

## 민첩 생산 시스템을 위한 가상 시뮬레이터 개발

### The Development of Virtual Simulator for Agile Manufacturing System

°차 상 민\*, 장 영 회\*, 이 만 형\*\*

\* 부산대학교 대학원 (Tel: 051-510-1456; Fax: 051-512-9835; E-mail:madink@mecha.re.pusan.ac.kr)

\*\* 부산대학교 기계공학과 (Tel: 051-510-2331; Fax: 051-512-9835; E-mail:mahlee@hyowon.pusan.ac.kr)

#### Abstract

In this study to cope with the decreasing product's life-cycle a virtual simulator to realize the simulation environment similar to a real manufacturing line is developed. The developed simulator plays a role in reducing the product conversion time by alternating manufacturing components and work plans on the simulation as manufacturing lines change and actuating a virtual manufacturing line before a real production.

The developed simulator realizes a virtual manufacturing line on the simulation using various manipulators and work cells as manufacturing components. Also It can be shown that the simulator can cope with rapid change of a manufacturing line by developing a interface that a separate process is managed for each manufacturing module and a manipulator component and a work cell are changed for a user to become convenient to teach tasks of each work module, using Microsoft Visual C++ 6.0 and OpenGL of Silicon Graphics for libraries to realize 3-dimensional graphic and constructing a database system, a hybrid type of hierarchical and relational model to develop a program that has efficiency and standardization.

오늘날 산업계에서는 생산성을 향상시키기 위하여 로봇의 도입을 통한 공장 자동화가 산업 분야 전반에 걸쳐 진행되어 왔으며, 또한 로봇의 사용이 보편화됨에 따라 우수한 성능과 함께 사용의 편리성에 대한 요구가 증대되고 있으며, 시장의 변화에 따른 제품의 다양화와 제품 수명의 단축 등으로 작업환경과 작업내용이 빈번하게 변화함에 따라 시스템을 쉽게 변경시킬 수 있는 시스템의 유연성이 점점 요구되어지고 있는 실정이다.

하지만, 생산 자동화라인의 구성요소인 로봇 매니플레이터, end-effector, parts-feeders 등은 쉽게 교체하기 힘들어 시스템의 유연성을 증대시키지 못하는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 매니플레이터 관련작업들을 가상 시뮬레이터 상에서 실시하고 시뮬레이션을 통해 결과를 예측한 후 실제 생산 시스템에 데이터를 전송하여 작업을 수행하는 오프라인 프로그래밍에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 논문에서는 짧은 제품 수명과 실제 생산라인의 직접 교체 시에 발생하는 라인 전환에 동반하는 고비용, 장시간 라인 설치로 인한 생산량 저하에 대처하기 위해 실제 생산라인과 유사한 시뮬레이션 환경을 구현함으로써 생산요소를 적절히 선택하게 하여 생산공정의 변경을 쉽게 할 수 있게 하고 생산라인의 부적절한 선택을 방지한다. 그리고 Window 98/NT 환경에서 사용자가 쉽게 가상의 생산라인을 구축하여 컴퓨터 하

#### 1. 서 론

드웨어에 관한 전문 지식이 없이도 시뮬레이션을 수행할 수 있는 가상 시뮬레이터를 개발한다.

본 논문에서 개발되는 가상 시뮬레이터는 매니플레이터 및 주변 구성요소들의 그래픽 모델링 데이터의 구성을 기반으로 각 작업 셀 단위로 매니플레이터 모듈을 전환하고, 사용자가 각 작업 모듈의 작업교시를 그래픽 상에서 구현할 수 있는 인터페이스를 개발함으로써 생산라인 전환에 효과적으로 대처할 수 있도록 하였으며, 이러한 인터페이스의 기초가 되는 데이터베이스 시스템은 기본적인 생산요소들의 동역학적, 기구학적 특징을 트리 형식의 하위 데이터요소로 연결되는 정적인 모델인 계층적 모델을 기초로 우선 구성하고, 미리 데이터의 관계를 연결짓지 않고 사용자가 구성하는 모듈에 따라 데이터의 동적인 연결을 추구하는 상관적 모델로 보완함으로써 효율적이고 체계적이고 호환성이 있는 데이터 구조를 만들 수 있는 데이터베이스에 대한 연구를 수행하였다.

