

## Web 기반 가상공작기계의 구현

정광식\*, 서석환\*\*, 서윤호\*\*\*, 이현수\*\*\*\*

### Implementation of Web-based Virtual Machine Tools

Jeong, K. S.\*, Suh, S. H.\*\*, Seo, Y. H.\*\*\* and Lee, H. S.\*\*\*\*

#### ABSTRACT

A key factor for realizing the internet-based virtual manufacturing system(VMS) and virtual enterprise(VE) is how to precisely and effectively represent the machine elements and mechanics. In this paper, we present methods to represent the numerically controlled machine tools in the internet environment. The method is composed of : 1) geometrical modeling of the machine tools, 2) kinematic modeling for the movements of the machine tools, and 3) representing the developed model in the internet infrastructure. Based on the models, a web-based virtual machine tools (WVMT) is developed, and it can be accessed at <http://wvmt.postech.ac.kr>. The WVMT can be used for various purposes: 1) web-based virtual manufacturing system, 2) web-based CAM system, and 3) CNC educational tools for the vocational school through internet.

**Key words** : Virtual Machine Tools (VMT), CNC, Numerical Control System, Virtual Manufacturing System (VMS), Network Technology, Web-based Manufacturing System

#### 1. 서 론

급격한 생산환경 변화에 대처하기 위해 다양한 형태의 새로운 생산시스템 대안들이 생겨나고 있는 상황에서 차세대 생산시스템으로 웹기반 가상생산시스템(Virtual Manufacturing System)의 중요성이 부각되고 있다. 이를 구축하기 위하여 수치제어 공작기계의 형상, 기능 등을 웹 상에서 표현하고 모델링 하기 위한 연구가 선행되어야 한다. 공작기계 설계에 대한 기존의 연구로 新野秀憲은 공작기계 구성 요소의 결합 패턴에 의한 디자인 방식을 이용하여 공작기계를 생성하는 방법을 제시하였고<sup>[1]</sup>, Iwata는 컴퓨터 상에서 공작기계 설계를 위한 개념적 구조를 제시하였으며<sup>[2]</sup>, 森脇俊道은 공작기계의 설계 지식을 기반으로 한 객체지향 설계 시스템 개발에 관한 연구를 수행하여 왔다<sup>[3]</sup>. 하

지만 지금까지의 공작기계 설계와 관련된 연구들은 대부분 기계 구조의 정·동강성 및 열변형의 해석에 역점을 두어 왔고, 제한된 형태의 공작기계에 대한 표현 및 생성에 관하여 연구되어 온 실정이다.

지금까지 컴퓨터 상에서 단독으로 구현된 가상 공작기계로는 상용 시스템인 Deneb사의 VNC 등이 개발되었으며, 웹 상에서 운영 가능한 On-Line 가상공작기계로는 VRML(Virtual Reality Modeling Language)을 이용하여 밀링 머신을 표현하는 것이 있다<sup>[4]</sup>. 그러나 이 시스템은 공작기계의 동작 등 기능적인 측면보다는 외적인 형상 표현에 한정되어 있기 때문에, 현재 웹 상에서 공작기계를 표현하고 기능을 완전히 구현한 시스템은 전무한 상태이다. 본 논문에서 제시하고자 하는 웹기반 가상공작기계 시스템은 기존의 Off-Line상에서 단독으로 존재하는 공작기계 시뮬레이터가 갖고 있는 사용상의 제약을 극복하고, 웹기반 생산시스템의 구성요소로 활용될 수 있는 의의를 갖는다. 본 논문에서는 구체적으로 가상생산시스템의 중요한 구성요소인 공작기계의 구성과 조작성을 컴퓨터 상에서 모델링하기 위한 방법을 제시하고, 이를 VRML을 이용하여 클라이언트 PC 상에서의 기계 조작, NC 파트 프로그램 편

\*학생회원, 한국오라클(주)  
\*\*중신회원, 포항공과대학교 기계산업공학부  
\*\*\*중신회원, 울산대학교 산업공학부  
\*\*\*\*포항공과대학교 기계산업공학부  
- 논문투고일: 2000. 01. 25  
- 심사완료일: 2001. 07. 27

집 및 그에 따른 기계 동작 및 가공시뮬레이션 등을 가능케 하는 웹기반 가상공작기계(Web-based Virtual Machine Tools, WVMT)를 구현하였다. 이러한 웹기반 가상공작기계를 구현하기 위하여 기존의 공작기계 및 가상공작기계에 대한 관련 연구 결과 등을 기반으로 WVMT 시스템에 적합한 형상, 기능 및 가시화 모델을 만들고, 또한 웹 상에서 구현된 가상공작기계를 실질적으로 제어하는 장치인 컨트롤러를 개발하고 실제 공작기계 상에서 똑같이 작동할 수 있도록 하는 WVMT 시스템 구조를 제시한다.

