

재구성 가능 공작기계 설계를 위한 인터넷 기반 시뮬레이터 개발

홍동표 · 서윤호[†]

고려대학교 산업시스템정보공학과

Development of Internet-based Simulator for Designing of Reconfigurable Machine Tools

Dongphyo Hong · Yoonho Seo

Department of Industrial Systems and Information Engineering, Korea University, Seoul 136-701

Reconfigurability of machine tools is one of the critical factors to realize the responsive manufacturing systems to satisfy the mass customization production. This paper presents the methods to model the reconfigurable machine tools (RMTs) on Internet in response to change in the machining requirements. Specifically, the structure and motion model of machine tools using module combination rules and connectivity graph are developed. And we developed Internet-based simulator for designing of RMTs (ISD-RMT). In response to the user requirements, various structures of RMTs can be derived using the module combination rules and connectivity graph relationships. In addition, the user can verify generating structures through the control and simulation procedures.

Keywords: simulator, reconfigurable machine tools, reconfigurable manufacturing systems

1. 서론

최근 공작기계 산업은 점차 범용 공작기계에서 사용자 중심의 공작기계로 변화하고 있다(Lee, 2005; Shimizu, 2004). 이는 생산비용의 경제성과 생산라인의 유연성을 동시에 달성하기 위하여, 다품종 소량생산체제에서 대량맞춤 생산체제로 변하고 있기 때문이다(Kwon *et al.*, 2003).

이러한 변화로 인하여 근래 공작기계에 관한 연구는 수요자의 다양한 요구에 신속히 대응하면서 동시에 낮은 생산비용을 유지하는데 초점을 두고 있다. 기존에 NC 프로그램 등의 소프트웨어적인 방법을 통하여 생산라인에 유연성을 주었던 범용 공작기계는 그 범용성으로 인하여 생산비용의 경제성을 유지하는데 한계가 드러났다. 또한 고정식 구조의 공작기계는 처음에 설계된 구조로 성능 범위가 고정되기 때문에 다양한 가

공 계획에 적합한 성능으로 대응하기 어렵다. 이러한 한계를 해결하기 위하여, 소프트웨어적인 방법뿐만 아니라 구조의 재구성(reconfiguration)과 같은 하드웨어적인 방법이 동시에 고려되어야 한다.

전술한 하드웨어 및 소프트웨어적인 방법을 동시에 고려할 수 있는 것이 재구성 가능 공작기계(Reconfigurable Machine Tools, RMTs)이다. 재구성 가능 공작기계란 주어진 가공 특성을 처리하기 위하여 설계되고 표준 모듈의 집합으로 조립되는 공작기계를 말한다(Moon and Kota, 2002).

이러한 재구성 가능 공작기계에 대한 실제적인 개발은 3차원 그래픽 기술이 저비용 고수준으로 발전함에 따라 활성화되었다. 컴퓨터 그래픽 기술을 이용한 기존의 공작기계 연구는 가상공작기계에 관한 연구로 모아지며(Ehmann *et al.*, 1997), 이에 대한 연구가 활발해짐에 따라 기존에 널리 설치되어 있

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2006-000-10941-0)지원으로 수행되었음.

[†] 연락저자 : 서윤호 교수, 136-701 서울 성북구 안암동 1-5 고려대학교 산업시스템정보공학과, Tel : 02-3290-3393, Fax : 02-929-5888,

E-mail : yoonhoseo@korea.ac.kr

2005년 12월 접수; 2005년 12월 수정본 접수; 2005년 12월 게재 확정.

는 머시닝 센터 등 고정식 구조의 공작기계 시뮬레이터가 stand-alone 형태로 개발되었다(Delmia Virtual NC, Technomatix eM-Workplace). 그리고 초고속 인터넷의 보편화에 따라 인터넷 기반으로 CAM 시스템을 갖춘 고정식 구조의 가상공작기계 시뮬레이터가 구현되었다(Suh *et al.*, 2003; Seo *et al.*, 2005). 하지만 stand-alone 시뮬레이터의 경우 최근 중요시 되는 협업 기반의 설계 패턴에 적합하지 않다. 또한 고정식 공작기계 구조의 시뮬레이터는 공작기계를 다양한 구조로 시뮬레이션 할 수 없고, 모듈 관리 기능이 존재하지 않기 때문에 재구성 가능 공작기계의 설계가 불가능하거나 어렵다. 그러므로 재구성 가능 공작기계를 위한 시뮬레이터가 요구된다. 근래에 들어 미국 RMS 공학연구소에서 재구성 가능 공작기계 설계를 위한 프로그램(Program for REconfigurable MACHine tool DEsign, PREMADE)이 개발되었다. 이 프로그램은 공구경로 데이터를 분석하여 작업 행렬을 만들고, 이것으로 라이브러리에 있는 모듈을 선택하여 구조를 설계한다(Katz and Moon, 2000; Landers *et al.*, 2001). 단, 설계한 공작기계의 동작 시뮬레이션이 제공되지 않기 때문에 별도의 모델링 및 시뮬레이션 과정이 요구된다.

따라서 본 연구는 재구성 가능 공작기계의 설계를 위하여 구조 설계, NC 프로그램 검사 및 해석, 동작 시뮬레이션 검토 및 보고까지의 과정을 인터넷을 통하여 신속히 수행할 수 있는 시뮬레이터 개발을 목표로 한다. 이를 위하여 사용자 입력 사항을 분석 후 그에 적합한 공작기계 모델을 자동 생성하는 공작기계 구조 및 동작 모델을 제안하였고, 공작기계 설계를 위한 모델링, 컨트롤, 시뮬레이션 과정이 통합된 인터넷 기반 시뮬레이터의 아키텍처를 제시 및 구현하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 요구사항에 적합한 공작기계를 자동으로 생성하는 모델을 제안하고, 3, 4장에서 공작기계를 모델링 및 컨트롤, 시뮬레이션 할 수 있는 인터넷 기반 시뮬레이터와 그 적용 예를 설명한다. 그리고 5, 6장에서 논의와 결론을 맺는다.

2. 공작기계 구조 및 동작 모델

사용자 요구 사항을 분석하여 이에 적합한 모듈을 선정하고, 모듈의 정보와 연결 관계를 이용하여 적합한 공작기계 대안을 제시하는 공작기계 구조 및 동작 모델(Machine tool structure and motion model)을 제안한다.

제안한 모델은 Shinno and Ito(1984, 1986)의 공작기계 구조 생성에 대한 연구에 바탕을 두고 있다. 그들의 연구는 미리 정해놓은 9가지의 모듈 원형(primitives)을 사용한 고수준에서의 연구로써, 모듈 조합 방법으로 여러 형태의 구조를 생성한다. 하지만 모듈 명세서에 따라 다양한 모듈이 고려되어야 하는 저수준에서는 너무 많은 수의 구조가 생성될 수 있기 때문에 그들의 방법만을 적용하여 구조를 생성하는 것은 무리가 있다. 또한 구조 생성에 대한 개념적인 방법이기 때문에 실제 구

현을 위하여 모듈 조합에 기하학적 정보, Kinematics 구성 정보가 추가적으로 필요하다.

