

금형 곡면 가공을 위한 AC타입 5축 가공기의 포스트프로세싱 및 머신 시뮬레이션에 관한 연구

윤일우*, 황종대**, 고대철***, #

*한국폴리텍대학 광주캠퍼스 기계시스템과, **한국폴리텍대학 부산캠퍼스 기계시스템과

***부산대학교 융합학부

A Study on Post-Processing and Machine Simulation of AC Type 5-Axis Machine Tool for Machining of Mold Surface

Il-Woo Yun*, Jong-Dae Hwang**, Dae-Cheol Ko***, #

*Department of Mechanical System, Gwangju Campus of Korea Polytechnics

**Department of Mechanical System, Busan Campus of Korea Polytechnics

***Graduate School of Convergence Science, Pusan National University

(Received 10 August 2021; received in revised form 03 September 2021; accepted 08 September 2021)

ABSTRACT

In this study, a machine simulation system was built using the actual scale of an AC-type 5-axis machine tool for mold surface machining that can be used in applications, such as, modeling and machine building, stroke, and collision detection. The validity of the 5-axis machine simulation system was verified by performing tool path generation, post-processing, machine simulation, prototype motion simulation, and an actual cutting experiment. This entire process was intended to activate the 5-axis machining in mold surface machining.

Keywords : 5-Axis Machining(5축 가공), Post-Processing(후처리), Machine Simulation(머신 시뮬레이션), Machine Building(머신 빌딩)

1. 서 론

최근 자동차, 가전제품의 외관을 제작하기 위한 금형 개발에서 금형 곡면의 효과적인 가공 방법으로 5축 가공 기술이 대두되고 있다. 기존 금형 가공 분야에서의 5축 가공 기술 적용은

3축 가공에서 가공할 수 없는 언더 컷(Under cut)형상이나 수직 혹은 수평으로만 운동하는 프레스, 사출 성형기에서 각도 성형을 가능하게 하는 부품인 캠(Cam), 슬라이드 유닛(Slide unit) 및 이에 대응하는 구조부에 부분적으로 적용되었다. 이 또한 회전축 동시제어 5축 가공보다는 공구 축을 일정한 각도로 회전시키고 고정하여 가공하는 회전축 고정 제어 5축 가공이 주를 이루었다. 금형 가공에서 5축 가공의 적용이 제한적이다 보니 깊은 형상의 캐

Corresponding Author : dcko@pusan.ac.kr

Tel: +82-51-510-3697, Fax: +82-51-514-3690

비티(Cavity) 가공의 경우 공구의 길이를 형상 간섭이 생기지 않을 만큼 길게 세팅해야 하므로 공구의 떨림, 휨 등의 발생으로 표면 조도가 나빠지고 이에 따른 미가공 발생으로 가공 이후 사상 공수 증대 및 품질 확보에 많은 시간 및 비용이 발생하는 어려움이 있었다. 이는 최근 금형 산업의 무한 경쟁 분위기 속에서 기업의 경쟁력을 떨어뜨리는 요소로 작용하고 있어 금형 제작 기업들은 원가 경쟁력을 갖추기 위한 설계, 가공, 조립, 사상 각 분야에서 다양한 신기술 적용 및 작업 방식의 끊임없는 변화와 개선 활동이 필요하다. 금형 가공 분야에서의 5축 가공 적용 확대 또한 경쟁력 강화를 위한 중요한 요소임이 틀림없다. 5축 가공에 있어 가장 중요한 요소 중 하나로 충돌, 간섭, 미/과절삭이 없는 안전하고 정밀한 가공을 들 수 있다. 오랜 가공 경력 자라 할지라도 5축 가공의 안전성 여부를 경험으로 판단하는 것은 대단히 위험하다. 따라서 위험 요소를 사전에 인지하고 NC 데이터의 적합 여부 검증이 필요한데 이를 위한 가장 효과적인 방법이 실제 동작 기계와 동일한 기계(Machine)를 3D로 구현하고 동작을 검증하는 머신 시뮬레이션이라 할 수 있다^[1-3].

