

분류 및 코딩시스템을 이용한 디지털 가상공장 객체의 효율적 관리

김유석*, 강형석**, 노상도***

The Efficient Management of Digital Virtual Factory Objects Using Classification and Coding System

Yu Seok Kim*, Hyoung Seok Kang** and Sang Do Noh***

ABSTRACT

Nowadays, manufacturing industries undergo constantly growing pressures for global competitions, and they must shorten time and cost in product development and production to response varied customers' requirements. Digital virtual manufacturing is a technology that can facilitate effective product development and agile production by using digital models representing the physical and logical schema and the behavior of real manufacturing systems including products, processes, manufacturing resources and plants. For successful applications of this technology, a digital virtual factory as a well-designed and integrated environment is essential. In this paper, we developed a new classification and coding system for effective managements of digital virtual factory objects, and implement a supporting application to verify and apply it. Furthermore, a digital virtual factory layout management system based on the classification and coding system has developed using XML, Visual Basic.NET and FactoryCAD. By some case studies for automotive general assembly shops of a Korean automotive company, efficient management of factory objects and reduction of time and cost in digital virtual factory constructions are possible.

Key words : Classification and Coding System, Digital Virtual Factory

1. 서 론

근래의 제조업은 점차 격화되는 글로벌 경쟁과 극도로 다양한 고객들의 요구 하에서 예측이 불가능한 급변하는 환경에 놓여 있으며, 결국 소비자가 원하는 기능과 성능을 보유한 우수한 품질의 저렴한 제품을 얼마나 신속하게, 적기에 시장에 출시할 수 있는가 하는 것이 경쟁력 확보와 기업 생존을 위한 필수적인 문제가 되었다. 당면 과제를 해결을 위해서는 제품 개발과 제조의 모든 업무 프로세스에서 공급망(supply chain) 전체에 걸친 협업(engineering collaboration)과 민첩성(agility)의 달성이 요구되고 있으며, 대량생산(mass production)에서 적시적량생산(lean production)

으로 발전해 온 제조시스템은 빠른 리드타임(lead time)을 갖는 대량 맞춤형 시스템으로의 전환이 필요하다^[1].

특히 제품개발 및 제조 업무 프로세스에 있어 협업 달성을 통한 시간, 비용 절감을 얻고자 하는 새로운 패러다임이 디지털 가상생산(Digital Virtual Manufacturing)이다. 디지털 가상생산은 컴퓨터 상에서 제품, 공정, 설비의 3차원 CAD와 시뮬레이션 모델을 구성, 활용하여 제품 생산 시 발생 가능한 여러 가지 오류나 비효율을 사전에 시뮬레이션하고 해결하는 생산 철학으로 정의할 수 있으며, 이때 생산 대상 제품, 제조공정, 제조자원과 공장의 P3R(Product, Process, Resource and Plant) 정보를 엄밀하게 모델링하여 구성, 활용하는 통합된 디지털 모델이 디지털 가상공장(digital virtual factory)이다^[2]. 일반적으로 디지털 가상생산 기술을 적용함으로써 실제 생산 과정에서 발생할 수 있는 설계 오류나 제작상의 문제점을 미리 파악하여 제품개발 및 생산의 전 단계에서 소요

*성균관대학교 대학원 산업공학과
**학생회원, 성균관대학교 대학원 산업공학과
***교신저자, 종신회원, 성균관대학교 시스템경영공학과
- 논문투고일: 2007. 05. 16
- 심사완료일: 2007. 08. 31

되는 비용과 시간의 낭비를 최소화할 수 있으며, 새로운 제조 방법 및 생산 실비의 변화를 가상 환경에서의 시뮬레이션을 통하여 미리 적용해 볼 수 있으므로 실제 제조 시스템 적용에 필연적으로 발생하는 재계획 및 수정에 따른 비용과 시간을 절감할 수 있다.

이러한 디지털 가상생산 기술 적용의 어려움 중 하나는, 디지털 가상공장과 같이 규모가 큰 디지털 모델의 경우 방대한 객체들을 하나씩 모델링하여 디지털 모델을 구축하는 작업에 많은 시간과 노력이 필요하고, 제품의 라이프사이클이 짧아지면서 신제품의 생산을 위해 수시로 변경되는 상태를 디지털 모델에 실시간으로 반영하는 일이 쉽지 않다는 것이다. 이러한 문제의 해결을 위해서는 기존에 구축된 객체 모델을 재사용하여 쉽게 편집하고, 효율적으로 활용할 수 있는 환경이 마련되어야 하며, 이를 위해 가장 필요한 것은 객체가 갖는 다양한 정보를 체계적으로 표시할 수 있는 분류 기준이라고 할 수 있다.

본 논문에서는 제품, 공정의 유사성에 대한 분석과 분류를 통해 설계, 공정계획, 생산의 여러 엔지니어 문제를 효율적으로 해결하고자 하는 군분류기술(Group Technology, GT)를 적용하여, 디지털 가상공장 형상 모델의 구축과 관리를 효율적으로 수행할 수 있는 기술을 개발하였다. 이를 위하여 UML(Unified Modeling Language)을 이용하여 디지털 가상공장을 구성하는 객체들을 체계적으로 분류하고, 이를 관리할 수 있는 분류 및 코딩시스템을 구성하였으며, 개발된 분류 및 코딩시스템을 사용하여 디지털 가상공장의 객체 관리와 레이아웃 구성을 손쉽게 수행할 수 있는 디지털 가상공장 레이아웃 관리시스템을 개발하였다.

2. 디지털 가상공장과 분류 및 코딩 시스템

2.1 디지털 가상공장

디지털 가상공장은 생산 행위가 일어나는 하나의 공장을 대상으로 제품(product), 공정(process), 설비(resource) 등을 디지털 생산의 관점에서 모델링 하여 통합적으로 구성하는 컴퓨터 모델로서, 공장에서 발생하는 일체의 제조 활동에 디지털 생산기술을 적용하는 핵심 기반이 된다. 보통 적용 범위, 상세화 정도에 따라 작업, 셀, 라인으로 구분할 수 있는 공정과 각 공정에 속하는 세부 작업들, 그리고 이에 관련된 각종 정보를 통합적으로 보유한다¹⁴⁾.

Fig. 1은 디지털 가상공장의 일반적인 구축 절차를 정리한 것이다. 디지털 가상공장을 구성하는 작업은

크게 3차원 CAD 모델링, 시뮬레이션 모델링을 통한 운영모델의 구축 등으로 이루어지는데 두 작업 모두 상당한 시간과 노력이 요구되는 힘든 작업이므로, CAD와 시뮬레이션의 통합 모델링 환경 구축과 작업된 모델들의 재사용을 통하여 작업의 생산성을 높이는 것이 필수적이며, 투입할 수 있는 시간과 자원이 한계가 있으므로 적용범위, 구축 목적에 따라 상세도 조정을 진행하여야 한다. 본 논문에서는 3차원 CAD 모델링, 특히 공장 구성 객체들의 관리, 통합과 공장 레이아웃의 편집 및 관리를 그 대상으로 한다.

