

## 5 축 가공을 이용한 쾌속조형 시스템의 개발

정태성\*(한국과학기술원 기계공학과 대학원), 양민양(한국과학기술원 기계공학과)

A study on the development of rapid prototyping system using 5 axis machining

T. S. Jung(Mechanical Eng. Dept. KAIST), M. Y. Yang(Mechanical Eng. Dept., KAIST)

### ABSTRACT

In order to reduce the lead-time and cost, many useful methods have been applied to Rapid Prototyping (RP) in recent years. But cutting process is still considered as one of the effective RP methods that have been developed and currently available in the industry. It also offers practical advantages such as precision and versatility. However, traditional 3 axis NC machining has some inherent limitations such as the restriction of tool accessibility and the complex setup.

In this work, a new rapid prototyping system with high speed 5 axis machining has been developed to overcome those limitations. The architecture of developed system is described in detail and the successful application examples are presented.

**Key Words :** Rapid prototyping (RP, 쾌속조형), 5 axis machining (5 축 가공), Rapid prototyping system (쾌속조형기)

### 1. 서론

오늘날 소비자들의 다양한 제품에 대한 욕구가 증가하고, 국내외 시장에서의 경쟁이 치열해짐에 따라 산업분야 전반에서 제품의 수명은 점차 짧아지고 다양화되고 있다. 이에 따라 제품의 개발기간 단축과 비용 절감이 중요한 문제로 대두 되었으며, 제품 설계 및 개발의 동시 공학적 추구와 시작 및 금형 제작 방법의 기술 혁신이 기업 경쟁력 향상을 위한 필수적 요소가 되었다.<sup>[1]</sup>

이러한 변화된 시장의 요구를 만족시킬 수 있는 새로운 방식의 시작품 제작기법으로 적층 조형법 (Layered Manufacturing)에 바탕을 둔 쾌속조형기술이 1987년 미국의 3D System 사에서 처음으로 개발된 이후 20여 가지 이상의 공정이 상용화되었다. 일반적인 쾌속 조형법은 3 차원 형상을 2 차원의 얇은 판의 접합으로 변환하여 순차적으로 한 층씩 적층해 나가는 공정인 적층 조형법에 기반을 두고 있으며, 이와 같은 공정으로 복잡한 형상의 제품도 쉽게 제작할 수 있는 장점이 있으나, 형상 제작의 정밀도, 조형시간과 표면조도, 조형소재의 제한, 고가의 장비와 유지비 등의 문제도 함께 안고 있어 근래에 들어 고정밀, 기능성 시작품의 요구가 늘어남

에 따라 절삭공정을 기반으로 한 쾌속 조형 장치의 개발 및 기존 쾌속 조형 공정과의 복합 공정 개발의 중요도가 점차 커지고 있다.

절삭 가공은 전통적으로 시작품 제작에 가장 많이 사용되어 오던 조형방법으로 고정밀도의 시작품을 빠른 시간에 제작할 수 있는 대표적인 공정이다. 또한, CNC 가공은 제작 소재의 제한이 거의 없어 양산제품과 동일한 품질의 시작품을 제작할 수 있다. 특히, 제품의 내부에 공간 (Cavity)이 없는 경우에는 다른 쾌속 조형 기술들에 비해 시간 및 비용 측면에서 경쟁력이 크다. 게다가, 근래에 들어서는 고속가공 기술의 도입으로 생산비용 절감, 생산시간 단축은 물론 고정밀도의 가공이 가능하게 되었다.

그러나 일반적인 3 축 가공은 공구 접근성 (Tool accessibility)으로 인하여 제작할 수 있는 형상에 제한이 많아 오늘날 시작품 제작에서 요구되는 제작 형상의 복잡성을 따르지 못하고 있으며, 가공 중에 여러 번의 세팅 (Setup)과 다양한 고정구 (Fixture)을 필요로 하는 경우가 빈번히 발생되어 시작품 제작 속도 및 정밀도가 저하되는 문제점을 안고 있다. 또한, CNC 가공은 지지대의 설계, 가공 조건의 선정, 공구경로 생성 등 공정계획에 많은 경험을 필

요로 하기 때문에 기존의 폐속 조형 공정에 비하여 사용이 제한적이다. 뿐만 아니라, 사용되고 있는 장비의 측면에서도 폐속 조형 공정에 주로 사용되는 플라스틱(Plastic)의 절삭 특성이 고려되지 않은 대형 범용 장비가 주종을 이루고 있어 시스템 도입 비용 측면에서 비효율적이며, 이는 제품 개발과 시작품제작의 연계성을 떨어뜨리는 요인이 되고 있다.

