

◆특집◆ 가상 가공

# 소프트웨어 기반의 개방형 제어기를 통한 가상 CNC 개발

윤원수\*, 민병권\*\*

## Development of Virtual CNC using a Software Based Open Architecture Controller

Won-Soo Yun\*, and Byung-Kwon Min\*\*

**Key Words** : Virtual Machine Tool (가상 공작기계), Virtual CNC (가상 CNC), Hardware in the loop, Open Architecture Control (개방형 제어), Real-time simulation (실시간 시뮬레이션)

### 1. 서론

가상 공작기계(Virtual Machine Tool)는 다양한 공작기계 요소와 절삭 공정의 엄밀한 모델에 근거하여 사용자가 CNC 공작기계를 이용한 실제 가공 이전에 공작기계의 동작과 절삭 과정을 컴퓨터를 이용하여 시뮬레이션하고 이를 토대로 실제 가공시의 최적의 절삭 조건을 얻고 나아가 정밀도 향상을 위하여 실제 기계를 적절히 보상하고 제어하는 것을 목적으로 한다<sup>(1)(2)</sup>. 또한 가상 공작기계는 가상 생산시스템을 구성하는 요소로서 사용되어 개별적인 공작기계의 생산 공정이나 고장 등의 문제점들이 전체 생산시스템에 끼치는 영향을 분석하기 위한 도구로서 사용될 수 있다. 가상 공작기계를 구현하기 위해서는 공작기계의 기계요소의 시뮬레이션과 함께 가상 CNC, 즉 공작기계 제어기의 시뮬레이션이 필요하다.

시뮬레이션은 다양한 공학 시스템의 설계에

활용되어 왔다<sup>(3)</sup>. 생산 시스템에의 설계에 있어서도 시뮬레이션은 복수의 설계 대안에 대한 성능 평가를 최소의 실험으로 가능하게 하여 실험의 비용을 절감시키며 시스템의 진단과 적응제어등에도 활용될 수 있다<sup>(4)(5)</sup>.

공작기계의 시뮬레이션에 대해서는 절삭공정의 해석, 서보 제어요소의 설계와 공작기계 기구학을 응용한 공구와 가공물 사이의 충돌 회피 등이 집중적으로 연구되었다<sup>(6)</sup>. 이중에서 서보계의 시뮬레이션은 대체적으로 제어기 설계 과정에서 모터 드라이버를 포함한 서보계의 동적 모델링을 위하여 행해지고 있으며 공작기계의 설계 시 적절한 규격의 모터 선정을 위해서 시뮬레이션이 활용되고 있다. 이밖에 공작기계의 공구경로의 정확한 예측을 통한 절삭면 형상의 시뮬레이션에 관한 연구도 활발하여, 솔리드 모델과 가공공정의 가시화를 통해 공구경로의 오차를 계산하고 가공 프로그램의 오류를 검증하기 위한 기법들이 개발되었으며<sup>(7)</sup>, 최근 들어 CAD 와 CNC 에 상용화된 기능으로 추가 되고 있는 추세이다. 공작기계 전체를 하나의 시뮬레이션 대상으로 보고, 제어기, 기계 구조의 동특성과 절삭공정을 동시에 시뮬레이션 하려는 시도도 있어왔다. Chen 등은 서보계와 절삭 공정모델을 포함한 공작기계 시뮬레이션을 개발하여 공작기계의 이상을 예측하는 방법을 제안하였

\* (주) 터보텍 기술연구소

\*\* 미시간 대학교 기계공학과

Tel. 031-710-5871, Fax. 031-716-9113

Email wsyun@turbotek.co.kr

개방형 제어기 및 생산시스템 자동화 분야에 관심을 두고 연구 활동을 하고 있다.

다<sup>(8)</sup>.