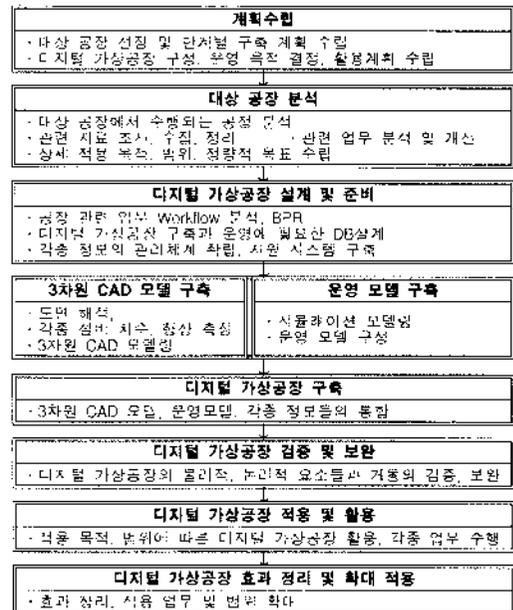


Fig. 1. 디지털 가상공장 구축 절차.

일반적으로 디지털 가상공장의 구축 효과는 다음과 같이 네 가지로 나누어 볼 수 있다¹⁵⁾. 첫째, 제품 개발 단계에서 새로운 아이디어의 개발과 관리 과정에서의 생산 가능성을 바로 검증할 수 있다. 둘째, 제품 설계 부분에서는 가상 시제품(virtual prototype)의 제작으로 제품의 시각화, 성능 분석, 가상 시험, 그리고 생산 용이성 및 효율의 평가가 가능해진다. 셋째, 제조 부분에서는 제조 설비의 사양 결정, 공정 및 레이아웃 최적화, 최적화된 공정계획 및 생산계획의 효율적인 작성, 그리고 생산성 향상 및 비용절감이 가능하다. 넷째, 정보 공유 및 관리 측면에서는 제품 설계와 제조 과정의 통합을 통한 협업의 실현과 생산 시스템 진화에 대한 정보 기반(information infrastructure)의 구축, 제품의 전 수명주기에 걸친 업무의 정립과 관리, 그리고 엔지니어들 사이의 원활한 협업 달성이 가능하다.

2.2 분류 및 코딩시스템

분류 및 코딩시스템(classification and coding system)은 부품을 형상, 치수, 재질, 가공기술 등의 유사성에 따라 분류한 코딩시스템을 이용하여 코드화하고 분류하는 것이다. 분류 및 코딩시스템은 설계면의 이점을 살리는 것과 가공면을 주안으로 하는 것이 있으며 전자는 기하학적 유사성, 후자는 가공 기술적 유사성에 기초해서 분류하는 것이 보통이고 쌍방의 이점을 갖추도록 한 시스템도 있다. 또한, 분류 및 코딩시스템은 각 자리의 상호관계에 따라 독립형과 종속형이 있다. 독립형은 각 자리의 분류기준이 독립적으로 구성되어 있어 분류가 간단하나 자리 수를 많이 차지하는 단점이 있다. 종속형은 뒷자리가 앞자리와 종속되어 있어 적은 자리수로 부품을 상세하게 분류할 수 있다는 장점이 있으나 코딩시스템이 복잡하여 코딩 시 애러가 발생할 수 있다.

일반적으로 코딩시스템이 갖추어야 할 기본 조건은 완전성(completeness)과 고유성(uniquness)이다. 완전성은 코딩시스템이 전체의 대상 객체를 빠짐없이 표현하는 것이고, 고유성은 어떠한 방법이 사용되어도 제한된 코딩시스템을 통해 각각의 객체를 고유하게 식별할 수 있어야 한다는 것이며, 일반적으로 분류 및 코딩시스템에 대한 완전성과 독창성은 사용목적과 범위에 따라 판단된다⁶⁾. 현재까지 각국에서 개발된 부품 분류 및 코딩시스템은 약 70여종이 있으며, 각 나라나 기업마다 제품과 생산방법, 관리 중점 등에 따라 고유의 분류 및 코딩시스템을 개발해 왔다⁷⁾.

공장 객체에 대한 분류 및 코딩시스템은 아직까지 개발, 적용이 발표된 바 없으며, 공장 내에 존재하는 복잡한 형태와 기능을 갖는 다수의 객체를 효율적으로 분류하고 관리할 수 있다면 다양한 엔지니어링에 활용하는 것이 가능할 것이다. 본 논문에서는 P3R정보를 바탕으로 디지털 가상공장을 구성하는 객체들에 대한 분류 및 코딩 시스템을 개발, 적용하고자 한다.

3. UML을 이용한 디지털 가상공장 객체 분류 및 코딩시스템

3.1 객체지향 모델링과 UML

현존하는 복잡한 시스템의 전체를 파악, 이해하고 분석 및 조직화하거나 새로운 시스템을 계획하고 확립하는 일은 많은 어려움이 수반된다. 또한 그 과정에는 시스템 개발자, 관리자, 전문가, 고객 등의 다양한 사람의 노력이 필요하다. 객체지향 모델링 기법(Object-Oriented Modeling Technique)은 시스템 분

석 및 개발의 표준으로 자리 잡은 기법으로서 산업 시스템 공학적인 측면에서 시스템을 표현하고 시스템과 관련된 사람들 간의 의사소통을 원활히 하기 위한 모델링 기법이다. 객체지향 모델링 기법이란 실 세계에 존재하는 여러 가지 개념들을 네이터 구조와 행위를 가지는 객체로 모델링하는 것으로 문제 이해와 이를 통한 해결책의 제시, 전문가와 모델링 의뢰자와의 의사소통, 시스템의 표현 및 설계에 있어서 아주 유용한 방법이다. 이러한 객체지향 모델링 기법 중 대표적으로 많이 사용되는 기법이 바로 UML이다⁶⁾. UML은 Fig. 2와 같이 사물(things), 관계(relationship), 도해(diagram)로 구성되어 있다⁷⁾.

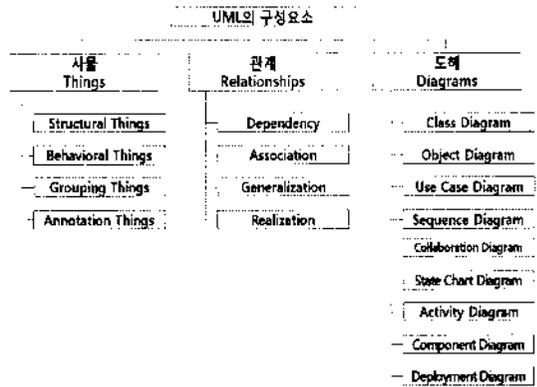


Fig. 2. UML의 구조.

UML은 소프트웨어 시스템이나 일부 모델링 등에서 작성되는 가공물을 구체화하고 시각화하여 구축하고 문서화하기 위해 만들어진 언어이며, 요구분석, 시스템 설계, 시스템 구현 등의 과정에서 생길 수 있는 개발자간의 의사소통 불일치를 해소할 수 있고 모델링에 대한 표현력이 강하며, 비교적 보순이 적은 논리적인 표기법을 가지고 있다.

3.2 디지털 가상공장 객체의 분류 체계

본 논문에서는 UML의 클래스 다이어그램을 이용하여, 일반적인 공장을 대상으로 공장을 구성하는 다양한 객체들에 대하여 각각의 특징과 연관 관계를 정의하였다. UML을 사용하여 객체의 속성 값과 연관 관계를 정의하고, 이를 바탕으로 디지털 가상공장 객체에 대한 분류 모델을 구축하였으며, 완성된 분류 모델은 Fig. 3과 같다.

