

광통신용 페룰 가공을 위한 초미세 고기능 동축가공 연삭시스템용 이송계의 특성 평가

안건준*, 최병옥, 이호준, 황창기 (크루셀텍(주) 연구소)

Performance Estimation of Feeding System for developing coaxial grinding system of light communicative ferrule

K. J. Ahn*, B. O. Choe, H. J. Lee, C. K. Hwang

ABSTRACT

This report deals with a feeding system of the Coaxial grinding machine, processing optical ferrule. This report also examines the applicability of using the feeding system for the Coaxial grinding machine, by mean of conducting performance estimation. The results are as follow; Repeatability of regulating wheel is $17\mu m$, R/W rotation accuracy is between $30 \sim 40\mu m$. This means "Rotation accuracy" is lower than the concentricity level. Backlash generation level at the feeding system of the grinding wheel is under $1\mu m$, thereby positioning accuracy is controlled within $2\mu m$. In terms of repeatability, you can find occasional error at the returning process from the starting point. This error is resulted from the measurement tolerance of the starting point sensor. We will get the repeatability level under control by $1\mu m$, through improving the soft-ware used and up-grading the sensor at the starting point.

Key Words : Coaxial grinding(동축가공), Grinding system(연삭시스템), Repeatability(반복정밀도), Ferrule(페룰), Positioning accuracy(위치결정정밀도), Feeding system(이송시스템), Performance estimation(성능평가)

1. 서론

차세대 정보통신 네트워크는 기하급수적으로 급증하는 트래픽 수요와 고속 및 대용량화는 서비스 형태에 따라 인터넷화 및 광통신화로 발전되고 있으며, 사용자들의 요구 통신 속도 또한 크게 증가하고 있어 2005-2010년경에는 인터넷 노드 하나가 처리해야 할 트래픽은 10~100Tbps가 될 전망이다. 이를 수용, 교환처리, 전달하기 위한 해법으로 광통신 이외에는 기술적인 대안을 찾기 힘든 실정이다. 페룰은 신호를 장거리 전송하기 위한 중간 연결단자로 꼭 필요한 광커넥터의 핵심부품으로 지르코니아(ZrO_2) 재질, 스틸계열, 그라스 재질 등으로 제작된다. 고급 페룰의 경우 내경대비 외경의 동심도가 $0.3\mu m$ 이하, $\pm 0.2\mu m$ 의 외경치수, $\pm 0.2\mu m$ 의 내경치수, $0.3\mu m$ 의 내, 외경 진원도와 원통도, 10nm의 표

면조도(Ra)를 구현해야 하는 초미세 초정밀 기계가 공부품이다. 이러한 고품위 페룰 가공 방법의 세계적인 추세는 과거 전통적인 Wire를 이용한 Centerless 가공방식에서 초미세 Pin의 정렬을 이용한 초고속 원통연마방식으로 가공방법이 급속하게 변화하는 추세이다. 특히 특수 용도의 고기능성 원통연삭기의 경우 기본적인 장비설계기술보다는 요소 기술과 핵심부품들의 가공정밀도, 기타요소들의 정밀제작 및 조립기술, 가공공정기술이 훨씬 중요하게 지적된다. 특히 본 장비에 적용되는 이송 시스템의 중요성은 공작기계의 성능을 나타내는 기본적인 요소로 꾸준히 연구되어 온 분야이다.

