

# AI 합금 수송기계부품의 5축 가공에서 머신시뮬레이션을 통한 간섭체크 및 NC 데이터 최적화

김해지\*, 이인수\*\*, 김남경#

## Interference Check and NC Data Optimization through Machine Simulation in 5 Axes Machining of a Vehicle Parts of Aluminum Alloy

Hae Ji Kim\*, In-Su Lee\*\* and Nam Kyung Kim#

### ABSTRACT

This paper shows about the machine simulation embodiment when it happens NC equipment and between workpiece and interference in 5 axes machining of aluminium alloy a vehicles parts. And this research has been chosen because of the highest equipment interference occurrence rate at a vehicles parts processing of 5 axes horizontal machine. It can verify simulation and machining process through correlation of their dynamic relations, interference, collision as embodied virtual manufacturing system of machine, workpiece, and holder etc. That is necessary element in shape of machine tool, function and processing in imagination ball. Also, it verifies about interference and collision between NC equipment and workpiece, as it applied machine simulation to NC Data of actuality aircraft parts of BULKHEAD and FRAME. As the result of this study, by removing the equipment interference and collision element which creates NC data, the virtual machine tool it the efficiency of machine process has increased.

**Key Words** : NC Data Optimization(NC 데이터 최적화), Interference Check(간섭체크), Vehicles Parts(수송기 기부품), Machine Simulation (머신시뮬레이션), Virtual Machine Tool (가상공작기계)

### 1. 서론

자동차 및 항공기 등의 수송기기 분야에서는 경량화를 위해 알루미늄 합금강 및 복합재 등의 사용이 증가하고 있다. 자동차의 경우 내식성, 가공성, 용접성 등의 우수한 AI3003 비열처리 합금을 사용

하고 있고, 항공기 부품의 경우 피로파괴에 대한 저항성이 우수하고 인장강도가 높은 AI2024 및 AI 합금강 중에 강도가 가장 우수한 AI7075 등의 열처리 합금강을 사용하여 항공기 부품을 제조하고 있다. 이와 더불어 제품의 생산 공정 측면에서 가공 공정의 효율성 증대를 위하여 가상공작기계를 이용

접수일: 2004년 2월 9일; 게재승인일: 2004년 10월 7일

\* 경상대 대학원 기계공학과

\*\* 진주산업대 산업대학원 기계설계공학과

# 교신저자, 진주산업대 자동차공학과

nkkim@jinju.ac.kr Tel. (055) 751-3353

한 머신시뮬레이션을 통해 CNC 공작기계와 피삭재 간의 간섭 및 충돌<sup>1</sup>을 사전에 규명하는 기술들이 병행되고 있다. 특히, 항공기 부품의 경우 중량 절감과 복합재의 사용으로 인해 부품의 두께가 얇게 설계되어 갈수록 복잡한 형상을 요구하고 있고, 제품의 초도 개발 시 공작물과 공작기계의 주요구성 부위인 주축, 기어박스, 회전테이블 및 공구홀더, 치공구, 피삭재 간의 간섭에 의한 제품 불량 및 공작기계의 주요 부위의 파손으로 10% 이상의 경제적 손실을 가져오고 있다. 이러한 가공 중 발생할 수 있는 간섭이나 충돌로부터 공작기계의 운용비용 최소화를 위한 가상공작기계의 머신시뮬레이션에 의한 시스템 보상 및 제어<sup>2</sup>하는 NC 데이터의 최적화 기술이 필요하다.

본 논문에서는 복합가공이 많은 항공기 부품의 5축 가공에서 간섭현상이 많이 발생하는 5축 수평형 공작기계인 T-35 장비의 머신시뮬레이션 환경 구축에 관한 것이다. 이를 위해 가상공간에서 공작기계의 형상 및 기능을 갖춘 가상공작기계를 생성하여, 공작기계를 구성하는 주요 구성요소에 대한 머신시뮬레이션을 통한 간섭체크 및 NC 데이터의 최적화를 수행하였다.

## 2. 가상공작기계의 머신 시뮬레이션의 개요

### 2.1 머신 시뮬레이션의 개요

가상의 공간에서 실제 가공조건과 동일한 환경 즉, 공작기계 및 콘트롤러, 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 있어야한다<sup>3</sup>.