## 2. 가상공작기계

가상공작기계(Virtual Machine Tools, VMT)는 공작기계를 구성하는 요소들에 대한 컴퓨터 모델로서 단순한 공작기계의 구성 요소에 대한 컴퓨터 상의 표현에만 그치지 않고 실제 공작기계와 동일한 작동이 가능하여야 하며, 사용자의 요구에 따라 다양한 형태의 공작기계를 컴퓨터 상에 제시할 수 있어야 한다. 따라서 본 연구에서는 가상공작기계에 대한 구성요소의 형상

및 기능 파라미터를 분석하고, 사용자로부터 이에 대한 값을 입력받아 공작기계를 구성하는 방식을 취한다.

가상공작기계의 생성은 Fig. 1에 도시되어 있듯이 구성 요소에 대한 사용자의 입력 정보를 받는 부분과 입력된 정보를 이용하여 형상 모델을 구성하는 부분, 그리고 형상 모델로부터 구조적으로 조합하고 기능 수행에 필요한 정보를 생성하는 부분, 마지막으로 가상공작기계를 가시화 하는 부분으로 이루어져 있다. 이하에서 가상공작기계를 생성하는 각 부분에 대하여 자세히 설명한다.

### 2.1 가상공작기계의 형상모델

가상공작기계의 형상모델은 공작기계를 구성하는 요소들에 대한 형상 파라미터에 대한 입력 정보를 기반으로 이루어지며 이를 위하여 공작기계 설계 시에 사용되는 설계 핸드북에 게재되어 있는 그래프 및 테이블 데이터, 설계 공식, 카탈로그 데이터<sup>[6]</sup>, 표준부품에 관한 데이터 등의 설계 지식을 이용할 수 있다. 공작기계의 구성요소는 크게 아래 Fig. 2에서와 같이 공작기계 규격 전반에 관한 모듈, 베드, 칼럼, 스피들, 테이블 등의 기본 구조 모듈, 공작기계의 움직임을 구성하는 모듈, 부가장치 모듈로 구분되며 각각에 대한 입력 파라미터를 도출해 내는 것이 필요하다.

가상공작기계의 입력 파라미터는 공작기계의 규격 데이터와 설계 시 고려되는 사항 등을 합하여 정의할 수 있고, 이러한 정보 표현을 위하여 Fig. 3과 같이 객체지향 기법을 사용하였다. 가상공작기계의 클래스 구조에서 가상공작기계와 구성요소 사이의 관계는 PART\_OF, 구성요소별 타입은 IS\_A 관계로 표현된다. IS\_A 관계로 구성되는 요소는 상위 클래스의 속성을 그대로 상속받는 것이며(즉 inheritance 관계), 이와 같은 상속 관계는 상위 구성요소 객체의 모든 속성을 하위 객체가 모두 가지게 되는 것을 의미한다. 구현 시 객체지향 언어에서는 각각의 구성 요소는 하나의 클래스로 표현

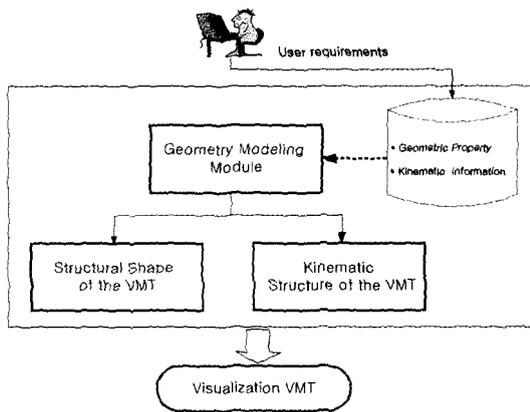


Fig. 1. Flow for generation of virtual machine tool.

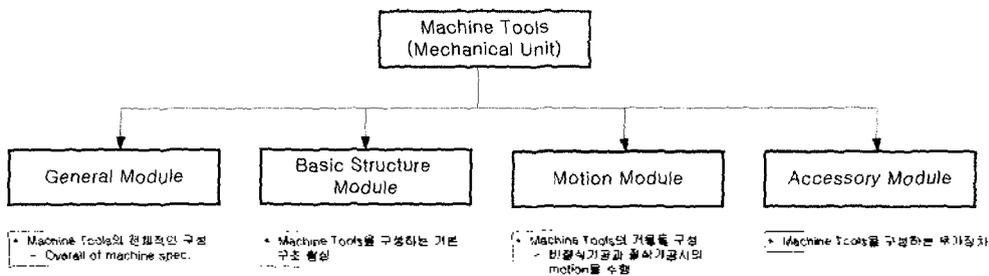


Fig. 2. Modules of machine tools.

