

# 초정밀 미세형상 가공기 개발 Development of 5-Axis Ultra-Precision Machine for Micro Features

\* #김민기, 김기홍, 하현표, 임경진, 이종국, 하재용, 김태형

\* #M. G. Kim(mingi.kim@doosan.com), K. H. Kim, H. P. Ha, K. J. Yim, J. K. Lee, J. Y. Ha, T. H. Kim  
두산인프라코어(주) 공기자동차화 BG 연구개발

Key words : Ultra-Precision, Micro Features, Moving Accuracy

## 1. 서론

1960년대부터 본격 시작된 초정밀가공기에 의한 초정밀가공은 초기 군수산업, 에너지개발, 그리고 항공우주개발과 같은 특수분야의 기술개발을 위하여 활용되었으나, 1980년대 후반에 접어들면서 정보화 사회로 대변할 수 있는 각종 컴퓨터, 전자산업과 光산업의 급진적인 발전은 관련 기기에 필요한 여러 가지 핵심부품의 초정밀가공에 대한 필요성을 증대시키게 되었고, 초정밀가공은 우리들에게 생소하지 않은 용어로 등장하게 되었다.

국내에서도 초정밀기술은 2000년대 OA 기기, 반도체 등의 세계시장에서 국내업체들이 두각을 나타내기 시작하며, 이들 산업에서의 지속적인 점유율 유지, 확대를 위한 초정밀 부품의 국산화 등에서 중요한 위치에 서게 되었다. 즉 초정밀기술은 가전/OA, 컴퓨터, 光/정보, 디스플레이/IT 등 현재의 국가 주력산업에 대하여, 핵심부품 생산기술에 있어서의 해결사 역할을 하게 된 것이다. 그러나 이들 산업군에서는 주로 2~4축의 터닝형 초정밀가공기로 가공이 가능한 분야이다.

1957년 독일에서 기술을 도입한 후, 1980년대 전자산업, 자동차산업의 성장으로 급격하게 발전하여 양적 성장을 이룬 국내의 금형산업의 경우, 반도체, 광학부품 등에 사용되는 초정밀 금형은 아직까지 일본 등 선진국으로부터의 수입에 의존하고 있는 실정이다. 이들 초정밀 금형은 주로 5축 밀링형 초정밀가공기로 가공이 가능한 분야로, 아직까지 5축 밀링형 초정밀가공기 및 가공기술에 대한 국내 기술개발이 전무한 관계로 선진국들과의 경쟁 자체가 이루어지지 않고 있다.

5축 밀링형 초정밀가공기는 밀링 가공 메카니즘을 기반으로 하는 문형 MCT 형태의 가공기로, X, Y 2개의 수평 이송계와, Z 1개의 수직 이송계 등, 3개의 직선 이송축과 주축이나, 테이블을 Tilting 시킬 수 있는 B축, 공작물을 저속으로 회전시키거나, 각도 조절을 할 수 있는 로타리 테이블(C축) 등 2개의 회전축, 그리고 공구가 회전

할 수 있는 Spindle로 구성되는 가공기이다.

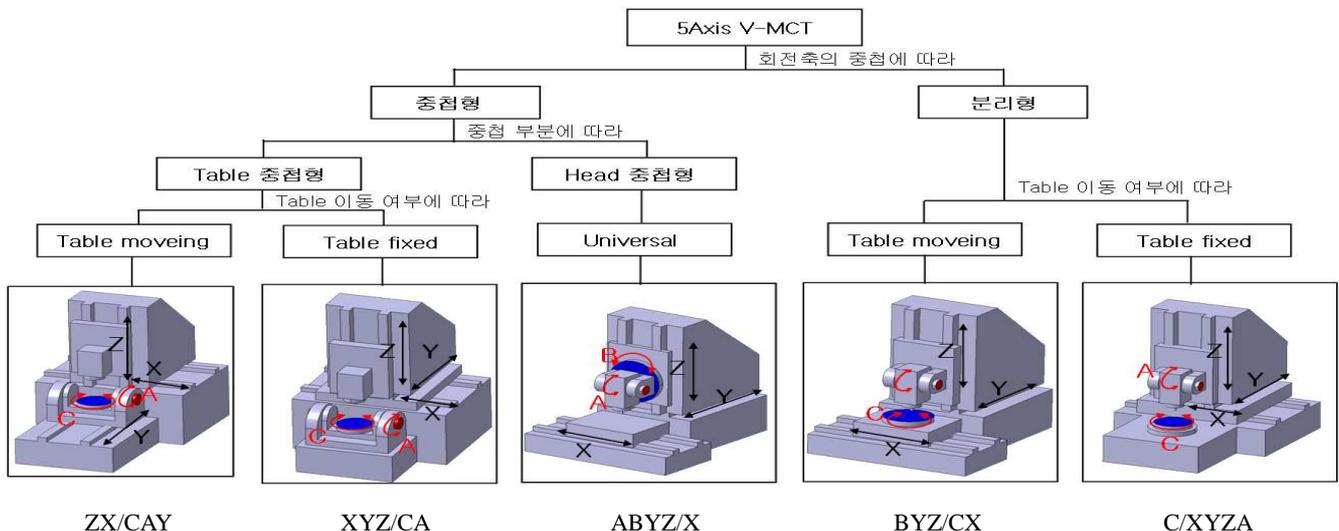
이러한 5축 밀링형 초정밀가공기 및 가공기술에 대한 국내 기술개발이 이루어진다면, 초정밀 금형의 국산화 개발에 기여함은 물론, 신. 재생 에너지 분야에 있어서의 연료전지 분리판/에너지 셀, 의료기기, 바이오테크놀로지 등 미래 지향적인 신규 수요산업에 있어서의 조기 경쟁력 확보를 위한 연구개발 등에도 주요한 역할을 담당할 수 있을 것이다.