본 연구에서는 금형 곡면 5축 가공을 위해 채택한 AC타입 5축 가공기와 같은 형상, 크기, 스트로크를 적용한 머신 컨피규레이션을 구현하고 시스템의 타당성을 검증하기 위하여 공구경로 생성, 포스트 프로세싱, 머신 시뮬레이션, 프로토타입 구동 시뮬레이션, 실제 NC 가공 및 치수 정밀도를 확인하는 과정을 수행하였으며, 본 연구 결과를 바탕으로 금형 가공 분야에서 5축 가공 기술의 적용과 확장성을 도모하고자 한다.

2. AC타입 5축 가공기의 머신 시뮬레이션

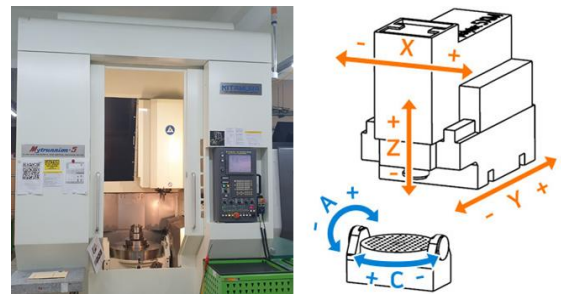
2.1 머신 시뮬레이션

머신 시뮬레이션이란 실제 가공할 NC 동작기계의 핵심 구성요소인 직선 이송축, 회전 이송축, 컨트롤러 및 이송 스트로크에서 외곽 프레임, 테이블, 고정지그, 공작물, 홀더, 공구까지 실제 기계와 동일한 환경으로 3D Machine을 가상 공간에 구성하고 NC 데이터에 의한 기계 구동을 컴퓨터상에서 검증함으로써 가공 도중 일어날 수 있는 문제를 사전에 개선하

는 일련의 작업을 의미한다. 머신 시뮬레이션은 단순히 기계에 대한 3D 형상 구현만이 아닌 실제 기계의 동작을 표현해야 하는 어려움이 있다.

2.3 AC타입 5축 가공기의 동작 정의

연구에 사용한 AC타입 5축 가공기는 Kitamura Mytrunion-5로 기본적으로 X, Y, Z 3축에 X축을 중심으로 회전하는 틸팅(A)축, Z축을 중심으로 무한각도(로테이트각, θ_r) 회전하는 로테이션(C)축으로 구성된 머시닝 센터이며 틸트각의 범위는 $-120^\circ \leq \theta_t \leq 30^\circ$ 이다. Fig. 1의 (a)는 본 연구에 사용된 Kitamura Mytrunion-5 머시닝센터이며, (b)는 본 기계의 3축 및 5축 가공 및 회전축을 정의한 개략도이다^[4]. Table 1은 머신 시뮬레이션을 위한 장비의 세부 사양을 보여준다.



(a) Kitamura Mytrunion-5 (b) Machining axes definition
Fig. 1 5-axis Machining center and Definition of machining axes

Table 1 Specifications of machining center

| Description | Unit | Specification |
|------------------------|-------|---------------------|
| Manufacturer | - | Kitamura-Mytrunion5 |
| Travel Stroke(X/Y/Z) | mm | 815×745×500 |
| Rapid Feed Rate(X/Y/Z) | m/min | 50×50×25 |
| Working Surface | mm | φ630 |
| Spindle | rpm | 20 ~ 20,000 |
| Spindle Taper | - | NST-40 |
| A-axis Tilting Angle | deg | -120 ~ +30 |
| C-axis Rotation Angle | deg | 360 |
| NC Controller | - | FANUC 16i-MB |

2.3 AC타입 5축 가공기의 모델 구현

현품 동작기계의 측정을 통해 각 구성요소를 모델링하고 Stl 파일 형태로 시뮬레이션 S/W인 Vericut에 입력하였으며 동작기계 요소의 조합 및 운동 관계를 설정하는 머신 빌딩(machine building)을 수행하였다.