주요 치수(main dimension) 분류 기준에서는 해당 객체의 밀면의 길이와 길이 비를 통하여 밀면의 형상 및 넓이를 파악할 수 있도록 하였고, 높이 정보를 추

가하여 객체의 부피 및 전체적인 형상의 유추가 가능하도록 하였다. 위치 정보(location info.) 분류 기준에서는 공장 정보, 라인 정보, 공정 정보를 통하여 객체의 공장 내 위치 정보를 파악할 수 있도록 하였다. 분류(classification) 분류 기준에서는 클래스의 대분류와 소분류를 통하여 클래스 간 계층 및 연관관계를 정의하고, 이 정보를 바탕으로 공장 내의 다양한 종류의 객체들을 범주화하여 체계적으로 구분할 수 있도록 하였다. 그리고 기능(function) 분류 기준에서는 객체가 자신이 속한 공정 내에 투입되는 원자재 및 부품을 처리하는 유형을 나누어 분으로써 객체의 기능 및 역할을 파악할 수 있도록 하였다. 마지막으로 동작(motion) 분류 기준에서는 객체 자체의 운동과 내부의 운동을 기준으로 유형을 분류하여 객체의 움직임 정보를 파악할 수 있도록 하였다.

제안된 분류 모델은 디지털 가상공장 내의 다양한

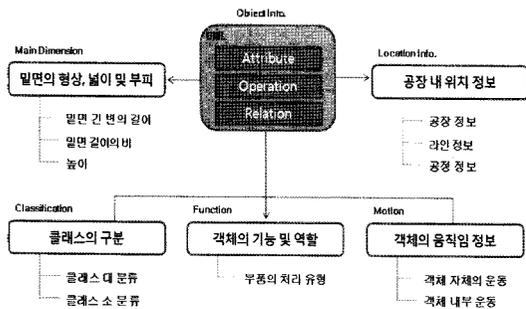


Fig. 3. 디지털 가상공장 객체의 분류 모델.

객체에 대한 P3R정보를 포함하고, 대상 객체의 기하학적 정보, 위치 정보와 공정 내의 객체 움직임 정보까지도 파악할 수 있으며, 기존에 제시된 P3R의 분류 체계에 비하여 보다 세밀하고 체계적인 분류가 가능하도록 구성하여 공장 객체와 관련한 다양한 엔지니어링 업무에 직접 활용이 가능하도록 하였다. Fig. 4는 디지털 가상공장 객체들 중 공장 부분에 대해 본 논문에서 정의한 UML 클래스 다이어그램을 보여준다.

3.3 디지털 가상공장 객체의 코딩시스템

본 논문에서는 UML을 이용한 디지털 가상공장 객체에 대한 분류 모델을 토대로 객체 그룹과 객체들의 세부적인 특징을 파악하였고, 이러한 특징들을 적절하게 표현할 수 있는 코딩시스템을 구축하였다. 다양한 객체의 체계적인 표현으로 사람과 컴퓨터가 모두 인식할 수 있는 코딩시스템을 구축하면, 이를 다양한 시스템의 구현 및 응용에 활용할 수 있기 때문이다.

본 논문에서 제안하는 코딩시스템은 디지털 가상공장 객체의 효율적 관리를 위한 용도로 구축된 것으로, 공장 내에 존재하는 다수의 객체를 P3R 관점에서 쉽게 검색 및 분류하고 모델의 재사용성을 높이고자 하는 것이 주요 목적이다. 이를 위해 공장 객체의 특징을 고려하여 수치 정보, 위치 정보, 분류 정보, 기능 정보 및 운동 정보를 표현할 수 있도록 Table 1과 같은 10자리의 코드체계를 완성하였으며, 이는 앞서 일반적인 제조업의 부품 분류체계와는 매우 다른 독창적인 코딩시스템이다.

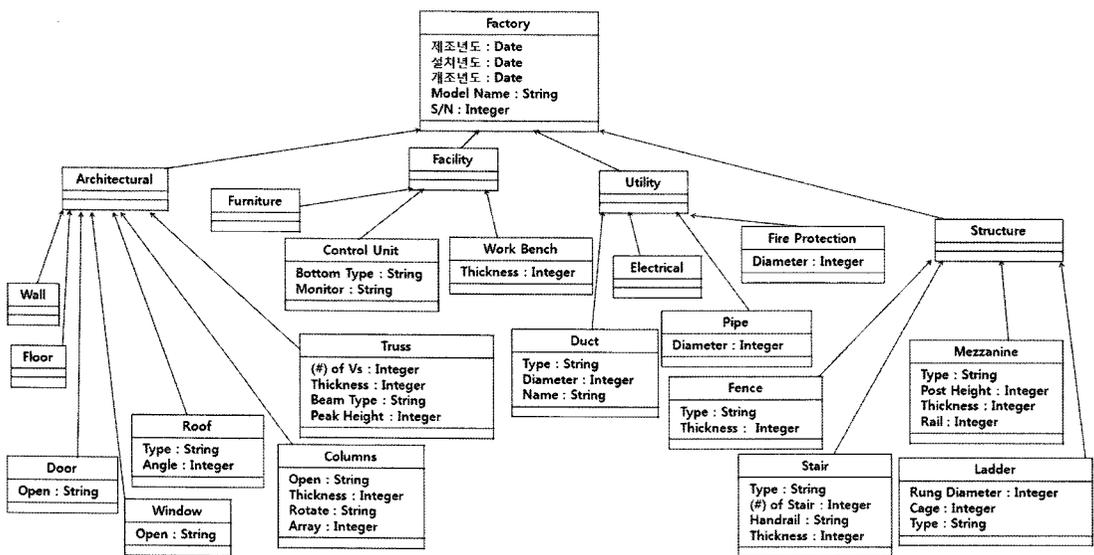


Fig. 4. UML을 이용한 디지털 가상공장 객체의 클래스 다이어그램(공장부분).

Table 1. 디지털 가상공장 재체의 코딩시스템 구성

Digit	내 용	
1, 2	객체 클래스 분류 (Numeric)	} Classification
3	객체의 기능 (Numeric)	
4	객체의 운동 (Alphanumeric)	} Object Motion
5	밀면의 간 변 길이 (Alphanumeric)	
6	밀면 폭은 변 / 밀면 긴 변 (Alphanumeric)	} Main Dimension
7	높이(Numeric)	
8	공정 일부 (Numeric)	} Location Information
9	라인 일부 (Alphanumeric)	
10	공정 일부 (Alphanumeric)	

또한 본 논문에서 개발한 코딩시스템은 각각의 자리에서 디지털 가상공장의 모든 객체를 빠짐없이 표현할 수 있도록 구성하였다. 즉, 필요한 경우에는 사용자가 코드를 정의하여 사용할 수 있도록 하였으며 (8, 9, 10번째 자리의 코드), 예외적인 상황 발생 가능성이 있는 경우에는 기타코드로 처리할 수 있도록 하여(2, 3번째 자리의 코드) 코딩시스템의 완전성을 보장하도록 구성하였다.

