

## 동축 가공 연삭시스템의 운동 및 가공 특성

김기환\*, 이석우, 최현종, 최영재(한국생산기술연구원)

### The Dynamic and Machining Characteristics of Co-axial Grinding Machining System

G. H. Kim, S. W. Lee, H. Z. Choi, Y. J. Choi(KITECH)

#### ABSTRACT

As the optical communication industry is developed, the demand of optical communication part is increasing. ZrO<sub>2</sub> ceramic ferrule is very important part which can determine the transmission efficiency and information quality to connect the optical fibers. In general ZrO<sub>2</sub> ceramic ferrule is manufactured by grinding process because the demands precision is very high. For the precision grinding machining, it is very important that the error of feeding system is improved. Therefore, we estimated the dynamic characteristics in feeding system of ultra precision co-axial grinding machining system. Then, we performed the machining characteristics experiment.

**Key Words** : co-axial grinding(동축 연삭), ZrO<sub>2</sub> ceramic ferrule(지르코니아 세라믹 페룰), dynamic characteristic(운동 특성), machining characteristic(가공 특성)

#### 1. 서론

최근에 인터넷을 이용한 다양한 서비스가 증가하고 있고, 이러한 통신망을 통한 대용량 정보서비스가 늘어나고 있다. 대용량 정보서비스를 위해서는 기존의 구리선보다 훨씬 양호한 상태의 정보내용을 수만 배까지 동시에 처리할 수 있어야 하는데, 이를 대처할 수 있는 기술로 광통신 시스템이 대두되었고 통신망 확대에 결정적인 변화를 초래하였다. 광통신 시스템을 구성하는 부품에는 여러 가지가 있으나 광커넥터는 광통신 시스템에서 유일하게 외부로 노출되어 온도, 습도 등 외부 환경에 영향을 받는 부품이므로, 통신망의 안정성에 많은 영향을 미치게 된다. 광커넥터의 핵심이 되는 고부가 제품 중의 하나인 페룰은 광커넥터 양 끝단에 존재하여 광섬유와 광섬유를 서로 만나게 접속을 유도하며, 광섬유를 보호하고 초정밀 광축 맞춤을 통한 데이터의 손실을 줄여주는 역할을 하며, 고정도의 난삭재인 세라믹으로 되어있다. 이러한 난삭재의 세라믹 재질은 다이아몬드 연삭숫돌을 이용한 연삭가공이 가장 효율적인 방법인 것으로 알려져 있다.<sup>1</sup>

일반적으로 공작물의 가공오차는 가공된 공작물과 치수 및 기하학적 기준간의 불일치 정도를 말하

며 여러 가지 오차 원인들을 가지고 있다. 따라서 고정밀도의 부품을 가공하기 위해서는 연삭시스템의 정밀도를 미리 평가하여 그 결과를 설계에 반영시켜야 하며, 또한 연삭시스템의 정밀도를 측정하여 요구하는 정밀도가 충분히 보장되어야 한다. 공작기계의 정밀도는 공작물에 그대로 반영되기 때문에 국제표준화기구(ISO)나 일본공업규격(JIS)에서는 공작기계의 정밀도 시험에 관한 내용을 점차 보강하여 공작기계의 성능을 평가하고 있다. 그 가운데 정적 정밀도 시험의 하나로 직선운동의 기하학적인 정밀도, 예를 들면 진직도, 직각도, 평행도 및 평면도 등을 측정하도록 되어 있다. 그러나 제품의 고정도화가 점차 강하게 요구됨에 따라 연삭시스템의 이송운동이 단순하게 각 운동축의 기하학적인 정밀도를 측정하여 평가하는 것만으로는 불충분하게 되었다.<sup>2</sup> 정밀한 가공을 위해서는 시스템의 운동 특성 이외에 가공 특성을 파악하는 것도 중요하다. 가공 특성을 평가하는 것은 상용화된 회전공구동력계를 적용하는 경우, 스트레인게이지의 출력을 보정하여 사용하거나, 압력 센서나 정전용량센서, LVDT 같은 거리센서를 이용한다.<sup>3</sup>

본 연구에서는 최근 연삭시스템의 고정밀화 추세에 따라 페룰 가공을 목적으로 하는 동축 가공 연

삭시스템을 대상으로 운동 특성을 파악하고자 하였다. 그리고 이를 통해 시제품의 문제를 분석함으로써 성능 향상을 꾀하고자 하였다. 연구의 내용으로 정적인 운동특성 평가를 위한 위치오차 특성(반복정밀도, 위치결정정밀도)평가를 실시하였으며, 평가 후 이송 특성을 보완하여 다이아몬드 스톨을 이용한 지르코니아 세라믹스 페룰의 연삭 가공 특성도 알아보았다.