Fig. 2는 AC타입 5축 가공기인 Mytrunnion-5에 대한 머신 빌딩 생성 과정을 보여주며, Fig. 3은 장비의 주요 구성요소를 나타내는 컴포넌트 트리로서 (a)는 머신 원점(Base)을 기준으로 직선 이송축(X, Y, Z) 및 주축(spindle)의 구성을 (b)는 머신 원점을 기준으로 한 회전 이송축(A, C)의 구성을 보여준다.

Fig. 4는 생성한 모델을 장비 규격에 맞추어 설정한 이송 스트로크 리미트, Fig. 5는 테스트에 사용한 공구 설정 결과를 보여준다. 5축 가공에서는 3축 가공과 달리 공구 회전 이동 중 홀더 부위에서의 공구 간섭 및 충돌이 발생할 수 있어서 이를 방지하기 위해 실제 홀더 규격과 일치하는 정확한 툴링 생성이 중요하다. 이후 장비 구동 간 주요 컴포넌트의 상호 충돌 확인을 통해 반자동 모드로 각 이송축을 구동 및 제어하면서 기구학적 컨피규레이션과 머신 빌딩의 정확도를 검증하였다.

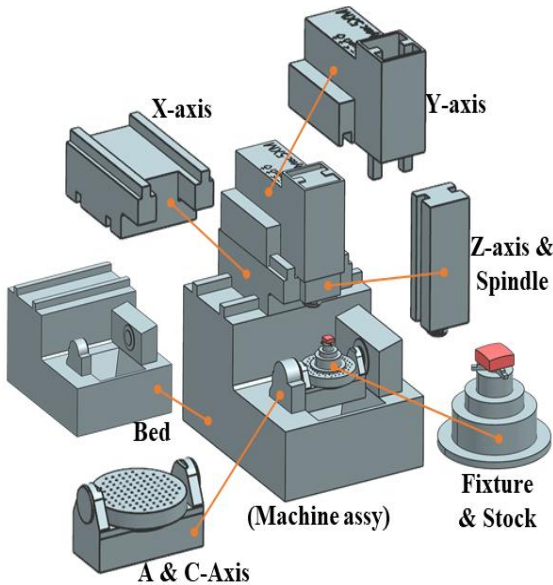
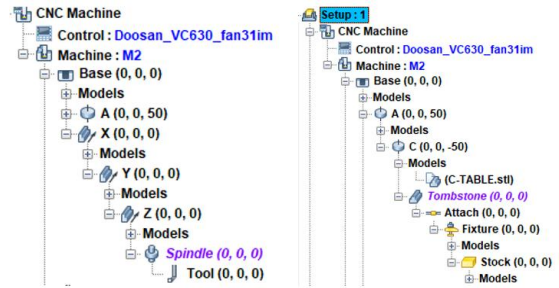


Fig. 2 Modeling and machine building of AC type 5-axis machine



(a) Linear component tree (b) Rotary component tree
Fig. 3 Kinematic configuration according to a component tree

| Group | Component | Minimum | Maximum | Compon... | Minimum (...) | Maximum (...) | Ignore |
|-------|-----------|--------------|------------|-----------|---------------|---------------|--------------------------|
| | 0 A | -110.0000 | 29.0000 | Off | 0.0000 | 0.0000 | <input type="checkbox"/> |
| | 0 C | -99999.00... | 99999.0000 | Off | 0.0000 | 0.0000 | <input type="checkbox"/> |
| | 0 X | -407.5000 | 407.5000 | Off | 0.0000 | 0.0000 | <input type="checkbox"/> |
| | 0 Y | -390.0000 | 355.0000 | Off | 0.0000 | 0.0000 | <input type="checkbox"/> |
| | 0 Z | 0.0000 | 500.0000 | Off | 0.0000 | 0.0000 | <input type="checkbox"/> |