1st & 2nd Digit

첫 번째와 두 번째 자리는 객체의 클래스를 정의하는 코드이다. Table 2에서 볼 수 있는 첫 번째 자리는 객체 클래스의 대 분류로서 Product(1 분류), Resource(4 분류), Factory(4 분류)이고, 두 번째 자리는 객체 클래스의 소 분류로서 각각의 대 분류에 따라 하위 클래스가 정의되어 있다. 특히 이 두 자리의 코드는 현업의 공장 객체 분류 자료, 공장 모델링 소프트웨어 및 다수의 디지털 가상공장 모델을 참고로 하여 구성하였다.

Table 2. 1st & 2nd Digit의 구성

	0	1	2	3	4	5	6	9
0	Product	Product						Etc
1	Process	Robot	Machine					Etc
2	Tool	Jig/Fixture	Die/Mold					Etc
3	M/H Carrying	Fork/Lift	ASV	Ground Conveyor	Overhead Conveyor	Cart	Crane	Etc
4	M/H Stacking	ASRS	Rack	Pallet	Container			Etc
5	Architectural	Wall	Door	Window	Floor	Column	Truss	Roof
6	Facility	Furniture	Work Bench	Control Unit				Etc
7	Utility	Duct	Electrical	Pipe	Fire Protection			Etc
8	Structure	Machine	Platform	Stair	Ladder	Fence		Etc

3rd Digit

세 번째 자리는 Table 3과 같이 공정 내에서의 객

체의 기능 및 역할을 나타낸다. 일반적으로 가공 공정은 원자재의 가치를 높이기 위해 에너지를 사용하여 공작물의 형상, 물리적 특성, 혹은 표면을 바꾸는 것으로 다음의 세 가지로 분류된다^[5,8]: (1) 외형형성공정, (2) 성질향상공정, (3) 표면 공정. 외형형성공정은 다양한 방법으로 초기 자재의 외형을 바꾸어 주는 것으로 주조, 단조, 절삭 등이 전형적인 성형공정이다. 성질향상공정은 형상변화 없이 물리적 특성을 향상시켜 재료의 가치를 증가시키는 공정으로 대표적인 공정이 열처리이다. 표면공정은 공작물 외부 표면의 청정, 처리, 코팅, 적층 등을 하는 공정이다. 조립 공정은 두 개 이상의 분리된 부품을 결합하여 새로운 개체로 만드는 소립으로 조립품의 구성부품들은 영구적 혹은 반영구적으로 연결되어 있다. 영구결합공정에는 용접, 경납접, 연납접, 점착법 등이 있다. 반영구적인 기계적 조립 방법은 나사, 볼트 및 기타 나사체결구들이 전통적인 방법들이다^[6].

실제 공장에는 이상의 제조 공정 외에도 치/공구(jig/fixture)와 같은 부품의 고정, 지게차, AGV와 같은 부품의 운반, 랙(rack), 팔렛(pallet)과 같은 부품의 저장 기능을 수행하는 다양한 객체들이 존재하므로, 이들을 종합적으로 고려하여 세 번째 자리의 코드를 설계하였다.

Table 3. 3rd Digit의 구성

객체의 기능		
0	Part를 직접 처리하지 않음	
1	Part 가공	외형형성
2		성질향상
3		표면처리
4	Part 조립	영구결합
5		기계적 체결
6	Part 고정	
7	Part 운반	
8	Part 저장	
9	Etc	

4th Digit

네 번째 자리는 객체의 운동을 정의하여 표시하는 코드로 Table 4와 같다. 공장 내의 객체의 운동은 먼저 객체 자체의 움직임 여부를 구분하는 고정식과 이동식으로 나눌 수 있다. 예를 들어 설명하자면, 자동차 차체 공장의 용접 로봇들은 고정된 장소에서 용접 작업을 수행하는 고정식이고, 조립 공장에서 랙과 조

립 위치 사이의 거리를 움직이며 조립 작업을 수행하는 로봇의 경우는 이동식이다.

객체의 고정식과 이동식을 구분한 후에, 기구가 갖는 움직임의 특성을 바탕으로 수평 병진운동, 수평 회전운동, 수직 병진운동, 수직회전운동, 자유 운동과 같은 기준으로 세부운동을 구분하였다^[1]. 이러한 객체의 운동 정보를 통하여 각 객체의 간섭을 고려한 효율적인 작업장 설계가 가능하며, 공장 내 가용 면적의 파악을 통해 보다 효율적인 공간 활용이 가능해진다.

Table 4. 4th Digit의 구성

공장 내 객체의 운동		
0	고정식	운동 없음
1		수평 병진운동
2		수평 회전운동
3		수직 병진운동
4		수직 회전운동
5	이동식	자유운동
6		운동 없음
7		수평 병진운동
8		수평 회전운동
9		수직 병진운동
A		수직 회전운동
B	자유운동	

5th, 6th & 7th Digit

다섯 번째부터 일곱 번째 자리는 객체의 기하학적 정보를 표시하는 코드로서, Table 5와 같이 객체 밑면의 긴 길이인 폭(width, W)과 깊이/폭(depth/width)의 값을 구간으로 나누어 표시하고 있다. w값의 구간은 작업자의 인간공학적 측면을 고려한 값으로, Barnes가 제안한 수평면에서의 표준 및 최대 작업영역을 바탕으로 정의하였다^[1]. 즉, 406 mm는 남성 표준 작업자의 어깨 너비 값이고, 1194 mm(W)×394 mm

Table 5. 5 & 6th Digit의 구성

V	1		2		3		4		5		6		7		8		9		A	
	D-W≤406		406<W≤1194		1194<W≤1500		W=1500													
	0-D≤394	394<D≤406	0-D≤394	394<D≤406	0-D≤394	394<D≤406	0-D≤394	394<D≤406	0-D≤394	394<D≤406	0-D≤394	394<D≤406	0-D≤394	394<D≤406	0-D≤394	394<D≤406	0-D≤394	394<D≤406	0-D≤394	394<D≤406
0	0-D/W<0.1																			
1	0.1≤D/W<0.2																			
2	0.2≤D/W<0.3																			
3	0.3≤D/W<0.4																			
4	0.4≤D/W<0.5																			
5	0.5≤D/W<0.6																			
6	0.6≤D/W<0.7																			
7	0.7≤D/W<0.8																			
8	0.8≤D/W<0.9																			
9	0.9≤D/W<1.0																			
A	D/W=1.0																			

(D)는 작업 표준영역으로 작업자가 상완을 자연적 측면 위치에 둔 채로 전완을 휘둘러서 편리하게 뺄 수 있는 영역의 값이다. 또한 1500 mm(W)×508 mm(D)는 작업 최대영역으로 어깨에서 팔을 뻗을 수 있는 영역의 값이다.

여섯 번째 자리는 D/W의 값으로 W 값을 밑면의 긴 변의 길이로 정의했기 때문에 $0 < D/W = 1$ 의 값을 갖는다. D/W의 값을 0.1로 일정한 간격으로 나누는 것은 적당한 표현 범위 내에서 보다 상세한 객체의 밑면 정보를 제공하기 위해서이다. 또한 1의 값은 객체의 밑면의 모양이 정사각형임을 나타내주는 값이기 때문에 개별적인 한 구간을 배정하였다.