이러한 절삭 가공의 단점을 보완하고, 폐속조형 공정과의 통합을 위한 연구가 꾸준히 진행되었는데, 기존의 연구는 주로 하이브리드(Hybrid) 공정에서의 총 생성 방식으로 절삭공정을 도입하거나 재료 접합 공정의 보완책으로 절삭 공정을 활용하는 방법에 대한 것이 주류를 이룬다. Kulkarni는 기존 폐속조형 시스템의 정밀도를 향상시키기 위하여 절삭 공정의 도입 방법을 제시하고, 3 축 공정을 이용한 정밀도 향상을 시도하였다. 김종원은 병렬기구를 이용하여 3 축 양면 가공과 접합, 5 면 가공을 이용한 후공정으로 시작물을 제작하는 Eclipse RP 시스템을 개발하였으며, Chen은 로봇 시스템에 밀링 절삭 기구를 붙여 절삭과 적층을 반복하는 방법으로 시작물을 제작하는 RoLM 시스템을 개발하였다. 또한, Fang은 재료 접합형 제작 공정에서 생기는 계단 현상을 제거하기 위해 5 축 기구를 이용한 후공정을 도입하고, 이 5 축 가공에서 기구의 이송 오차가 조형물의 정밀도 향상에 미치는 영향에 관한 연구를 수행하였다.<sup>[2,5]</sup>

기존에 연구에서 개발된 폐속 조형 공정들은 근본적으로 적층에 의한 형상 제작에 그 바탕을 두고 있으며, 이는 절삭 공정이 지니는 공구 접근성의 문제를 해결하고 자동화의 요구를 만족시키기 위한 것이다. 그러나, 이로 인하여 좋은 표면 품질 등 절삭공정의 장점 또한 반감되어 실용성 측면에서 한계를 드러내었다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 극복하기 위하여 절삭공정에 의한 시작품 제작에 있어서 가공 형상의 제한 및 셋업 오차를 최소화하고, 제작 시간을 단축할 수 있는 5 축 가공 지원 폐속 조형 전용 장비를 개발하였다.

## 2. 폐속 조형 시스템의 설계 및 구현

근래에 재료 접합형 폐속 조형 장비가 가진 경제성, 정밀도, 조형 소재의 제한 등 단점을 보완하기 위하여 일본과 유럽을 중심으로 고속 가공을 지원하는 폐속 조형 장비가 속속 개발되어 출시되고 있다. 본 연구에서 개발된 폐속 조형 시스템은 시작품 제작에 걸리는 시간을 단축시켜 신속하고 효과적으로 제품 개발을 하기 위한 것으로 이미 상용화된 제품들이 3 축 가공만을 지원하는 것에 반해

동시 5 축 가공을 지원함으로써 시작품 제작에 있어서 필수적인 요소인 형상 제작 능력을 향상시켰다.

일반적으로 5 축 가공기는 3 축 공작기계와 달리 회전축의 구성에 따라 다양한 구조로 나뉘며, 공작물과 공구의 회전에 따라 복잡한 형태를 가진다. 또한, 회전축의 구성에 따라 공구 접근성, 기계의 크기 및 강성 등의 측면에서 장단점이 있으므로 주 사용 목적에 따라 적합한 구조를 선정할 필요가 있다. 특히, ABS 등 합성수지류를 주로 가공하는 폐속 조형 시스템의 경우 절삭력이 100N 미만인 점을 감안할 때 이에 적합한 기구 설계가 필요하다. 본 연구에서는 시스템 설계의 목적과 각 구조가 지니는 장단점, 주로 사용되는 절삭형 폐속 조형 공정을 분석하여, 그림 1과 같이 X, Y, Z의 세 개의 직선 운동과 B, C의 두 개의 회전축을 갖는 5 축 문형 구조로 폐속 조형 장비를 설계하였으며, 운동부를 100N의 기준 절삭력과 0.3 G의 가감속도가 작용하는 이송계로 모델링 하였다. 개발 시스템의 주요 사양은 표 1과 같다.

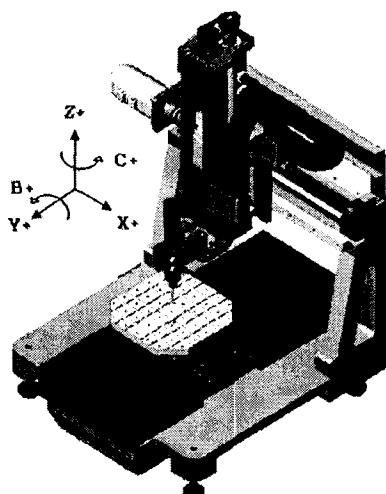


Fig. 1 Motion configuration of developed RP system

그림 3는 개발된 폐속 조형 시스템의 하드웨어의 전체구성을 나타내는 개략도로서 본 연구에서 개발된 시스템은 5 축 가공을 지원하는 절삭 기구부와 이를 제어하는 PC 기반 컨트롤러로 이루어져 있으며, PC 기반 컨트롤러는 이송부 제어와 주축 제어, 사용자 조작 패널(Panel) 및 가공을 위한 NC 코드 입력과 MMI(Man Machine Interface)을 담당한다.