Fig. 4 Kinematic configuration according to stroke limit

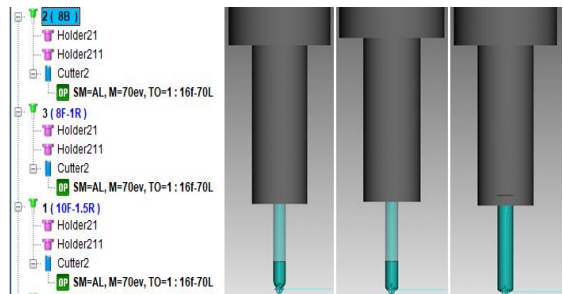


Fig. 5 Tooling system configuration

3. 공구경로 생성 및 머신 시뮬레이션

3.1 실험조건 및 공구경로 생성

구현한 머신 시뮬레이션 시스템의 검증을 위하여 금형 곡면을 시편으로 제작하여 공구경로 생성을 수행하였다. 금형가공에서 5축 가공 적용 확대를 위해 다양한 가공패턴(cutting pattern)을 생성하여

시뮬레이션에 대한 안전성 검증 및 공구의 형상, 패턴 변화에 따른 가공 품질을 비교하고자 하였다. Fig. 6은 테스트피스의 형상으로 재질은 금형의 펀치, 다이에 주로 사용하는 SM45C이다. Fig. 6의 시편 바닥면 ①은 단동척에 소재를 고정시키기 위한 클램핑 부위이고 시편 바닥면 ②는 인디케이터를 이용하여 피삭재를 C축 테이블 중심과 센터링 하기 위한 기준면으로 활용하였다. 일반 바이스 사용시 클램핑 부위에 대한 1회 셋팅에서의 완가공이 어려우나 단동척을 사용함으로써 소재의 외곽 전부위에 대한 가공이 가능하므로 다양한 공구 회전 모션에 대한 절삭 및 검증이 용이하다. 시편 상부는 100×100×40 크기로 냉장고 도어에 많이 사용하는 자유 곡면을 0.5mm 가공여유를 남기고 제작하였다.

Fig. 7은 바닥면을 가공하여 척에 고정된 후 인디케이터를 이용한 센터링 작업을 보여준다. Table 2는 5축 가공 검증에 사용한 절삭 조건을, Fig. 8은 검증에 사용한 5축 오퍼레이션에 대한 공구 경로 및 자세를 보여준다. 생성한 공구경로를 바탕으로 CAD/CAM 솔루션인 NX(Unigraphics) 프로그램을 이용하여 X, Y, Z, i, j, k 6단위의 위치 및 자세 벡터로 구성된 CL(Cutting Location)데이터를 생성하였다.

Table 2 Cutting condition

| Factor | Condition | | |
|-----------------|-----------------|--------|--------|
| Tool | φ8Ball / D8R1.0 | | |
| Milling Mode | Down cutting | | |
| Cutting Pattern | one-way | spiral | zigzag |
| Tool Angle | 0-30° | | |

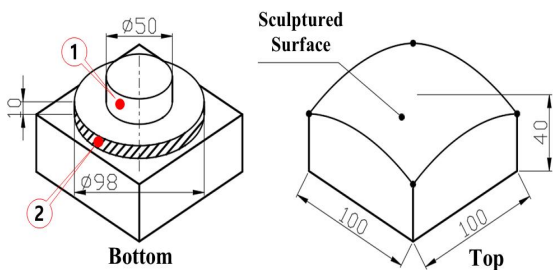


Fig. 6 Geometry of test specimen (mm)

