

항공기 부품의 5축 수평형 공작기계 머신 시뮬레이션 적용에 관한 연구

이인수*(진주산업대 기계설계공학과 대학원), 김남경**(진주산업대 자동차공학과)
, 김해지**(경상대 기계공학과 대학원), 장정환*** (진주산업대 기계설계공학과 대학원)

A study on machine simulation application of aircraft parts in 5 axes horizontal machine

I. S. Lee(Mech. Des. Eng. Dept., JJU), N. K. Kim(Auto. Eng. Dept., JJU), H. J. Kim(Mech. Eng. Dept.,
KSU), J. H. Jang(Mech. Des. Eng. Dept., JJU)

ABSTRACT

This paper shows about the machine simulation embodiment when it happened NC equipment and between workpiece and interference collision at 5 axes processing of aircraft parts. And this research has been chosen because of the highest equipment interference occurrence rate at aircraft parts processing of 5 axes horizontal machine.

It can verify simulation and machining process through correlation about their dynamic relations, interference, collision as embodied virtual manufacturing system of machining tool, workpiece, and holder etc. that is necessary element in shape of machine tool and function and processing in imagination ball. Also, it verified about interference and collision between NC equipment parts and workpiece, for applied machine simulation to NC Data of actuality aircraft parts of BULKHEAD and FRAME.

Key Words : 가상공작기계(Virtual Machine Tool), 가상생산시스템(Virtual Manufacturing System), 머신시뮬레이션(Machine Simulation), 간섭(Collision)

1. 서론

본 연구는 항공기부품의 가공 중 발생할 수 있는 NC장비와 피삭재간의 간섭 및 충돌¹을 사전 규명 할 수 있는 Machine Simulation 구현에 관한 내용을 주제로 하였다. 항공기 부품의 경우 중량절감과 복합재 사용으로 인해 Web 및 Flange의 두께가 얇게 설계되어 갈수록 복잡한 제품형상을 요구하고 있다. 다축 공작기계를 이용하여 이들 제품의 초품 개발 시 복잡한 제품형상으로 인해 공작물과 공작기계의 주요부위(주축, 회전축, 기어박스 등) 및 기타 구성요소(공구홀더, 치공구)간에 간섭에 의한 불량발생률이 매우 높은 실정이다. 이는 단순히 제품의 불량뿐만 아니라 공작기계의 주요부위의 파손으로 인한 막대한 경제적 손실을 가져 올수도 있다. 이러한 가공 중 발생할 수 있는 간섭이나 충돌로부터 공작기계를 보호하는 것이 공작기계의 운용비용을 최소화하는 측면에서 무엇보다 중요하다

고 할 수 있다.

이를 위해 본 연구는 항공기부품 가공에 있어서 간섭 발생률이 가장 높은 5축 수평형 공작기계(5axis horizontal machine)를 선정하여 가상공간에서 공작기계의 형상 및 기능을 갖춘 가상공작기계(Virtual Machine Tool)를 생성하고 그 외 가공에 필요한 요소인 치공구, 피삭재, 공구홀더 등의 가상생산시스템(Virtual Manufacturing System)을 구현하고, 이들의 상호 운동관계와 간섭 및 충돌에 대한 상관관계를 규명하여 시뮬레이션 및 가공과정을 검증할 수 있도록 하였다. 그리고 BULKHEAD 및 FRAME 등의 실제 항공기 부품의 NC Data에 머신 시뮬레이션을 적용하여 가공도중 발생할수 있는 NC장비의 구성품과 피삭재간의 간섭 및 충돌에 대한 검증을 수행 하고, 검증된 NC Data를 실제 생산현장에 투입함으로써 머신시뮬레이션의 실용성을 검증하였다.

2. 머신시뮬레이션의 개요 및 머신의 생성

2.1 머신시뮬레이션의 개요

가상의 공간에서 실제 가공조건과 동일한 환경 즉, 공작기계 및 Control, 치공구, 피삭재, 절삭공구 등을 구현 한 후 이를 시뮬레이션 하는 기법으로 공작기계의 구성요소에 대한 컴퓨터상의 표현에만 그치지 않고 실제 공작기계와 동일한 작동이 가능하여야 하며, 사용자의 요구에 따라 다양한 형태의 공작기계를 컴퓨터상에 제시 할 수 있어야한다². 본 연구에서는 가상공작기계의 생성뿐만 아니라 생성된 공작기계를 이용하여 NC 데이터의 검증 작업 및 피삭재와 공작기계와의 충돌 및 간섭에 대한 검증을 수행 하였다.

