

## 가상공작기계를 이용한 5축 가공 시 공작기계의 간섭현상에 관한 연구

김해지\*, 장정환\*\*, 김남경#

### A Study on Interference Phenomenon of a Machine Tool when 5 Axes Working with Virtual Machine Tool

Hae-Ji Kim\*, Jeong-Hwan Jang\*\*, Nam-Kyung Kim#

#### ABSTRACT

This study is intended to find out the reason of interference phenomenon of a machine tool when it operates for 5-axes working. The researcher made a Virtual Machine which has same figures of the 5 axes machine tool and Virtual Manufacturing System which has both Software factors - controller and NC code data to manipulate the movement characteristics of the machine - and Hardware factors - fixtures, workpiece, tools, holders and so on. With these virtual tools, this study is designed to find out the relation between the movement and the interference or collision, and also intended to verify the simulation and work-processing.

In this study, the researcher found out, in case of the vertical 5 axes type, that it has more chances to have interference between the fixture, the workpiece and the main spindle including the tool holder due to the tilting kinetics of the main spindle. In case of the horizontal 5 axes type, on the other hand, the researcher found out that it has more possibility to have the interference between the main spindle and the rotary shaft.

**Key Words** : Virtual Machine Tool(가상공작기계), Virtual Manufacturing System(가상생산시스템), Machine Simulation(머신시뮬레이션), Interference Phenomenon(간섭현상)

#### 1. 서 론

오늘날 가상 공작기계를 이용한 시뮬레이션 분야의 연구 동향을 살펴보면 주로 절삭가공 공정의 해

석, 서보제어 요소의 설계 및 공작기계의 기구학을 응용한 공구와 가공물 사이의 충돌회피 등이 집중적으로 연구되고 있다<sup>[1-3]</sup>. 그리고 공작기계의 공구 경로의 정확한 예측을 통하여 절삭면 형상의 시뮬레이션에 관한 연구가 활발히 이루어져 공구 경로의 오차 계산, 가공 프로그램의 오류 등을 검증하기 위한 다양한 기법들이 많이 개발되고 있다<sup>[4]</sup>. 그러나 공작물의 가공 경로에 대한 연구가 집중되어 있어, 실제 가공 중에 발생될 수 있는 공작기계의 운동 특성을 고

\* 경상대학교 대학원 기계공학과  
\*\* 진주산업대학교 산업대학원 기계설계공학과  
# 교신저자 : 진주산업대학교 자동차공학과  
E-mail : nkkim@jinju.ac.kr

려한 간섭 및 충돌에 대한 연구는<sup>[5,6]</sup> 극히 미비한 실정이다. 특히, 다축 공작기계를 이용한 복잡한 형상의 제품을 개발할 경우, 공작기계의 주요 구성부위(주축, 기어박스, 회전테이블), 기타 구성요소(공구홀더, 치공구, 피삭재) 간의 간섭 및 충돌 등에 의한 제품 불량 발생 확률이 매우 높은 편이다. 단순히 제품의 불량뿐만 아니라 공작기계의 주요 부위의 파손으로 이어져 막대한 경제적 손실을 가져올 수 있다. 이러한 가공 중에 발생할 수 있는 간섭이나 충돌로부터 공작기계를 보호하는 것이 공작기계의 운용 비용을 최소화시키는 측면에서 무엇보다도 중요하다 할 수 있다.

본 연구에서는 기계부품의 5축 가공시 발생할 수 있는 공작기계의 간섭현상(interference phenomenon)을 규명하기 위하여 가상공간에서 운용이 가능한 5축 공작기계의 형상정보를 가진 가상 공작기계(virtual machine tool)를 생성하였다. 이를 통하여 공작기계의 운동특성을 제어하는 콘트롤러, NC 코드 데이터 등의 소프트웨어적 요소와 가공 요소인 치공구, 피삭재, 공구, 홀더 등의 하드웨어적 요소가 결합된 가상 생산시스템(virtual manufacturing system)을 구현한다. 구현된 가상 생산시스템을 통하여 상호 운동관계, 간섭 및 충돌 등에 대한 시뮬레이션에 의하여 가공 과정을 검증할 수 있도록 하였다.