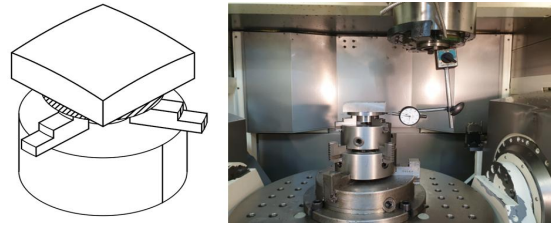


Fig. 7 Work coordinate system setting using indicator

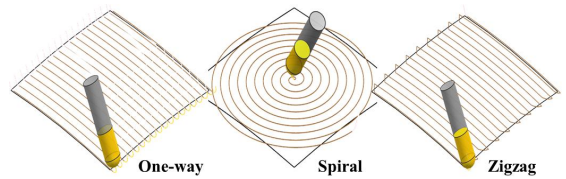


Fig. 8 Tool posture & Cut pattern in 5-axis machining

3.2 포스트프로세싱

본 연구진이 개발한 5축 가공용 포스트프로세서를^[5-7] 금형 가공에 적용하기 위하여 학술 연구용 포스트프로세싱 지원 프로그램인 M-POST (Mold-Post process)를 구현하였으며 Fig. 9는 구현한 포스트프로세서의 구동 장면을 보여준다. Fig. 9의 ①과 같이 Data Input 버튼을 클릭하여 CL 데이터를 입력하면 ②와 같이 Input Data 윈도우에 업로드 되고 ③이나 ④ 버튼을 클릭하면 ⑤와 같이 Output Data 윈도우에 변환된 NC 데이터가 출력되며 파일로 저장할 수 있다. 이를 통하여 주어진 CL 데이터의 위치벡터 및 자세 벡터를 NC 데이터의 직선, 회전축 값으로 변환할 수 있다. Fig. 9의 ③은 공구선단점(RTCP: Rotation Tool Center Position)제어 코드인 G43.4를 사용할 수 있는 컨트롤러의 경우 적용하며 ④는 공구선단점 제어가 불가능한 컨트롤러에 적용할 수 있다.

본 연구에서는 실제 절삭 실험에 사용한 5축 가공기의 규격에 맞추어 Fanuc 16i 컨트롤러에서 제어 가능한 G43.4 코드를 적용하여 NC 데이터를 출력하였다. 공구 선단점 제어를 사용하지 않는 경우 Fig. 10의 (a)와 같이 ①에서 ②위치까지 ③과 같은 경로로 프로그램에서 지령하면 직선이송 동작(④)과 회전이송 동작(⑤)이 동기화되지 않고 각각 따로 실행되므로 ⑤와 같이 과절삭이 발생한다. 반면 공구선

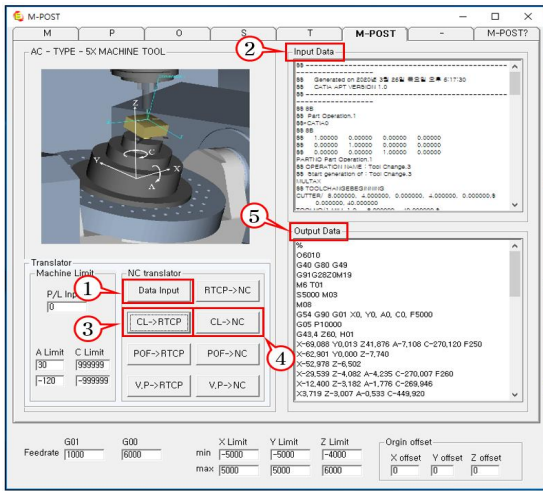
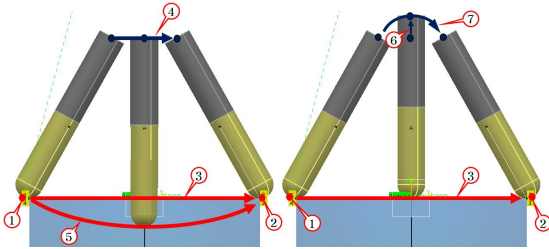


Fig. 9 Implementation of post-processor for 5-axis machining of molds



(a) RTCP OFF (b) RTCP ON

Fig. 10 Rotation Tool Center Position^[5,7]

단점제어를 하는 경우 Fig 10의 (b)와 같이 ③의 경로로 지령하면 직선이송과 회전이송의 미스매치를 줄이기 위해 ⑥과 같이 직선이송을 보정해주고 ⑦과 같이 제어점의 동작을 곡선으로 만들며 결국 공구선단점에서는 원하는 직선경로인 ③을 가능하게 한다^[4].