본 연구에서는 광페룰 가공을 위한 초미세 고기능 동축가공 연삭시스템의 이송계의 특성을 평가하여 전 세계적인 광통신망 확충계획(초고속정보통신망 Fiber to the Home)에 따라 소요될 막대한 페룰

시장과 본 기술과 연관된 기계장비시장에서의 초미세 고기능 동축가공 연삭시스템의 경쟁력을 확보하고자 하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 초미세 고기능 동축가공 연삭시스템 개발

광패들의 동축 가공을 위해 개발한 초미세 고기능 동축가공 연삭시스템은 그림 1에서와 같이 가공용 연삭 스톨(Diamond Wheel)이 장착되어 있는 주축이송계와 페를을 회전하기 위한 레귤레이팅 휠(Regulating Wheel), 그리고 페를을 척킹하기 위한 주축대와 심압대, 페를의 가공진행상태를 측정하는 인프로세서 게이지(In-process Gauge), 로딩-언로딩 로봇, 기타 다양한 유틸리티로 구성되어 있다. 광패를을 초고정밀 동심도를 가지도록 가공하기 위해서는 먼저 동축가공 연삭시스템의 핵심 요소들이 서브-마이크론의 정밀도를 가지고 해당 목표지점에 도달해야 한다. 특히 페를의 목표 동심도와 관련하여 외경을 가공하기 위한 주축이송계의 반복정밀도와 페를을 원활히 회전시키기 위한 레귤레이팅 휠의 정밀도는 광패를의 고품질에 직접적인 영향을 미치는 인자들이다. 그림 1은 광패를을 가공하기 위한 초미세 고기능 동축가공 연삭시스템 사진이다.

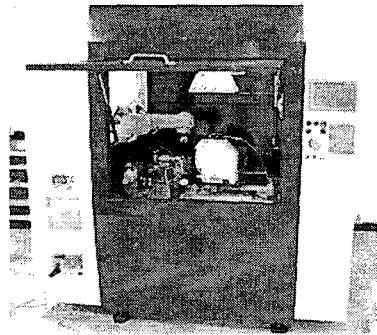


Fig. 1 Picture of Co-axial Grinding Machine

개발한 동축가공 연삭시스템의 구체적인 사양은 표 1과 같으며, 페를 가공시 인프로세서 게이지에서 실시간으로 가공물의 가공상태를 측정하여 지속적으로 가공 후 외경 편차가 $\pm 1\mu\text{m}$ 로 일정하게 유지되도록, 본 장비의 이송 시스템의 경우 $1\mu\text{m}$ 반복정밀도를 목표로 하여 설계 하였다. 그라인딩 부는 페를을 직접적으로 가공하기 위한 연삭 휠이 장착되어 있는 G/W(Grinding Wheel)와 페를을 일정한 힘으로 지지

및 회전 시켜 주는 R/W(Regulating Wheel)로 구성되어 있다. G/W는 연삭 휠의 이송을 위한 X축과 오실레이션을 하기 위한 Y축으로 구성되어 있으며, 각 축은 초 정밀급 볼스크류와 정밀급 LM가이드로 구성을 하였다. R/W 이송 시스템은 가공물을 일정하게 지지 및 회전을 해 주는 장치로 정밀한 반복정밀도 보다는 가공 부하에 따라 발생하는 변위만큼 움직이며 일정한 힘으로 페를을 회전시켜 줄 수 있어야 한다.

Table 1 Specification of Co-axial Grinding Machine

Item		Specification
Spindle	Radial stiffness (N/m)	≥ 10
	Radial run-out (μm)	≤ 5
	Maximum speed (rpm)	10,000
	Vibration amplitude (μm)	≤ 5
	Heat generation ($^{\circ}\text{C}$)	5
Feeding system	Repeatability (μm)	\leq
Chucking system	Chucking alignment (μm)	$\leq 5(\sim 1.0)$
	Roundness of center pin (μm)	≤ 3
Loading & unloading	Speed of loading and unloading (pcs/min)	\geq
Cooling system	Rate of purification (%)	\geq
In-process gauge	Resolution (μm)	0.2