그러나, 서보와 절삭공정 시뮬레이션을 통한 이상 예측 기법은 그 특성이 상세히 공개되어 있지 않은 상용 제어기의 모델링의 어려움으로 인하여 실험용으로 제작된 공작기계와 특정한 공구를 사용한 공정에 제한되었으며, 실제로 공작기계 이상의 많은 원인이 되고 있는 공작기계의 센서 고장, 제어기 내부의 문제점 등에 따른 공작기계의 특성 변화를 보여주기 힘들다. 그리고, 이미 상용화되어 있는 공작기계 공구 경로 및 가공 프로그램 검증을 위한 시뮬레이터들은 가공 프로그램 또는 설계 도면에만 의존하므로, 공작기계의 제어기 요소와 기계부품의 이상에서 발생하는 문제를 예측하기 위한 방법으로는 부적절하다.

이런 문제점을 극복하고 CNC 의 다양한 기능에 대한 종합적인 시뮬레이션을 가능하게 하기 위해, 본 연구에서는 실제 공작기계의 CNC 를 시뮬레이션의 한 부분으로 이용하는 HIL (Hardware in the loop)의 개념을 도입해서 가상 CNC 를 개발하였다. 그러나, 폐쇄형 CNC 에서는 응용 소프트웨어가 CNC 의 내부 변수에 접근하기가 힘들기 때문에 CNC 를 시뮬레이션의 일부분으로 사용하는 것에 제약이 따르게 된다. 이에 본 연구에서는 PC 기반의 개방형 CNC 를 시뮬레이션에 이용하였다.

본 논문에서는 가상 공작기계 구현을 위한 가상 CNC 개발과 관련하여 소프트웨어 기반의 개방형 제어기의 특성을 검토하고, 이를 가상 공작기계에 활용하기 위한 시뮬레이션 기법, 외부 모듈과의 연결, 생산시스템 시뮬레이션과의 연계의 개발 사례를 소개하도록 한다.

## 2. 개방형 제어기

개방형 제어기는 공작기계 제어 분야에서 널리 알려진 용어이며, 90 년대 초반부터 다수의 업체와 연구 기관들이 컨소시엄을 형성하여 이에 대한 연구를 진행해 왔다. 유럽에서는 OSACA (Open System Architecture for Control within Automation system), 일본에서는 OSEC (Open System Environment for Controller Architecture), 북미에서는 OMAC (Open Modular Architecture Controller) 이라는 컨소시엄이 구성되어 개방형 CNC 의 표준모델을 개발해왔으며, 최근에는 국제 표준을 위한 공작기

계 변수 모델의 개발(Global-HMI)도 이루어지고 있다<sup>(9)</sup>.

CNC 의 개방 정도는 크게 세가지로 구분할 수 있다. 첫째는 PC 가 개발되기 전부터 현재까지 널리 사용되고 있는 전용제어기를 이용한 폐쇄형 시스템이고, 둘째는 PC 를 이용하여 HMI (Human-Machine Interface) 와 고장 감시기능 등 soft real-time 응용 모듈에 개방형 구조를 구현한 준 개방형 시스템이며, 마지막으로 CNC 의 kernel 과 서보 제어기 등 hard real-time 응용 모듈에 대해서까지도 개방형 구조를 취하는 완전 개방형 시스템으로 구분할 수 있다.

제어기의 개방성은 제어기 자체를 위한 소프트웨어의 개발이나 장비의 확장성 외에도, 외부의 소프트웨어 모듈과의 연결을 용이하게 한다. 본 연구에서는 개방형 제어기의 이런 특성을 활용했다. 시뮬레이션의 목적이 실제 공작기계의 구현에 있으므로, 제어기 개발의 측면에서는 실제 공작기계의 장치와 가상 공작기계의 인터페이스는 동일한 구조를 갖는 것이 바람직하다. 실제 공작기계와 시뮬레이션 모두에 대해서, 위에서 설명된 hard real-time 제어부는 공유 메모리와 실시간 API (Application Programming Interface) 를 이용하여 공작기계의 각 기계요소의 시뮬레이션과 연결했으며, soft real-time 응용 영역의 정보는 표준적인 데이터 통신기술을 통한 접근으로 응용 모듈과 연결하였다.