일곱 번째 자리는 객체의 높이인 높이(H)의 값으로, 인간 공학적 측면을 고려하여 Table 6과 같이 값의 구간을 정의하였다. 먼저 100 mm는 인간공학에서 작업장의 설계 시에 고려하는 표준 작업자의 발 높이 값이다. 750~900 mm의 값은 작업장의 설계 시 중량 작업(heavier work)에 적합한 표준 작업 높이이고, 900~950 mm의 값은 경량 작업(light work)에 적합한 추천 높이이다. 1000~1110 mm의 값은 정밀 작업(precision work)에 적합한 표준 작업 높이로 제시하고 있다. 또한, 2030 mm는 작업장의 설계 시 고려해야 할 작업자의 추천 여유 높이 값이다^{[10],[11]}.

Table 6. 7th Digit의 구성

(단위 : mm)

높 이	
0	$0 < H < 100$
1	$100 \leq H < 750$
2	$750 \leq H < 900$
3	$900 \leq H < 950$
4	$950 < H \leq 1100$
5	$1100 < H \leq 2030$
6	$2030 < H$

8th, 9th & 10th Digit

여덟 번째부터 열 번째 자리까지는 대상 디지털 가상공장 객체의 공장 내 위치 정보를 나타내 주는 코드이다. 이 코드는 산업 별로 공장, 라인 및 공정의 이름이 서로 달라 공통된 표준을 제시하기 어렵다. 따라서 이 세 자리의 코드는 사용자가 각 경우에 맞게 정의하여 사용할 수 있는 코드로 정하였으며, 본 논문에서는 자동차 산업을 예로 들어 코드 시스템을 작성해

제시한다. Table 7은 자동차 산업의 공장 및 라인 정보를 나타내고 있으며, Table 8은 공정 정보를 보여주고 있다. 이를 통해 디지털 가상공장 내 객체의 위치 정보를 표시할 수 있는 코딩시스템이 개발되었다.

Table 7. 8 & 9th Digit의 구성, 자동차 산업의 경우

IX	Y8	공정 정보			
		1	2	3	4
		프레스 공실	차체 공장	도장 공장	조립 공장
0		해당 라인 없음	해당 라인 없음	해당 라인 없음	해당 라인 없음
1		1-Line	FRT Line/FH	성도	Trim No1
2		2-Line	FRT Line/LH	중도	Trim No2
3		3-Line	S/MR PH	하도	Classic No1

Table 8. 10th Digit의 구성

공정 정보	
0	해당 공정 없음
1	01 공정
2	02 공정
3	03 공정
	⋮
9	09 공정
A	10 공정
B	11 공정
C	12 공정
	⋮

4. 디지털 가상공장 객체의 분류 및 코딩시스템 적용 사례

4.1 대상 공장의 객체 분석

본 논문에서는 개발한 디지털 가상공장 객체의 분류 및 코딩시스템의 타당성 입증과 적용 효과 분석을 위하여, 국내의 한 자동차 조립공장을 대상으로 디지털 가상공장 객체들에 대해 분류 및 코딩시스템을 적용하여 보았다. 대상 객체는 총 134개로서, 디지털 가상공장 내의 특정 라인의 일부 공정에 존재하는 객체를 대상으로 분석을 실시하였으며, 그 결과는 Table 9와 같다.

디지털 가상공장 내 객체와 특정 정보간의 연관 특징을 알아보기 위해서 먼저 대상 객체의 범위를 선정해야 한다. 전체 134개의 객체 중 분석 범위는 생산 프로세스와 직접 연관이 없는 캐비닛, 개시판 등인 Furniture, Facility, Pipe 그리고 Fence 클래스를 제외

한 86개의 객체로 정의하였다.

Table 9. 자동차 조립공장 객체들의 분석 결과

Class	Jig/Fixture	Ground Conveyor	Rack	Pallet	Furniture	Work Bench	Control Unit	Facility Etc	Pipe	Fence	(단위: 개)	
											개수	비율
1	1		2				4				7	5.22
2	1				2	3		2			2	1.50
3	5		6		2	3			1			13
4	1		7						1			3
5	1		7				2					10
6	1		8			2	1					12
7	1		4	2	2	1	2	1	1		3	11
8	1	1	1		6	1	5	1			4	16
9	1				4	1						3
10	1	1	3		1	1	1		2	1	6	17
11	10	2	45	2	17	16	11	9	2	21	134	100
합계	7.46	1.49	33.98	1.45	12.63	11.94	9.21	5.97	1.49	15.67	109	

4.2 분류 및 코딩시스템을 이용한 객체 분석 결과

본 논문에서는 개발된 디지털 가상공장 객체의 분류 및 코딩시스템을 이용하여, 먼저 객체의 클래스와 객체의 기능 및 운동과의 관계를 분석하여 보았다. Table 10은 자동차 공장 Trim 라인의 1-10공정의 생산 프로세스와 관련된 객체의 클래스와 객체의 기능 및 운동관계를 보여주는 POA(Production Object Analysis)차트로, 값이 1인 것은 클래스가 해당 기능 및 운동을 한다는 것을 의미하고, 빈칸의 값은 0으로 해당사항이 없음을 의미한다. 이를 통해, Jig/Fixture는 이동식으로 수직 병진 운동을 하며 차체를 운반하는 기능, Ground Conveyor는 고정식으로 수평 병진 운동을 하며 관련 부품을 운반하는 기능 등의 정보를 파악할 수 있다. 또한, 자동차 조립 공장에는 생산 프로세스와 관련하여 부품을 직접 처리하지 않음, 부품 고정, 부품 운반의 기능을 담당하는 객체가 필요함을 알 수 있고, 객체의 각각에 대한 운동 정보는 차후 현재 공정의 수정 및 신 공정의 계획 시에 관련 정보로서 활용도가 높다고 할 수 있다.

또한 작업자를 고려한 인간공학적 측면에서, 객체의 클래스와 객체의 기하학적 정보와의 관계를 분석하였다. Table 11은 자동차 공장 Trim 라인 1-10공정의 생산 프로세스와 관련된 객체 클래스와 객체의 기하학적 정보의 관계를 보여주는 POA(Production Object Analysis) 차트이다. 1과 빈칸이 갖는 값은 앞서 언급한 바와 같고, 괄호 안의 값은 각 클래스의 해당 밑변의 긴 변(width), 짧은 변(depth)의 값에 대한 전체 객체 수 대비 비율이다. 공장 내의 각 객체가 밑변의 긴 변(W)과, 짧은 변(D)의 길이를 갖지만, Jig/Fixture(20), Ground Conveyor(33) 및 Pallet(42)의 클래스의 W, D의 값은 상대적으로 작업자와 직접적인 연관이 적다. 따라서 위의 클래스를 제외한 나머지 클래스에 대한 W, D의 값이 갖는 인간공학적 의미에

대한 분석을 수행하였다.