Fig. 1은 머신시뮬레이션의 구성요소 및 적용에 관해 나타내었다. Fig. 1(a)의 가상공작기계는 공작기계 규격 전반에 관한 모듈인 베드, 칼럼, 스펀들, 테이블 등의 기본 구조 모듈과 공작기계의 움직임을 구성하는 모듈(NC Control, G-Code Data) 및 부가장치 모듈인 치공구, 피삭재, 절삭공구 등으로 구성되어진다. 기하학적 정보를 가지는 이들 공작기계의 구성형상들은 WCS(World Coordinate System)의 기준 좌표계에 의해 정의되고, 각각의 형상 OCS(Object Coordinate System)좌표계와의 상대적인 위치 관계로 표현되어 결합하게 된다. 완성된 가상

공작기계를 이용 가상공간에서의 Fig. 1(b)의 시뮬레이션과정을 통해 실제 가공 중에 발생할 수 있는 공구간섭 및 주축과 피삭재의 간섭이나 충돌현상 등의 다양한 불량 요인들을 사전에 검증 할 수 가 있어 Fig. 1(c)와 같이 최적의 NC 가공 데이터를 생산 현장에 투입 할 수 있게 된다.

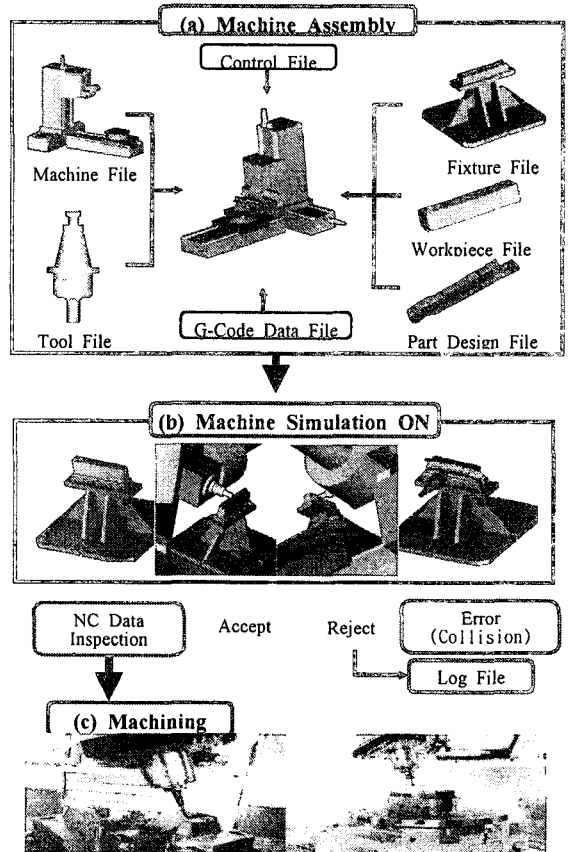


Fig. 1 Schematic of machine simulation

## 2.2 가상공작기계의 생성

### 2.2.1 T-35 수평형 공작기계의 특성

Fig. 2는 5축 수평형 타입인 T-35 머신을 나타낸 것이다. 이 공작기계는 0 ~ 360° 회전하는 회전테이블인 Fig. 2(a)의 B축과 주축에 부착되어 +30 ~ -120° 기울어지는 Fig. 2(b)의 A축이 존재한다. 제품가공 시 회전축과 다른 구성 요소들 간에 충돌 및 간섭 확률이 높고, 특히 회전축과 이송축이 동시에 움직이는 경우와 주축이 기울어질 때 주축의 기어 박스와 Z축 및 B축과의 간섭확률이 매우 높은 편

이다. 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, 동작기계를 구성하는 각 이송축들의 최대 이송영역 등의 사양을 나타내었다.