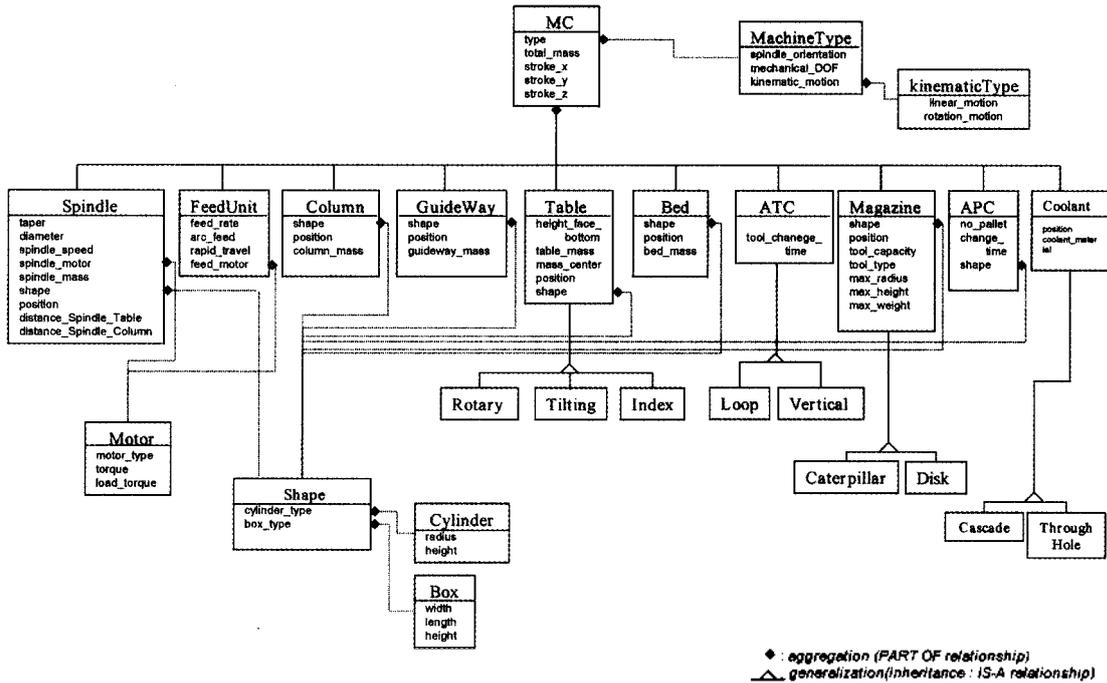


Fig. 3. Classes hierarchy of VMT.

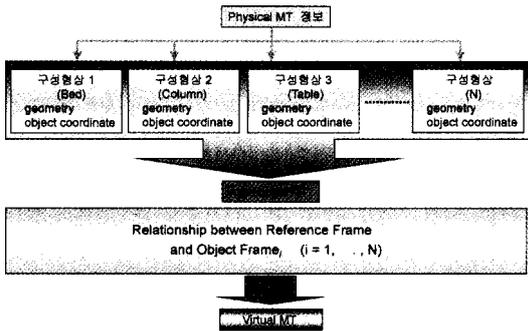


Fig. 4. Procedure to generate VMT.

된다. 클래스 구조에서 가상공작기계를 구성하는 요소 간의 결합 관계 중 ATC와 Magazine은 반드시 같이 구성되어야 하며, Table/Bed/APC는 결합시에 각각의 정해진 위치를 가지면서 결합되어야 한다. 따라서 사용자는 이러한 관계를 고려하여 입력해야 하며 본 연구에서 개발된 시스템은 이러한 제약관계를 확인하고 사용자에게 diagnostic message를 주도록 설계되었다. 사용자가 입력한 정보를 기반으로 가상공작기계를 3차원 공간에서 생성하는 전체적인 구조는 Fig. 4에서와 같은 흐름을 통해 이루어진다. Fig. 5에서는 공작기계 구성요소의 형상과 위치 정보를 입력받아 공작기계를

구성하는 예를 보여주고 있다. 공작기계의 기본 형상은 베드, 칼럼, 테이블, 주축으로 이루어져 있으며 이들의 형상은 블록과 원통의 primitive로 표현된다. 먼저 베드(O<sub>1</sub>), 칼럼(O<sub>2</sub>), 테이블(O<sub>3</sub>)은 블록 형상과 전위 행렬로 표현되며 주축(O<sub>4</sub>)은 블록 형상과 전위 행렬과 회전 행렬로 공구(O<sub>5</sub>)는 원통 형상과 전위 행렬과 회전 행렬로 각각 표현 되어진다.

최종적으로 기하학적 정보를 가지는 공작기계의 구성형상들은 WCS(World Coordinate System)의 기준 좌표계에 의해 정의되고, 각각의 형상의 OCS(Object Coordinate System) 좌표계의 상대적인 위치관계로 표현되어 결합하게 된다.