3.4 머신 시뮬레이션 및 프로토타입 구동 시뮬레이션

개발한 머신 시뮬레이션 시스템의 검증은 위하여 가상 기계에 의한 머신 시뮬레이션과 프로토타입에 의한 구동 시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 11은 금형곡면에 대한 머신 시뮬레이션을 보여주는 것으로서 공구홀더와 공작물, 기구부간의 간섭을 검증하였다. 검증 과정에서 기구부 간섭이나 충돌이 발생하면 시뮬

레이션상의 색상 변화로 충돌을 표시하며 문제부에 대한 NC 오퍼레이션을 수정하여 시뮬레이션을 반복하게 된다. Fig. 12는 축소 제작한 AC 타입 5축 가공기의 프로토타입 모델로서 검증된 구조 타당성을 바탕으로 실제 장비 모델에서 축소 스케일을 적용하여 3D 프린터로 제작 및 조립하고, 각 축에 대한 직선이송과 회전이송 등 구동 시뮬레이션을 수행하였다.

3.5 절삭가공 실험

Fig. 13은 머신 시뮬레이션 결과를 바탕으로 실제 5축 가공기에서 절삭가공 실험을 수행하는 장면으로 시뮬레이션 결과와 동일하게 간섭이나 충돌 없이 안전하고 정밀한 가공을 검증하였고, 테스트 가공이 완료된 시편에 대한 3차원 측정 검사를 통해 3축 및 5축 가공 시편에 대한 치수 정밀도를 확인 하였다. 측정부위는 곡률 중앙부와 곡률의 변화가 심한 외곽 4개 포인트를 기준으로 측정하였다. 측정 결과 중앙부에서의 측정은 3축, 5축 가공 시편 모두 3D 모델 데이터 대비 0.005~0.01 내의 안정된 치수 값을 보였으며, 곡률의 변화가 심한 외곽에 대한 측정값도 0.025~0.03 내의 값이 측정되어 치수 정밀도상에 문제는 없는 것으로 확인하였다. Fig. 14는 3차원 측정 위치와 측정 시스템을 보여준다.

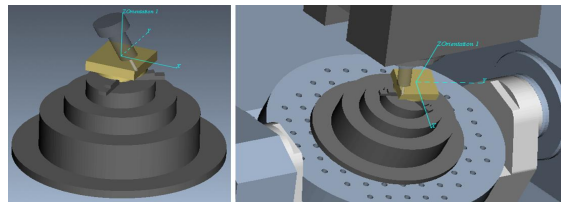


Fig. 11 Cutting simulation for verifying of machine simulation system

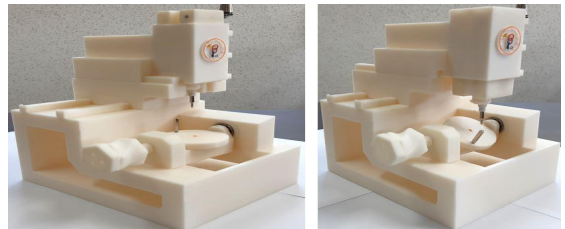


Fig. 12 Motion simulation of prototype for verifying of machine simulation system