R/W이 가공물과의 접촉시 충격을 줄이며, 가공시 가공부하에 대하여 원활히 대응하기 위해 Regulating Wheel의 표면을 5mm 두께의 고무 코팅을 하였으며, 스프링의 탄성력을 이용하여 일정 이상의 힘이 작용할 시 유기적으로 대응할 수 있도록 이중 구조로 설계, 제작하였다. R/W 이송 시스템은 실린더로 구동을 하게 하였으며, 두 개의 LM가이드를 사용하여 하나는 이송시에 사용을 하며, 다른 하나는 가공물의 변위 발생시에 자유롭게 유동될 수 있도록 구성을 하였다. 일정한 힘으로 지지 시켜 주는 역할은 스프링을 포함한 이중구조를 사용하였다. 이송 시스템의 모터는 $0.1\mu\text{m}$ 까지 제어가 가능한 미쯔비시 NC 서보모터를 사용하였다. 그림 2는 그라인딩 휠이 장착되어 있는 이송 시스템과 R/W 이송시스템을 나타내는 사진이다.

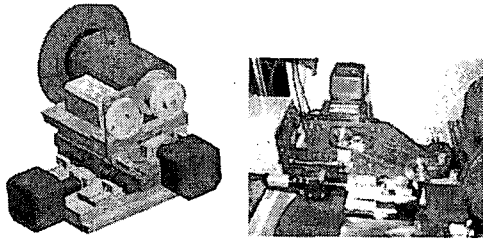


Fig. 2 Feeding system(G/W and R/W)

2.2 실험 방법

동축가공 연삭시스템 이송계의 성능평가는 G/W, R/W 두 파트로 나누어 진행을 하였다. 성능평가는 ISO 230-2의 평가 규격을 이용하여 3회 반복실험을 하여 측정, 평가 하였다.

G/W 이송 시스템은 반복정밀도가 가공시에 중요한 인자로 작용을 하므로 이송계의 반복정밀도, 백래쉬, 위치결정 정밀도를 측정 하여 이송계를 평가 하였으며, R/W 이송계는 이송 시스템의 반복정밀도와 가공물 회전시 가공물의 흔들림 정도를 측정하여 이송 시스템의 성능을 평가하고자 하였다. 성능평가는 Optodyne사의 0.01 μ m의 정밀도를 가지는 레이저 측정장비를 사용하였다. 표 2는 레이저 측정장비의 상세사양을 나타내며, 그림 3은 이송시스템의 성능평가 장면을 나타내는 사진이다.

Table 2 Specifications of the LDDM

Item	SPEC
Company	OPTODYNE, INC.
Resolution	0.01 μ m
Max. velocity	3600 mm/sec
Measurement range (Diameter)	152mm
Temperature range	15.5 oC ~ 32 oC
Measurement distance	15m



Fig. 3 Performance estimation of feeding system

3. 결과 및 고찰

3.1 G/W 이송 시스템의 성능평가

3.1.1 반복정밀도 및 백래쉬

그림 4는 레이저 간섭계 및 ISO 230-2의 평가 규격을 적용하여 그라인딩 휠 이송계의 반복정밀도를 측정한 결과를 나타낸 것이며, 측정값은 3회 반복측정값을 통하여 통계적으로 구한 것이다. 측정결과 이송 시스템의 반복정밀도는 각 위치에서 1 μ m로 나타났으나 원점위치 복귀 구간에서 30~40 μ m 정도로 오차가 발생하는 문제들이 간혹 발생하였다. 이는 이송시스템의 원점 복귀시 원점센서에서 인식의 오차 및 측정오차 등에 기인한 것으로 사료된다. 향후 원점센서 및 소프트웨어 수정을 한다면 1 μ m 이하의 반복정밀도는 충분히 기대할 수 있을 것으로 추정된다.

그림 5는 이송시스템의 백래쉬를 측정한 결과를 나타내는 그림이다. 측정 결과 G/W 이송계의 백래쉬는 1 μ m이하로 나타나 페룰 동축가공 연삭시스템용 이송계로 적용가능 함을 확인 하였다.