## 2.2 가상공작기계의 Kinematic 모델

### 2.2.1 Kinematic 구성

가상공작기계의 구동을 위하여 기계의 kinematic 구성에 대한 정의와 각 축의 동작을 수행하는 구성 요소 간의 관계에 대한 분석이 필요하다. 공작기계의 각 축은 선형동작 또는 회전동작으로 구성된다. 다음에서 일반 5축 공작기계의 kinematic 구조를 알아봄으로써 가상공작기계의 kinematic 구성에 필요한 정보와 각 축의 제어방법에 대하여 살펴보기로 하자.

5축 공작기계는 선형 3축과 주축 또는 공작물이 회전

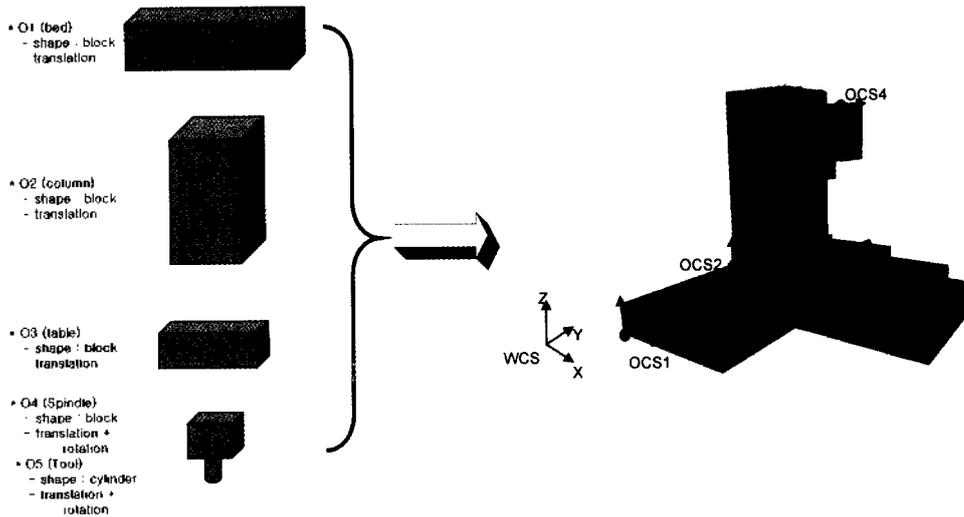


Fig. 5. Geometric composition of VMT.

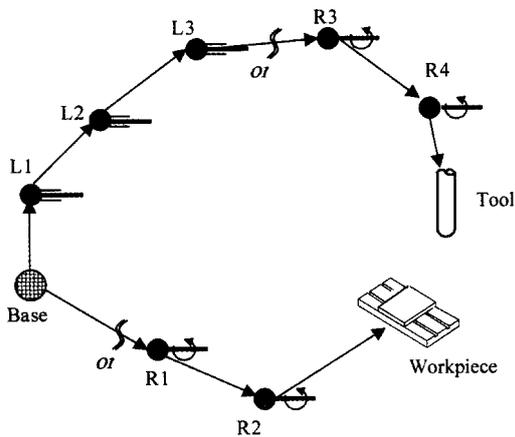


Fig. 6. Example kinematic configuration of 5-axis machine tools.

축을 따라서 움직이는 회전 2축으로 구성된다. 5축 공작기계의 kinematic 구조는 Fig. 6에서 예시된 바와 같이 표현될 질 수 있다. 여기서 L1, L2, L3는 선형축을 의미하며, R1- R4는 회전축을 의미하는데, 회전축이 어디에서 제공되는가에 따라, R1, R2는 주축에서 전량 제공하는 경우이며, R3, R4는 로터리 테이블에서 전량 제공하는 경우이다. 그러나 실제로는 주축에서 1회전축, 로터리 테이블에서 1회전축을 제공하는 형태 등 Fig. 6에서 표기한 것 이외에도 많이 존재할 수 있다. 이러한 5축 공작기계의 kinematic 구조에서 각 축의 관계는  $3 \times 3$ 의 회전행렬과,  $3 \times 1$ 의 위치벡터로 이루어진  $4 \times 4$

의 동차변환 행렬을 이용하여 표현 가능하다.