## 2. 운동특성

### 2.1 동축 가공 연삭 시스템

특성 평가의 대상은 페룰의 동축연삭 가공을 목적으로 하는 동축 가공 연삭시스템으로 하였다. Fig. 1에 실험장치를 나타내었으며, 주요사양은 Table 1과 같다.

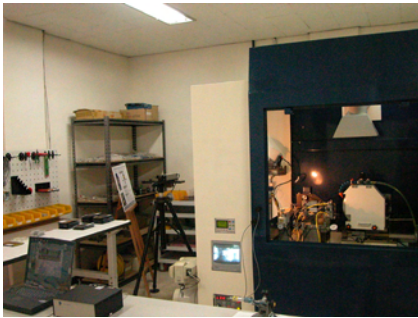


Fig. 1 Experimental setup

Table 1 Specifications of experimental system

	Item	Spec.
Grinding Wheel	Wheel Size(OD*ID*W)(mm)	280*95*12
	Wheel Type	Diamond
	Wheel Mesh	#325
	Maximum Speed(rpm)	4,500
	Power(kW)	0.75
Feeding System	Maximum Speed(mm/sec)	200
	Maximum Stroke(mm)	70
	Minimum Feed(mm)	0.001
	Actuator	Servo Motor
Regulating Wheel	Wheel Size(OD*ID*W)(mm)	58*25*4
	Wheel Type	Rubber
	Maximum Speed(rpm)	500
	Actuator	Air Cylinder
Controller	Company / Model	Mitsubishi / Melder 64
Loading & Unloading System	Speed of Loading and Unloading (pcs/min)	≥ 10

이송계는 볼스크류와 서보모터, LM가이드로 구성이 되어있다. 서보모터의 제어는 5축 제어가 가능한 미쯔비시社의 Melder 64를 사용하여 제어한다.

### 2.2 운동특성 평가

페룰은 요구 정밀도 중 동심도가  $0.3\mu\text{m}$ 로써 초정밀 연삭 가공이 요구 된다. 페룰의 가공에는 다이아몬드 스톨이 사용되는데, 이송 정밀도는 페룰의 가공결과에 그대로 반영되므로, 가공 이전에 정밀한 이송 정밀도를 만족시켜야만 한다. 그러므로 정밀도가  $0.01\mu\text{m}$ 로 정밀 측정이 가능한 레이저 측정기를 사용하여 운동특성 평가를 수행하였다.<sup>4</sup>

#### 2.2.1 컨트롤러 보정 전 이송 정밀도 평가

첫 번째로, ISO 230-2에 의한 5mm 3스텝 3회 반복 실험을 실시하였다. 결과는 아래의 Fig. 2와 같다.

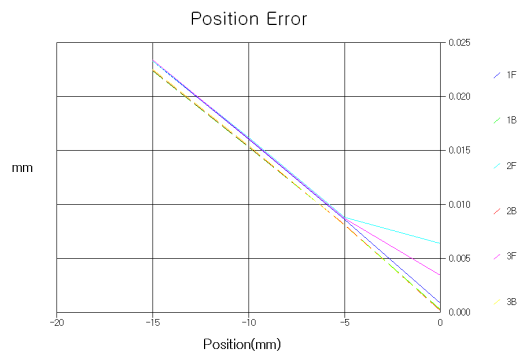


Fig. 2 Position error of feeding system (before)

15mm 이송시에  $25\mu\text{m}$  정도로 스텝이 증가함에 따라 이송 오차도 증가하고 있다. 각 지점에 따라 같은 증가 폭으로 누적오차가 증가하기 때문에, 컨트롤러의 이송오차를 보정해야한다. 또한 원점의 위치가 반복됨에 따라 측정결과가 변하는 것을 알 수 있는데, 이는 백래시의 문제이거나 원점설정에서 Limit 센서 점검이 필요하다는 것을 나타낸다. 백래시가 크게 나타날 경우 동력 전달기구 중 볼스크류에서 볼과 나사산 사이의 틈에 의해 모터가 헛돌아 가공되는 공작물에 오차를 발생시킬 수 있다. 반복정밀도는 1-2  $\mu\text{m}$  정도로 양호한 편이다. 드레싱을 수행하여 약 1,000개 정도의 페룰을 가공하는 동축 가공 연삭 시스템에서 반복정밀도는 좋아야 한다. 반복정밀도가 요구 정도에 미치지 못하는 경우, 연속 가공시 결과가 좋지 않게 된다.