## 2. 가상 공작기계의 구현

### 2.1 5축 수평형 공작기계의 구현

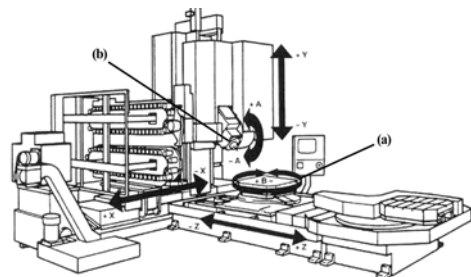
5축 공작기계의 간섭현상을 규명하기 위해 Cincinnati Milacron 사의 5축 수평형 타입(T-35), 수직형 타입(20V120)의 공작기계를 선정하였다. 가상공간에서의 형상 모델의 생성과 공작기계의 각 구성요소에 대한 모델링을 위하여 상용소프트웨어인 Vericut과 CATIA를 사용하였다.

Table 1은 T-35 공작기계의 최대 주축 회전수, 최대 이송속도, 공작기계를 구성하는 각 이송축들의 최대 이송영역 등에 대한 사양을 나타내었다.

**Table 1 Specification of T-35 machining center**

Manufactured	Cincinnati Milacron(USA)	
Supplies	Stiffener, Hinge Fitting, Support, Frame	
Spec'	Number of simultaneous control axis : 5	
	Number of spindle : 1	
	Pallet size : 800 × 800mm	
	Travel	Longitudinal(X-axis) : 1,520 mm
		Transverse(Y-axis) : 1,520 mm
		Vertical(Z-axis) : 1,570 mm
		Spindle tilt(A-axis) : +30° ~ -120°
		Pallet rotation(B-axis) : 360°
	Spindle	Power : 30 HP/Taper : ISO#50/Speed : 20~40 rpm
	Feed rates	X/Y/Z-axis : 15,240 mm/min
		A-axis : 800 dpm
		B-axis : 720 dpm
ATC	No. of pocket : 90	
	Max. tool weight : 1,520 mm	
	Max. tool length : 457 mm	
	Max. tool diameter : 305 mm	

Fig. 1은 T-35 공작기계를 구성하는 이송축 및 회전축들의 운동특성을 나타낸 것이다. 작업 영역은 0°~990°의 회전테이블인 B축(a)과 주축에 부착되어 +30°~-120° 제한적으로 틸팅 운동을 하는 A축(b)이 존재한다. T-35 공작기계의 경우, 회전축과 이송축이 동시에 움직이는 경우와 주축이 기울어질 때 주축의 기어박스와 Z축 및 B축과의 간섭 확률이 매우 높은 편이다. 그리고 가공 중에 공구교환을 할 경우, 장비를 구성하는 모든 축들의 동시제어로 인하여 장비의 간섭현상이 빈번히 발생한다.