또한, 로봇 매니플레이터의 경우, 정기구학, 역기구학 해석, 궤적계획 동역학적 시뮬레이션 및 성능 평가를, 작업 셀의 경우, 작업 모듈단위의 작업시간 모듈간의 지연시간, 작업 셀의 이송속도 및 이송시간 등을 모니터링할 수 있도록 하였다. 시뮬레이터의 개발 언어로는 Microsoft Visual C++ 6.0을 사용하였으며, 그래픽 라이브러리로는 실리콘 그래픽사의 OpenGL을 사용하여 3차원 그래픽을 구현하였다. 또한, GUI 환경을 이용한 사용자와 가상 시뮬레이터 시스템의 인터페이스에 대하여 연구하였다.

## 2. 데이터 베이스의 구조 및 특징

가상의 생산공정을 효율적으로 만들기 위해서는 그래픽 모델링 데이터를 체계적으로 구성할 필요가 있다. 이에 따라 제안되는 데이터베이스 구조는 사용자가 만드는 생산공정의 구성을 중심으로 설계되었고, 사용자의 필요한 작업공정에 따라 데이터베이스가 사용자의 인터페이스와 데이터 교환을 할 때, 가상의 생산라인 시스템을 효율적이고, 호환성이 있도록 구동할 수 있도록 하여야한다. 이러한 시스템으로 필요성으로 본

연구에서는 계층적인 구조를 가지는 계층적 모델과 잦은 데이터 연결의 변경에 적합한 상관적 모델을 채용하여 두 모델의 장점만으로 복합적인 데이터베이스 모델을 개발하였다.

### 2.1 계층적 모델

일반적으로 계층적 모델을 기초로 하는 데이터베이스 시스템은 모호성이 없는 구조로 정의될 수 있다. 데이터 공정 기술의 관점에서 보면 모델링 데이터 조직은 접근 경로가 명확히 결정될 때 효과적이다. 그러나 이러한 표현은 모든 생산요소로의 접근이 미리 정해진 트리 구조를 따라 움직여야하는데, 사용자 중심적이거나 복잡한 모듈의 교체에는 적절하지 못하다. 계층적 모델은 또한 상위요소가 다른 하위요소들간에 이루어지는 연결관계의 표현을 제한한다. 이러한 이유는 불명확한 생산요소간의 관계가 직접 계층적인 모델에 의해 표현될 수 없다는 것이다. 예를 들어 팔레트의 위치와 공정 좌표 등의 데이터는 작업 셀 모듈이나 매니플레이터 모듈에 공통의 연결관계를 가지기 때문에 명확한 연결을 가지기 어렵다. 이를 보완하기 위해 사용자 중심의 프로그램 구성이나 원활한 모듈의 교체를 위해 상관적 모델을 사용했다.

### 2.2 상관적 모델

보통 상관적 모델은 다른 모델과는 달리 생산 모듈과 모듈에 따른 하위 데이터 사이의 관계가 미리 정해져있지 않다. 이 모델은 연결관계를 설명하는 2차원 테이블에 기초를 둔다. 상관적 모델의 주요 특징은 데이터 연결과 데이터 접근 경로의 결정이 미리 정의되지 않고 사용자가 생산 모듈을 교체할 때 즉, 동적인 상태에서만 연결구조가 결정된다. 이러한 모델은 주로 작업 공정이 자주 바뀌거나 사용자의 경험부족으로 많은 생산요소의 변경이 예상될 때 적용될 수 있다.

### 2.3 제안된 데이터베이스 시스템

따라서 이러한 데이터베이스 모델의 필요성

들을 충족시키기 위한 구체적인 데이터베이스 시스템 모델의 구성은 다음과 같이 제안한다.