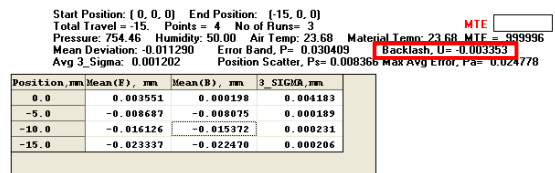


Fig. 3 Result of position error analysis (before)

Fig.3의 우측 상단을 보면 백래시는 보정하지 않은 상태에서  $3\mu\text{m}$  정도로 나타나고 있다. 가공 후 슷들의 후퇴와 전진이 이루어지는데 백래시로 인해 가공 오차가 발생할 수 있으므로, 볼스크류의 점검이 필요하다.

두 번째로, 속도 및 위치 반복 실험을 위한 Time data 추출 실험으로 10mm 3회 반복이송을 실시하였으며, 결과는 Fig. 4와 같다.

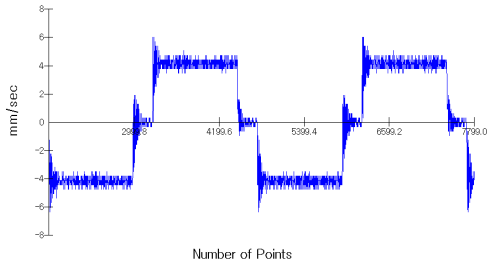


Fig. 4 Velocity response of feeding system (before)

등속 운동시 속도 변화가 약 20% 정도로 보이며, 이송 중의 일정한 속도를 가지지 못하는 상태이다. 또한 속도가 변화할 때 마다 리플(ripple)이 나타났다. 따라서 컨트롤러의 게인(gain) 조정이 필요하다.

### 2.2.2 컨트롤러 보정 후 이송 정밀도 평가

이전의 결과에 대하여 보정을 실시한 후 방법을 동일하게 하여 실험을 실시하였다.

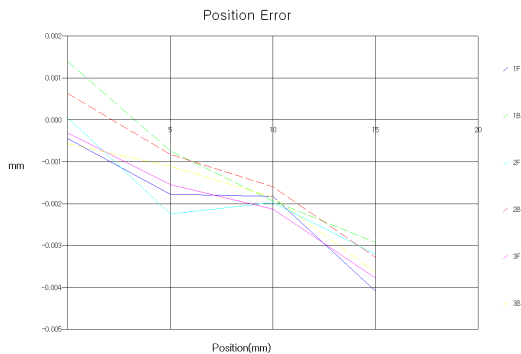


Fig. 5 Position error of feeding system (after)

Fig. 5와 Fig. 6을 살펴보면 위치정밀도는 원점에서 오차가 거의 없어졌고, 백래시도  $0.9\mu\text{m}$ 로 감소하였다. 이는 Limit 센서의 점검을 통해 고정밀도급으로 교체하였고, 볼스크류의 백래시 점검을 통해 보정을 실시하였기 때문이다. 각 위치 지점에서는 1~4  $\mu\text{m}$  정도의 오차가 있는 것으로 나타났는데, 보정전의  $25\mu\text{m}$ 에 비하여 향상된 결과이다. 반복정밀도는 보정 전과 마찬가지로 양호한 편이었다.

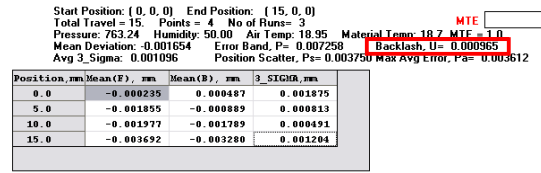


Fig. 6 Result of position error analysis (after)

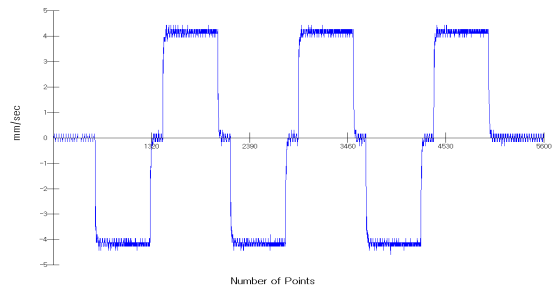


Fig. 7 Velocity response of feeding system (after)

Fig. 7을 보면 게인(gain) 조정을 통해, 등속 운동시 속도 변화는 5% 정도로 이전의 20%보다 향상된 결과를 보여주며, 리플(ripple)도 감소한 것을 볼 수 있다.