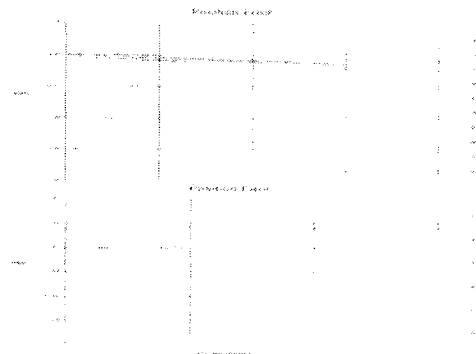


Fig. 4 Positioning error of feeding system(G/W)

Position Measurement, VDI 3441 [mm] File: E:\WORK\중기가공(교기생성)특성평가\Verucialtec
Machine: crucialtec S/N: 12345 By: lineax
Start Position: (0, 0, 0) End Position: (15, 0, 0)
Total Travel = 15. Points = 4 No. of Flurs = 3 MTE
Pressure: 753.24 Humidity: 50.00 Air Temp: 18.95 Material Temp: 18.7 MTE = 1.0
Mean Deviation: -0.001654 Error Band, P= 0.007258 Backlash, U= 0.000365
Avg 3_Sigma: 0.001096 Position Scatter, P= 0.003750 Max Avg Error, P= 0.003612

Position, mm	Mean(F), mm	Mean(B), mm	3 SIGMA, mm
0.0	-0.000155	0.000487	0.001875
5.0	-0.001855	-0.000889	0.004813
10.0	-0.001977	-0.001789	0.006491
15.0	-0.003692	-0.003289	0.002204

Fig. 5 Backlash of feeding system(G/W)

3.1.2 위치결정 정밀도

그림 6은 피딩시스템의 이송속도에 따른 위치정밀도를 측정된 그래프를 나타낸 것이다. 그림 7은 1 Step 당 3 μ m의 변위를 6 step 연속으로 전, 후진하도록 입력 값을 주어 그때 나타나는 이송시스템의 응답변위를 측정된 것이다. 실험은 1 μ m의 변위에서부터 5 μ m 변위까지 측정을 하였으며, 측정결과 1 μ m의 변위에서는 초기 시작점에서 떨림이 발생하는 것을 확인할 수 있었으며, 2 μ m 이상의 변위에서는 정확한 응답변위가 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

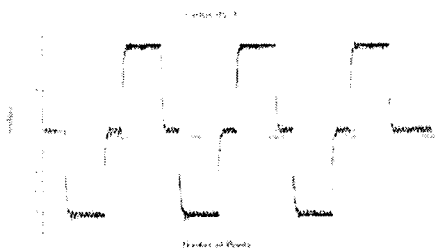


Fig. 6 Micro step response of feeding system (10mm/step, feed 100)



Fig. 7 Micro step response of G/W feeding system (2 μ m step)

3.2 R/W 이송 시스템의 성능평가

3.2.1 반복정밀도 및 가공물 회전시 떨림 값 측정

R/W 이송계의 반복정밀도는 실린더와 LM가이드를 사용하여 구동을 하는 구조이므로 정밀도가 그림 8에서와 같이 약 0.017mm 정도로 나타났다. 하지만 R/W 이송 시스템은 가공물의 가공부하 정도에 따라 유동되는 구조이므로 이송 시스템의 반복정밀도가 가공물의 내경(125 μ m / 0.125mm) 이내로만 들어오면 충분하다고 판단을 하였다.

