불러와서 수정 작업하거나 필요한 여러 개의 부분들을 불러들여서 이 모델들을 가지고 전체 모델을 구성할 수 있는 것이다.

3.3.2 CAD, 시뮬레이션 모델 관리 및 공유

생산성 향상에 더하여, 3차원 CAD 모델과 시뮬레이션 모델

의 작성에서 최신의 정보를 공유하여 사용하고 그 산출물이 시뮬레이션으로 엄격하게 관리되므로 모델링 작업의 오류 발생을 크게 줄일 수 있고, 설비 형상 검토, 공장 시각화 등 다른 분야에도 결과를 확대, 전파할 수 있게 되었다. 예를 들어, 본 가상공장 정보관리 시스템을 활용하면 설계자가 자신이 설계한 제품이 어떤 장비를 이용하여 어떤 환경에서 어떻게 제조될 것인지 3차원 CAD 모델과 가상공장 시뮬레이션을 통해 미리 살펴볼 수 있으며, 가상현실(virtual reality) 기술 등을 접목하여 다수 엔지니어들의 디자인 검토와 엔지니어링(design review and vehicle engineering) 수행이 가능하다.

4. 결론

본 논문에서는 자동차 공장을 대상으로 가상공장을 구축, 운영, 관리하기 위해서 관련 정보를 통합적으로 관리하는 정보관리 시스템을 설계, 구축, 운영한 사례를 소개하였다. 객체지향 모델링 방법을 적용하여 국내 한 자동차 회사의 가상공장 구축에 필요한 다양한 객체들의 정보 구조를 만들었으며, 이를 바탕으로 모든 관련 정보들을 관리할 수 있는 데이터베이스를 구축하였다. 분산되어 있는 여러 사용자들이 데이터베이스

스에 접근할 수 있도록 하기 위해 web 기반의 응용 프로그램으로 개발함으로써 구축된 여러 가상공장에 사용되는 각종 정보들을 승인된 사용자는 인터넷을 통해 언제, 어디서나 접근이 가능해졌다. 본 연구를 통하여 가상공장 3차원 CAD, 시뮬레이션 모델링 작업의 생산성을 크게 높일 수 있을 뿐만 아니라, 구축된 모델의 효율적이고 신뢰성 있는 관리가 가능해짐으로서 가상생산 기술 도입 및 확대 적용에 크게 기여할 것으로 기대된다.

참고문헌

노상도, 이창호, 한형상 (2001), 자동차 가상생산기술 적용(I)-생산준비 업무 분석 및 적용 전략 수립, *IE Interface*, 14(2), 120~126.
 노상도, 홍성원, 김덕영, 손창영, 한형상 (2001), 자동차 가상생산기술 적용(II)-차체공장 가상플랜트 구축 및 운영, *IE Interface*, 14(2), 127~133.
 노상도, 안현식(2001), *설비정보관리 시스템(EMDS) 개발*, 고등기술연구원 연구보고서.

P. Blanc, Sang Do Noh (2000), *The Web-based data equipment management system-Information system for the management of the information needed to the virtual factories development*, Institute for Advanced Engineering.
 Fumihiko Kimura (1993), Product and Process Modeling as a Kernel for Virtual Manufacturing Environment, *Annals of the CIRP*, 42 (1), 147 ~ 150.
 Iwata, K., Onosato, M., Teramoto, K., Osaki, S. (1995), A modeling and Simulation Architecture for Virtual Manufacturing Systems, *Annals of the CIRP*, 44(1), 379 ~ 383.
 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.
 F. L. Krause, F. Kimura, T. Kjellberg, S.C. Y. Lu (1993), Product Modeling, *Annals of the CIRP*, 42 (1), 695 ~ 706.
 Lee, Kyo Il, Noh Sang Do (1997), Virtual Manufacturing System - a Test-bed of Engineering Activities, *Annals of the CIRP*, 46(1), 347 ~ 350.
 W. C. Turner, J. H. Mize, K. E. Case(1987), *Introduction to Industrial and Systems Engineering*, Prentice Hall.
 E. Yourdon (1994), *Object-Oriented Systems Design : An Integrated Approach*, Prentice Hall.



노상도

한국과학기술원 기계공학과 학사
 서울대학교 기계설계학과 석사
 서울대학교 기계설계학과 박사
 고등기술연구원 생산기술센터 선임연구원
 현재: 성균관대학교 시스템경영공학부 조교수
 관심분야: 생산시스템, Concurrent & Collaborative Engineering, 가상생산, CAD/CAPP/CAM, PLM



박영진

한양대학교 기계설계학과 학사
 한양대학교 기계설계학과 석사
 한양대학교 기계설계학과 박사
 현재: GM Daewoo Auto & Technology 생산기술 연구소 책임연구원
 관심분야: 생산시스템, 가상생산, PLM



안현식

서울대학교 기계설계학과 학사
 서울대학교 대학원 기계설계학과 석사
 고등기술연구원 생산기술센터 주임연구원
 현재: (주)인포피아 정보화사업부 선임컨설턴트
 관심분야: 시스템통합, 정보시스템, 기계제어