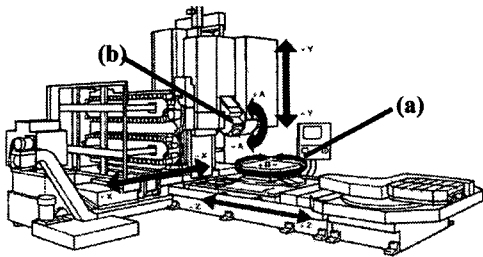


Fig. 2 T-35 5 axes horizontal machining center

Table 1 Specification of T-35 machining center

Product	Cincinnati Milacron(USA)	
Use	Stiffener, Hinge Fitting, Support, Frame	
Spec'	Number of simultaneous control axis : 5	
	Number of spindle : 1	
	Pallet size : 800 × 800 mm	
	Travel	Longitudinal(X-axis) : 60 in
		Transverse(Y-axis) : 60 in
		Vertical(Z-axis) : 62 in
		Spindle tilt(A-axis) : +30° ~ -120°
		Pallet rotation(B-axis) : 360°
	Spindle	Power:30 hp / Taper : ISO #50 /Speed : 20~40 rpm
		X/Y/Z-axis : 600 rpm
	Feedrates	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 동적모델 생성

가상공작기계의 구동을 위하여 기계의 동적모델 구성에 대한 정의와 각 축들의 동작을 수행하는 구성요소간의 관계에 대한 분석이 필요하다. 동작기계의 각 축은 선형동작 또는 회전동작으로 구성되며, T-35 5축 수평형 동작기계의 경우 수평형 타입의 주축에 틸팅되는 부가축이 존재하고, 선형 3축과 동작물이 회전하는 회전축으로 구성되어있다.

Fig. 3은 T-35 동작기계의 컴포넌트 트리로서

동작기계를 구성하는 모든 요소 대한 조합과 상호 운동 및 종속 관계를 나타낸 것이다. 이를 살펴보면 머신원점(Base)을 기준으로 이송축(Z), 회전축(B), 치공구, 피삭재, 부품형상모델의 순으로 위치하며, 또다른 구성요소들은 머신원점을 기준으로 이송축(X), 이송축(Y), 부가축(A), 주축(Spindle), 절삭공구의 순으로 구성되어진다.

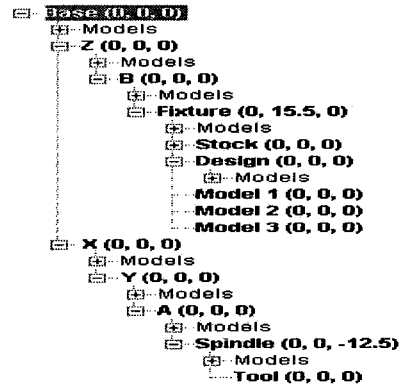


Fig. 3 Component tree of T-35 machine

### 2.2.3 형상모델 생성

T-35 수평형 동작기계의 형상 모델은 동작기계를 구성하는 요소들에 대한 형상 파라미터에 대한 입력 정보를 기반으로 이루어졌으며, 동작기계의 제원 및 파라메타<sup>4</sup>, 표준부품에 관한 데이터 등의 설계 지식을 이용하였다. 가상공간에서의 형상 모델을 위해 체적소거법(Swept volume)을 이용한 Z-map<sup>5-7</sup>방식의 Vericut<sup>8</sup> 소프트웨어를 이용하여 동작기계의 주요 구성요소의 조합 및 운동관계를 설정하였으며, 동작기계의 각 구성요소에 대한 모델링은 CATIA 프로그램을 사용하여 생성하였다.

Fig. 4는 가상공간에서 5축 수평형 동작기계를 생성하는 과정, Fig. 5는 가상공간에서 완성된 T-35 동작기계의 모습을 나타내었다. 제품형상 디자인 및 피삭재의 정보는 CATIA에서 디자인한 후 CATV 기능을 통해 STL 파일로 변환하였다. 절삭공구 및 공구홀더 정보는 CATIA를 이용하여 공구경로의 NC Set을 생성한 후 후처리과정을 거치면서 최종적으로 생성되는 APT 소스 파일을 사용하였다. 그리고 본 논문에서는 장비의 ATC(Auto Tool Change) 부분과 APC(Auto Pallet Change)부분, 장비 커버 부분은 머신시뮬레이션 시 충돌 및 간섭과는 상관관계가

없이 생략하였다. Fig. 6은 공작기계의 주요구성품인 주축을 포함한 A축(a), 회전축(b), 치공구(c)를 가상공간에서 표현한 모습을 나타낸 것이다.