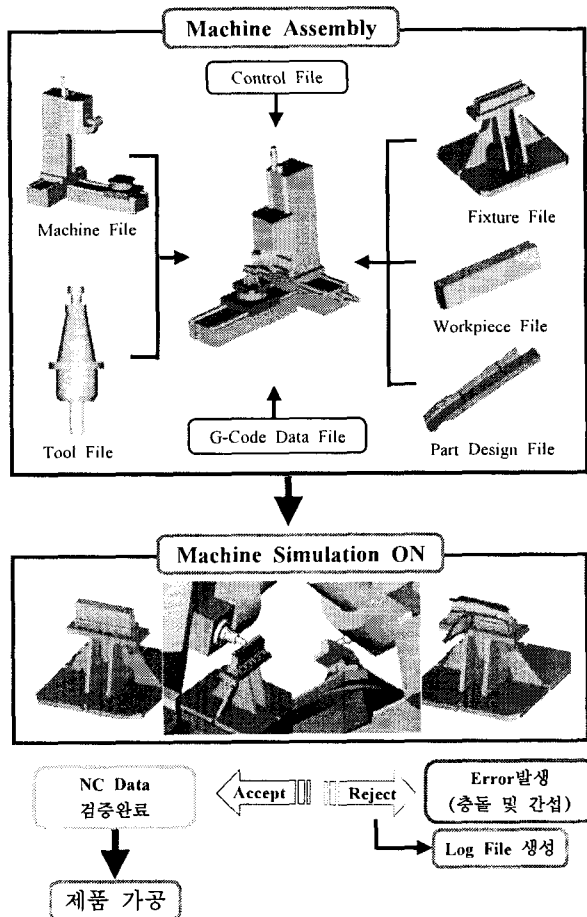


Fig. 1 Schematic of Machine Simulation

Fig. 1은 머신 시뮬레이션의 구성요소를 나타낸 것으로 공작기계 규격 전반에 관한 모듈(베드, 칼럼, 스피들, 테이블)인 기본 구조 모듈과 공작기계의 움직임을 구성하는 모듈(NC Control, G-Code Data)과

부가장치 모듈(치공구, 피삭재, 절삭공구)로 구성되어 있다. 기하학적 정보를 가지는 이들 공작기계의 구성형상들은 WCS(World Coordinate System)의 기준 좌표계에 의해 정의 되고, 각각의 형상의 OCS(Object Coordinate System)좌표계와의 상대적인 위치 관계로 표현되어 결합하게 된다.

2.2 가상공작기계의 생성

2.2.1 5축 수평형 공작기계의 개요

항공기 기계가공품 중 FRAME이나 BRACKET 등의 제품은 설계특성상 외측 벽면의 형상이 Ruled Surface로 이루어져 있어 기계 가공 시 엔드밀의 측면으로 5축 가공을 해야 하며 그 형상이 복잡한 경우가 많아 다 공정 가공을 하는 경우가 많다. 이러한 특성 때문에 한 공정으로 제품형상을 완성하기 위해 5축 수직형 공작기계보다는 5축 수평형 공작기계를 많이 이용한다. 본 연구는 항공기 기계가공품 생산 시 가장 많이 운용되고 있는 5축 수평형 공작기계 중 T-35라는 공작기계를 대상으로 장비 특성 및 각 구성요소들의 상호 운동관계를 가상공간에 구현하였다.

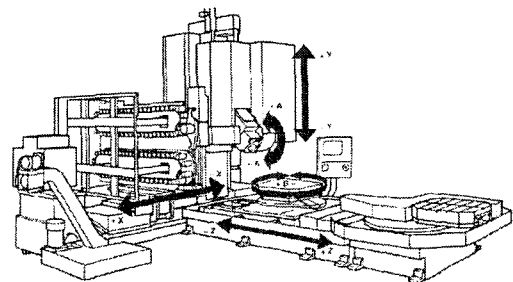


Fig. 2 T-35 5axis Horizontal Machining Center

Fig. 2는 5축 수평형 타입인 T-35 머신의 그림이다. 이 공작기계는 회전축인 B축($0^{\circ} \sim 990^{\circ}$)과 주축에 부착되어 틸팅(Tilting)되는 A축($+30^{\circ} \sim -120^{\circ}$)이 존재한다. 제품 가공 시 회전축과 다른 구성 요소들 간에 충돌 및 간섭 확률이 높은 편이다. 특히, 회전축과 이송축이 동시에 움직이는 경우와 주축이 기울어질 때 주축의 기어박스와 Z축 및 B축과의 간섭 확률이 매우 높다. 또한 가공 중 공구교환 시 장비를 구성하는 모든 축들이 동시제어로 움직이므로 이로 인한 장비 간섭현상이 빈번히 발생한다.