본 연구에서는 사용자 요구사항으로 NC 프로그램을 분석하여 가공 계획에 적합한 모듈을 선택하고 불필요한 구조의 생성을 방지한다. 또한 모듈 조합 규칙에 기하학적 정보를 추가하여 규칙을 명확히 하였고 이를 토대로 Kinematic chain을 자동 구성한다.

공작기계 구조 및 동작 모델은 <Figure 1>로 표현되며, 크게 사용자 요구사항 분석, 모델링 도구, 공작기계 모델로 구성된다. 사용자 요구사항 분석은 공구 및 가공물 설정 사항과 NC 프로그램을 분석하여 모듈과 구조 선정에 이용하는 것을 말한다. 모델링 도구는 모듈 라이브러리와 연결 그래프이며, 모듈 라이브러리는 모듈 명세서와 모듈 조합 규칙을 포함한다. 이러한 도구를 사용하여 공작기계의 구조 모델과 동작 모델을 표현한다.

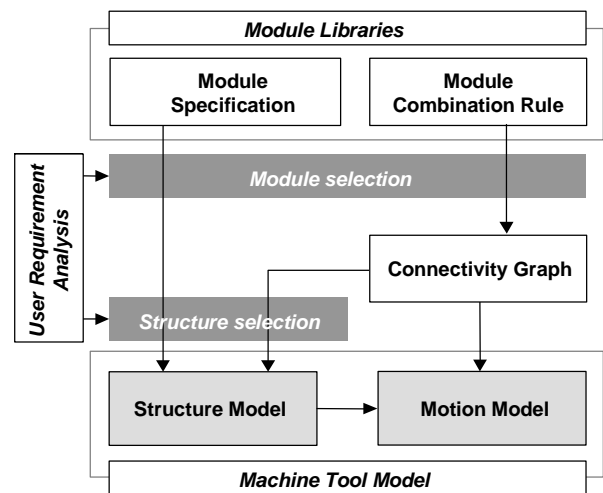


Figure 1. MT structure and motion model.

2.1 모델 개요

제안한 모델의 전반적인 개요는 <Figure 2>와 같다. 우선 사용자 요구사항은 If-Then 규칙을 적용한 입력 분석기로 분석 정보를 생성하며, 이 정보를 모듈 선정과 구조 선정에 이용한다. 미리 등록되어 있는 모듈 라이브러리에서 모듈을 선정하고, 구조 모델을 만든다. 이를 위하여 모듈 조합 규칙과 연결 그래프가 사용되며, 분석 정보에 따라 적합한 구조가 선정된다. 끝으로, Kinematic chain을 유도하여 생성된 구조를 동작 모델로 완성시킨다.

2.2 사용자 요구사항 분석 및 적용

사용자 요구사항 즉 NC 프로그램과 가공물 및 공구 설정 정보를 분석하여 가공 계획에 적합한 모듈과 구조를 선정한다. 이로 인하여 다양한 종류의 모듈을 다뤄야 하는 저수준에서의 구조 생성이 가능하여 진다.

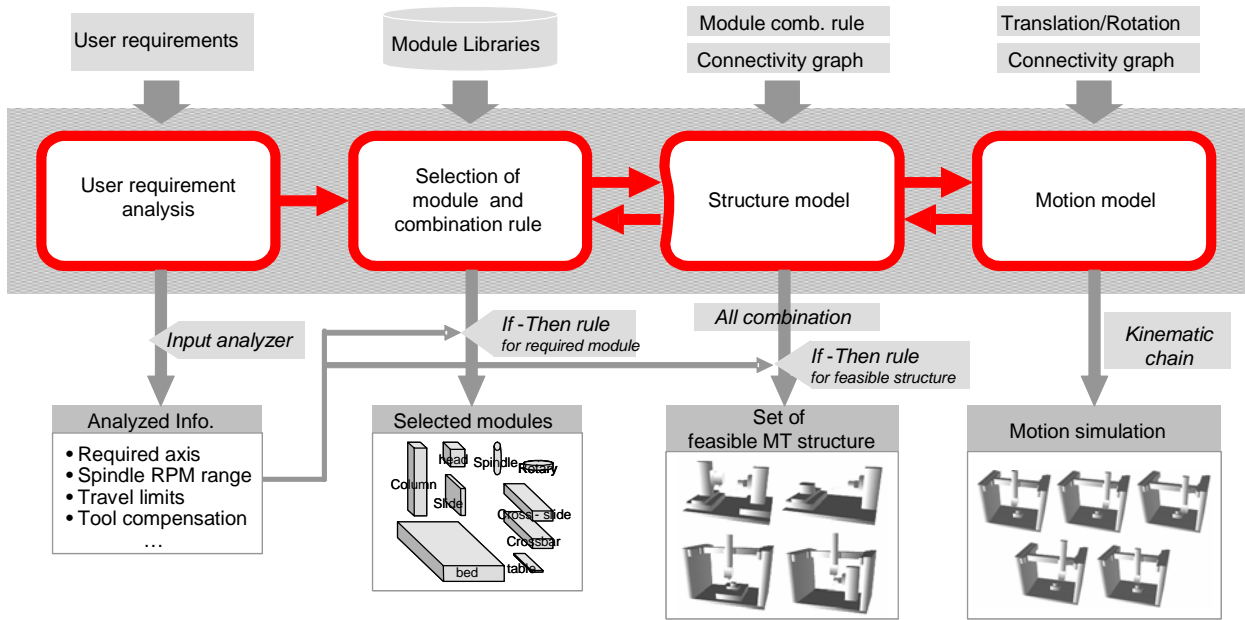


Figure 2. Overview of the proposed model.

NC 프로그램 분석으로 구조 생성에 필요한 여러 정보와 시뮬레이션을 위한 파라미터가 <Figure 3>과 같이 얻어진다. <Figure 3>의 좌측은 박스형 가공물의 테두리를 절삭하는 FANUC 계열 NC 프로그램 예이고, 우측은 이것으로부터 분석 가능한 정보이다. 이와 같이 NC 프로그램에 포함되어 있는 G, M, S, X, Y, Z 등의 NC 코드를 분석하여 모듈과 구조 선정에 필요한 정보를 파악한다. 예를 들어, 스펀들의 경우 S코드의 RPM 범위와 M코드의 기어 범위로, 이동 모듈은 가공물의 크기와 각 축의 이동 범위 한계로 선택 범주를 제약한다 또한 위의 NC 프로그램은 3개의 축이 사용되므로 3축 미만은 구조 선정에서 제한한다.