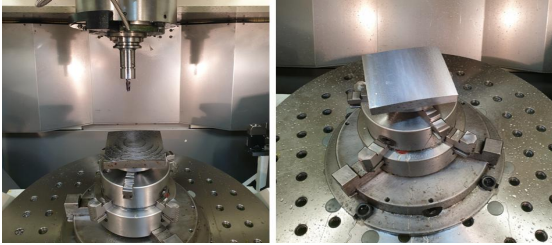


Fig. 13 Real cutting experiment for verifying of machine simulation system

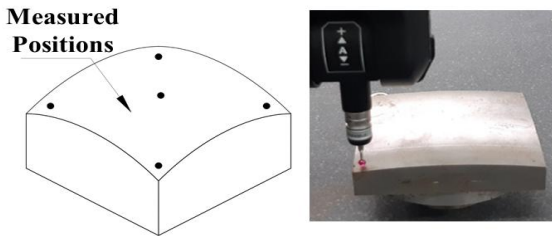


Fig. 14 Measured positions and measuring system

4. 결론

본 연구에서는 금형 곡면 가공을 위한 5축 가공기의 실 척을 통한 3D 구현과 머신 빌딩, 기구학적 연관성과 스트로크, 충돌감지 등 머신 시뮬레이션 시스템을 구축하였으며, 구축한 시스템의 검증을 위하여 금형 곡면 가공을 위한 공구경로 생성, AC 타입 5축 가공기의 포스트프로세싱, 가상의 머신 시뮬레이션과 프로토타입 구동 시뮬레이션 및 실제 절삭 실험을 수행한 결과 아래의 결론을 도출하였다.

1. AC타입 5축 가공기인 kitamura Mytrumion-5에 대한 효과적인 머신 시뮬레이션 환경을 구축하였으며 유사한 메커니즘의 5축 가공기에 대한 확대 적용을 가능하게 하였다.
2. 현장에서 5축을 운용하는 데 어려운 요소 중 하나인 5축 가공기에 대한 포스트프로세싱과 머신 시뮬레이션을 제시하였고 다양한 검증을 통하여 5축 가공의 안정성과 예측 가능성을 확보함으로써 금형 형상 가공에서 3축 가공 환경을 5축 가공 분야로 확대하였다. 이를 통하여 금형 곡면의 가공 품질 및 생산성 향상을 기대할 수 있다.

3. 실제 검증된 머신 빌더를 바탕으로 축소된 공작기계 프로토타입을 구현하고 구동 시뮬레이션을 수행함으로써 AC타입 5축 가공기 구조에 대한 이해와 추후 다양한 메커니즘에 관한 추가 연구 가능성을 확보하였다.

REFERENCES

1. Lee, I. S., Kim, H. J., and Kim, N. K., "A Study on the Application of Machine Simulation and Angle Milling Head of a 6-Axis Parallel Kinematic Machine," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 5, pp. 47-54, 2017.
2. Kim, H. J., Lee, I. S., and Kim, N. K., "Interference Check and NC Data Optimization through Machine Simulation in 5 Axis Machining of a Vehicle Parts of Aluminum Alloy," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 21, No. 12, pp. 52-59, 2004.
3. Kim, H. J., Jang, J. H., and Kim, N. K., "A Study on Interference Phenomenon of a Machine Tool When 5 Axis Working with Virtual Machine Tool," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 4, No. 2, pp. 16-23, 2005.
4. Yun, I. W. and Hwang, J. D., "NX(UG) CAD /CAM 5-axis Machining Technology," KWANGMOONKAG Inc., pp. 314-15, 2020.
5. Cho, E. J., Hwang, J. D., Jung, Y. G., "Study on the Development of Post-Processor for 5-Axis NC Machining," J. of Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol. 15, No. 3. pp. 53-58, 2006.
6. Jung, H. C., Hwang, J. D., Park K. B., Jung, Y. G., "Development of a Practical Postprocessor for 5-axis Machine Tool with Non-orthogonal Rotary Axes," Journal of Central South University of Technology, Vol. 18, No. 1. pp. 159-164, 2011.
7. Hwang, J. D and Yun, I. W., "CATIA CAM 5-axis Machining Technology," KWANGMOONKAG Inc., pp. 29-30, 2020.