위에서 제시된 두 가지 모델을 기초로 개발된 데이터베이스 시스템은 그림 1에서 보는 바와 같이 데이터의 상위요소를 임의의  $n$ 개의 매니플레이터 모듈과  $n$ 개의 작업 셀 모듈로 배치하고 각각의 모듈의 기구학적, 동력학적, 그리고 여러 가지 연관된 모델링 요소들을 하위 데이터로 가진다. 그림 1에서 제시한 각 모듈의 하위 모델링 데이터로는 매니플레이터의 관절의 각도, 관절의 길이를 포함하는 기구학적인 특징과 링크의 중량, 모멘트, 그리고 각 관절의 토크값을 포함하는 동력학 특징을 고려하고, 작업 셀의 하위요소로는 작업 셀의 절대좌표 위치, 컨베이어 벨트의 이송속도, 그리고 그 밖의 셀 고유의 특징 등을 고려했다. 또한 각 상위 모듈 데이터와 그것의 하위 모델링 데이터는 트리 구조의 계층적 모델을 도입하였고, 그림 2에서 보여주는 것과 같이 인터페이스 블록 내에는 또한 각 생산요소의 공통되는 데이터 요소를 가지는데, 이들을 기초로 사용자의 의도에 따라 생산 모듈이 동적으로 구성될 때는 각각의 상위 데이터 즉, 매니플레이터와 작업 셀이 인터페이스 상에서 연결되는 상관적 모델을 채택하여 시스템을 구성한다. 이들 요소는 셀의 절대 좌표, 셀 위에 장착될 매니플레이터의 절대좌표 위치와 셀의 베이스와 매니플레이터의 end-effector간의 상대위치, 작업 팔레트의 위치, 셀의 작업시간, 셀 끝에서 작업 위치까지의 이송시간, 모듈들의 작업 및 이송시간 차이에 따른 이송 지연시간, 각 작업 셀의 공정 계획과 전체 라인 상에서 팔레트의 위치와 현재 작업속도 그리고 작업 진행정도 등이 있으며, 모듈을 구성

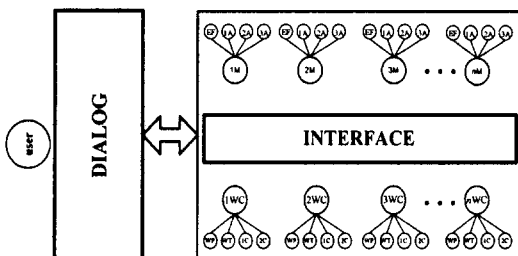


그림 1. 개발된 데이터베이스 시스템  
Fig 1. The developed database system

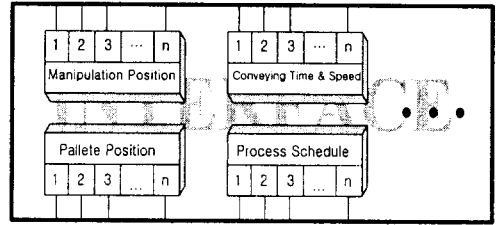


그림 2. 인터페이스 내부의 상관적 모델 구성  
Fig 2. Relational model construction in the interface

하는 매니플레이터와 작업 셀이 각기 공통의 모델링 요소를 가지며 모듈 선택창에서 하나의 모듈로 묶여지면서 묶여진 모듈의 번호에 따라 인터페이스 안에 존재하는 데이터의 고유 번호를 각기 공통으로 부여받음으로써 모듈별 공통 데이터를 공유하게 된다. 이와 같이 사용자의 선택에 의한 데이터베이스의 구성은 인터페이스의 데이터와 공유되어 사용자가 사용하는 대화상자와 연결된 후, 사용자가 생산라인으로 가상 시뮬레이션을 구동할 때 대화상자와 구성된 데이터베이스 시스템 사이의 데이터 입출력이 되도록 하였다.

### 3. 시뮬레이터의 구성

본 논문에서는 일반 사용자들도 쉽게 사용할 수 있도록 대다수 PC 사용자가 쓰는 운영체제인 마이크로소프트사의 윈도 98/NT 환경에서 가상 시뮬레이터 시스템을 개발하였다. 윈도 프로그래밍은 프로그래머가 하드웨어에 대한 깊은 지식이 없어도 쉽게 사용할 수 있는 GUI환경을 제작할 수 있게 하는 장점이 있다. 또한 동시에 Visual C++ 프로그래밍 등은 코드와 자원을 편리하게 관리할 수 있는 통합 환경을 지원하므로 여러 사람이 분담하여 작업하기에 편리하고, 다양한 개발 방식을 지원하므로 작업 효율이 높다는 이점이 있다.