**Fig. 1 T-35 5axis horizontal machining center**

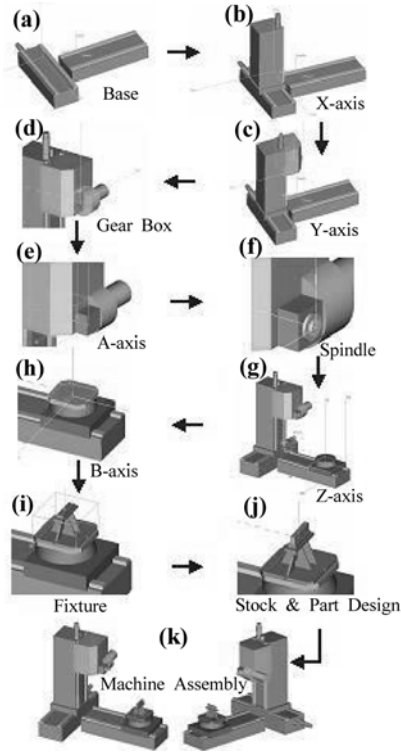


Fig. 2 Creation process of T-35 machine

Fig. 2는 가상 공작기계의 생성 순서를 나타내었다. 공작기계의 기본 골격인 base(a)를 머신좌표의 기준점에 위치하도록 설정하고, 이송축인 X축(b)을 그 위에 위치시킨다. 이때 X축은 X방향으로만 움직이도록 운동방향을 고정시킨다. 생성된 X축 위에 Y축(c)을 생성시키며, Y축은 X축에 직교방향인 Y방향으로만 움직이도록 운동방향을 고정시킨다. 그리고 생성된 Y축에 주축을 구성하는 기어박스(d) 및 A축(e)을 고정시킨다. 그리고 A축은 기어박스를 기준점으로 하여 X축에 대해서 +30°~120°의 한계를 가진 제한적인 틸팅을 할 수 있다. 생성된 A축 위에 스피들(f)을 부착한다. 주축을 완성한 후 base를 기준으로 이송축인 Z축(g)을 생성시킨다.

Z축은 머신좌표를 기준으로 Z방향으로만 움직이도록 운동방향을 고정시킨다. 생성된 Z축 위에 회전테이블인 B축(h)을 생성시킨다. 여기서 B축은 Y축을 기준 축으로 하여 0°~990°까지 회전운동을 할 수 있다.

생성된 B축 위에 치공구(i), 피삭재(j)를 생성시키면 가상공작기계(k)는 완성된다.

Fig. 3은 가상공간에서 완성된 T-35 공작기계의 형태를 나타내었다. 장비의 ATC(auto tool change), APC(auto pallet change) 및 장비 커버 부분 등의 머신 시뮬레이션은 생략하였다. 제품형상 디자인, 피삭재의 정보 등은 CATIA 프로그램에서 CATV 기능을 통하여 STL 파일로 변환하였다. 절삭공구, 공구홀더 정보 등은 CATIA를 사용하여 공구 가공경로의 NC Set을 생성한 후 후처리 과정을 거치면서 생성되는 APT source 파일을 사용하였다.

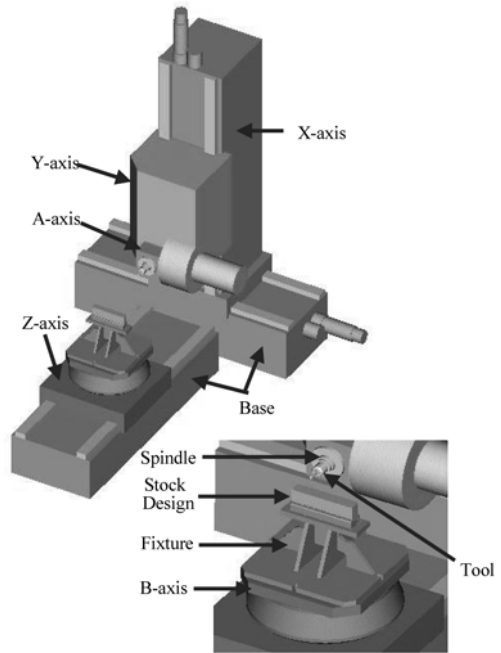


Fig. 3 Picture of completed T-35 machine

## 2.2 5축 수직형 공작기계의 구현

Table 2는 5축 수직형 타입(20V120) 공작기계의 최대 주축 회전수, 최대 이송속도, 최대 이송영역 등에 대한 사양을 나타내었다. 이 공작기계는 X, Y, Z의 이송축과 각각 +25°~25°씩 기울어지는 A, B축(b)이 존재한다.

제품 가공시 주축이 A, B 방향으로 동시에 틸팅될 때 장비간섭이 발생하는데, 주로 피삭재, 클램프 등

의 치공구 간섭이 발생할 확률이 높다.