2.3 구조 모델

구조 모델은 모델링 도구 중 모듈 라이브러리와 연결 그래프 프를 사용하여 표시될 수 있다.

2.3.1 모듈 라이브러리

모듈 라이브러리는 모듈명세서 라이브러리와 모듈 조합 규칙 라이브러리로 분류된다. 모듈명세서는 <Figure 4>의 형태로 모듈의 기능과 형상 정보가 라이브러리에 등록되어 있다. 모듈 조합 규칙 라이브러리는 다른 모듈과의 접합 관계를 의미하는 조합 규칙을 담고 있다.

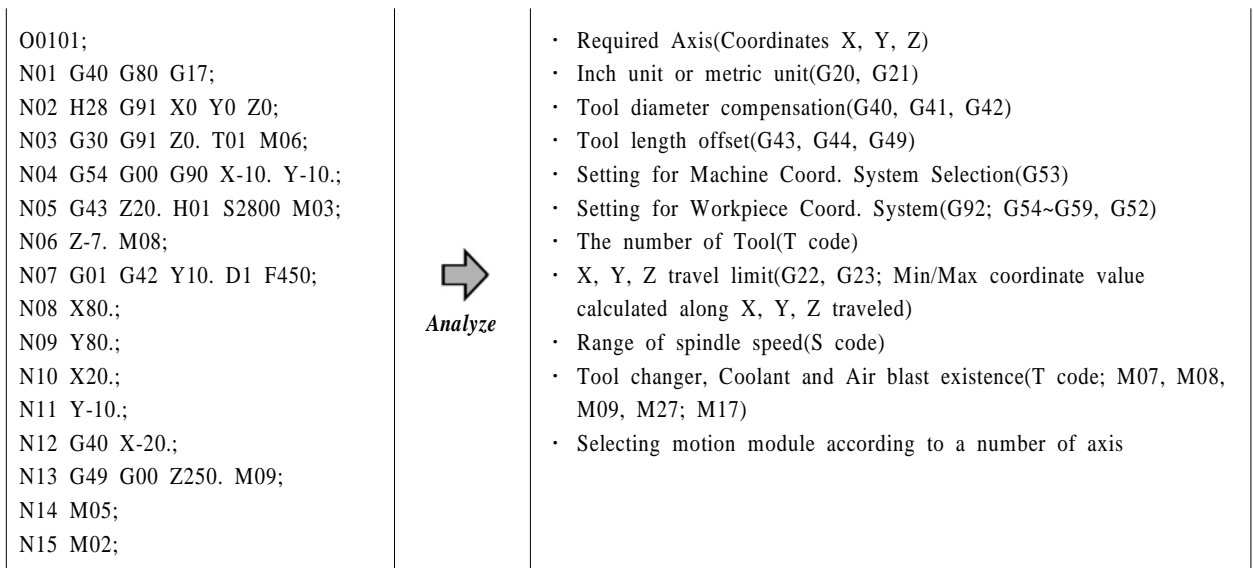


Figure 3. NC Program and Analyzed Information.

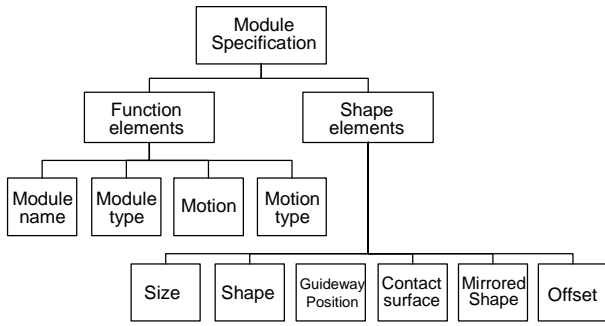


Figure 4. Module Specification.

2.3.2 모듈 조합 규칙

Shinno and Ito(1984, 1986)는 모듈 간 조합 가능 유무를 미리 정의하여 구조 발생에 사용하였다. 본 모델에서는 그들의 정의에 접합 위치, 모듈의 방위를 추가하여 기하학적인 정보를 명확히 하였다. 모듈 조합 표현은 다음과 같다.

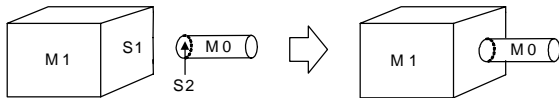
$$(M_i, S_{i-1} / S_{i+1}, OT_i)$$

M_i 는 연결 그래프의 i 번째 모듈을, S_{i-1} 과 S_{i+1} 은 각각 연결 그래프에서 i 번째 모듈에 연결되어 있는 이전 및 이후 모듈과의 접합면을 의미한다. OT_i 는 i 번째 모듈의 방위(orientation, OT)를 나타내고, 이는 좌표계에서 y 축 기준의 회전을 뜻한다. 그리고 모듈 조합 규칙은 (시작모듈) → (끝모듈) 형식이며 다음과 같다.

$$(M_i, S_{i-1} / S_{i+1}, OT_i) \rightarrow (M_{i+1}, S_i / S_{i+2}, OT_{i+1})$$

각 기호는 모듈 조합 표현과 동일하며, 모듈 M_i 의 S_{i+1} 접합면과 M_{i+1} 의 S_i 접합면이 서로 접촉됨을 의미한다. <Figure 5>처럼 '(0, -/S2, OT1) → (1, S1/S4, OT1) → (2, S3/-, OT1)'의 연결 관계는 방위 OT1인 모듈 #0 Spindle의 면 S2가 방위 OT1인 모듈 #1 Head의 S1면과 접합되어 있음을(<Figure 5(a)>), 또 방위 OT1인 모듈 #1 Head의 면 S4가 모듈 #2 Slide의 S3면과 접합되어 있음을 각각 나타낸다(<Figure 5(b)>).

a) (0, -/S2, OT1) → (1, S1/-, OT1)



b) (1, -/S4, OT1) → (2, S3/-, OT1)

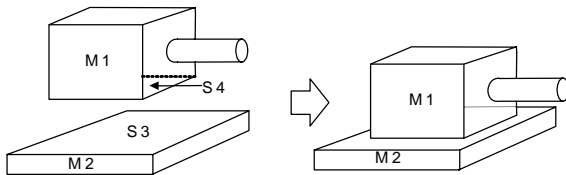


Figure 5. Examples of Module Combination Using Contact Surface.

각 모듈은 여러 개의 면으로 정의될 수 있으며, 이 중 특정 면이 다른 모듈과의 접합면으로 사용된다. <Figure 6>은 원기둥과 육면체 형상이 6개의 면으로 정의됨을 나타낸다. 또한 각 모듈은 <Figure 7>처럼 y 축 방향으로 회전하며 4가지의 방위를 갖는다.