## 3. 실제 제어기를 이용한 공작기계 제어부의 실시간 시뮬레이션

PC 기반의 제어기를 시뮬레이션에 직접 이용하는 방식은 가상 생산시스템에서 공작기계의 성능을 검증하고, 가상 현실을 활용한 생산 시뮬레이션에서의 공작기계 제어기의 모델을 대체하는 방법으로 저자에 의해 제안된 바 있다<sup>(10)(11)</sup>. 본 논문에서는 서보계와 주축의 동특성과 공작기계 각축의 리밋 스위치 등의 모듈화 된 시뮬레이션 모델을 데이터 베이스화 한 후 이 모듈을 이용한 PC 기반의 실시간 시뮬레이터를 구현하여 PC 기반의 상용 개방형 제어기와 연결하여 시뮬레이션을 실시한 사례를 소개한다.

그림 1 은 제안된 시뮬레이션의 구조를 보여주

고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 시스템의 구성은 소프트웨어 기반의 CNC/PLC 와, 소프트웨어 기반의 공작기계 시뮬레이터로 구성되어 있다. 제어기와 시뮬레이터는 파라미터화 되어 있어서 공작기계와 제어기 설계 도구로부터 결정된 파라미터를 이용하여 특성을 변경시킬 수 있는 구조로 되어있다. 이 구조에서 CNC/PLC 소프트웨어와 시뮬레이터는 각각 실시간 응용 프로그램으로 생각할 수 있으며, 본 예의 경우 동일한 프로세서에서 수행된다.

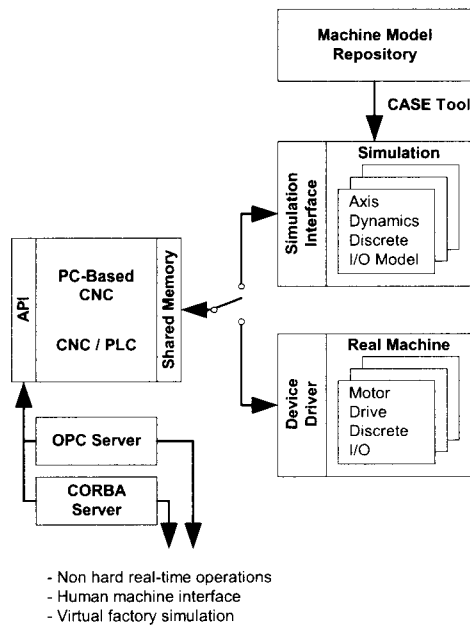


Fig. 1 Simulation architecture

그림 1 에 나타난 바와 같이 CNC/PLC 소프트웨어와 시뮬레이터는 공유 메모리를 통하여 정보를 교환하는 데, 본 연구가 제시하는 시뮬레이션 방식은 실제 전기적인 신호를 에뮬레이터와 주고받는 HIL 방식과는 일부 차이가 있다. HIL 방식에서 검증할 수 있는 전기적 연결부등에 대한 시뮬레이션은 수행할 수 없다는 단점이 있으나, 시뮬레이터의 입출력을 위한 전기적인 신호를 발생시키기 위한 에뮬레이션 비용이 줄어드는 이점이 있다. 이밖에도, 시뮬레이션 응용에 있어서, 공작기계 위주의 가상환경에 가상 CNC 를 하나의 소프

트웨어 부가모듈로 고려하거나, 또는 그 반대로, PC 기반 공작기계의 제어기에 가상의 기계(시뮬레이터)를 하나의 부가모듈로 제공할 수 있다는 장점이 있다. 시뮬레이터는 제어기에서 디바이스 드라이버에 보내지는 값(예를 들면 드라이버 입력 전압, 소프트웨어 PLC 의 출력 등)을 읽어서 제어기의 다음 샘플이 이루어질 때까지 기계부의 동적 응답을 계산하여 센서의 출력형태 (예를 들면 엔코더 값) 로 제어기의 공유 메모리의 값을 갱신한다. 이런 과정을 실시간으로 처리하기 위해서 100Hz 의 샘플링 주파수를 사용했다. 100Hz 는 PC 기반 제어기에서 다양한 시뮬레이션 프로그램을 무리 없이 수행할 수 있는 수치로서 선택되었으며, 시뮬레이션 컴퓨터의 속도에 따라 더 빨라질 수 있다.