Fig. 4는 가상공간에서 5축 수직형 타입의 공작기계를 생성하는 과정을 나타내었다. 가상 공작기계의 생성 순서를 살펴보면, 먼저 공작기계의 기본 골격인 base(a)를 머신좌표의 기준점에 위치하도록 생성하고, 이송축인 Y축(b)을 그 위에 위치시킨다. Y축은 Y방향으로만 움직이도록 운동방향을 고정시킨다. 생성된 Y축 위에 X축(c)을 생성시키고, X축은 Y축에 직교방향인 X방향으로만 움직이도록 운동방향을 고정시킨다. base를 기준으로 또 다른 이송축인 Z축(d)을 생성시킨다. Z축은 머신좌표를 기준으로 Z방향으로만 움직이도록 운동방향을 고정시킨다. 생성된 Z축 위에 B축(e)을 생성시킨다. B축은 Y축을 중심으로  $\pm 25^\circ$ 의 제한적 틸팅 운동을 하게 된다. 생성된 B축 위에 A축(f)을 생성시킨다. 그리고 A축은 X축을 중심으로  $\pm 25^\circ$ 의 제한적 틸팅 운동을 하게 된다. 생성된 A축 위에 스피들을 부착한 후 공구홀더를 포함한 커터를 부착시키면 공작기계의 주축부위가 완성된다. 주축을 완성한 후 이송축인 X축 위에 클램프를 포함한 치공구 파일(g) 및 피삭재와 제품디자인 파일(h)을 위치시키면 공작기계의 가상모델(i)은 완성된다.

Fig. 5는 가상공간에서 완성된 5축 수직형 타입 공작기계의 형상을 나타내었다.

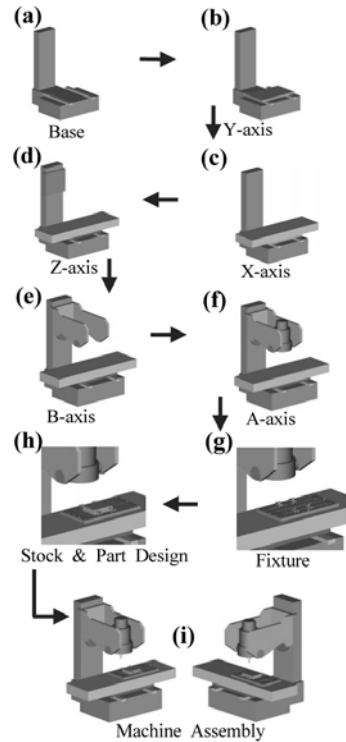


Fig. 4 Creation processing of 20V120 machine on the virtual space

Table 2 Specification of 5axis 1 spindle vertical machining center

Manufactured	Cincinnati Milacron (USA)	
Supplies	Support, Frame, Bulkhead	
Spec'	Number of simultaneous control axis : 5	
	Number of spindle : 1	
	Bad size(X ×Y) : 3,070 × 751 mm	
	Travel	Longitudinal(X-axis) : 3,048 mm
		Transverse(Y-axis) : 762 mm
Vertical(Z-axis) : 609 mm		
Spindle	Spindle tilt(A-axis/B-axis) : $+25^\circ \sim -25^\circ$	
	Power : 20HP(15Kw) Speed : 20~3,600 rpm	
Feed rates	X/Y-axis : 10,160 mm/min	
	Z-axis : 2,540 mm/min	
	A/B-axis : 300 dpm	

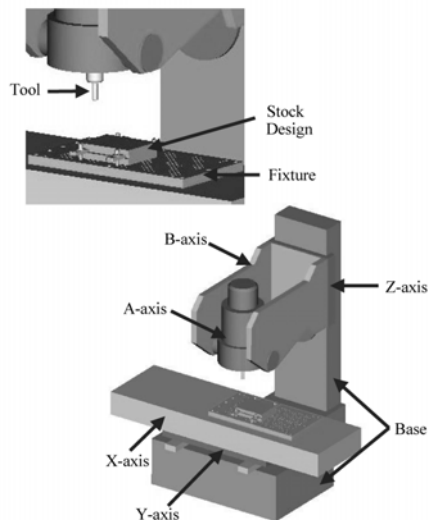


Fig. 5 Picture of completed 20V120 machine on the virtual space

### 3. 간섭 및 충돌에 대한 시뮬레이션

#### 3.1 NC data의 생성

Fig. 6 은 5축 NC 가공 데이터의 생성 순서를 나타낸 것이다. 본 연구에서는 NC 데이터를 생성하기 위해 항공기 전방동체를 구성하는 프레임 부품을 대상으로 CATIA V4를 사용하여 모델링을 하였다. 그리고 NC MILL 기능을 이용하여 제품에 대한 5축 공구 경로 파일인 NC set을 작성하였다. Fig. 7에서는 생성된 NC set을 후처리과정을 통하여 완성된 5축 가공용 NC 코드 데이터를 나타내었다.