Table 1은 T-35 머신의 최대 주축 회전수 및 최대 이송속도, 공작기계를 구성하는 각 이송축들의 최대 이송영역 등의 사양을 나타내었다.

Table 1 Specification of T-35 machining Center

제조사	Cincinnati Milacron(USA)	
용도	Stiffener, Hinge Fitting, Support, Frame	
개원	Number of simultaneous control axis : 5	
	Number of spindle : 1	
	Pallet size : 800 × 800mm	
	Travel	Longitudinal(X-axis) : 60 in
		Transverse(Y-axis) : 60 in
		Vertical(Z-axis) : 62 in
		Spindle tilt(A-axis) : +30 ~ -120 degree
		Pallet rotation(B-axis):360 degree
	Spindle	Power:30 hp / Taper:ISO #50 /Speed:20~40 rpm
	Feedrates	X/Y/Z-axis : 600 ipm
		A-axis : 800 dpm B-axis : 720 dpm
	ATC	No. of pocket: 90
		Max. tool weight:60 in
Max. tool length: 18 in Max. tool diameter: 12 in		

2.2.2 5축 수평형 공작기계의 형상모델 생성

T-35 수평형 공작기계의 형상 모델은 공작기계를 구성하는 요소들에 대한 형상 파라미터에 대한 입력 정보를 기반으로 이루어졌으며, 공작기계 카탈로그 데이터³, 표준부품에 관한 데이터 등의 실제 지식을 이용 하였다. 가상공간에서의 형상 모델을 위해 체적소거법(Swept volume)을 이용한 Z-map⁴방식의 Vericut⁷이라는 S/W를 이용하여 공작기계의 주요 구성요소의 조합 및 운동관계를 설정하였으며, 공작기계의 각 구성요소에 대한 모델링은 CAD&CAM 소프트웨어인 CATIA를 이용하여 생성하였다.

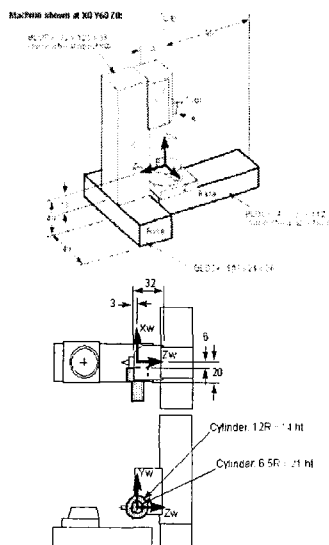


Fig. 3 Parameter of T-35 machine

Fig. 3은 T-35 공작기계의 형상 파라미터 값을 나타낸 그림이다. 이들 형상 파라미터 값을 기초로 하여 공작기계의 기본골격(Base), 이송축(X-axis, Y-axis, Z-axis), 회전축(B-axis), 부가축(A-axis) 기어박스, 주축(Spindle)등을 생성하고, 그 외 가공에 필요한 치공구(Fixture), 피삭재(Workpiece), 절삭공구 등을 결합하는 방법을 취하였다. CATIA에서 기본 형상 모델링 시 머신좌표계를 기준으로 하여 생성하였으며 이렇게 생성된 공작기계의 구성요소들은 STL 파일 형식으로 저장하여 Vericut 툴에서 인식 할 수 있게 하였다.

2.2.3 5축 수평형 공작기계의 Kinematic 모델

가상공작기계의 구동을 위하여 기계의 Kinematic 구성에 대한 정의와 각 축들의 동작을 수행하는 구성요소간의 관계에 대한 분석이 필요하다. 공작기계의 각 축은 선형동작 또는 회전동작으로 구성 된다. 5축 공작기계는 선형 3축과 주축 또는 공작물이 회전축을 따라서 움직이는 회전 2축으로 되어있다. T-35 5축 수평형 공작기계의 경우 수평형 타입의 주축에 킬팅되는 부가축이 존재하고, 선형 3축과 공작물이 회전하는 회전축으로 구성되어있다.