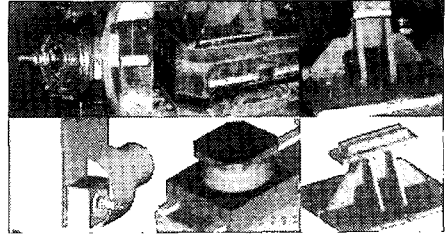


Fig. 6 Main parts of T-35 machine

### 3. 5축 수평형 공작기계의 간접 특성

#### 3.1 NC 데이터의 생성

Table 2는 수송기체인 항공기의 전방동체를 구성하는 프레임 부품 가공공정의 절삭조건을 나타내었다. 제품 외곽 및 포켓부위의 황삭공정은  $\varnothing 50$  엔드밀, 중삭 및 바닥(Web) 정삭공정은  $\varnothing 25$  엔드밀, 측면 정삭공정은  $\varnothing 12$  엔드밀, Tooling hole 공정은  $\varnothing 4.75$  리머, Pilot hole 공정은  $\varnothing 2.49$  드릴, 절단공정은  $\varnothing 18$  엔드밀로 가공하도록 NC 프로그램을 작성하였다. 피삭재의 재질은 알루미늄 합금강인 두랄루민(AMS3002-AL2024-T851)이며, 사용된 치공구는 수평형 타입의 5축 공작기계에서 최적의 가공 효율을 가질 수 있는 Riser block 및 Dove tail fixture를 이용하였다. Fig. 7은 CAM tool인 CATIA V4의 NC MILL을 나타낸 것으로 이를 사용하여 항공기 전방동체를 구성하는 프레임 부품의 공구경로 파일인 NC set을 작성하였다. NC set에서는 공구정보를 포함한 주축 회전수, 이송속도, 가공방법, 절입량, 공구의 접근 및 퇴각 방법, 공구 교환정보, 절삭유 토출 유무 등의 가공과 관련된 정보를 포함하고 있다. 완성된 NC Set은 전용 Post-process 프로그램인 Cinac6를 사용하여 최종 Out-put인 NC G-code 데이터 파일로 출력하였다.