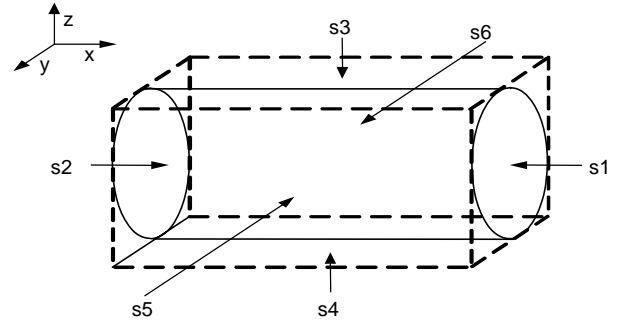


Figure 6. Definition of contact surfaces.

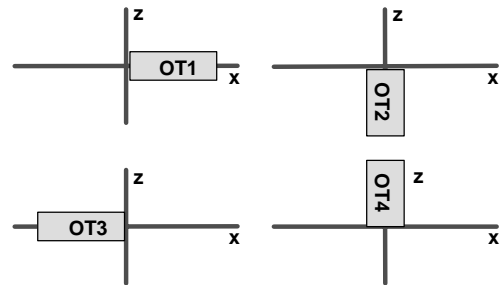


Figure 7. Definition of orientations.

<Table 1>에 모듈 조합 규칙의 예를 표시하였다. 예를 들어, 모듈 #1인 Head는 모듈 #2 Slide, #3 Swivel slide, #6 Cross-slide, #7 Base의 4가지 모듈 조합이 가능하다. 이 경우, Head의 면 S4만이 다른 모듈과의 접합면으로 쓰일 수 있도록 정의되어 있다

Table 1. Examples of Module Combination Rule

No.	Module name	Module Combination Rules
0	Spindle	(0, -/s2, OT1) → (1, s1/-, OT1)
1	Head	(1, -/s4, OT1) → (2, s3/-, OT1)
		(1, -/s4, OT1) → (3, s3/-, OT1)
		(1, -/s4, OT1) → (6, s3/-, OT1)
		(1, -/s4, OT1) → (7, s3/-, OT1)
2	Slide	(2, -/s4, OT2) → (4, s1/-, OT1)
		(2, -/s4, OT1) → (9, s3/-, OT1)
3	Swivel Slide	(3, -/s4, OT1) → (2, s3/-, OT1)
		(3, -/s4, OT1) → (7, s3/-, OT1)
4	Column	(4, -/s4, OT1) → (6, s3/-, OT1)
		(4, -/s4, OT1) → (8, s3/-, OT1)
...
13	Wall-Type Column	(13,-/s4, OT1) → (F,s3/-,OT1)
14	Cross-Bar	(14,-/s4, OT1) → (9,s3/-,OT1)
		(14,-/s4, OT4) → (13,s1/-,OT1)

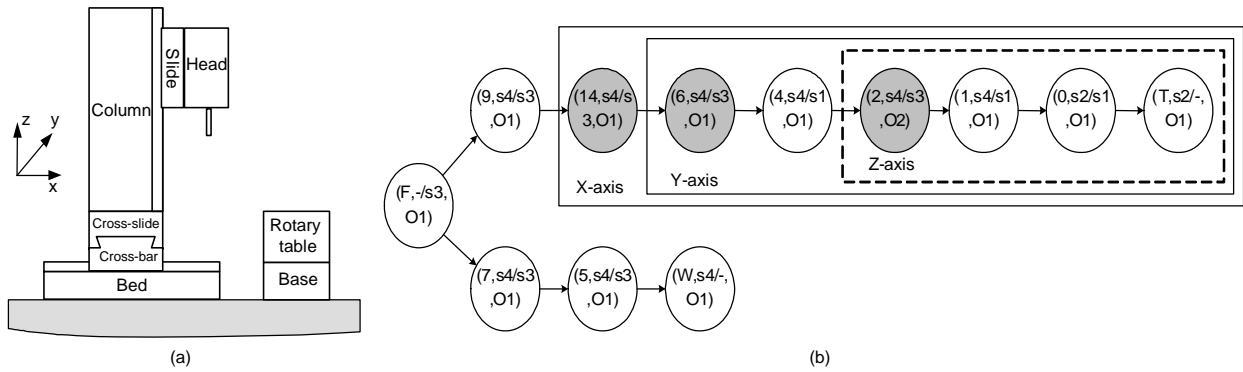


Figure 8. (a) Example of structure model, (b) Example of connectivity graph.

2.3.3 연결 그래프

연결 그래프는 모듈을 의미하는 노드와 모듈의 연결 관계를 뜻하는 아크로 구성된 단방향 그래프이다. <Figure 8(a)>의 구조 모델은 <Figure 8(b)>의 연결 그래프로 표시된다. 특히 아크 방향은 힘의 전달 방향을 의미한다. 예를 들어, <Figure 8(b)>에서 모듈 #6 Cross-slide가 y축 운동을 할 경우, 힘이 전달되어 후위에 연결된 모듈 #4 Column, #2 Slide, #1 Head, #0 Spindle, Tool이 동시에 y축 운동을 한다.

2.4 동작 모델

운동 유형과 연결 그래프의 계층 관계로부터 Kinematic chain을 유도하여 동작 모델을 표현한다.

2.4.1 Kinematic chain 유도

각 모듈 사이의 움직임을 표시하는데 동차 변환 행렬(Homogeneous Transformation Matrix)을 이용하여 Kinematic chain을 계산하였다. x, y, z축에 대한 χ, ψ, ω 만큼의 병진 운동은 T_{xx}, T_{yy}, T_{zz} 로 표시하고, x, y, z축을 중심으로 α, β, γ °만큼의 회전 운동은 $R'_{x\alpha}, R'_{y\beta}, R'_{z\gamma}$ 로 나타낼 수 있다. 각 행렬에서 변수는 운동 모듈의 파라미터를 의미 한다.

본 연구에서는 모듈의 기능 정보와 연결 그래프의 계층 관계를 토대로, 모듈의 Kinematic 관계를 유도 하였다. 기준 좌표계 r로부터 모듈 i의 HTM K'_i 는 전위모듈 K'_p 의 HTM과 모듈 i의 운동에 관한 HTM A'_i 의 곱으로 나타낼 수 있다.

$$K'_i = K'_p \cdot A'_i$$

모듈의 기능 정보에 포함되어 있는 운동 유형으로부터 HTM A'_i 의 병진 또는 회전 운동이 결정된다. 또한 각 모듈의 사슬 관계는 연결 그래프의 계층 관계로부터 유도된다.