## 3. 가공특성

등축 가공 연삭시스템의 가공특성을 알아 보기 위해 재료제거율을 통한 실험을 실시하였다. 재료제거율은 소재의 연삭성을 알아보는 기준이며, 이송특성에 따른 가공특성을 알 수 있다. 또한 이송속도를 통한 동심도의 관계 또한 함께 알아볼 수 있다. 원통 연삭에서의 일반적인 수식은 다음의 식(1)과 같다.<sup>5</sup> 하지만 황삭과 정삭을 거치게 되므로 다음의 식(2)와 같이 표현할 수 있다.

$$Q_w = \pi b d_w v \quad (1)$$

( $Q_w$ : 소재의 재료제거율,  $b$ : 소재의 연삭되는 폭,  $d_w$ : 소재의 직경(가공 전),  $v$ : 연삭스틀의 이송속도)

$$Q_w = \pi b d_{w1} v_{2nd} + \pi b d_{w2} v_{3rd} \quad (2)$$

( $Q_w$ : 소재의 재료제거율,  $b$ : 소재의 연삭되는 폭,  $d_{w1}$ : 소재의 최초 직경,  $d_{w2}$ : 황삭 이후 소재의 직경,  $v_{2nd}$ : 황삭 이송속도,  $v_{3rd}$ : 정삭 이송속도)

실험은 황삭 이송속도를 고정하고, 정삭 이송속도에 변화를 주어 실시하였으며 실험조건은 Table 2와 같다. 최초직경과 황삭 이후의 직경은 사전에 10회 가공을 한 후 평균 값을 이용하였다. 연삭 중의

힘을 측정하기 위해 스트레인게이지를 이용하였으며 앰프를 통해 신호를 증폭시켰다.

Table 2 Experiment conditions

No.	1	2	3
$v_{2nd}$ (mm/min)	0.09		
$v_{3rd}$ (mm/min)	0.01	0.03	0.05
GW speed (rpm)	1800		
RW Speed (rpm)	30		
Spark out (sec)	3		

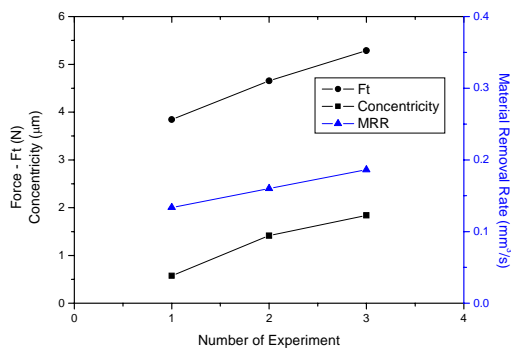


Fig. 8 Result of machining characteristic experiment

결과는 Fig. 8에서 보는 바와 같이 동심도와 접선 방향의 힘, 재료제거율은 정삭 이송속도에 따라 증가하는 것을 알 수 있었다. 같은 시간에 대해 재료제거율이 증가하여 가공시간을 줄일 수는 있겠지만, 동심도의 결과가 좋지 않게 되고 그에 따라 접선방향의 힘 또한 증가하게 된다. 따라서 동심도를 최적으로 하기 위해서는 정삭 이송속도를 작게 하는 것이 바람직함을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 동축 가공 연삭 시스템에서 운동 특성을 평가하여 컨트롤러를 보정하고, 이를 통해 지르코니아 세라믹스 페룰의 가공특성을 알아보았다. 이를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) ISO 230-2를 통한 운동 특성 평가를 실시하여, 평가 결과를 보완하여 개선되었음을 보였다.
- (2) 위치 오차 특성에서는 누적오차와 백래시, 반복 정밀도를 개선하였으며, 속도 및 위치 반복 실험에서는 속도변화가 20%에서 5%로 감소하였으며, ripple이 줄어들었다.
- (3) 정삭 이송속도가 증가함에 따라 재료제거율이 증가하여 가공 시간을 줄일 수 있지만, 동심도의

결과가 좋지 않게 되었고, 접선방향의 힘 또한 증가하였다.

- (4) 동심도를 최적으로 하는 동축 가공 연삭 시스템에서는 정삭 이송속도를 작게 해야할 것으로 판단되었다.

#### 후기

본 연구는 산업자원부에서 주관하는 중기거점 사업인 "고기능성 부품가공용 지능형 연삭시스템"의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. Kao, H. C. and Ho, F. Y., "Surface Machining of Fine-grain Y-TZP", Journal of European Ceramic Society 20, pp. 2447-2455, 2000.
2. J. S. Chen and C. C. Ling, "Improving the Machine Accuracy Through Machine Tool Metrology and Error Correction", Int. J. Adv. Manufacturing Technol., Vol. 11, pp. 198-205, 1996.
3. Jeremiah A. Couey, Eric R. Marsh, Byron R. Knapp and R. Ryan Vallance, "Monitoring force in precision cylindrical grinding", Precision Engineering, Vol. 29, Issue 3, pp.307-314, 2005.
4. C. Wang and B. Griffin, "A noncontact laser technique for circular contouring accuracy measurement", Review of scientific instruments, Vol. 72, No. 2, pp.1594-1596, 2001.
5. Malkin, S., "Grinding Technology", Ellis Horwood Limited, Chap. 5, 1989.