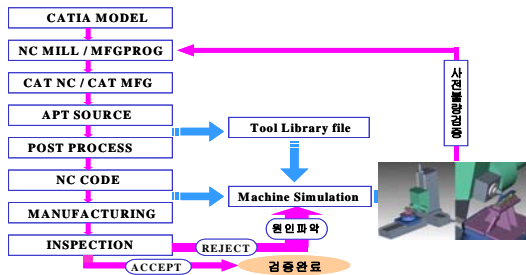


Fig. 6 The flow of NC code data

```

N1(PGM,="TP0156T35"-L-1 D /JAN/ 0 10:24)
:2(MSG, T50,0501252P-009,FRAME,1NCT,PRGMR:1.S.LEE)
:3(MSG, DREV- ,PREV:00,000607,M/C:135)
:10(MSG, T01/C22A280S-12/DIA25-FL55-R.12"-FILLET-E/M-GL6.40)
:11G0G70F400,T1M6
N12G0X0,Y23.5Z31,4A0,B0,F400,S1500T2M3
N13M1
N14(MSG,CHECK IF Z VALUE 31,40)
N15(MSG,OPER NO10. - THIS OPERATION CHECK G.L & MACHINE ACCURACY)
N16(MSG,IF YOU DON'T USE THIS OPERATION, OPSKIP ON 1)
N17G1X7.75Y20.95Z11.4A0,B0,F500,S1500M13
N18Z7.6F400.
N19Y19.75F20.
N20X6.75F30.
N21Z7.8
N22Z11.4F400.
N23Y21.41Z1F500.
N24Z6.2F400.
N25V20,21Z1F20.
N26X7.75
N27Y20.71Z1
N28Z11.4F400.
    
```

Fig. 7 An example of G-code data

#### 3.2 5-Axis Origin value 적용

5축 공작기계는 3축 공작기계와는 달리 tool tip이 아닌 pivot을 기준으로 움직이므로 5축 NC 코드 데이터도 공구의 gage length를 포함한 pivot point를 기준 좌표로 하여 출력되어야 한다.

식 (1)은 T-35 공작기계의 5축 데이터 좌표 산출 방식을 나타낸 것이다.

$$\begin{aligned}
 X &= x \\
 Y &= PT + (TL + PV) \sin(A) - \text{Origin} \\
 Z &= PT - PV + (TL + PV) \cos(A) - \text{Origin}
 \end{aligned} \tag{1}$$

여기서  $TL$  : Total length  
 $PV$  : Pivot distance(12.5")  
 $PT$  : Coordinate

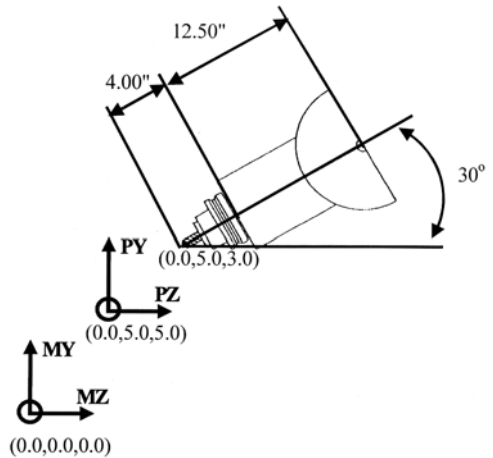


Fig. 8 An example of 5axis origin value

Fig. 8의 X, Y, Z에 대한 좌표 값을 5축 pivot point를 기준으로 데이터를 변환하면 다음과 같다.

#### Example A=30

- 1) Origin (0,-5,0,-5.0)
- 2) PT (0,0,5,0,3,0)
- 3) A=0, TL=4

$$\begin{aligned}
 X &= 0 \\
 Y &= 5 + (4 + 12.5) \sin(0) - (-5) = 10.0 \\
 Z &= 3 - 12.5 + (4 + 12.5) \cos(0) - (-5) = 12.
 \end{aligned}$$

#### 3.3 간섭 및 Travel Limits 설정

Fig. 9는 T-35 공작기계의 주요 구성 요소들 간에 간섭 영역을 설정하는 화면이다.