2.2.2. 축 제어 모델

新野秀憲<sup>[3]</sup>에 따르면 공작기계는 스피들, 슬라이드, Swivel Slide, Cross-slide Unit, 칼럼, 회전테이블, 베이스, 칼럼 베이스와 베드의 기본 구성요소로 이루어져 있으며, 이들이 제한적이며 상호 특정한 조건을 만족하는 경우에 일정한 패턴에 따라 결합된다. 본 연구에서는 新野秀憲의 분류기준에 따라, 가상공작기계의 kinematic 구성에 대한 입력 정보를 기반으로 실제적인 축 동작을 표현하기 위한 구성요소 간의 결합 패턴을 생성하고, 이를 이용하여 각 요소간의 운동관계를 표현한 연결그래프를 생성하여, 각 축의 운동관계를 제어하는 방법을 위하였다. 이때 연결그래프는 공작기계의 축 정보를 가지는 노드와 구성요소 간의 결합관계를 나타내는 아크로 이루어져 있다. 이렇게 구성된 연결그래프를 이용하여 공작기계의 움직임을 효율적으로 제어할 수 있게 되는데, 연결그래프 생성 시 절삭력의 전달 경로를 기준으로 바닥면에서부터 공구까지 연결된 구성요소를 나타내는 부분과 공작물까지의 연결된 구성요소를 나타내는 두 부분으로 나누어 구성하였다. 따라서 공작기계의 각 요소간의 운동관계를 표현한 연결그래프는 다양한 형태의 공작기계의 움직임을 효율적으로 표현할 수 있게 된다. Fig. 7에는 공작기계를 연결그래프로 표현한 예를 보여준다.

2.3 가상공작기계의 가시화 모델

가상공작기계의 가시화를 위하여 본 논문에서는

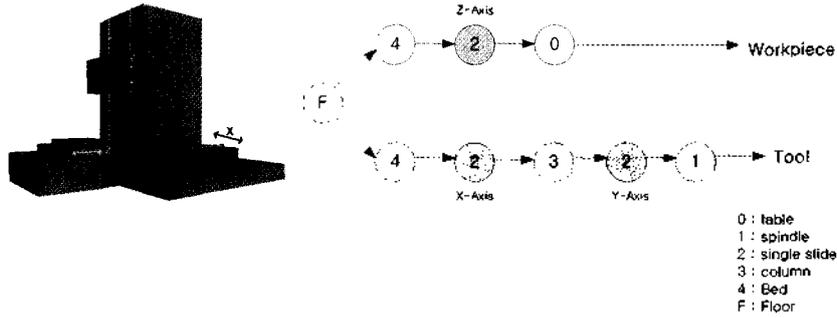


Fig. 7. Connectivity graph of machine tool.

VRML에서 지원하는 노드를 이용하여 솔리드 엔티티를 정의하고 모델을 형성하였다. 솔리드 모델링 기법은 객체 지향적인 사용자 인터페이스 구성을 통해 정보면에서 완전하고 유효하며 명확히 물체를 표현할 수 있어 모델 형상을 쉽게 검증하는 장점이 있다. 그리고 솔리드 모델은 가상공작기계를 구성하는 각각의 형상에 대한 기하학적 정보와 위상학적 정보를 모두 포함한다.

### 3. 웹기반 가상공작기계

#### 3.1 WVMT의 형상 표현

WVMT에서는 가상공작기계의 형상 모델을 기반으로 웹에서 공작기계의 형상을 생성한다. 이를 위하여 가상공작기계의 클래스 계층구조를 Fig. 8과 같은 VRML 장면그래프로 나타내었다.

Fig. 8에서 Transform Node가 다수의 Shape Node로 구성된 복합적인 형상을 가진다면 연결된 모든 형상을 제어하는 Group Node의 역할을 수행하게 된다. 또한 Switch Node는 변동 가능한 형상 구성 시 사용

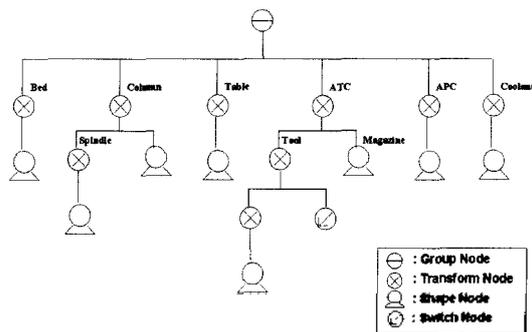


Fig. 8. Hierarchical structure of scene graph.

되며, 자동공구교환장치(ATC)는 다양한 형상의 공구를 생성하여야 하기 때문에 Switch Node를 이용하였다. 가상공작기계의 형상 생성은 2.1절에서 제시한 가상공작기계의 클래스 구조를 이용하여 VRML의 장면 그래프로 만들어 생성하게 되며 이때, VRML의 장면 그래프의 각 노드는 가상공작기계를 구성하는 각각의 형상 클래스와 일대일 대응이 유지된다.

WVMT에서 가상공작기계의 형상을 생성하는 절차는 Fig. 9와 같다. 실제적으로 형상 생성과 결합관계를 지정하는 정보는 사용자로부터 입력되며, 이에 따라 필요한 정보를 데이터베이스로부터 읽어 형상을 생성한다. 이러한 방법은 VRML 장면에 새로운 객체의 추가와 삭제를 용이하게 하여 다양한 형태의 가상 공작기계를 생성하기에 적합한 방안이 될 수 있다.