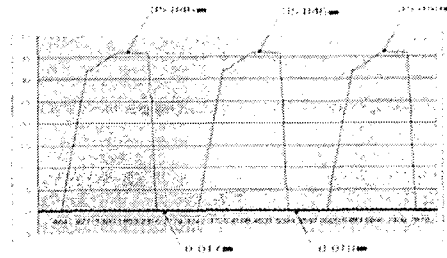


Fig. 8 Micro step response of feeding system

Regulating Wheel이 패들의 표면에 닿아 가공물을 회전시킬때 가공물의 떨림 상태를 측정하였다. 이 떨림 정도가 심하여 가공물을 지지하고 있는 센터핀 끝단의 파괴가 일어나는 경우가 발생하면 처음부터 다시 센터핀을 교체하고 핀과 핀의 Alignment를 조정해야 하므로, 가공부품 생산성의 저하를 가져오게 되는 중요한 요인이다. 측정시 사용한 패들 소재는 우선 30-50 μ m의 동심도를 가지는 제품을 사용하였다. 측정결과 가공물의 외경에서 약 40 μ m의 떨림이 발생하였다. 이는 패들 소재의 동심도 내에 들어오는 치수이므로 R/W 회전시 발생하는 떨림 정도가 미소함을 알 수 있다.

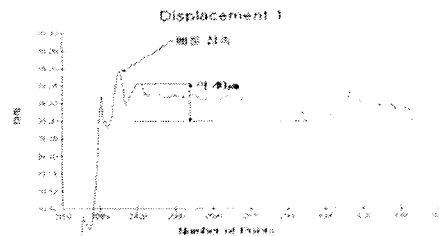


그림 9 Measurement of ferrule shake

4. 결론

본 연구에서는 광통신용 패들의 동축 가공 공정을 위한 초미세 고기능 동축가공 연삭시스템에 적용된 이송시스템의 설계와 이의 제작을 하였다. 또한 이송시스템의 성능평가를 통하여 제작된 이송계가 동축가공 연삭시스템 이송계로 적용가능한지 검토하고자 하였다. 제작한 이송시스템은 두가지로 나누어 특성을 평가하였다. 먼저 가공물을 가공하기 위한 G/W 이송시스템을 평가 하였으며, 그리고 패들을 원활히 회전시키기 위한 R/W 이송시스템을 평가하였다. 앞의 실험결과에서와 같이 R/W 시스템의 경우 반복정밀도가 약 17 μ m로 나타났으며, 가공물 회전시

떨림 정도는 약 30~40 μm 로 나타났다. 이는 원재료의 동심도가 30~50 μm 이므로 회전시 떨림 상태가 장비구동에 대하여 양호 하다고 판단할 수 있다. G/W 이송 시스템의 경우 백래쉬 발생량이 1 μm 이하였으며, 위치결정 정밀도에서도 2 μm 이상에서는 정확한 응답 특성을 보였지만, 반복정밀도에 있어서 원점 복귀시 간혹 오차가 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 원점센서의 오차 및 측정오차에서 기인하는 것이라 사료되며, 향후 원점센서의 교환 및 장비구동 소프트웨어의 수정 등을 통하여 충분히 1 μm 이하의 반복정밀도를 구현할 수 있을 것으로 추정된다.

후기

본 연구는 산업자원부에서 주관하는 중기거점 사업인 고기능성 부품가공용 지능형 연삭시스템의 지원에 의해 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사드립니다. 그리고 현재 진행 중인 다양한 기술부분을 국내 관련기술진 및 연구기관에게 최대한 공개하여 국가과제의 기술적 확산에 보답하고자 합니다.

참고문헌

1. H.-J. Lee, K.-J. Ahn, D.-K. Kim, S.-J. Lee, H.-Z. Choi, Y.-J. Choi, 2003, "Evaluation of Machining Characteristics according to the Chucking Pressure, Design, and Production for Developing Coaxial Grinding system of Light communicative Ferrule", J. of KSPE, Vol. 20. No 7. pp7-12
2. C. H. Park, I. C. Kim, Y. K. Chung and H. S. Lee, 2003, "Study on the Floating Couplings for High Precision Feeding with Ballscrew," J. of KSPE, Vol. 14, No. 5, pp157-163, 1997.
3. 중기거점 "고기능성 부품 가공용 지능형 연삭시스템 개발," 1단계 단계보고서, 산업자원부, 2003