Table 10. POA차트(클래스-기능 및 운동 관계)

객체 클래스	객체 기능			객체 운동		
	0	7	8	C	·	9
20		1				1
33		1			1	
41			1	1		
42			1	1		
61	1				1	
62	1				1	

Table 11. POA차트(클래스-기하학적 정보 관계)

객체 클래스	객체의 W O의 값										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A
20											1(100)
33											1(100)
41				1(6.7)	1(40)		1(2.7)	1(6.7)		1(2.2)	1(42.2)
42											1(100)
61	1(6.2)		1(37.5)	1(31.3)	1(18.8)	1(6.2)					
62			1(18.2)	1(28.2)	1(36.4)					1(9.0)	1(18.2)

Rack(41XXXXXXXX)의 경우 자동차 조립 공장에 있는 객체 중 가장 많은 수를 차지하는 객체로서, 작업자가 Rack에 담겨 있는 부품을 직접 취급하여 차체에 조립 작업을 수행하는 것이 통상적인 조립 공정의 작업 프로세스이다. 즉, Rack은 공장 작업을 위해 작업자와 직접적인 접촉 인터페이스를 갖는 객체이다. 이를 반영하는 전체 Rack 중 46.7%가 작업자가 편리하게 작업할 수 있는 작업 표준영역의 W값의 범위에 있고, 8.9%가 작업의 최대영역의 W값의 범위에 있다. 나머지 44.4%의 Rack이 작업 표준영역 및 최대영역에서 벗어나는 값을 갖는 것은, 중간 저장소 역할을 하는 Rack이 다수 존재 하고 취급하는 부품의 형상이 특이한 경우가 있기 때문으로 분석된다. 중간 저장소의 역할을 하는 Rack이란, 조립 공장 내에는 빈번히 쓰이는 공통 부품(볼트, 너트 등)을 임시로 저장하는 역할을 하는 Rack으로 작업자의 작업성 보다는 가능한 많은 부품 컨테이너 수용을 고려하여 설계되어 있다. 또한 실제 자동차 조립 과정에는 다양한 형상의 부품이 사용되고 있고, 표준 Rack에 담을 수 없는 그 부품들을 취급하기 위해서 부품별 형상에 맞는 특별한 크기의 Rack이 존재한다고 분석할 수 있다.

Work Bench(61XXXXXXXX) 역시 작업자와 직접적인 접촉 인터페이스를 갖는 객체로, 전체 중 87.6%가 작업자가 편리하게 작업할 수 있는 작업 표준영역

의 W값의 범위에 있고, 6.2%가 작업의 최대영역의 W값의 범위에 있는 것을 알 수 있다. 즉, Work Bench의 경우 93.8%가 인간 공학적인 측면에서 작업자를 고려하여 설계가 되어 있는 것으로 분석되었다.

Control Unit(62XXXXXXXX)은 공장 내 기계적인 움직임에 갖는 객체들의 운동이나 시퀀스를 제어하는 객체로, 사람과 직접적인 접촉 인터페이스를 갖는다. 전체 Control Unit 중 72.8%가 작업자가 편리하게 작업할 수 있는 작업 표준영역의 W값의 범위에 있고 나머지 27.2%가 작업 표준영역 및 최대영역에서 벗어나는 값을 갖으며, 표준영역을 벗어나는 Control Unit은 개별 공정에서 사용하는 객체가 아니라 해당 조립 라인 전체의 전력 및 동작을 관리하는 컨트롤 패널 형태의 큰 객체로 분석되었다.

이상에서 알 수 있듯이, 디지털 가상 공장 객체에 대한 분석을 통하여 해당 공정의 각 클래스가 갖는 기능 및 운동을 명확히 이해할 수 있다. 또한, 클래스와 객체의 기하학적 정보의 연관 분석을 통하여, 일부 예외적인 부분을 제외한 대다수의 생산 프로세스에 관련된 객체의 형상 분류에 인간 공학적 접근 방식의 타당성을 확인할 수 있다. 나아가 분석 결과를 토대로, 차후에 공장 레이아웃을 수정하거나 새롭게 설계할 경우, 작업자와 직접 연관을 갖는 객체에 대해 작업자를 고려한 인간공학적 설계가 가능하고, 보다 편리하고 효율적인 작업장의 설계가 가능한 것으로 확인되었다.

4.3 분류 및 코딩시스템 적용 효과

국내의 한 자동차 조립공장을 대상으로 디지털 가상공장의 객체에 대하여 본 논문에서 개발한 분류 및 코딩시스템을 적용한 결과 다음과 같은 세 가지 부문에서 큰 효과를 얻을 수 있었다.

첫째, P3R관점에서 파라메트릭(parametric) 모델링 지원이 가능하다. 디지털 가상공장 객체 모델링에 파라메트릭모델링 기법을 적용하면 디지털 가상공장에 존재하는 다양한 객체들에 대하여 신속하고 효율적인 모델링과 모델 유지보수가 가능하다. 또한 복잡한 형상을 가지고 있는 객체에 대해서도 정의된 파라미터들에 대한 측정 작업만을 수행하면 되므로, 매우 신속하고 효율적으로 모델링을 수행할 수 있는 장점이 있다.

기존의 파라메트릭 모델링 기법은 기하학적인 측면에서 객체에 대한 쉽고 빠른 모델링에 적용하는 것이 일반적이나, 본 논문에서 제안된 객체의 분류 및 코딩 시스템을 적용한다면, 객체들에 대한 제품정보, 기능

빛 운동 정보와 위치 정보를 체계적으로 정보화할 수 있어 이를 바탕으로 객체에 대한 P3R 관점의 파라메트릭 모델링이 가능해진다. Fig. 5는 파라메트릭 모델링 기법을 이용해 Rack 모델을 생성하는 시스템의 화면과 생성된 Rack에 객체의 코딩시스템을 적용한 예이다. 즉, 분류 및 코딩시스템을 활용하여 파라메트릭 모델링 기법으로 생성된 모델에 P3R 정보를 체계화하여 부여할 수 있게 되며, 이렇게 공장 내의 각 객체가 P3R 정보를 갖게 되면 공장 객체와 관련한 다양한 전산 시스템과 엔지니어링 의사결정의 중요 정보로 활용이 가능하다.

늘째, 기존에 존재하는 디지털 가상공장의 수많은 객체에 대한 효율적인 관리가 가능하다. 예를들어 대상 공장의 경우, 공장 내에는 관련 부품 약 6,500개, 부품을 담는 박스 약 4,870개, Rack 2,350개 및 약 3,000개의 객체가 존재하며, 이러한 방대한 객체들을 모델링하여 디지털 가상공장을 모델링, 구축하는 작업에는 많은 시간과 노력이 소요된다(대상 공장의 경우 약 18MM 소요). 또한 실제의 공장에서는 제품 설계 변경, 생산 계획의 수정에 따라 객체, 레이아웃 등이 빈번하게 수정된다(대상 공장의 경우 약 2주 주기로 전체 계획 수정). 이러한 빈번한 수정을 디지털 가상공장에 반영해야 하며, 기존의 방법으로는 이러한 디지털 가상공장의 유지 보수작업이 쉽지 않은 상황이다.

실제 공장에는 많은 수의 객체가 존재하지만, 동종 산업의 관련 공장에는 같거나 비슷한 기능을 하는 유사한 형태의 객체들이 다수 존재한다. 따라서 어떤 공장에 대해 이미 구축된 디지털 가상공장 모델을 확보하고 있다면, 유사한 공장에 대한 디지털 가상공장 구축작업이 훨씬 용이할 것이라고 생각할 수 있으나 적어도 현재 시스템 내에서는 그렇지가 못하다. 방대한 양의 객체가 아무런 체계 없이 각각 독립적인 모델로서만 존재하기 때문에, 모델링 작업을 수행하는 입장에서는 비슷한 모델을 검색하고 수정하여 재사용하는 것 보다 대상 객체를 직접 모델링 하는 것이 더 빠르고 덜 복잡하다. 분류 및 코딩시스템이 적용된다면 새로운 디지털 가상공장을 모델링 하는 경우에, 일단 모델링 하고자 하는 객체의 클래스, 기능, 운동 및 기하학적 정보를 기준으로 방대한 양의 데이터 중에서 가장 유사한 대상 객체를 쉽고 빠르게 찾을 수 있을 것이다. 이렇게 검색된 모델은 간단한 파라메터 값의 수정을 통하여 재사용이 가능해져 새로운 디지털 가상공장 모델을 보다 쉽고 빠르게 구축할 수 있게 될 것이다. 또한, 분류 및 코딩시스템을 토대로 디지털 가상공장 레이아웃을 수정, 변경할 수 있는 시스템의 개

발을 통하여, 디지털 가상공장 관리의 어려움을 해결하는데 큰 도움을 줄 수 있을 것이다.