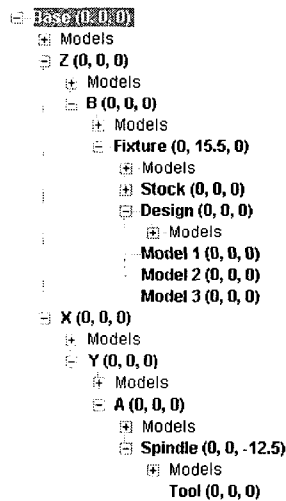


Fig. 4 Component tree of T-35 machine

Fig. 4는 T-35 공작기계의 Component tree로 머신의 구성요소에 대한 조합과 상호 운동 및 종속 관계를 나타낸 것이다. 공작기계의 기본골격인 Base의 머신원점을 중심으로 이송축(Z-axis)→회전축(B-axis)→치공구→피삭재→부품형상모델 순으로 위치하며, 추가로 Base의 머신원점을 기준으로 이송축(X-axis)→이송축(Y-axis)→부가축(A-axis)→주축(Spindle)→절삭공구(Tool)의 순으로 위치한다.

2.2.4 5축 수평형 가상공작기계의 가시화

현재 상용 머신시뮬레이션 제품으로는 Virtual NC 와 Vericut 등의 소프트웨어가 있으며, 본 논문에서는 T-35 머신의 가상공간에서의 가시화를 위해 Vericut을 이용하여 머신시뮬레이션 과정을 수행하였다. Machine Component Tree를 통해 머신 Kinematic 모델을 완성한 후 STL 파일로 저장한 머신 구성요소들을 해당 Tree에 삽입한다. 이때 구성요소가 위치하는 좌표들은 기계원점인 머신좌표계를 중심으로 상대좌표계로 위치하며 각 각의 형상 정보는 폴리곤 타입의 파라메타 값으로 저장되어진다. Fig. 5는 머신의 주요부위(주축 스피들, 회전축, 치공구)를 가상공간에 표현한 그림이다.

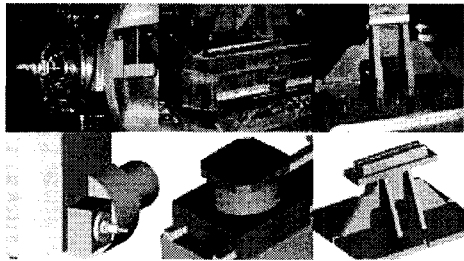


Fig. 5 Main parts of T-35 machine

Fig. 6은 가상공간에서 5축 수평형 공작기계를 생성하는 과정을 나타내었다.

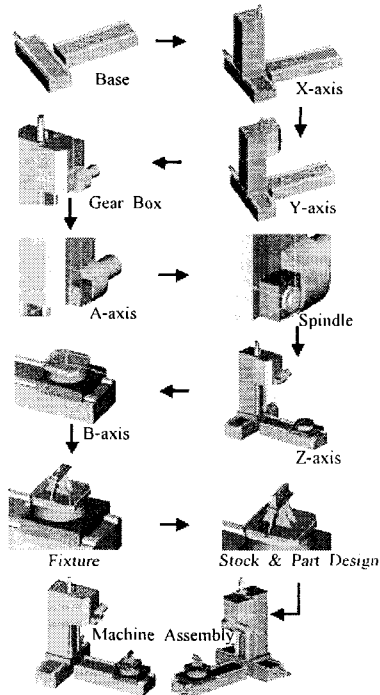


Fig. 6 Creation process of T-35 machine

Fig. 7은 가상공간에서 완성된 T-35 공작기계의 모습이다. 장비의 ATC(Auto Tool Change) 부분과 APC (Auto Pallet Change)부분, 장비 커버 부분은 머신시뮬레이션 시 충돌 및 간섭과는 상관관계가 없어 생략하였다. 제품형상 디자인 및 피삭재의 정보는 CATIA에서 디자인한 후 CATV 기능을 통해 STL 파일로 변환하였으며, 절삭공구 및 공구홀더 정보는 CATIA를 이용하여 공구가공경로(Tool path)의 NC Set을 생성한 후 Postprocess 과정을 거치면서 생성되는 APT Source 파일을 이용하였다.