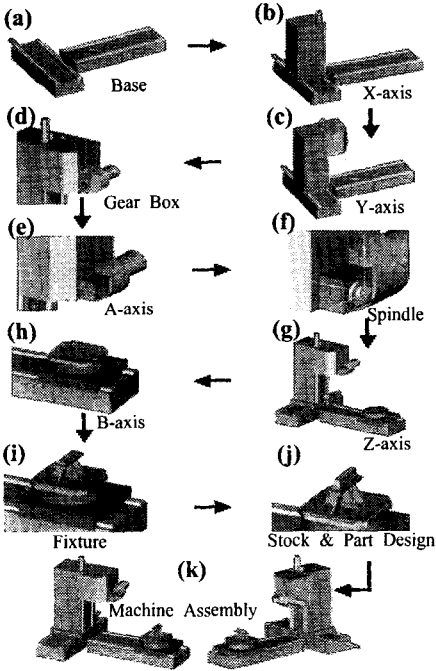


Fig. 4 A creation process of T-35 machine

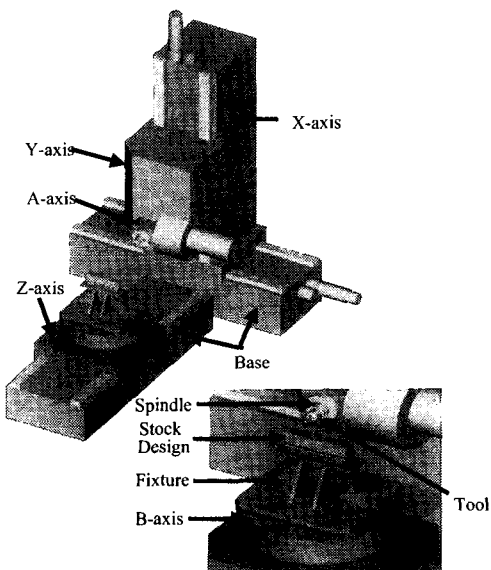


Fig. 5 Picture of completed T-35 machine

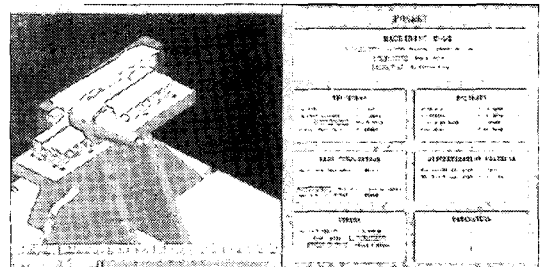


Fig. 7 CATIA V4 NC MILL

Table 2 Process and cutting conditions

Cutter	Spindle (rpm)	Feed rate (mm/min)	W.O.C (mm)	D.O.C (mm)	Processing
∅50 (Endmill)	1600	600	40	12	flange top pocket rough
∅25 (Endmill)	1800	700	18	10	pocket rough web finish
∅12 (Endmill)	2100	700	1	15	wall finish
∅2.0 (Drill)	2800	300	2	-	center drilling
∅2.49 (Drill)	2800	200	2.49	-	drilling
∅4.0 (Drill)	2500	200	4	-	drilling
∅4.5 (Boring)	800	150	.25	-	boring
∅4.75 (Reamer)	450	150	.125	-	hole reaming
∅18 (Endmill)	1700	600	18	7	part trim

### 3.2 간섭 및 Travel Limits 설정

머신 시뮬레이션에서 가장 중요한 항목은 공작 기계를 구성하는 요소와 피삭재 간의 상호 간섭 및 충돌에 대한 규명이다.

Fig. 8은 공작기계의 주요 구성 요소들 간에 간섭 영역을 설정하는 화면이다. 이 화면에서 장비를 구성하는 각 구성요소 간에 간섭영역 값을 설정하여 실제 머신 시뮬레이션 적용 시 설정 영역 안으로 구성요소간의 간섭 발생시 시뮬레이션이 멈추고 에러 메시지를 발생시키며, 간섭에 대한 정보는 로그 파일로 저장되어 NC 프로그래머가 이를 확인하여 NC 데이터를 수정할 수 있다.

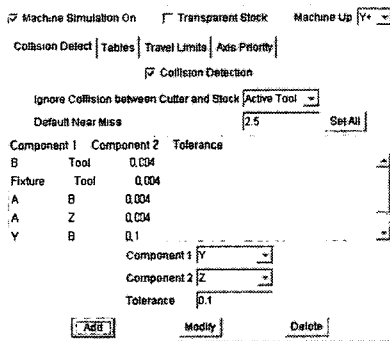


Fig. 8 Check of machine interference

Fig. 9는 가상공간에서 시뮬레이션 시 머신의 이송 한계 영역을 설정하는 화면이다. 실제 T-35 머신의 한계 영역 값과 동일하도록 B축(0~360°), A축(-120~30°), X(-30~+30in.), Y축(0~60in.), Z축(0~62in.)의 값을 입력하였으며, 만약 시뮬레이션 도중 설정한 한계 영역 값을 벗어날 경우 에러 메시지를 발생시키며 시뮬레이션이 멈추게 된다.

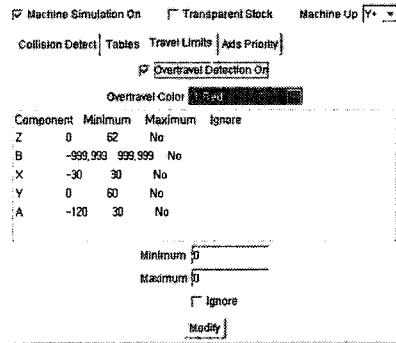


Fig. 9 Check of machine travel limits

### 3.3 머신의 시뮬레이션 실행

머신시뮬레이션의 실행을 위해선 가상공작기계 뿐만 아니라 NC 코드 데이터, 머신 컨트롤러, 공구 및 홀더 등에 대한 정보가 필요하다. 시뮬레이션 도중 공구홀더의 간섭 및 기타 장비의 구성요소들에 대한 간섭의 발생시 시뮬레이션이 멈추도록 되어있으며, 간섭부위에 대한 정보는 색상(Red color)이나, 정보파일(Log file)로 표시되므로 사용자는 이를 분석하여 해당 부위의 NC 데이터를 수정하면 된다. Fig. 10은 T-35 공작기계의 가상 공간에서의 머신 시뮬레이션을 구현한 화면을 나타내었다.