개발된 시뮬레이터의 구성은 그림 3에서 보는 바와 같이 생산라인을 구성하는 각각의 생산요소들을 작업 모듈로 고려하고, 사용자는 Module Selection에 포함되어 있는 매니플레이터들과 작업 셀들 중에서 각각의 모듈마다 작업에 적합한 매니플레이터 모듈과 작업 셀을 선택하여

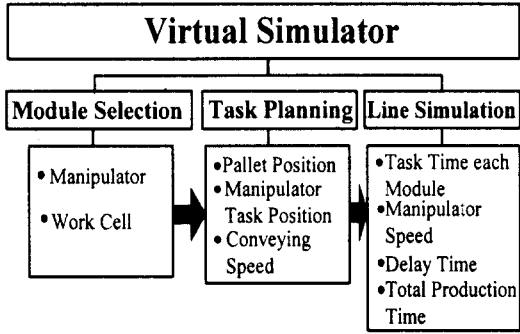


그림 3. 가상 시뮬레이터의 개념  
Fig 3. The concept of virtual simulator

단위 작업 모듈을 구성한다.

이렇게 구성된 각각의 작업 모듈은 순차적으로 연결되어 하나의 공정라인을 가상으로 만들 수 있다. 따라서 Module Selection에서 구성된 생산모듈로 만들어진 가상 생산라인으로 Task Planning에 속하는 팔레트 위치설정, 매니플레이터 작업 위치결정, 그리고 이송속도 설정 등이 입력되어지면 Line Simulation에 속하는 시뮬레이션이 행하여지고 그 결과로 각 모듈의 작업시간, 매니플레이터 속도, 이송시간의 차이로 인한 모듈들 사이의 지연시간, 그리고 구성된 라인에서 첫 모듈에서 마지막 모듈까지 공정을 거치면서 제품이 생산되는 전체 공정 시간을 모니터링할 수 있도록 하였다. 그림 4는 이와 같이 각 모듈별로 로봇 매니플레이터와 작업 셀을 짝지어 선택하며 단위 모듈을 구성해 가는 대화상자를 보여주고 있다. 그리고 작업 계획을 위한 대화상자에서는 그림 5에서 보는 바와 같이 각 공정

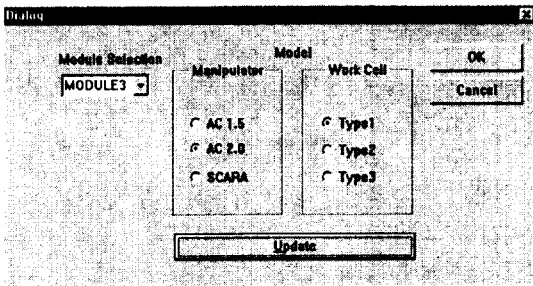


그림 4. 각 모듈에서 모델을 선택하는 대화상자  
Fig 4. The dialog window selecting models at each module

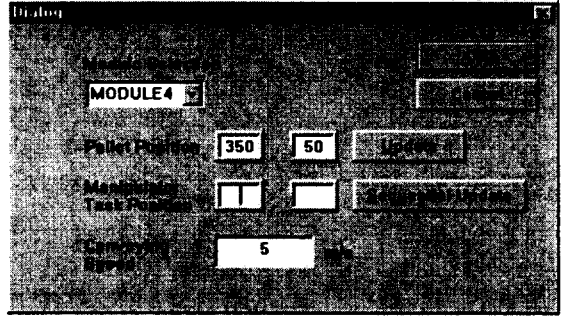


그림 5. 각 모듈의 작업 공정계획 입력  
Fig 5. The task planning input at each module

모듈 단위로 작업교시를 로봇의 end-effector 좌표 값과 셀 위에서의 팔레트의 위치 및 이송 속도로 하고, 구성된 가상의 생산라인으로 시뮬레이션할 수 있도록 하였다.