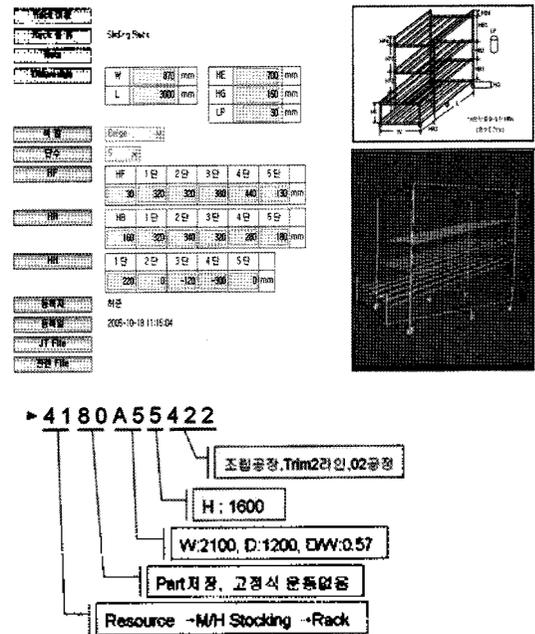


Fig. 5. 파라메트릭 모델링 기법에 디지털 가상공장 코딩시스템을 적용한 예.

셋째, 공장 객체들에 대한 다양한 분석이 가능해진다. 이와 관련한 유사 연구 분야로 PFA(Production Flow Analysis)가 있다. PFA는 부품 도면보다는 공정 절차서에 담겨있는 정보를 이용하여 부품군과 관련 기계·그룹을 정의하는 방법이다. 동일하거나 유사한 공정을 가진 부품들은 부품군으로 분류되며, 그룹테크놀로지 배치에 있어 논리적 기계셀을 구성하는 데에 사용된다[5]. 이렇듯 PFA는 부품-기계간의 관계를 파악하여 부품과 관련된 기계 군을 정의하고 그 결과를 그룹테크놀로지 배치에 활용하는 것이다. 하지만 예를들어 자동차 조립공장의 경우, 대부분의 공정은 사람이 부품을 차체에 체결하는 작업으로 이루어져 있으며, 부품을 저장하고 조립 대상인 차체를 운반하는 등의 다양한 기능을 하는 객체가 공정별로 필요하며, 객체 간 연관 관계가 있다하여 연관된 객체를 일정 공정으로 그룹화하여 배치하는 것은 현실성이 없다.

본 논문에서 개발한 분류 및 코딩시스템은 부품-기계의 관계를 확장시켜 공장 내 객체가 갖는 기능, 운동과 기하학적 정보들의 특징을 파악하고 있으며, 이를 통해 기존 생산 공정 흐름을 공장 내의 객체들과 연계하여 보다 명확히 이해할 수 있고, 공정의 수정이

생성 기능

생성 모듈은 Fig. 9에서 볼 수 있는 바와 같이, 선택한 디지털 가상공장 모델 파일에서 사용자가 원하는 클래스의 객체를 원하는 라인 및 공정에 배치하고 자유롭게 편집하여 새로운 작업장, 라인, 공장 모델을 생성할 수 있는 기능을 제공한다. 즉, 사용자가 원하는 객체를 추출하여 개별적으로 저장할 수 있는 기능을 제공함으로써 유사한 공장의 모델 구축 시에 각각의 객체를 모두 직접 모델링하지 않고 기존의 디지털 가상공장 모델에서 필요한 특정 객체를 추출하여 사용할 수 있으며, 결과적으로 모델링 작업의 시간과 노력을 줄일 수 있게 된다.

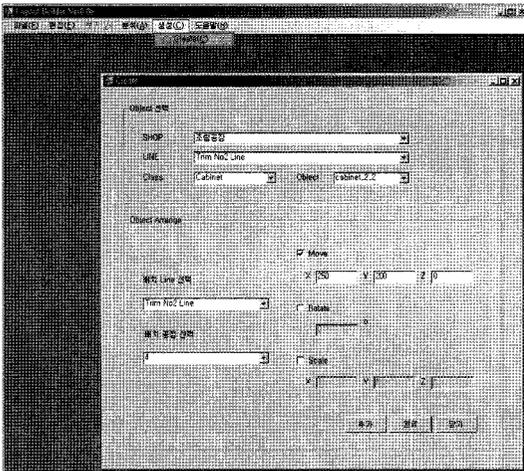


Fig. 9. 생성모듈, 새로운 레이아웃 구성.

편집 기능

편집 모듈은 사용자가 선택한 임의의 디지털 가상 공장 모델 파일을 편집하는 기능을 제공한다. Fig. 9와 같이 사용자가 공장, 라인 및 공정 정보를 선택하여 해당 객체를 검색한 후, 편집을 원하는 객체를 선택하여 이동, 회전, 스케일 조정 등의 편집 기능을 수행하는 모듈이다. 이를 통해 제품의 라이프사이클이 짧아지면서 신제품의 생산을 위해 수시로 변경되는 공장의 현 상태를 디지털 모델에 보다 쉽고 빠르게 반영할 수 있는 환경을 제공한다.

5.2 시스템 적용 사례

개발된 디지털 가상공장 레이아웃 관리시스템을 이용하여 국내의 한 자동차 회사의 조립 공장의 Trim2 라인 1-10공정의 디지털 가상공장 모델에 대한 편집을 수행하고, 그 결과를 상용 CAD 소프트웨어를 통하여 살펴보았다. Fig. 11, Fig. 12 그리고 Fig. 13은

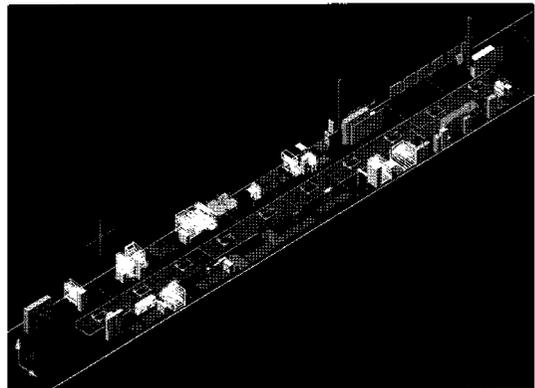


Fig. 11. 디지털 가상공장 레이아웃 모델(편집 전).