개방형의 소프트웨어에 기반한 CNC 를 활용하여 시뮬레이터를 구현했다. 시뮬레이션 모듈의 소스코드는 C++를 이용하여 작성하였으며, 객체지향 방식의 모듈 라이브러리 형태로 구성해서, Computer-Aided Software Engineering (CASE) 도구를 이용해서 전체 시뮬레이션 코드가 모듈의 연결만으로 자동 생성될 수 있도록 했다. 공작기계의 설계도구로서 활용될 수 있도록 하기 위하여 실제 공작기계에 사용되는 모듈(예를 들면, 모듈의 경우 공작기계의 각 축, 스피들 등; 모듈의 부품의 경우 모터, 리니어 엔코더, 리밋 스위치 등)을 모델링하였다. 결과적으로, 공작기계 설계의 구조 변경 시 이에 대응하는 모듈을 재구성함으로써 효율적인 시뮬레이션 개발이 가능해진다.

또한 그림 1 에 제시된 바와 같이, 공작기계의 실제 구동부와 센서를 연결하는 디바이스 드라이버와 시뮬레이터의 공유메모리는 제어기와 동일한 연결구조를 유지한다. 이런 방식을 택함으로써 시뮬레이션의 결과가 만족스러울 때 시뮬레이터의 공유메모리 대신에 디바이스 드라이버를 연결함으로써 간단히 바로 실제 기계를 작동시킬 수 있게 하는 장점이 생긴다. 제시된 구조는 앞서 언급한 바와 같이 제어기 또는 시뮬레이터를 가상 공작기계의 구성요소 형태로 공급하는 것을 용이하게 한다. 이를 위해서는 시뮬레이터의 조절 가능한 파라미터들이 실제 장치들의 조절 가능한 파라미터들과 일치해야 한다.

그림 2 는 구현된 시뮬레이터를 통하여 실시한 시뮬레이션 결과와 가상 공작기계의 모델로 사용

된 실제 공작기계에서 측정된 값을 비교하고 있다. 가상 CNC 는 MDSI 의 상용 PC 기반 제어기를 이용해서 구현했으며, 동일한 파라미터와 제어기로 ERC/RMS 에서 제작된 3축 Reconfigurable Machine Tool 을 제어한 값과 비교했다. 다양한 상태의 공작기계의 작동을 비교하기 위해 공작기계의 기동에서 원점 교정 및 실제 NC 프로그램을 이용한 작동을 실험과 시뮬레이션으로 비교했으며, 그림에서 볼 수 있듯이 이 시뮬레이션 결과는 실험결과와 잘 일치한다.

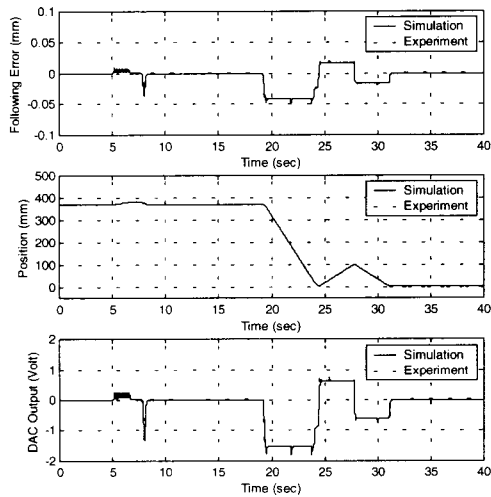


Fig. 2 Virtual CNC simulation and experimental results: Following error in controller, axis position, and DAC voltage output

#### 4. 가상 CNC 의 내부 정보의 입출력

CNC 내부 변수 값을 외부에서 읽고 변경할 수 있는 기능은 개방형 제어기에 있어서 필수적이다. 다양한 응용 프로그램과의 인터페이스가 요구되는 가상 CNC 의 개발에 있어서는 표준화된 변수의 입출력 기능은 더욱 중요해진다.