당사에서는 터닝형 초정밀가공기를 개발한 경험을 바탕으로, 당사의 터닝형 초정밀가공기 개발에 참여한 경험이 있는 협력기관들과 초정밀 관련 요소기술의 개발경험이 풍부한 한국기계연구원 및 초정밀가공에 경험이 많은 한국생산기술연구원 등과 협력하여 5축 밀링형 초정밀가공기(NT300M)의 개발을 시도하였다.

## 2. 초정밀 미세형상 가공기 개발

초정밀가공기에 적용할 수 있는 5축의 구조를 Fig.1과 같이 5가지의 구조로 분류하였다. 먼저 회전축의 중첩여부에 따라 중첩형과 분리형으로 분류하였고, 중첩형은 회전축이 중첩되는 유니트에 따라 테이블 중첩형과 헤드 중첩형으로 분류하고, 다시 테이블의 이송여부에 따라 Table moving 형과 Table fixed 형으로 나누었다. Head 중첩형은 Head가 Tilting과 Rotating을 하므로 5축 집적형을 제외하면 Universal의 경우만 분류된다. Head tilting과 Table rotating과 같이 회전축이 분리되는 구조도 테이블의 이송 유무에 따라 다시 두 분류로 나누었다.

가공기의 모델 검토 중 가장 중요한 인자는 축 구성에 따른 오차요인 분석이다. 중첩된 축의 수가 많을수록 오차가 늘어나기 때문에 일반 가공기에서도 대부분 3+2축 혹은 2+3축의 형태의 구조를 많이 채택한다. 일반 가공기 보다 더 정밀한 초정밀 가공기 역시 4축 이상이 집적된 구조의 경우 기본축의 강성 확보 및 기하학적 오차 보상 문제로 초정밀장비의 목표성능 확보가 어렵다. 또 직선 3축



\*축 구조의 표기는 직선축과 회전축의 축명을 이용 베드와 같은 기본 구성축 쪽에 Z, X, Y 축이, 공작물이 있는 테이블 쪽에 A/C 축일 경우의 표기법 : ZXY/AC

Fig. 1 Grouping of a 5-Axis V-MCT

이 집적될 경우, 이송축의 하중 증가로 인해 상대적으로 정적/동적 정밀도가 떨어진다. 따라서 최종 검토 대상 구조는 Table 중첩형 구조의 Table moving 구조와 회전축 분리형구조이다.

오차보상 관점에서 회전축 분리형구조에서 발생하는 오차는 대부분 Systemic 오차로, 보상이 가능하지만, 회전축 중첩형은 두 축을 연결하는 구조물의 강성을 확보하기 어렵고, 확보하더라도 직선축이 회전축을 이송시킬 때 발생하는 Random 오차는 보상하기 어렵다.

따라서 최종 확정된 5 축 밀링형 초정밀가공기(NT300M)의 구조는 회전축 분리형구조 중에서도 Spindle 의 2 지점 지지를 회피할 수 있고, 보다 콤팩트한 설계가 가능한 BZX/CY 구조로 Fig. 2 에 사진을 나타내었다.