예를 들어, 모듈 번호 9인 Bed의 기준 좌표계로부터 모듈 번호 2인 Slide의 HTM K'_2 는 전위 모듈 K'_4 와 Slide의 운동에 관한 HTM $T_{z\omega}$ 의 곱으로 나타낸다.

$$K'_2 = K'_4 \cdot A'_2 = K'_4 \cdot T_{z\omega}$$

공장 바닥(Floor)으로부터 공구까지의 연결 방향을 Tool chain(TC)로, 공장 바닥으로부터 가공물까지를 Workpiece chain(WC)로 정의하며, <Figure 8(a)>의 Kinematic chain을 <Table 2>와 같이 나타낸다. <Figure 9>는 이를 포함한 동작 모델이다.

Table 2. Example of kinematic chain

Kinematic chain of TC		Kinematic chain of WC
Bed ₍₉₎	$K'_9 = I$	Base ₍₇₎ $K'_7 = I$ Rotary table ₍₅₎ $K'_5 = K'_7 \cdot R'_{z\gamma}$
Cross-bar ₍₁₄₎	$K'_{14} = K'_9 \cdot T_{xx}$	
Cross-slide ₍₆₎	$K'_6 = K'_{14} \cdot T_{y\psi}$	
Column ₍₄₎	$K'_4 = K'_6 \cdot I$	
Slide ₍₂₎	$K'_2 = K'_4 \cdot T_{z\omega}$	
Head ₍₁₎	$K'_1 = K'_2 \cdot I$	
Spindle ₍₀₎	$K'_0 = K'_1 \cdot I$	

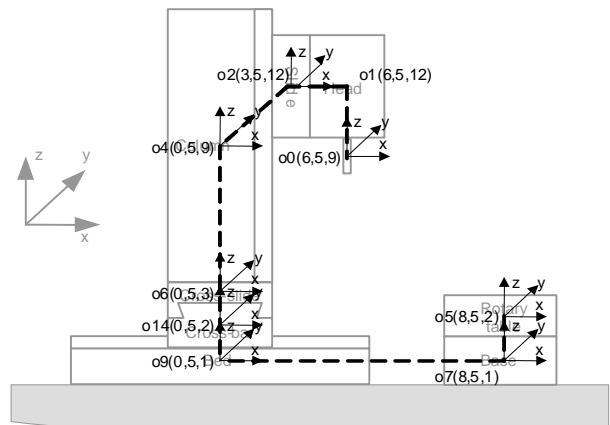


Figure 9. Example of motion model.

3. 인터넷 기반 시뮬레이터

재구성 가능 공작기계의 설계를 위하여, 구조 생성을 하는 모델링 과정 외에 가공 계획에 따라 NC 프로그램이 문법적으로

올바르게 작성되었는지에 대한 검토 과정이 필요하다 또한 설계된 공작기계 구조의 검토를 위하여, 입력된 NC 프로그램에 따른 동작 시뮬레이션 검증 과정은 필수적이다

본 연구에서는 이러한 과정을 크게 모델링, 컨트롤, 시뮬레이션 컴포넌트로 구분하였고, 서버/클라이언트 아키텍처로 재구성 가능 공작기계의 설계를 위한 인터넷 기반의 시뮬레이터(Internet-based Simulator for Designing of Reconfigurable Machine Tools, 이하 ISD-RMT)를 설계하였다.

3.1 아키텍처 및 순서도

본 시뮬레이터는 크게 모델링, 컨트롤, 시뮬레이션 컴포넌트로 구성된다.

- **모델링 컴포넌트** : 2장에서 제안한 모델을 기반으로 사용자 요구사항을 분석하여 가공에 적합한 공작기계 구조를 생성한다.
- **컨트롤 컴포넌트** : NC 프로그램의 검사 및 해석, 편집을 담당한다. 특히 NC 프로그램을 분석 및 해석하여 NC 프로그램의 해석 정보와 공구경로 데이터(Cutter Location data, CL data)를 산출한다. NC 프로그램의 해석 정보는 모듈 및 구조 선정에, 공구경로 데이터는 공구경로의 표시 및 동작 시뮬레이션에 사용된다.
- **시뮬레이션 컴포넌트** : 생성된 공작기계 구조와 공구경로 데이터를 종합하여 동작 시뮬레이션을 수행한다. 또한 검증기를 통하여 공작기계 구조의 효율성을 검토하고 설계 보고서를 출력한다.

<Figure 10>은 제안한 시뮬레이터의 아키텍처로 인터넷 기반이며 서버/클라이언트 형태임을 보여준다. 이는 ActiveX

Control을 이용하여 인터넷 기반으로 개발하며, 서버 컴포넌트를 서버와 클라이언트의 부분으로 분류하여 각각 포함시킨다. 특히 서버 컴포넌트는 관련 데이터를 전송하여 공작기계 설계 과정을 진행시킨다. 이러한 특성으로 인하여 전송되는 데이터의 정확한 설계가 중요하다. 따라서 <Figure 11>처럼 컴포넌트 사이 또는 서버 컴포넌트 사이의 데이터의 흐름을 설계하였다.

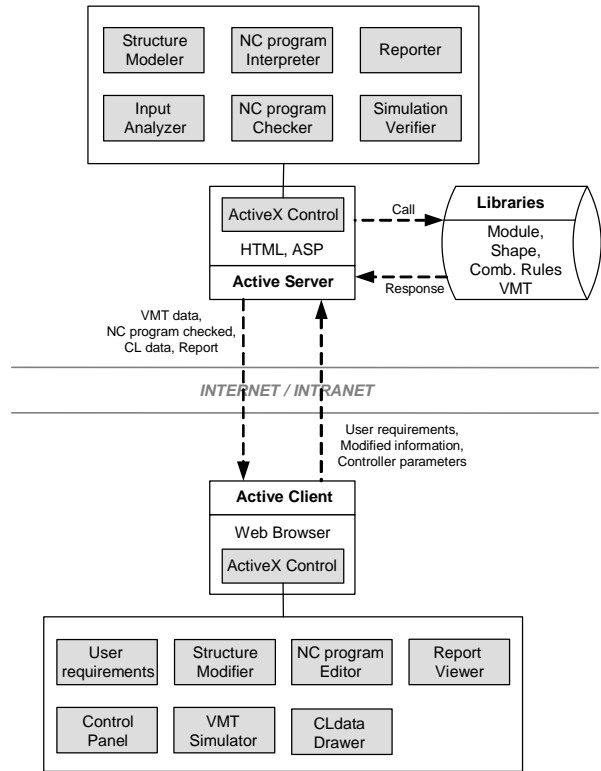


Figure 10. Architecture of ISD-RMT.