그림에서 보듯이 장비를 구성하는 각 구성요소 간에 간섭영역 값을 설정하여 실제 머신 시뮬레이션을 적용할 때 설정 영역 안으로 구성요소간의 간섭 현상

이 발생하였을 때 시뮬레이션이 멈춤과 에러 메시지를 발생시킨다. 간섭에 대한 정보는 로그 파일로 저장되어 NC 프로그래머가 이를 확인하여 NC 데이터를 수정할 수 있다.

Fig. 10은 가상공간에서 시뮬레이션을 적용할 경우 머신의 이동 한계 영역을 설정하는 화면이다. 실제 T-35 머신의 한계 영역 값과 동일하도록 B축(0°~999°), A축(-120°~30°), X(-762~+762 mm), Y축(0~1,524 mm), Z축(0~1,570 mm)의 값을 입력하였으며, 만약 시뮬레이션 도중 설정한 한계 영역 값을 벗어날 경우 에러 메시지를 발생시키며 시뮬레이션이 멈추게 된다.

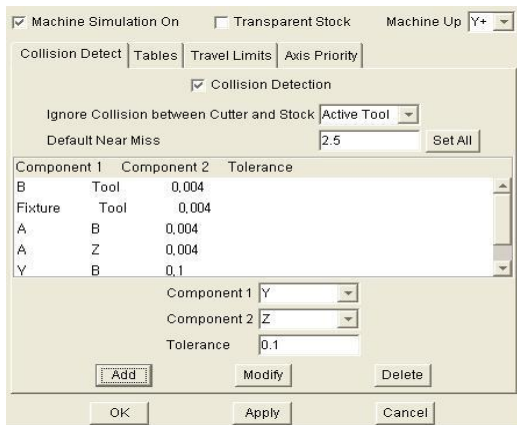


Fig. 9 Check time of machine collision

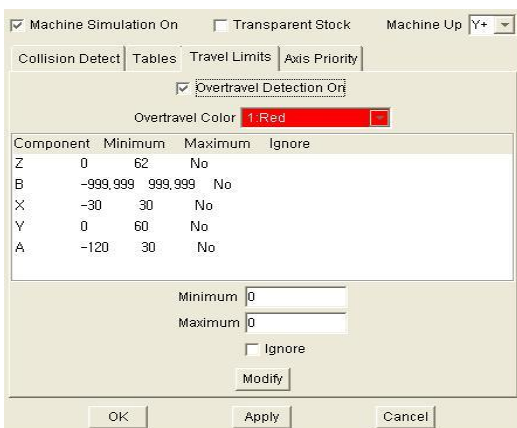


Fig. 10 Check time of machine travel limits

### 3.4 시뮬레이션을 통한 간섭현상 검증

Fig. 11은 수평형 타입 T-35 공작기계의 머신 시뮬레이션을 구현한 화면이다.

본 실험에서는 5축 NC 코드 데이터의 시뮬레이션 도중 공구홀더의 간섭이나, 기타 장비의 구성요소들에 대한 간섭의 발생시 시뮬레이션이 멈추도록 설정하였다. 간섭부위에 대한 정보는 색깔이나, 출력되는 로그파일을 분석하여 해당 부위의 NC 데이터를 수정하면 된다. 그림에 보듯이 5축 수평형 공작기계의 경우 주축과 회전축과의 간섭(a), 주축과 피삭재, 치공구와의 간섭(b), (c), (d) 등이 발생함을 알 수 있다.