#### 4. 가상의 생산라인 조립

이상과 같이 구성한 가상 시뮬레이터 프로그램을 사용하여 각 모듈에 필요한 생산요소인 로봇 매니플레이터와 작업 셀을 선택하여 메인 윈도우 창에 하나씩 띄운다. 그림 6은 선택 대화상자에서 최초로 1번 모듈에서 하나의 작업셀과 SCARA 매니플레이터를 선택하여 메인 윈도우창에 띄운 모습을 보여주고 있다.

이렇게 각각의 단위 모듈에서 생산요소인 로봇 매니플레이터와 작업 셀을 선택하면서 라인구성을 진행해 갈 수 있다.

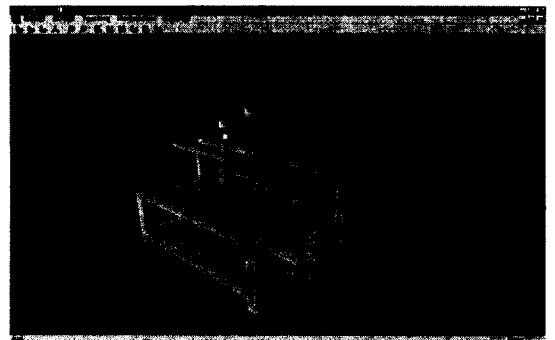


그림 6. 대화상자에서 선택한 모듈의 가상 구성  
Fig 6. Virtual construction of a module selected in the selection dialog

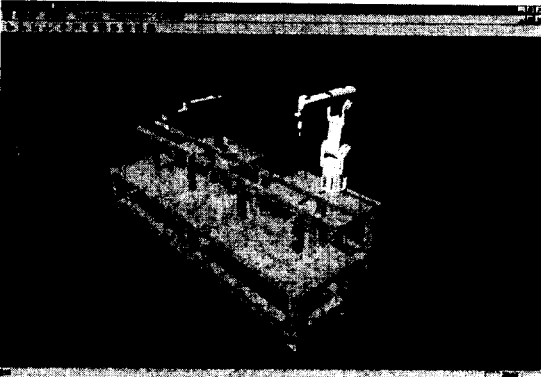


그림 7. 2개의 작업라인을 연결한 가상 시뮬레이터  
 Fig 7. A virtual simulator connecting manufacturing modules

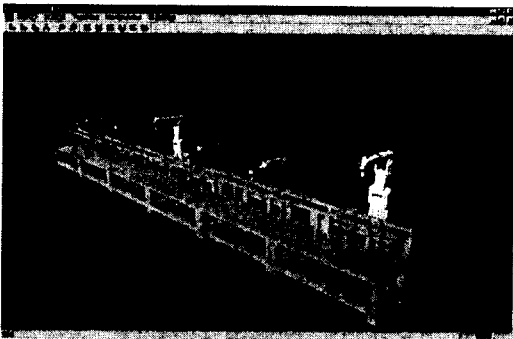


그림 8. 가상의 전체 생산라인 구성  
 Fig 8. Virtual construction of the whole manufacturing line

그림 7은 선택 대화창에서 선택된 매니플레이터와 작업셀이 짝지어진 모듈들로 라인이 구성되어 가는 모습을 보여주고 있다. 그림 8은 이렇게 선택된 생산요소들로 모듈을 구성하여 전체 생산공정 라인을 구성한 모습이다. 여기서 구성된 가상 생산라인을 이용하여 공정계획 대화창을 통해 작업셀의 이송속도, 이송시간, 작업셀 좌표를 기준으로 하는 팔레트의 위치좌표, 팔레트 위의 매니플레이터 작업위치 결정, 이송속도 등을 입력하고 가상으로 전체라인을 구동시켜 볼 수 있다. 또한 이 시뮬레이션 후에는 각 로봇 매니플레이터의 관절속도, 각 작업지점까지 가는 시간과 각 모듈별 총 작업시간, 그리고 모듈과 모듈사이의 이송시간의 차이로 인해 발생하는 이송 지연시간, 라인 전체를 거쳐 하나의 부분 생산품