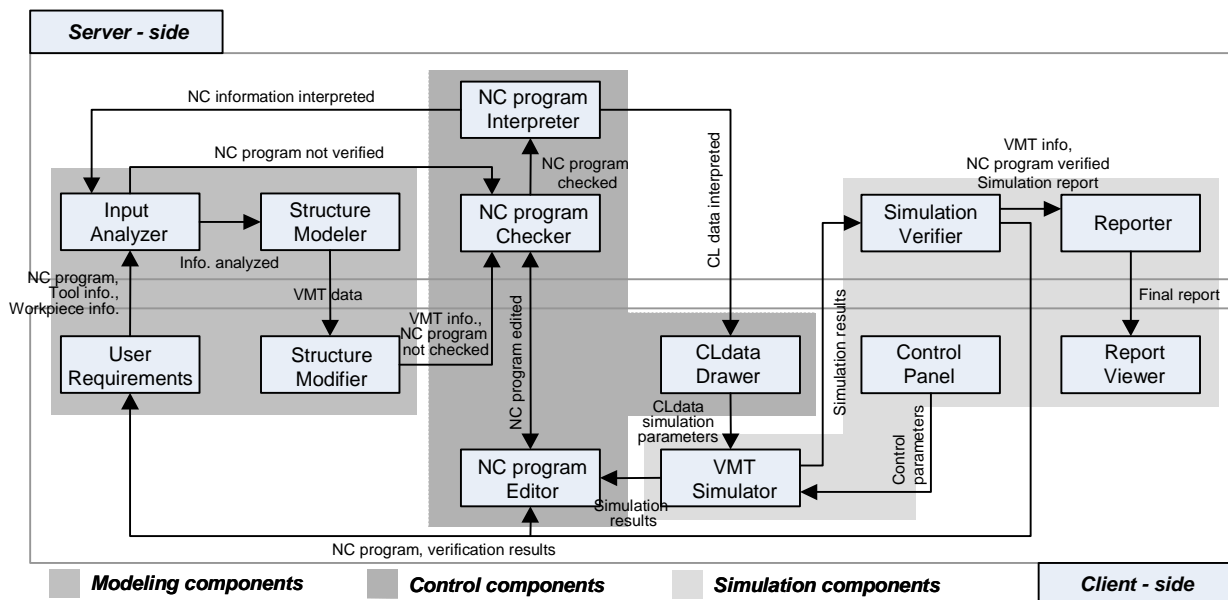


Figure 11. Data flow diagram of ISD-RMT.

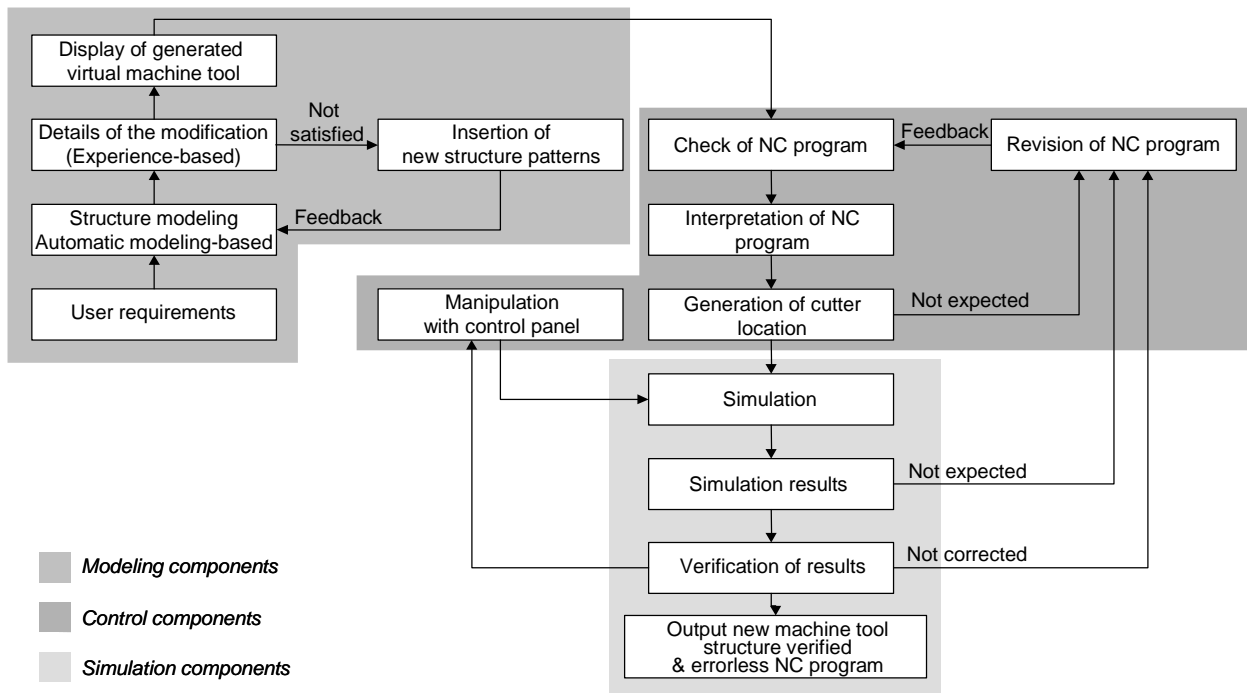


Figure 12. Flowchart of ISD-RMT.

제안한 시뮬레이터는 <Figure 12>와 같은 순서로 진행되며 크게 모델링, 컨트롤, 시뮬레이션 과정으로 구분된다. 또한 각 과정 중에 피드백 사항을 통하여 상호작용이 일어나도록 하였다. 간단히 요약하면, 먼저 사용자 요구 사항을 분석하여 적합한 여러 구조를 자동 생성한다. 다음, NC 프로그램을 검사 및 해석하여 공구경로 데이터를 발생 및 표시한다. 끝으로 생성된 대안 구조와 공구경로 데이터를 종합하여 동작 시뮬레이션 실행과 데이터 산출을 하며 설계 보고서를 작성한다.

3.2 모델링 컴포넌트

모델링 컴포넌트는 사용자 요구사항, 입력 분석기, 구조 모델러, 구조 수정기로 구성된다

- **사용자 요구사항**: 입력 UI(User Interface)를 포함하며 가공물 및 공구 설정, NC 프로그램을 입력 받아 입력 분석기로 전송한다.
- **입력 분석기**: 사용자 요구사항을 분석하여 모듈 선정과 시뮬레이션 파라미터를 결정 한다. 모듈 선정을 위하여 필요한 정보로는 가공물 크기, 가공물 재질, 총 공구 수, 스핀들 RPM 범위, 각 축의 이동 범위, 부속품의 존재 유무 등이 있고, 시뮬레이션 파라미터로는 공구의 이송 속도, 보정 모드, 스핀들 RPM 범위, 각 축의 이동 범위, 절대/중분 지령, inch/mm 측정 단위 등이 있다. NC 프로그램은 NC 프로그램 검사기와 해석기로부터 검사 및 해석되며, 해석된 NC 정보는 입력 분석기에서 모듈 선정과 시뮬레이션 파라미터 결정에 사용된다.