본 연구에서는 위에서 설명한 hard real-time 성능이 요구되는 부분을 제외한 변수의 입출력을 위해서는 OPC (OLE for Process Control)를 이용했다. OPC 는 Microsoft 의 OLE/COM 기술을 이용한 자

동화 장비와 컴퓨터 사이의 통신을 위한 규격으로<sup>(12)</sup>, 제어용 부품에서 사무용기기에 이르기까지 상호 운용성(interoperability)를 가능하게 하는 기술이다. OPC 는 공정산업 위주로 사용되어 왔으나, 최근 PC 기반의 제어 기술이 도입되면서, 공작기계의 제어기의 통신 규격으로도 주목을 받고 있다.

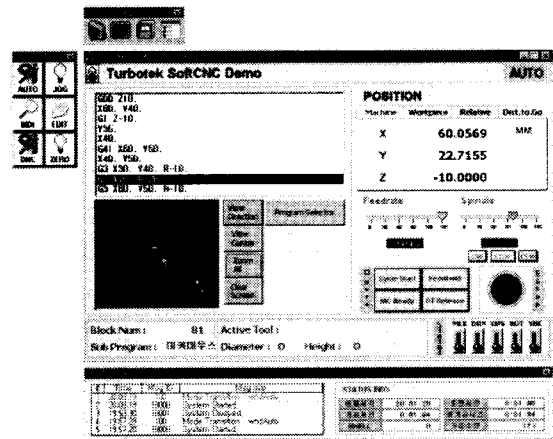


Fig. 3 Sample HMI of PC-based open architecture CNC system

그림 3 은 본 연구에서 개발 중인 PC 기반의 개방형 CNC 의 HMI 의 한 예를 보여준다. 본 연구에서는 PC 기반의 개방형 CNC 의 파라미터, 상태 변수 등을 포함하는 내부 데이터에 대한 표준 인터페이스로서 OPC 서버를 탑재하였으며, 이를 이용한 응용 모듈을 OPC 클라이언트 형태로 개발하고 있다. 그림 3 에 예시된 화면에서는 현재 가공 중인 NC 프로그램의 블록을 표시해 주는 화면, 그리고 실시간 공구 경로 생성 모듈 등이 OPC 클라이언트 응용 모듈로 구현되어 있다. 이외에도 공작물 좌표계 설정, 공구 윗셋 설정, 그리고 NC 프로그램 편집기, 원점 복귀, 조그 이송, 알람/이벤트 화면, 내부 변수 값의 변동을 그래프로 나타내는 모듈 등이 역시 OPC 클라이언트 응용 모듈로 개발되었다. 또한 가상 공작기계를 위해서 개발되는 다양한 해석 모듈과 보상/제어 모듈들이 OPC 클라이언트로 개발 됨으로써 CNC 에 용이하게 탑재될 수 있으며, 가상 CNC 와 함께 연동되어 시뮬레이션을 구현할 수 있다. 예를 들어, 절삭력 해석

을 통해서 개발된 이송속도 스케줄링 모듈은<sup>(13)</sup> OPC 인터페이스를 통해 구현된 공구 경로 생성 모듈에 추가되어 NC 프로그램의 최적화 과정을 수행한 후, CNC 에서 가공이 이루어질 수 있도록 개발할 수 있다. 또 다른 예로서, PLC 데이터를 이용하여 공작기계 등의 원격 감시/진단을 수행하는 연구<sup>(14)</sup>에 있어서도 OPC 인터페이스를 통하여 용이하게 PLC 데이터에 접근할 수 있어, 인터넷 기반의 원격 감시/진단 모듈을 제작할 수 있다.

개발된 OPC 서버/클라이언트 모듈은 OPC 인터페이스를 지원하는 다른 제어 시스템 소프트웨어과도 손쉽게 호환될 수 있다. 또한 본 연구에서는 Web-enability 를 향상시키기 위해서 OPC 클라이언트 응용 모듈을 Microsoft 의 ActiveX Control 컴포넌트 형태로 개발하였기 때문에 이를 통하여 인터넷 기반의 응용 소프트웨어와 연결될 수 있다.