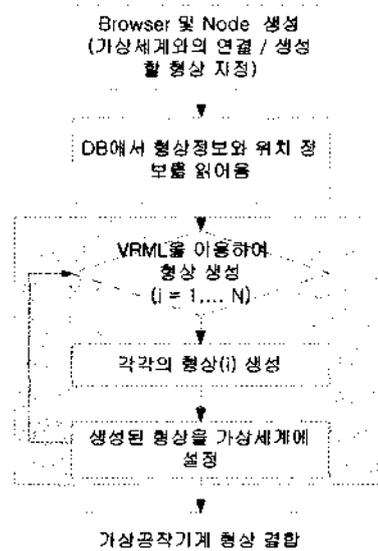


Fig. 9. Flowchart to generate WVMT.

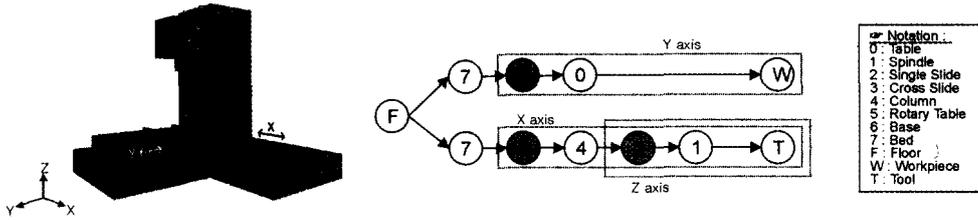


Fig. 10. Node groups in connectivity graph.

3.2 WVMT의 Kinematic 구성 및 제어

웹 상에서 생성된 가상공작기계는 사용자의 조작이나 입력 정보에 따라서 실제 공작기계와 같이 작동되어야 한다. 이를 위하여 먼저 공작기계를 표현한 연결 그래프로부터 축 제어를 위한 정보를 도출하고, 축 제어 정보를 가상공작기계에 반영하는 것이다.

공작기계 구성요소의 동작은 베이스에 가까운 구성요소의 움직임을 따르는 특성을 이용하여, 연결 그래프의 각 노드는 함께 움직이는 노드들로 그룹핑 할 수 있다. Fig. 10은 Fig. 7에 주어진 결합그래프로부터 동작 노드를 그룹핑 한 결과를 도시한다.

그룹핑 되어진 축 제어 정보를 VRML로 표현된 가상공작기계의 노드에 부여함으로써 공작기계의 움직임을 제어할 수 있게 된다. 아래 Fig. 11은 위에서 추출된 축 제어 정보를 VRML 트리로 변환한 것이다.

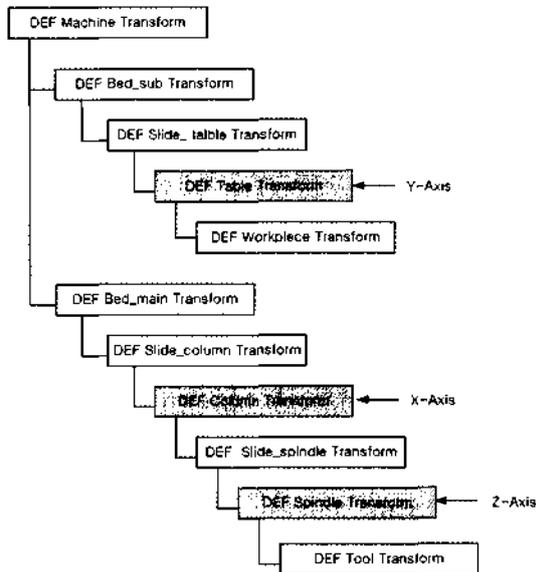


Fig. 11. VRML representation of axes.

3.3 WVMT 수치제어장치

WVMT에서의 수치제어 장치의 제어 구조는 실제

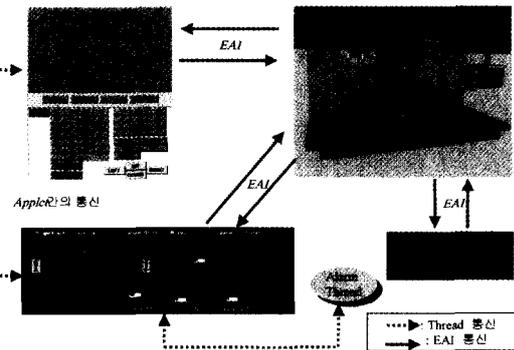


Fig. 12. Communication structure in WVMT.

```

import vrml.external.Node;
import vrml.external.Browser;
import vrml.external.exception.*;
import vrml.external.field.*;

Browser browser = null;
EventInSFVec3f Axis_x, Axis_y, Axis_z;

Browser browser = null;
Browser browser = Browser.getBrowser(this);
Node Axis_node_x = browser.getNode("Table");
Axis_x = (EventInSFVec3f) Axis_node_x.getEventIn("set_translation");

public boolean action(Event evt, Object arg)
{
    if(evt.target == button_plus){
        Axis_x.setValue(val_x);
    }
    ...
}
    
```

Fig. 13. Example of EAI communication.