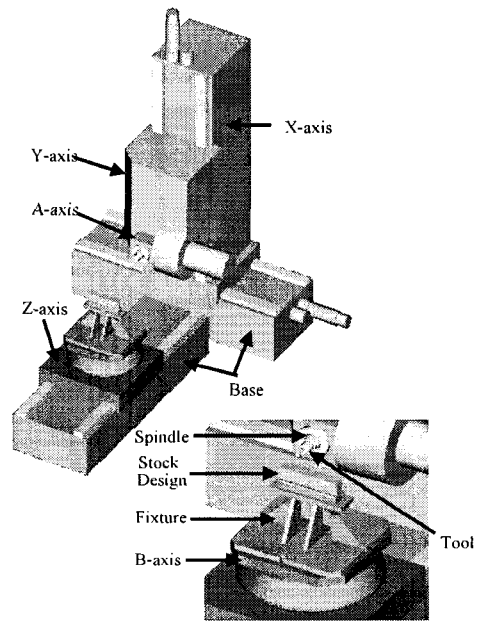


Fig. 7 Picture of completed T-35 machine

Fig. 8은 공구 형상 정보를 가진 APT Source 파일과 가상공간에서 표현된 절삭공구 및 홀더를 나타내었다.

■ APTSOURCE
MULTAX

CUTTER/ 32.000000, .750000, 15.250000,
.750000, .000000,\$
.000000, 60.000000

INSERT(MSG.

NO.	OPERATION	MODE	FEED	SPINDLE	TOOL	STATUS
1	G00	M	1000	1000	1	OK
2	G01	M	1000	1000	1	OK
3	G02	M	1000	1000	1	OK
4	G03	M	1000	1000	1	OK
5	G00	M	1000	1000	1	OK
6	G01	M	1000	1000	1	OK
7	G02	M	1000	1000	1	OK
8	G03	M	1000	1000	1	OK
9	G00	M	1000	1000	1	OK
10	G01	M	1000	1000	1	OK
11	G02	M	1000	1000	1	OK
12	G03	M	1000	1000	1	OK
13	G00	M	1000	1000	1	OK
14	G01	M	1000	1000	1	OK
15	G02	M	1000	1000	1	OK
16	G03	M	1000	1000	1	OK




Fig. 8 APT Source file of cutter

3. 공작기계의 간섭 및 충돌에 대한 시뮬레이션

3.1 간섭(Collision) 및 Travel Limits 설정

머신 시뮬레이션에서 가장 중요한 항목은 공작기계를 구성하는 요소와 피삭재간의 상호 간섭 및 충돌에 대한 규명이다. Fig. 9는 공작기계의 주요 구성 요소들 간에 간섭 영역을 설정하는 화면이다. 이 화면에서 장비를 구성하는 각 구성요소 간에 간섭영역 값을 설정하여 실제 머신 시뮬레이션 적용시 설정 영역 안으로 구성요소간의 간섭 발생시 시뮬레이션이 멈추고 Error 메시지를 발생시키며, 간섭에 대한 정보는 Log file로 저장되어 NC 프로그램머가 이를 확인하여 NC Data를 수정 할 수 있다.

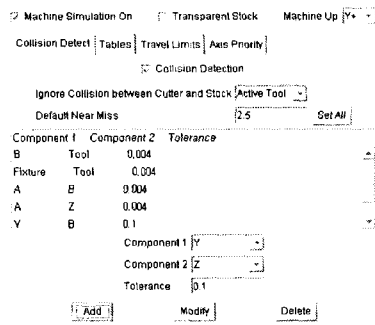


Fig. 9 Check time of machine Collision

Fig. 10은 가상공간에서 시뮬레이션 시 머신의 이송 한계 영역을 설정하는 화면이다. 실제 T-35 머신의 한계 영역 값과 동일하도록 B축(0°~999°), A축(-120°~30°), X(-30~+30inch), Y축(0~60inch), Z축(0~62inch)의 값을 입력하였으며, 만약 시뮬레이션 도중 설정한 한계 영역 값을 벗어날 경우 Error 메시지를 발생시키며 시뮬레이션이 멈추게 된다.

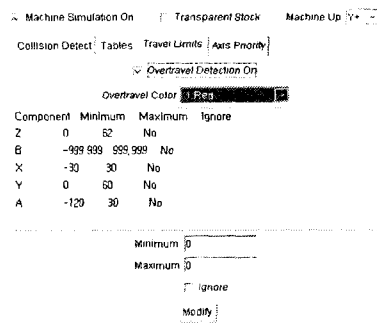


Fig. 10 Check time of machine travel limits

3.2 T-35 머신의 시뮬레이션 실행

머신 시뮬레이션의 실행을 위해선 가상공작기계 뿐만 아니라 NC 코드 데이터, 머신 콘트롤러, 공구 및 홀더 등에 대한 정보가 필요하다. 시뮬레이션

도중 공구홀더의 간섭이나, 기타 장비의 구성요소들에 대한 간섭의 발생시 시뮬레이션이 멈추도록 되어 있으며, 간섭부위에 대한 정보는 색깔(Red color)이나, 정보파일(Log file)로 나타남으로 사용자는 이를 분석하여 해당 부위의 NC 데이터를 수정 하면 된다. Fig. 11은 머신 시뮬레이션을 구현을 나타내었다.