### 5. 가상 CNC 를 이용한 가상 생산시스템 시뮬레이션

앞서 제시된 가상 CNC 를 가상 생산시스템과 연결하였다. 기존의 가상 생산시스템을 이용한 생산 설비의 시뮬레이션을 위해서는 공작기계의 거동 및 제어기의 입출력 관계를 상세히 프로그램할 필요가 있다. 그러나, 생산 시뮬레이션 프로그램 내부의 공작기계 거동 모델을 이용하는 현재의 방식으로는 실제 CNC 의 특성으로 인해 변동하는 가공 시간 등의 정확한 예측이 힘들 뿐 아니라, 제어기 거동의 대부분을 수동으로 프로그램해야 하므로 개발 시간이 길어지는 단점이 있다. 위에서 제시한 공작기계의 실시간 시뮬레이터를 가상 생산 시스템에 직접 연결 함으로서 공작기계의 운동을 시각화 시켜주는 기능을 할 뿐 아니라, 전체 시스템의 성능을 보다 정확하게 측정할 수 있게 된다.

가상 생산시스템 환경의 구현 방법으로는 Virtual Reality Modeling Language (VRML)을 이용하는 방법과, 상용화된 생산시스템 시뮬레이션 소프트웨어를 이용하는 방법이 개발되었으며<sup>(11)</sup>, 본 논문에서는 상용화된 생산시스템 시뮬레이션과 연결한 경우의 예를 소개하도록 한다. 상용의 생산시스템 시뮬레이션을 이용하는 경우, 상용 시뮬레이터의 규격에 맞게 인터페이스를 개발해야 한다는

단점이 있으나, 잘 정의된 API 를 활용할 수 있는 점 외에도 시뮬레이션 소프트웨어에 이미 내장되어 있는 기능 (예를 들어, 공구 충돌 검증기능) 을 활용할 수 있다는 장점이 있다. 본 연구에서는 Tecnomatix 의 ROBCAD 를 플랫폼으로 이용하였으며, ROBCAD 의 TDL (Task Descriptive Language) 를 이용해 ROBCAD 환경에 정의된 공작기계 요소의 기하학적/기구학적 모델을 제어하도록 하였다. 그림 4 는 ROBCAD 와 실시간 시뮬레이터를 이용한 가상 생산시스템의 구성과 컴퓨터 화면을 보여준다. 화면상의 3 축 밀링머신은 공작기계의 CAD 데이터로부터 ROBCAD 의 모델로 변환되었다. 본 연구에서는 Unix 워크스테이션 환경에서 작동하는 ROBCAD 을 이용하였으며, PC 기반의 가상 CNC 와 원활한 연결을 위해서 CORBA 를 사용했으나, PC 기반의 생산 시스템 시뮬레이션이나 Unix 용 OPC 를 이용한 연결도 가능할 것이다.

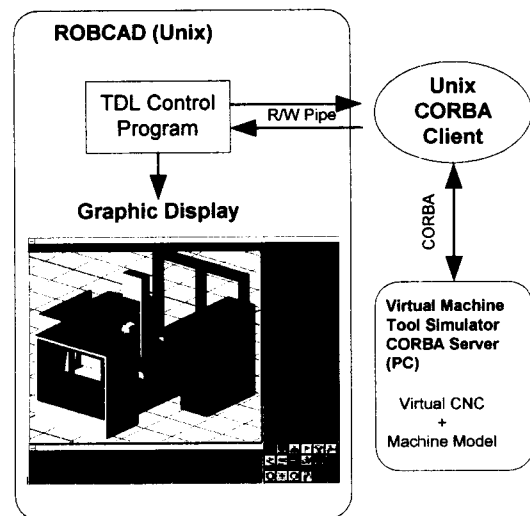


Fig. 4 Use of virtual CNC in virtual manufacturing simulation

### 6. 결론

본 논문에서는 가상 공작기계 개발을 위한 가상 CNC 개발과 그 응용 예를 소개했다. 생산 계획에 시뮬레이션의 활용이 확대되면서 제시된 기

술은 최근 들어 산업계에 의해 적극적으로 받아들여지고 있으나 현재는 주로 PLC 나 CNC 의 일부 기능을 시뮬레이션 기능과 연결하는 수준에 머물고 있다.