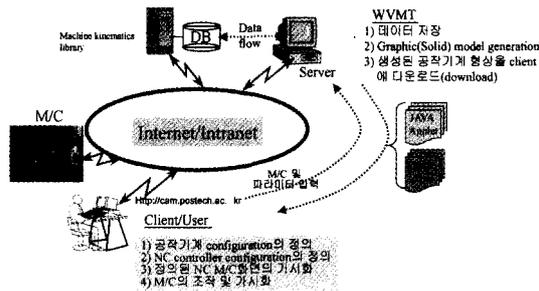


Fig. 14. Architecture of WVMT system.

기계에서의 동작을 구현하기 위하여 크게 가상공작기계에서 발생하는 정보를 MMI(Man Machine Interface)에 연결하는 부분과 MMI를 통한 지령 정보를 가상공작기계에 반영하는 부분으로 구성된다. 특히 가상세계와 실세계를 연결하는 제어 구조에서 가장 크게 고려해야 할 점은 발생하는 정보에 대한 실시간성과 양방향성을 보장하여야 한다는 것이다. 이러한 정보의 상호 교환을 위한 제어구조는 Fig. 12와 같다.

이때 가상공작기계에서 발생하는 정보를 MMI에 전달하고 MMI에서 가상공작기계에 정보를 전달하기 위해서 EAI(External Authoring Interface)<sup>9)</sup>를 이용하여 실시간, 양방향으로 통신하면서 제어한다. EAI는 사용자의 입력을 가상공작기계에 전달하고 공작기계 상에서 발생하는 이벤트를 사용자에게 전달하는 일종의 통로(Gateway) 역할을 수행하며, Fig. 13은 WVMT에서 가상공작기계의 축을 동적으로 제어하기 위한 EAI 통신의 간단한 예이다.

#### 4. WVMT 시스템 구현

##### 4.1 WVMT 시스템 구조

전체적으로 WVMT 시스템은 Client/Server 구조로 되어 있으며, 사용자측에서는 공작기계의 구성 정의, 공작기계 가시화 명령과 사용, 가공 프로그램 입력 등을 수행하며 서버 측에서는 이러한 사용자의 요구에 따라서 직·간접적으로 DBMS와의 통신을 통하여 사용자의 요구를 수행할 수 있다. 이러한 WVMT 시스템의 전반적인 Network 구성도는 Fig. 14와 같다.

WVMT 시스템에서는 네트워크 부하를 최소한으로 줄이기 위하여 공작기계 구성 시 사용자의 입력 값을 이용하여 공작기계를 구성하고 이때 구성된 사용자 인터페이스 파일과 VRML 파일 형태의 공작기계를 모두 사용자측으로 다운로드시키고 이들간의 운용을 실시하게 된다.

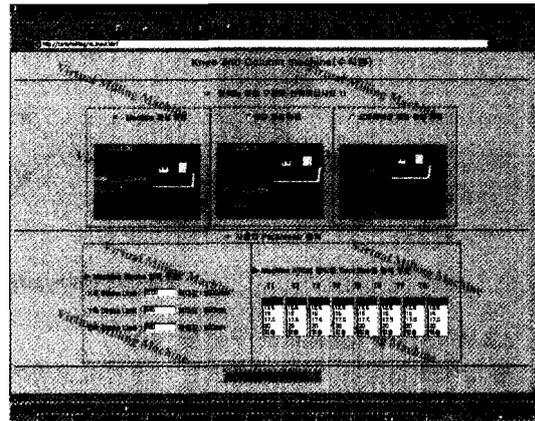


Fig. 15. User interface for parameter input.

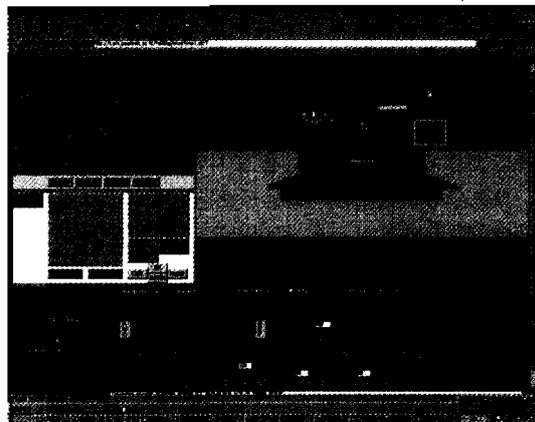


Fig. 16. Example of vertical machining center and numerical control device.