Fig. 2 The picture of NT300M

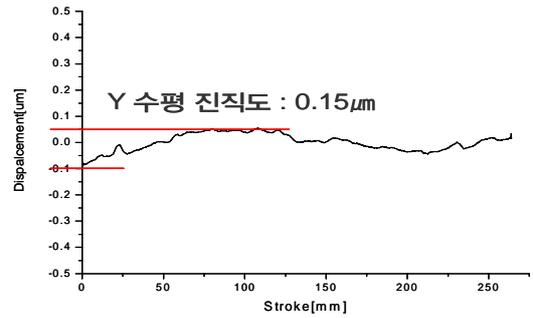
Table 1 The spec. of NT300M

구 분		사 양
이송계	Stroke	400 / 300 / 250 mm
	진직도	0.3 $\mu\text{m}$ / full stroke
	베어링 type	유정압 베어링
	구동모터	무철심 리니어 모터
	프로그램 분해능	1 nm
Spindle	회전속도	60,000rpm
	회전정밀도	0.1 $\mu\text{m}$
	베어링 type	공기정압 베어링
Rotary C 축	분해능	0.0001°
	회전정밀도	0.2 $\mu\text{m}$
	회전속도	50rpm
Tilting B 축	분해능	0.0001°
	회전정밀도	0.2 $\mu\text{m}$
	회전범위	$\pm 120^\circ$

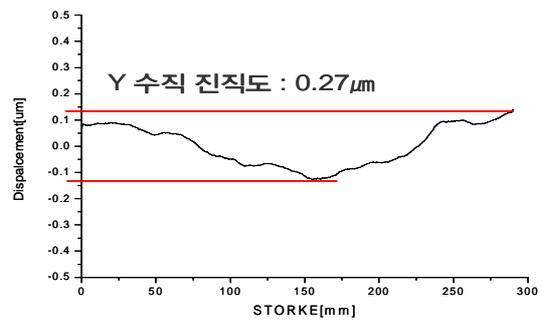
### 3. 초정밀 미세형상 가공기 운동정밀도 측정

Fig. 2 에 나타난 5 축 밀링형 초정밀가공기(NT300M)의 직선 및 회전축에 대한 운동정밀도를 측정하였다.

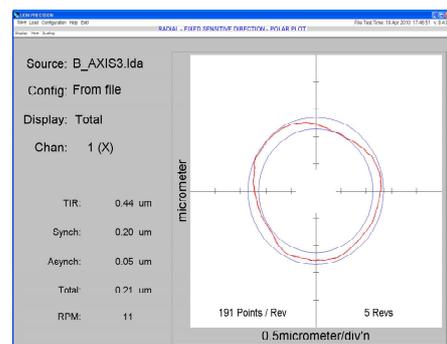
직선축의 경우 직선운동정밀도를 비접촉 Gap sensor 를 이용하여 초정밀급의 Straight edge 에 대하여 비교측정 하였으며, 회전축의 회전정밀도 역시 비접촉 Gap sensor 를 이용하여 초정밀급의 Master ball 에 대하여 비교측정 하였으며, 그 결과를 그림으로 나타내었다.



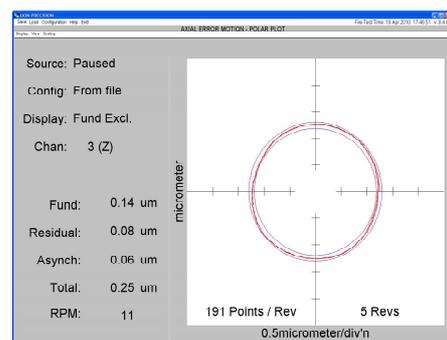
(a) Straightness \_ Y Horizontal: 0.15  $\mu\text{m}$



(b) Straightness \_ Y Vertical: 0.27  $\mu\text{m}$



(c) Run out \_ B Axial : 0.25  $\mu\text{m}$



(d) Run out \_ B Radial : 0.21  $\mu\text{m}$

Fig. 3 Diagram of moving accuracy

### 4. 결론

5 축 밀링형 초정밀가공기(NT300M)를 개발하고 있으며, 제작 중인 가공기의 직선축 및 회전축의 운동정밀도를 측정하였다. 직선축 중 수평축인 Y 축의 수평진직도가 0.15  $\mu\text{m}$  으로 측정되었으며, 그의 직선축의 진직도는 0.25~0.3  $\mu\text{m}$  으로, 회전축의 회전정밀도는 0.2~0.25  $\mu\text{m}$  으로 측정되어, 초정밀가공기로 사용하기에 충분한 운동정밀도를 얻을 수 있었다. 단축의 운동정밀도 측정에 이어, 2 축 이상의 다축에 대한 정밀도 및 가공실험이 계속 될 예정이다.

### 후기

본 과제는 지식경제부에서 지원하는 전략기술개발사업의 세부과제로 수행한 과제임.