본 논문에서 소개된 예에서는 PC 기반의 개방형 제어를 직접 활용해 가상 공작기계의 제어를 구현하였으며, 공작기계의 요소의 모델을 라이브리화 함으로써, 공작기계의 동적거동과 제어기의 내부 변수를 포함한 종합적인 시뮬레이션 결과를 얻을 수 있었다. 본 논문에 제시된 예는 개방형 제어가 생산 시스템의 제어기로서의 장점 뿐 아니라 실시간 시뮬레이션을 활용한 설계도구로서도 활용될 수 있음을 보여주었다.

### 참고문헌

1. Ehmman, K. F., DeVor, R. E., De Meter, E. C., Dornfeld, D., Kapoor, S. G., Ni, J., Rajukar, K., Shin, Y., and Sutherland, J., "A Framework For a Virtual Machine Tool (VMT)," Trans. of NAMRI/SME, Vol. XXI, pp. 143-148, 1998.
2. 윤원수, 고정훈, 조동우, "가상 공작기계의 연구 개발 - Part 1 절삭력 모델, 가공 표면 오차 모델 및 이송 속도 스케줄링 모델," 한국 정밀 공학회 논문집, Vol. 18, No. 11, pp.74~79, 2001.
3. Sinha, R., Paredis, C.J.J., Liang, V.-C., and Khosla, P.K., "Modeling and simulation methods for design of engineering systems," ASME Journal of Computing and Information Science in Engineering, Vol. 1, No. 1, pp. 84-91, 2001.
4. Nwoke, B.U. and Nelson, D.R. "Overview of computer simulation in manufacturing," Industrial Engineering, Vol. 25, pp. 43-45, 1993.
5. Velazco, E.E., "Simulation of manufacturing systems," International Journal of Continuing Engineering Education, Vol. 4, pp. 80-92, 1994.
6. Laurence, N.L., Voelcker, H.B., and Requicha, A.A.G., "CNC machining: Simulation, verification, programming, planning, communication and control, in Manufacturing processes, machines and systems," pp. 243-251, 1986.
7. Uptal, R., "3-D object decomposition with extended octree model and its application in geometric simulation of NC machining," Robotics and Computer Integrated Manufacturing, Vol. 14, No. 4, 317-327, 1998.
8. Chen, S.-G., Ulsoy, A.G., and Koren, Y., "Error source diagnostics using a turning process simulator," Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 120(May), pp. 409-416, 1998.
9. Pritschow, G., Altintas, Y., Jovane, F., Koren, Y., Mitsuishi, M., Takata, S., Van Brussel, H., Weck, M., and Yamazaki, K., "Open controller architecture - Past, present and future," CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol. 50, No. 2, pp. 463-470, 2001.
10. Landers, R.G. and Min, B.-K., "Development of a prototype reconfigurable machine tool," CIRP 1st International Conference on Agile, Reconfigurable Manufacturing, Ann Arbor, in CD-ROM, 2001.
11. Min, B.-K., Huang, Z., Pasek, Z.J., Yip-Hoi, D., Husted, F., and Marker, S., "Integration of real-time control simulation to a virtual manufacturing environment," Journal of Advanced Manufacturing Systems, Vol. 1, No. 1, pp. 67-88, 2002.
12. Iwanitz, F., and Lange, J., OPC for Process Control, Huthig Verlag Heidelberg, 2001.
13. J.H. Ko, W.S. Yun, D.W. Cho, "Off-line Feed Rate Scheduling Based on Cutting Process Simulation in Pocket Machining," 2nd. International conference on advances in production engineering, Warsaw, Poland, June 7-9, part 2 pp. 153-160, 2001.
14. 김선호, 김동훈, 한기상, 김찬봉, "공작기계의 지능형 고장진단과 원격 서비스 모델," 한국 정밀공학회 논문집, Vol. 19, No. 4, pp. 168-178, 2002.