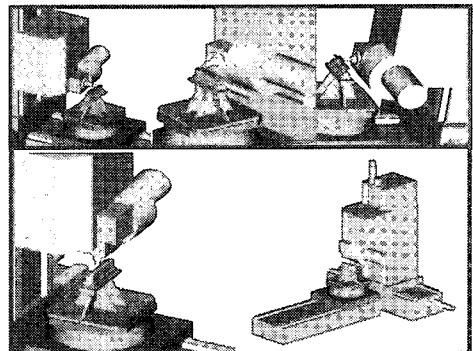


Fig. 10 Practice image of machine simulation

### 3.4 5축 수평형 공작기계의 간섭현상 검증

항공기 프레임의 5축 가공을 위해 제작된 NC 데이터의 최적화를 위해 머신시뮬레이션 과정을 수행하였다.

Fig. 11 (a)는 주축의 기어박스부위와 회전축과의 간섭이 발생한 모습, (b)는 간섭정보가 들어있는 로그파일을 나타낸 것이다. 스핀들이 부착된 A축이 +30°로 틸팅될때 상대적으로 주축을 구성하는 기어박스 부위는 아래쪽으로 내려오게 되며, 이때 주축을 구성하는 기어박스부위와 회전축인 B축과의 간섭이 발생한 것으로 사료된다.

Fig. 12 (a)는 공구홀더와 회전축과의 간섭이 발생한 모습이며, (b)는 간섭정보가 들어있는 로그파일을 나타낸 것이다. 공구가 B0° ~B90° 위치로 이동시 실제가공에서는 주축이 아닌 회전축이 움직이게 되는데 이때 공구홀더와 회전축인 B축과의 간섭이 발생하였다.

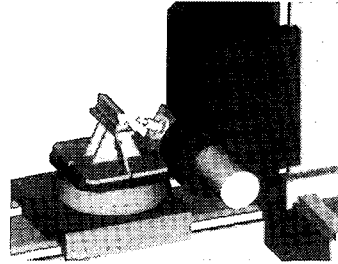
Fig. 13 (a)는 공구홀더와 치공구와의 간섭이 발생한 모습이며, (b)는 간섭정보가 들어있는 로그파일을 나타낸 것이다. 주축이 B180° ~ B270° 위치로 이동시 제품 가공 영역 안에 공구홀더가 위치하여 B축의 회전 시 공구홀더와 치공구와의 간섭이 발생하였다.

Fig. 14 (a)는 공구홀더와 피삭재와의 간섭이 발생한 모습이며, (b)는 간섭정보가 들어있는 로그파일을 나타낸 것이다. 주축이 A-42°로 틸팅되어 가공 시 공구홀더부위와 피삭재와의 간섭이 발생하였다.

Fig. 15 (a)와 (b)는 가상공간과 실 가공에서의 공작기계가 구동하는 모습을 나타낸 화면이며, 그림에서와 같이 가상공간에서의 시뮬레이션과 실 가공에서의 공작기계의 가공모습이 일치함을 확인하였다.

Fig. 16은 머신시뮬레이션의 검증과정을 통해 최적화된 NC 데이터를 사용하여 제작된 프레임 부품을 나타내었다.

이와 같이 항공기 프레임 가공을 위한 가상공작기계의 머신시뮬레이션을 검증과정을 수행하여 발생한 간섭현상을 수정함으로써 최적화된 NC 데이터를 생성할 수 있었다.



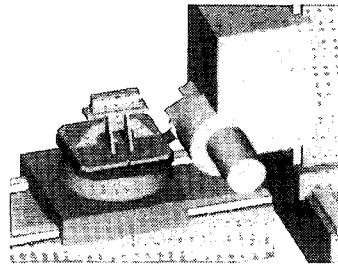
(a)

\*\*\*\*\* TOOLPATH ERROR REPORT \*\*\*\*\*

Error for line 146  
N199X0,Z12.5F500,  
Error: "Y" collided with "B" at block: (146) N199X0,Z12.5F500.

(b)

Fig. 11 Gear box and interference of axis of rotation



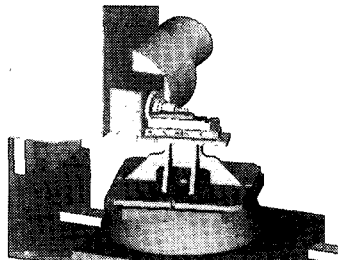
(a)

\*\*\*\*\* TOOLPATH ERROR REPORT \*\*\*\*\*

Error for line 151  
N204G1G94X-3.5Z92Y8,4109Z16,2927F500,  
Error: "Tool HOLDER" collided with "B" at block: (151) N204G1G94X-3.5Z9