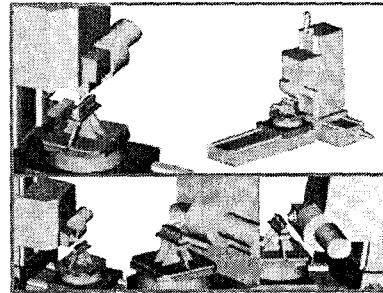


Fig. 11 Practice image of machine simulation

Fig. 12는 시뮬레이션을 통해 검증된 NC 데이터를 이용하여 실제 제품을 가공하는 화면 이며, Fig. 13은 가공이 끝난 화면, Fig. 14는 가공이 완료된 제품의 모습을 나타내었다.

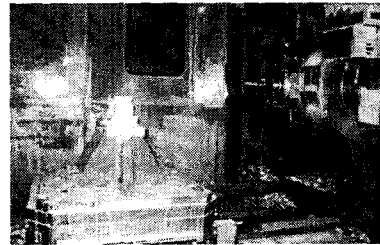


Fig. 12 Before machine work

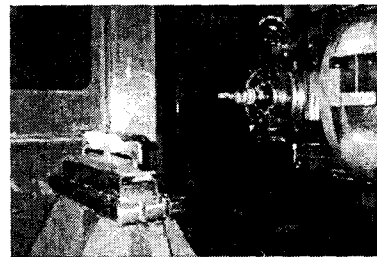


Fig. 13 Machine working



Fig. 14 Aircraft frame of machining completed

4. 결론

본 연구에서는 대형의 복잡한 형상으로 이루어지는 항공기부품의 5축 가공 시 발생 할 수 있는 공작기계의 주요 구성요소와 공작물간의 간섭 및 충돌에 대한 사전 검증작업을 위해 가상공간에서 운용할 수 있는 가상 공작기계를 생성하였다. 이를 이용하여 실제 항공기 부품에 대한 가공 시뮬레이션을 적용하였고, 장비간섭 및 충돌에 대한 검정이 이루어진 NC Code 데이터를 실제 가공현장에 투입하여 가공함으로써 버신시뮬레이션의 효율성 및 정확성에 대한 검증 하였다. 가상공작기계를 이용한 머신 시뮬레이션을 이용하면 5축 가공 중 발생 할 수 있는 간섭이나 충돌로부터 공작기계를 보호하여 장비 수명 연장에 큰 도움이 될 것이다. 이와 더불어 기존의 5축 가공 프로그램 시 풍부한 가공경험이 있거나, 장비의 운동특성을 충분히 이해한 프로그래머만이 장비 간섭을 미리 예측하여 NC 데이터를 생성 할 수 있었던 것에 비하여 본 논문에서 기술한 가상공작기계를 이용하면 장비간섭 및 충돌을 미리 확인 할 수 있어 초보자의 NC 프로그램 시 정신적 부담의 해소측면에도 많은 도움이 될 것 이다.

참고문헌

1. Laurence, N. L., Voelcker, H. B., and Requicha, A. A. G., "CNC machining: Simulation, verification, programming planing, communication and control, in Manufacturing processes, machines and systems", pp. 243-251, 1986.
2. 정광식, 서석환, 서윤희, 이현수, " Web 기반 가상공작기계의 구현," 한국 CAD/CAM 학회 논문집 제6권 제4호 pp. 236-243, 2001.
3. Cincinnati Milacron "T-35 5axis horizontal machining center", 외 다수 공작기계 제조회사의 카달로그.
4. Jerard, R. B., Drysdale, R. L. and Hauck, K., "Geometric Simulation of Numerically Control Machining," Proc. ASME Int. Computer in Engineering Conf., ASME, New York, PP. 129-136, 1988.
5. Oliver, J. H., "Efficient Intersection of Surface Normals with Milling Tool Swept Volumes for Discrete Three-Axis NC Verification," Journal of Mechanical Design, Vol. 114, pp. 283-287. 1992.
6. Hsu, P. L. and Yang, W. T. "Realtime 3D Simulation of 3-axis Milling Using Isometric Projection," Computer-Aided Design, Vol. 25 No.4, pp. 215-224, 1993.
- 7 <http://www.vericut.com>