본 연구에서 사용된 PC 기반 컨트롤러는 Delta Tau 사의 모션 챠어 보드인 Turbo PMAC 를 기반으로 개발되었으며, 마이크로소프트사의 Windows 200 을 운영체제로 하였다.

Table 1 Hardware specifications of the developed system

Configuration	5 Axis(X, Y, Z, B, C)
Dimension	500 mm x 650mm x 700 mm
Weight	85Kg
Max. cutting volume	200 mm x 200 mm x 120mm
Workpiece material	Resins such as ABS and chemical wood , Non-ferrous metal
Feedrate	X, Y axis: Max. 7000mm/min Z axis: Max. 4000mm/min B, C axis: 30rpm
Acceleration	0.3G
Spindle motor	DC brushless motor Max. 300W
Spindle speed	2000 to 40000 rpm
Cutting tool size	0.8mm ~ 6mm
Cutting force	Max. 100N

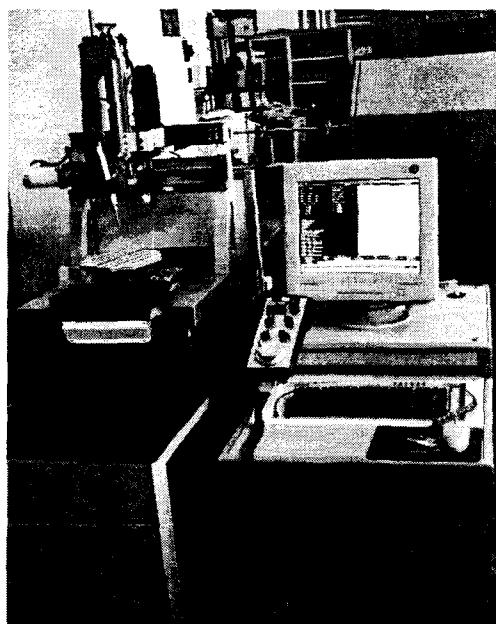


Fig. 2 Photograph of developed machining system

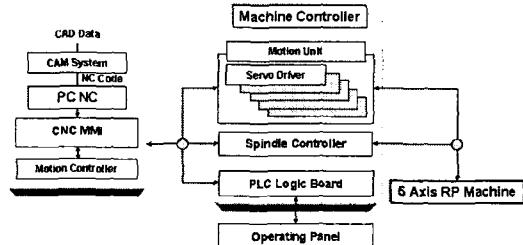


Fig. 3 Overall hardware system architecture of developed machining system

### 3. 적용 사례

본 연구에서는 개발된 시스템의 성능 및 적용성을 평가하기 위하여 3 축 가공으로 제작이 어려운 특징형상을 지닌 시작품과 자동차의 자동변속기에 사용되는 손잡이 (Auto shift lever knob)를 제작하여 보았다.

#### 3.1 5 축 가공의 적용

본 연구에서 개발된 시스템의 특징은 다축 가공을 지원하는 것이다. 본 연구에서 개발된 시스템의 5 축 가공을 이용하여 시작품을 제작하였다. 그림 4 는 각각 본 시스템의 5 축 가공을 통해 특징형상을 가공하는 모습과 제작된 시작품을 보여준다. 제작된 시작품은 그림에서 보이는 바와 같이는 구의 측면에 여러 각도로 특징형상을 지니고 있어 3 축 가공으로는 조형이 불가능하나, 본 연구에서 개발된 시스템을 이용하면 쉽게 형상을 제작할 수 있다.

#### 3.2 자동변속기 손잡이의 제작

개발된 시스템을 이용하여 보다 실질적인 모델의 제작에 적용하여 보았다. 본 연구에서 제작하여 본 시작품은 자동차의 자동변속기에 사용되는 손잡이(Auto shift lever knob)로서 실제 현대 자동차의 EF 소나타에 장착된 실물 모형이다. Knob는 전체가 복잡한 3 차원 자유곡면으로 이루어진 제품으로 본 시스템의 산업적 적용성을 검토할 수 있는 실재적인 예제이다. 본 실험에서는 검정색 POM 를 이용하여 조형하였으며, 가공시간은 약 7 시간 정도가 소요되었고, 제작물의 표면 조도는 Rmax 4~5um 수준으로 매우 양호하였다. 그림 5 는 제작된 형상과 LOM, FDM 를 이용하여 만든 시작품, 양산된 실물의 사진이다.