(b)

Fig. 12 Tool holder and interference of axis of rotation

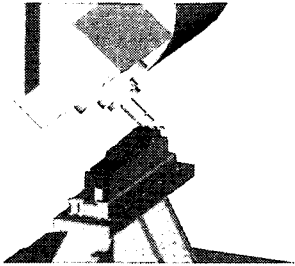


(a)

\*\*\*\*\* TOOLPATH ERROR REPORT \*\*\*\*\*  
 Error for line 568  
 N621X-0.9799Y20, 1475Z5, 8405A0, 0476Z55, 432F1, 306  
 Error, HOLDER 1 removed 6,9870 units of material at record 568  
 Current Tool: Seq# 3, Record# 525, Record: :578G0G94G70F500, T1M6

(b)

Fig. 13 Tool holder and interference of tool

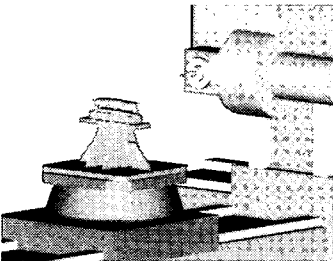


(a)

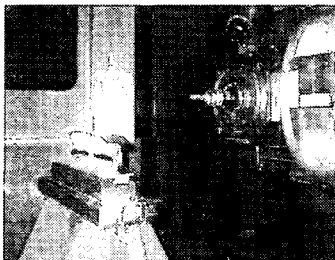
\*\*\*\*\* TOOLPATH ERROR REPORT \*\*\*\*\*  
 Error for line 1056  
 N1109X-6, 3704Y31, 5392F20,  
 Error, HOLDER 1 removed 0,0169 units of material at record 1056  
 Current Tool: Seq# 4, Record# 1039, Record: :1092G0G94G70F500, T3M6

(b)

Fig. 14 Tool holder and interference of workpiece



(a) The virtual machining



(b) The actual machining

Fig. 15 Image of virtual machining and actual machining

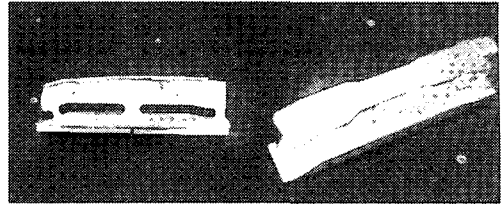


Fig. 16 An aircraft frame of machining completed

#### 4. 결론

본 논문에서는 자동차 및 항공기 등의 수송기기의 경량화를 위해 많이 사용되며 피로파괴에 대한 저항성이 우수하고 인장강도가 높은 AI2024 비열처리 합금강을 적용한 항공기부품 프레임의 5축 가공 시 발생할 수 있는 공작기계의 주요 구성요소와 공작물간의 간섭 및 충돌에 대한 머신시뮬레이션 등을 통해 NC 데이터의 최적화를 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) T-35 공작기계에 대한 머신시뮬레이션 환경을 구축하였다.
- (2) 쾌삭강인 AI2024 합금강 프레임 부품에 대한 5축 가공 시뮬레이션을 적용하여, 장비간섭 및 충돌에 대한 사전 규명을 통해 NC 데이터의 최적화를 수행하였다.
- (3) 특히, 다축가공을 많이 하고 있는 항공기 부품에 있어 5축 가공 중 발생할 수 있는 간섭이나 충돌로부터 공작기계를 안전하게 보호하여 장비의 수명 연장 및 운용비용 최소화 등의 많은 경제적 효과가 기대된다.

#### 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. Yun, W.S., Ko, J.H. and Cho, D.W., "Development of a Virtual Machine Tool - Part I (Cutting Force Model, Machined Surface Error Model and Feed Rate Scheduling Model)," J. of KSPE, Vol. 18, No. 11, pp. 74-79, 2001.
3. Suk, H.S., Seo, Y.H., Lee, S.M., Choi, T.H., Chung,

- G.S., Kim, D.Y., "Modeling and implementation of internet-based virtual machine tools," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 20, pp. 1-7, 2003.
4. Cincinnati Milacron., "T-35 5axis horizontal machining center," 의 다수 공작기계 제조회사의 카탈로그.
  5. 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.
  6. 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.
  7. 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.
  8. <http://www.vericut.com>.