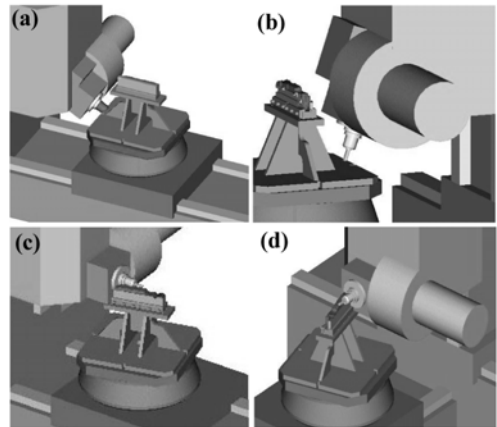


Fig. 11 Practice image of T-35 machining center simulation

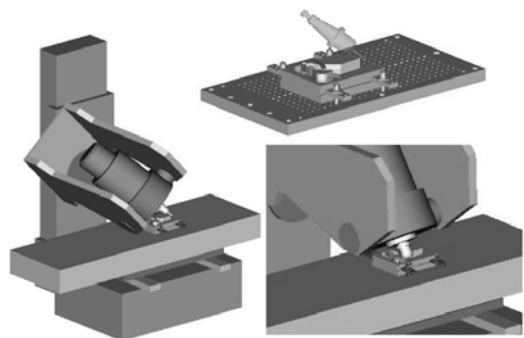


Fig. 12 Practice image of 20V120 machining center simulation

Fig. 12는 5축 수직형(20V120) 공작기계의 머신 시뮬레이션을 구현한 화면이다. 5축 수직형 공작기계의 경우 대부분 주축이 A, B축 방향으로 틸팅될 때 간섭현상이 발생하며, 스핀들을 포함한 주축부위와 클램프를 포함한 치공구 부위, 피삭재와의 간섭 등에서 발생됨을 알 수 있었다.

Fig. 13(a)는 머신 시뮬레이션을 통해 검증된 NC 데이터를 이용하여 가공하고 있는 현장 사진이다. 좌측 그림은 수평형 타입이고 우측 그림은 수직형 타입이다. 그림에서 보듯이 검증된 NC 데이터를 이용하면 미숙련자라도 간섭과 충돌을 미리 예측할 수 있어 원활한 작업을 할 수 있을 것이다. Fig. 13(b)는 검증된 NC 데이터에 의해 가공되어진 항공기 부품을 보여주고 있다.



(a) Machine working



(b) An aircraft machine parts

Fig. 13 Machine working and an aircraft machine parts

#### 4. 결 론

본 논문은 항공기 부품의 5축 가공시 발생할 수 있는 공작기계의 간섭현상을 규명하기 위하여 가상 공작기계의 머신 시뮬레이션을 통하여 다음과 같은

결과를 얻었다.

1. 5축 공작기계의 간섭현상을 규명하기 위하여 가상의 공간에서 운용이 가능한 5축 공작기계의 형상 정보를 가진 수평형, 수직형의 가상 공작기계를 구축하였다. 그리고 공작기계의 운동을 제어하는 컨트롤러, NC 데이터 등의 소프트웨어적인 요소와 가공 요소인 치공구, 피삭재, 공구 및 홀더 등의 하드웨어적 요소가 결합된 가상 생산시스템을 구현하였다.
2. 실제 가공 시뮬레이션을 적용하여 5축 공작기계의 상호 운동 관계와 간섭현상을 체크한 결과, 수평형의 경우는 주축과 회전축, 주축과 기어박스 부위와 치공구 회전 테이블 간의 간섭 등이 발생하였다. 수직형의 경우는 대부분 주축이 A, B 축 방향으로 틸팅할 때 스핀들을 포함한 주축부위나 피삭재와의 간섭이 발생하였다.

항공기 부품의 5축 가공시 발생하는 이러한 간섭현상에 대하여 로그 파일을 수정함으로써 최적화된 NC 코드 데이터를 생성할 수 있었고 실 공정 적용을 통하여 간섭현상을 최소화할 수 있었다.

#### 후 기

본 연구는 산업 자원부 2004년 지역진흥사업 지역 특화기술개발사업의 일부 지원을 받아 연구되었습니다. 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. Anderson, R. O., "Detecting and Eliminating Collisions in NC Machining," Computer-Aided Design, Vol. 10, No. 4, pp. 231-237, 1978.
2. Hook, T. V., "Real Time Shaded NC Milling Display," Computer Graphics, Vol. 20, No. 4, pp. 15-20, 1986.
3. Jerard, R. B., "Method for Detecting Errors in Numerically Controlled Machining of Sculptured Surfaces," IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 9, No. 1, pp. 26-39, 1989.

4. 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.
5. 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.
6. Kim, H. J., Lee, I. S. and Kim, N. K., "Interference Check and NC Data Optimization through Machine Simulation in 5 Axes Machining of a Vehicle Parts of Aluminum Alloy," KSPE, Vol. 21, No. 12, pp. 52-59, 2004.