표 2 는 본 시스템과 주요 RP 공정과 Knob 를 제작하는데 소요된 시간과 비용 형상 정밀도 등을 나타낸다. 제작시간으로 보면 절삭공정을 이용한 시작품 제작 시간이 가장 짧았는데, 이는 Knob 와 같이 내부에 공간이 없고, 외면이 자유 곡면으로

이루어진 시작품의 경우 얇은 층으로 쌓아가는 재료 접합형 공정의 형상제작 시간이 매우 급속도로 증가되고, FDM, LOM 공정으로 제작된 형상의 경우 표면 상태가 나쁘기 때문에 후공정을 거치는 시간이 많이 소요되기 때문이다.

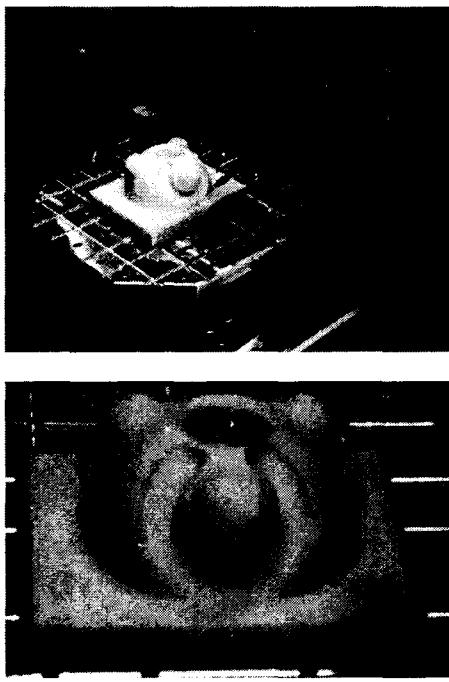


Fig. 4 Photograph of 5 axis machining and fabricated part

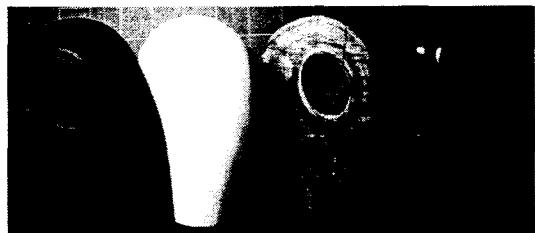


Fig. 5 Prototype of auto shift lever knob made by RP process (FDM, LOM, Milling) and real model

Table 2 Comparison of RP Process for making knob

Process	Making Time(min)	Cost(won)	Dimensional Accuracy(%)
Milling	420	50,000	0.09
LOM	740	550,000	0.8
FDM	600	800,000	1

#### 4. 결론

절삭공정은 금속 재료로부터 비금속 재료까지 그 소재의 제한이 없으며, 실제 제품과 동일하거나 가장 유사한 형태의 시작물을 제작할 수 있는 방법 일 뿐 아니라, 그 형상 정밀도와 표면의 조도 등에서 타 공정에 비하여 월등히 우수하다고 할 수 있다. 그러나, 고속 다축 가공을 지원할 수 있는 전용 시스템의 부재, 많은 경험을 요구하는 공정의 설계, 복잡한 공구 경로의 생성 및 셋업 등으로 인하여 패속 조형 공정의 고속화, 정밀화가 자연 되고 있다.

본 연구에서는 기존의 3 축 가공을 기반으로 한 패속 조형 공정의 문제점을 해결하기 위하여 5 축 가공을 지원하도록 함으로써 작은 기계에서도 상대적으로 큰 가공물을 가공 할 수 있음은 물론 작업 준비 시간을 최소화하고, 복잡하면서도 다양한 시작품의 형상가공이 가능한 패속조형 전용 시스템을 개발하였으며, 각종 시작품을 제작함으로써 이의 적용성을 평가하였다.

#### 5. 후기

본 연구는 과학기술부 국가중점사업인 주문적응형 패속제품개발시스템 사업단의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 양동열, 손현기, “패속제품개발(RPD)을 위한 패속조형 기술의 최근 동향,” 한국 정밀공학회지, 제 17 권, 제 10 호, pp. 5-10, 2000.
2. P. Kulkarni, and D. Dutta, “On the Integration of Layered Manufacturing and Material Removal Processes,” ASME Journal, Vol. 122, No. 2, pp. 100-108, 2000.
3. Y. H. Chen and Y. Song, “The development of layer-based machining system,” Computer-Aided Design, Vol. 33, No. 4, pp 331-342, 2001.
4. P. Ng, W. Fang, B. Li, Zou and H. Gong, “Motion compensation for five-axis rapid prototyping system,” Rapid Prototyping Journal, Vol.4, No. 2, pp. 68-76, 1998.
5. J. H. Hur, I. H. Cho and H.S. Kang, “RapidWorks98: A Workbench for STL-based Rapid Prototyping Systems,” The First International Conference on Rapid Prototyping & Manufacturing, Beijinh, July 21-23, pp. 236-233, 1998