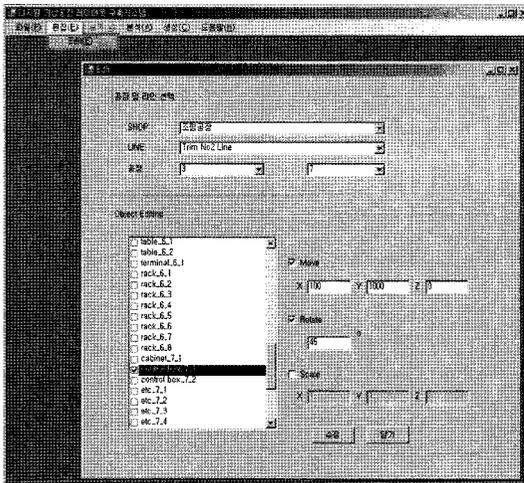


Fig. 10. 편집모듈, 레이아웃 편집.

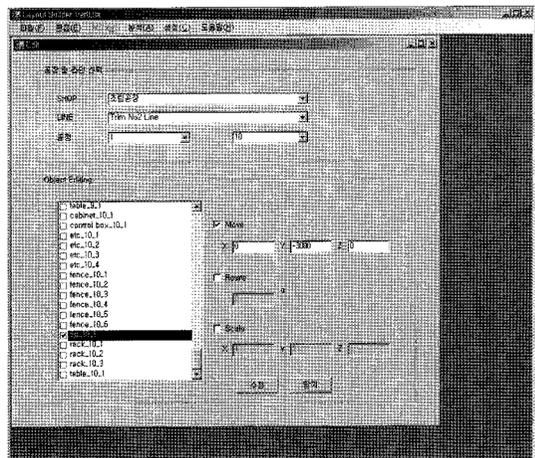


Fig. 12. 디지털 가상공장 객체 편집 작업 수행 화면.

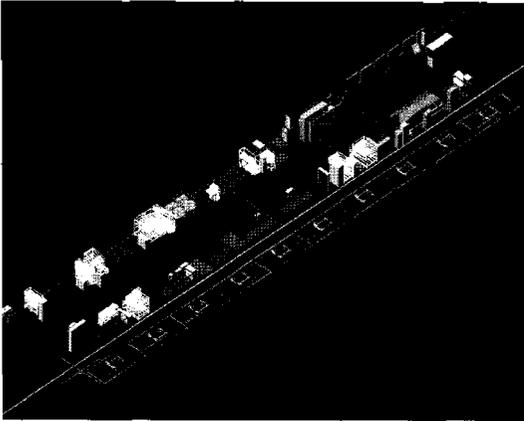


Fig. 13. 디지털 가상공장 레이아웃 모델(편집 후).

본 논문에서 개발된 디지털 가상공장 레이아웃 관리 시스템을 이용하여 편집 작업을 수행하기 전과 수행 과정, 수행 결과를 보여준다.

6. 결 론

본 논문에서는 일반적으로 제조업에서 사용되는 부품의 분류 및 코딩시스템에 관한 이론적 배경을 바탕으로, UML 기반의 디지털 가상공장 객체의 분류 모델과 10자리로 구성된 코딩시스템을 개발, 적용하였다.

디지털 가상공장의 형상 모델 구축과 관리에 적합한 분류 및 코딩시스템의 구축을 통하여 객체의 상세 정보를 쉽게 파악, 검색, 관리할 수 있으며, 결과적으로 디지털 가상공장의 레이아웃 구축과 관리를 신속하고 효율적으로 수행할 수 있었다. 또한 디지털 가상공장을 구성하는 다양한 객체 모델들의 재사용을 향상시켜 다양한 업무에 활용하는 것이 용이하게 되고, 업종, 공장, 작업장별로 구성 객체의 특징을 파악할 수 있게 되어 효율적인 공장 설계와 개선이 가능한, 사용자 편의성이 높은 디지털 가상공장 형상 모델링 환경을 구축하는 것이 가능하게 되었다. 나아가 PLM 시스템과의 연계를 통해 방대한 양의 P3R 정보 중 엔지니어의 의사결정에 필요한 다양한 정보를 분류 및 코딩시스템을 통해 체계적으로 분류, 관리하는 것이 가능할 것이다.

또한 본 논문에서는 개발된 XML 기반의 디지털 가상공장 레이아웃 관리시스템의 분석 기능, 생성 기

능 및 편집 기능을 통하여 사용자는 디지털 레이아웃을 보다 쉽고 빠르게 구축하고 편집할 수 있으며, 각종 시뮬레이션 분석에 사용되는 디지털 모델의 구축 시간을 줄여 효율적 엔지니어링 의사결정에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 특성기초연구, “제품개발을 위한 온톨로지 기반의 u-허브 구축 기술(2006-0068-000, 2007-0188-000)”의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Koc Muammer, Ni Jun, Lee Jay, Bandyopadhyay Pulak, "Introduction of e-Manufacturing", *Proceedings of the NAMRC 2003 e-Manufacturing Panel*, 1-12, 2003.
2. 노상도, 신종개, 지해성, 임현준, *CAD, 디지털 가상생산과 PIM*, 시그마프레스, 2006.
3. Iwata, K., Onosato, M., Teramoto, K. and Osaki, S., "A Modeling and Simulation Architecture for Virtual Manufacturing Systems", *Annals of the CIRP*, Vol. 44, No. 1, pp. 379-383, 1995.
4. 노상도, 김태영, 박영신, "자동차 가상생산 기술 적용(III)-가상 노장공장 구축 및 운영", *IE Interfaces*, Vol. 15, No. 4, pp. 356-363, 2002.
5. Groover Mikell P., *생산자동화와 CIM*, Chap. 15, 시그마프레스, 2002.
6. Rumbaugh James, Blaha Michael, Premerlani William, Eddy Frederick, Lorenzen William, *Object-Oriented Modeling and Design*, Prentice Hall, 1991.
7. Booch Grady, Rumbaugh James, Jacobson Ivar, *The Unified Modeling Language User Guide*, Addison Wesley, 1999.
8. Groover Mikell P., *Fundamentals of Modern Manufacturing*, Chap. 1, John Wiley & Sons, Inc., 2002.
9. Mustafa Pulat, *Fundamentals of Industrial Ergonomics*, Chap. 7, Prentice-Hall, Inc., 1992.
10. Human Factors Section, Health Safety and Human Factors Laboratory, Eastman Kodak Company, *Ergonomic Design for People at Work Volume 1*, Chap. 2, VAN NOSTRAND REINHOLD Company Inc., 1983.
11. Kroemer, K. H. E. and Grandjean, E., *Fitting The Task To The Human* Fifth Edition, Chap. 5, Taylor & Francis Inc., 1999.



김 유 석

1998년~2005년 성균관대학교 공과대학
시스템경영공학과 학사
2005년~2006년 성균관대학교 대학원 산
업공학과 석사
2006년~현재 LG Philips LCD 종합공정
45팀
관심분야: Virtual Manufacturing, e-
Manufacturing, 6시그마



강 형 석

2001년~2006년 성균관대학교 시스템경
영공학과 학사
2006년~현재 성균관대학교 대학원 산업
공학과 석사과정
관심분야: Digital Virtual Manufacturing,
Simulation, PLM, XML



노 상 도

1988년~1992년 한국과학기술원 기계공
학과 학사
1992년~1994년 서울대학교 기계설계학
과 석사
1994년~1999년 서울대학교 기계설계학
과 박사
1999년~2002년 고등기술연구원 생산기
술센터 선임연구원

2002년~현재: 성균관대학교 공과대학 시스템경영공학과 조교수, 부
교수

관심분야: 생산시스템 모델링 및 분석, 동시협업, 디지털 가상
생산, CAD/CAPP/CAM/PLM