- **구조 모델러**: 2장에서 제안한 모델을 사용하여 가공에 적합한 공작기계 구조를 자동으로 생성 및 제시한다
- **구조 수정기**: 구조 모델러로부터 전송된 여러 구조를 3차원 형상으로 표시하며, 구조 수정을 위하여 모듈의 접합면 위치 수정, 모듈 추가 및 삭제의 수정도구를 제공한다

3.3 컨트롤 컴포넌트

컨트롤 컴포넌트는 NC 프로그램 검사기, NC 프로그램 해석기, NC 프로그램 편집기, 공구경로 제도기를 포함한다.

- **NC 프로그램 검사기**: NC 프로그램의 문법 오류와 논리 오류를 검사하여 오류 기록을 통보한다. 문법 오류 검사로는 코드 접두어 검사, 미등록 코드 검사, 블록 입력 순서 검사 등이 있다. 논리 오류 검사는 NC 코드의 논리적 모순을 검사하는 것으로 예를 들어 절삭유 ON 이전의 OFF 명령 등 논리 오류를 검사한다.
- **NC 프로그램 해석기**: NC 해석 정보 또는 공구경로 데이터를 생성한다. NC 해석 정보는 입력 분석기에서 쓰이며 공구경로 데이터는 공구경로 표시와 시뮬레이션에 이용된다.
- **NC 프로그램 편집기**: 텍스트 편집기이다.
- **공구경로 제도기**: 공구경로 데이터를 읽어 <Figure 13>처럼 3차원 좌표계에 공구경로를 표시한다. 표시되는 공구경로는 공구 이송, 공구 절삭, 가공물 내부 절삭 경로, 가공물 외부 절삭 경로로 색상을 구분하여 나타내며, 가공물 외부 절삭 경로의 경우 비효율적인 경로이거나 잘못된 절삭 경

로를 의미할 수 있기 때문에 사용자는 이를 판단하여 개선한 가공계획을 세울 수 있다.

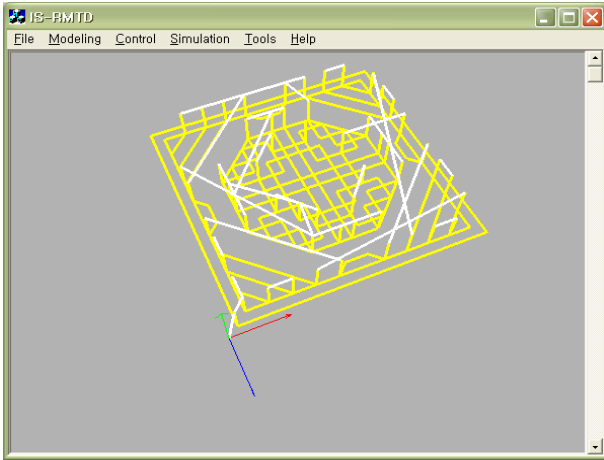


Figure 13. Example of cutter location.

3.4 시뮬레이션 컴포넌트

VMT 시뮬레이터, 컨트롤 패널, 시뮬레이션 검증기, 보고서 작성기, 보고서 뷰어로 이루어져 있다.

- **VMT 시뮬레이터** : 입력 분석기로부터 시뮬레이터 파라미터를, NC 프로그램 해석기로부터 공구경로 데이터를 전송받아, 생성된 동작기계 구조와 종합하여 동작 시뮬레이션을 수행한다.
- **컨트롤 패널** : FANUC 계열의 컨트롤 패널을 지원하며, X, Y, Z축 및 시뮬레이션 파라미터를 수동으로 조정할 수 있다.
- **시뮬레이션 검증기** : VMT 시뮬레이터로부터 발생한 시뮬레이션 결과들을 검토한다. 설계된 동작기계의 동작 시뮬레이션을 통하여 발생하는 여러 수행 데이터들을 수치적으로 확인할 수 있다. 발생하는 수행 데이터로는 수행 시간, NC 블록 번호, 현재 공구 끝 좌표값, 공구경로의 총 길이, 절삭/이송 경로의 총 길이, 가공물 내부/외부 절삭 경로의 총 길이, 총 가공 시간 등이 있다. 검증기에서는 가공물 내/외부 절삭 경로 길이의 비율, 절삭/이송 경로의 비율, 공구와 본체의 충돌 여부를 분석 결과로 출력한다.
- **보고서 작성기** : 산출된 여러 데이터를 보고서로 통합하여 클라이언트에게 전송한다.
- **보고서 뷰어** : 전송된 보고서를 사용자에게 표시한다.

4. 적용 예

VC++ 6.0과 OpenGL을 사용하여 3장에서 제안한 인터넷 기반 시뮬레이터를 개발하였고, MySQL을 이용하여 라이브러리를 구축하였다. 또한 ActiveX Control을 사용하여 인터넷으로 접

근할 수 있도록 하였다.

적용 예로서, <Figure 3>의 NC 프로그램을 입력하였다. 제안한 모델이 적용된 모델링 컴포넌트로 <Figure 14>처럼 9가지의 대안 구조를 생성 및 제시하였다. 본 예에는 20가지의 모듈과 모듈 집합 규칙 45개를 사용하였으며, 모듈 조합 규칙으로 모든 구조를 발생시킬 경우 70여 가지의 구조가 발생하였다.

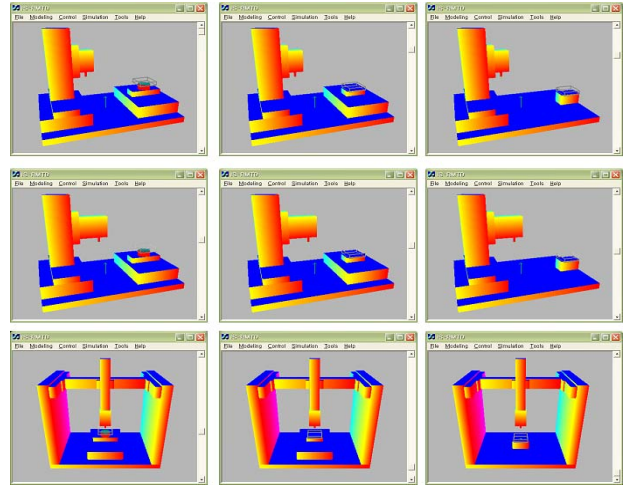


Figure 14. Alternative structures generated.

<Figure 15>는 공구경로를 따라 동작 시뮬레이션을 수행하며 결과데이터를 산출하는 모습이다. 가공물은 wire-frame으로 표시된다.