##### 4.2 WVMT 시스템 구현 및 운영 예

WVMT 시스템은 사용자가 웹에서 홈페이지에 접속하여 공작기계에 대한 파라미터 값을 입력하고(Fig. 15 참조), Fig. 16과 같은 가상공작기계와 수치제어장치를 포함한 웹 페이지 내에서 가상공작기계를 조작할 수 있다.

#### 5. 결 론

본 논문에서는 공작기계중에서 머시닝센터를 대상으로 웹상에서 가상공작기계(Web-based Virtual Machine Tools)를 표현할 수 있는 공작기계 및 수치제어기 모델 개발을 위한 방법론 제시와 실제 프로토타입 시스템 구현을 통하여 이를 검증하였다. 개발된 WVMT는 공

작기계의 기하학적 모델과 기구학적 모델로 구성되며, 사용자의 동작 명령에 따라 웹상에서 실시간으로 기계의 움직임이 가시화 되도록 구현하였다. 개발된 WVMT 시스템은 stand-alone 형태가 아닌 웹상에서 구현(<http://wvmt.postech.ac.kr>)될 수 있다는 점에서 기존의 VMT 시스템과는 차별화되며, 사용자 하여금 초고속 통신망을 통해 접속할 수 있도록 함으로써 수치제어 교육 등의 효과를 가져올 수 있다. 뿐만 아니라 WVMT 모델링 기법은 STEP-NC 가상제조시스템(VMS) 및 가상기업(VE)의 요소기술로서의 의의가 있다.

### 감사의 글

본 연구는 정보통신부 초고속 통신망 응용사업(1998-41)과 2000년 과학기술부 국가지정 연구실 사업의 연구비 지원에 의해 수행된 것으로, 관계자 여러분에게 감사드립니다.

### 참고문헌

1. 新野秀憲, 伊東諠, “工作機械の構造創成方法(第1報, パリアント・デザイン方式による創成),” 日本機械學會論文集, 제50권, 제449호, pp. 213-221, 1984.
2. 新野秀憲, 伊東諠, “工作機械の構造創成方法(第2報, フリー・デザイン方式による創成),” 日本機械學會論文集, 제50권, 제459호, pp. 2192-2220, 1984.
3. 新野秀憲, 伊東諠, “工作機械の構造創成方法(第3報, 結合パターンを用いたパリアント・デザイン方式による創成),” 日本機械學會論文集, 제52권, 제474호, pp. 788-793, 1986.
4. Iwata, K., Onosato, M., “A Computer Aided Conceptual Design System of Machine,” CIRP, Vol. 38, pp. 137-140, 1989.
5. 森脇俊道, 布引雅之, 西村勝廣, 吉澤廣昭, 坂尾健司, “工作機械の基本設計における知識利用に関する研究,” 日本機械學會論文集, 제57권, 제536호, pp. 1371-1376, 1991.
6. 森脇俊道, 布引雅之, “オブジェクト指向に基づく工作機械設計支援システムの開発,” 日本機械學會論文集, 제58권, 제546호, pp. 655-660, 1992.
7. O'Sullivan, D., “Virtual Reality Modelling of a CNC Milling machine “A white paper, (<http://www.geocities.com/ResearchTriangle/Lab/1795/paper.html>), 1998.
8. 대우공작기계, “ACE-V35 수평형 머시닝센터” 외 다

수의 공작기계 재조회사의 카탈로그.

9. Marrin, C., “Proposal for a VRML 2.0 Informative Annex, External Authoring Interface Reference,” Silicon Graphics, Inc. 1997.
10. FANUC, Manual for FANUC Series 15-MA, 1994.

### 정 광 식

1998년 성균관대학교 산업공학과 학사  
2000년 포항공과대학교 산업공학과 석사  
2000년~현재 한국오라클(주)  
관심분야: VMS, CAM, Data modeling

### 서 석 환

1976년 고려대학교 산업공학과 학사  
1978년 KAIST 산업공학과 석사  
1986년 Ohio State Univ. 박사  
1986년~1987년 Univ. of Michigan 연구원  
1987년~현재 포항공과대학교 산업공학과 교수  
관심분야: STEP-NC, CAD/CAM, IMS

### 서 윤 호

1984년 고려대학교 산업공학과 학사  
1990년 Penn State Univ. 석사  
1993년 Penn State Univ. 박사  
1993년~현재 울산대학교 산업공학과 부교수  
관심분야: Manufacturing system design, AI/VR 응용

### 이 현 수

1997년 성균관대학교 산업공학과 학사  
2000년~현재 포항공과대학교 산업공학과 석사과정  
관심분야: E-manufacturing, STEP-NC