이 나오는데 걸리는 총시간을 모니터링할 수 있도록 하였다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 짧아지는 제품수명에 대처하기 위해 실제 생산라인과 유사한 시뮬레이션 환경을 구현하여 라인공정에 들어갈 생산요소의 적절한 선택으로 생산공정의 변경을 쉽게 할 수 있는 가상의 시뮬레이터를 개발하였다. 개발된 가상 시뮬레이터는 여러 종류의 로봇 매니플레이터와 작업 셀을 생산 요소로 이용한 가상의 생산라인을 시뮬레이터 상에서 구현되었다. 단위 모듈로 작업 셀과 매니플레이터 요소를 교체하고 각 생산모듈별로 분리된 작업 공정을 처리하도록 대화창을 생성하여 팔레트의 위치, 작업위치, 및 셀의 팔레트 이송속도를 결정하도록 하였다. 생산요소 및 생산공정 데이터의 효율적이며 호환성있는 흐름을 만들기 위해 각 생산요소와 그에 연관된 모델링 데이터 등을 하위 데이터로 두어 계층적으로 연결시키고 매니플레이터와 작업 셀 간의 공통 데이터를 인터페이스 안에 둬으로써 매니플레이터와 작업 셀을 사용자의 의도대로 인터페이스의 데이터와 동적으로 연결시키는 Relational model를 채용함으로써 생산 공정의 데이터를 효율적으로 흐르도록 만들었다.

개발된 시뮬레이터는 사용자에 의해 생산라인에 필요한 생산요소인 로봇 매니플레이터와 작업 셀의 적절한 선택을 할 수 있도록 하였고, 공정 계획에 포함되는 팔레트의 위치설정, 매니플레이터의 작업 위치 결정 및 각 모듈의 팔레트 이송속도를 사용자 대화창에서 전환하여 실제생산 이전에 가상의 생산라인을 구동함으로써 실제 생산라인의 전환 시간을 단축시키는 역할을 한다.

향후에는 모듈간의 이송시간의 차이로 인해 발생하는 이송지연시간을 최소화하여 팔레트 이송시간을 최적화하기 위한 데이터베이스에 관한 연구를 과제로 두고 있다.

## 참고문헌

- [1] J. J. Craig, "Introduction to Robotics," Addison

- Wesley, 1989.
- [2] M. W. Spong and M. Vidyasagar, "Robot Dynamics and Control," John Wiley & Sons, 1989.
  - [3] Ham-Huah Hsu and Li-Chen Fu, Fully Automated Robotics Assembly Cell: Scheduling and Simulation, IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, 1995, pp. 208-214.
  - [4] T. Kanehara, T. Suzuki, A. Inaba, S. Okuma, On Algebraic And Graph Structural Properties of Assembly Petri Net, Proc. Of the 1993 IEEE/RSJ Int. Conf. On Intelligent Robots and Systems, pp. 2286-2293.
  - [5] Luiz. S. Homen de Mello, Arthur C. Sanderson, AND/OR Graph Representation of Assembly Plans, IEEE trans. Robotics and Automation, vol.6 No.2 April, 1990, pp. 188-199.
  - [6] B. J. McCarragher, Task-Level Adaptation Using a Discrete Event Controller for Robotic Assembly, IEEE/RSJ Int. Conf. Robots and Systems, july, 1993, pp. 2281-2285.
  - [7] K. Ikeuchi, T. Suehiro, Toward an Assembly Plan from Observation Part I: Task Recognition With Polyhedral Objects, IEEE trans. Robotic and Automation, vol.10 No.3 May, 1994, pp. 368-385.
  - [8] Intelligent Modules for Assembly Systems, IROFA, 1996(in Japanese).
  - [9] S. Kojima and H. Hashimoto, 3-D CAD Data Oriented Self-planning of Assembly Robot Cell Systems, IEEE/ASME Int. Conf. On Advanced Intelligent Mechatronics, September 19-23, 1999, pp. 484-489.
  - [10] B. Scholz-Reiter, "CIM INTERFACES Concepts, standards and problems of interfaces in Computer-Integrated Manufacturing," CHAPMAN & HALL, 1992.
  - [11] J. B. Waldner, "CIM Principles of Computer-integrated Manufacturing," JOHN WILEY & SONS, 1992.
  - [12] F. H. Mitchell Jr., "CIM SYSTEMS An Introduction to Computer-integrated Manufacturing," Prentice-Hall, 1991.