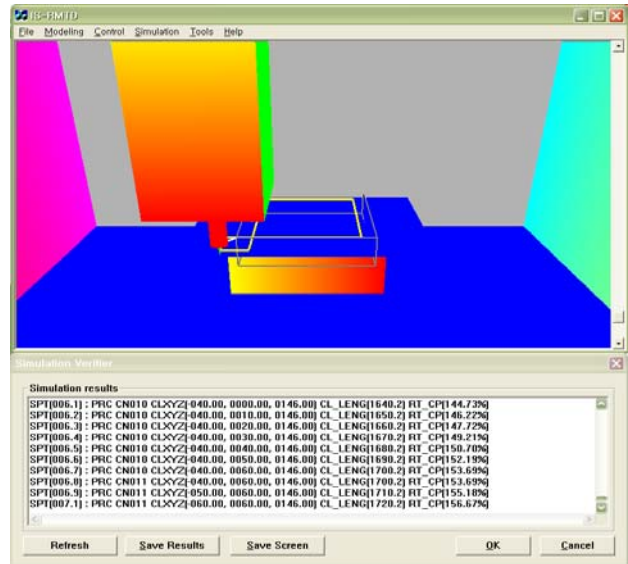


Figure 15. Motion simulation and results.

5. 논의

<Table 3>은 4장의 예에서 생성한 구조의 수를 비교한 표로서

제안한 모델이 요구사항에 적합한 구조를 생성 및 제시함으로써 설계자의 의사결정을 도울 수 있음을 보여준다.

Table 3. All combination vesus proposed model

	All combination	Proposed model
The number of generated structures	more than 70	9

제안한 시뮬레이터와PREMADE를 비교하였다(<Table 4>). PREMADE의 경우 Katz and Moon(2000), Landers *et al.*(2001) 논문을 참고하였다. PREMADE의 경우 입력 데이터로 정성적 데이터인 공정 계획을 사용한 반면, 제안한 시뮬레이터에서는 정량적 데이터인 NC 프로그램을 이용하였다. NC 프로그램은 코드이기 때문에 컴퓨터 처리가 용이하다는 장점이 있다 또한 PREMADE의 경우 구조 설계만 가능한 반면 제안한 시뮬레이터는 구조 설계 및 동작 시뮬레이션까지 지원하기 때문에 신속한 설계 검토가 가능하다. 단, ISD-RMT의 경우 아치형태의 모듈을 지원하지 않는다.

Table 4. PREMADE vesus ISD-RMT

	PREMADE	ISD-RMT
Input data	Operation plan	Tool setting, Workpiece setting, NC Program
Topology of structure	Shinno and Ito (1984, 1986), Moon(2002)	Shinno and Ito (1984, 1986), Proposed model
Design procedures	Task clarification → Structure design → Module selection → Configuration evaluation	User requirements analysis → Modeling of MTs → NC prog. check and interpretation → Motion simulation of MT
Structure design	Yes	Yes
Motion simulation	Not yet	Yes
Arch-type module	Support	Not yet

6. 결론

본 논문에서는 공작기계 구조 및 동작 모델을 제안하고 재구성 가능 공작기계 설계를 위한 인터넷 기반 시뮬레이터의 아키텍처를 제시 및 구현하였다.

구조 및 동작 모델은 사용자 요구사항을 분석하여 다양한 모듈 중에서 적합한 모듈을 선정하고 자동으로 공작기계의 구조를 생성하는 모델로써, NC 프로그램을 토대로 가공에 적합한 구조가 설계되었다. 또한 재구성 가능 공작기계의 설계를 위한 인터넷 기반 시뮬레이터(ISD-RMT)는 제안한 모델을 적용한 구

조 생성과 NC 프로그램 검사 및 해석 그리고 동작 시뮬레이션 검증까지 여러 과정을 통합하여 제공하였다. 이로써 재구성 가능 공작기계를 신속히 구성하여 동작을 검증하거나 NC 프로그램을 수정하여 가공 계획에 적합한 구조를 설계할 수 있었다.

개발한 시뮬레이터는 자동 설계와 통합 설계 과정을 지원하기 때문에, 실제 현장에서 재구성 가능 공작기계의 구조 설계 도구로 사용 될 것이다. 즉 현장 담당자는 기업에서 보유한 공작기계 모듈을 라이브러리에 등록하여, 공정에 적합한 공작기계를 신속히 설계하고 시뮬레이션함으로써 효과적인 공정 계획을 수립할 수 있을 것이다.

본 연구는 구조 해석 등 실제 공작기계의 다양한 현실 조건을 고려하지 않았으며, 생성된 다수의 구조에 대한 동시 평가 및 최적 구조 선정에 대한 방법을 제시 하지 않았다는 한계가 있다. 추후 구조 해석 과정과 최적 구조 선정 방법에 대한 후속 연구를 수행하여 재구성 가능 공작기계를 위한 CAD/CAM/CAE 통합 시스템으로 발전시킬 것이다.

참고문헌

- Delmia, Virtual NC, <http://www.delmia.com>
- Ehmann, K. F., DeVor, R. E., De Meter, E. C., Dornfeld, D., Kapoor, S. G., Ni, J., Rajurkar, K., Shin, Y., and Sutherland, J. (1997), A Framework for a Virtual Machine Tool(VMT), *Trans. of NAMRI /SME*, XXI, 143-148.
- Katz, R. and Moon, Y. M. (2000), Virtual Arch Type Reconfigurable Machine Tool Design, *Report of NSF ERC for RMS*.
- Kwon, S. Y. et al. (2003), The Rise of Mass Customization and Treatments of Enterprises (in Korea), *CEO Information Report of SERI(in Korea)*, (415), 1-25.
- Landers, R. G., Min, B. K., and Koren, Y. (2001), Reconfigurable Machine Tools, *Annals of the CIRP*, 50(1), 269-274.
- Lee, C. H. (2005), Trends of Machine Tools in Europe, *Monthly Machine Tools Magazine(in Korea)*, May (148), Online.
- Moon, Y. M. and Kota, S. (2002), Design of Reconfigurable Machine Tools, *Transactions of the ASME*, 124, 480-483.
- NSF ERC-RMS, <http://erc.engin.umich.edu/>
- Shimizu, S. (2004), Problems and Solutions Techniques for Cutting Machine Tools, *Monthly Mechanical Engineering Magazine(in Korea)*, April, 120-153.
- Seo, Y. H., Kim, D. Y., and Suh, S. H. (2005), Development of Web-based CAM System, *Int. Journal of Adv. Manufacturing Tech.*, Online, 1433-3015.
- Shinno, H. and Ito, Y. (1984), Generating method for structural configuration of machine tools(1st paper, Generation using variant design method), *Trans. of JSME*, 50(449), 213-221.
- Shinno, H. and Ito, Y. (1986), Generating method for structural configuration of machine tools (3rd paper, Variant design using directed graph), *Trans. of JSME*, 52(474), 788-793.
- Suh, S. H., Seo, Y. H., Lee, S. M., Choi, T. H., Jeong, G. S., and Kim, D. Y. (2003), Modelling and Implementation of Internet-Based Virtual Machine Tools, *Int. Journal of Adv. Manufacturing Tech.*, 21, 516-522.
- Technomatix, eM-Workplace, <http://www.tecnomatix.com>