

# 페룰 가공용 Centerless Grinder 설계

조순주<sup>†</sup> · 김형길<sup>\*</sup> · 조창래<sup>\*</sup> · EBIHARA<sup>\*</sup> · TUSKISIMA<sup>\*</sup>

## Design of a Centerless Grinder for Ferrule Grinding

Soon-Joo Cho, Hyung-Gil Kim, Chang-Rae Cho, EBIHARA and TUSKISIMA

**Key Words :** Centerless grinder(무심연삭기), Hydrostatic spindle(유정압 주축), Hydrostatic table(유정압 테이블), Ferrule(페룰)

### Abstract

In this study, the ultra precision centerless grinder for ferrule grinding was designed. The centerless grinder is composed of the high damping concrete bed, grinding wheel spindle unit, regulating wheel spindle unit, feeding table and dressing unit. For a newly developed centerless grinder, hydrostatic system with high precision feeding and high stiffness was proposed. The grinding and regulating wheel spindle units were composed of hydrostatic spindle and feeding table was hydrostatic table. The prototype of hydrostatic table was manufactured and tested.

### 1. 서 론

현재 광통신 관련 부품이나 비구면 렌즈 등 통상의 연삭 가공에서는 도달 할 수 없는 가공정도가 요구되는 부품들이 눈에 띄고 있으며 이러한 연삭 가공을 위한 연삭기는 수입에 의존하고 있는 실정이다.

최근에는 광 커넥터에 대한 관심이 높아져서 생산 업체가 늘어나는 상태이다. 그러나 아직 광 커넥터의 핵심 부품인 페룰(ferrule)을 제작하는 데 필요한 생산 장비 및 기술 부족 때문에 국산화율이 매우 저조한 것으로 알려져 있다.

광 커넥터에 내장되는 페룰은 정보의 전송 효율과 정보의 품질을 결정하는 초정밀 핵심 부품이다. 고급 통신용 광 커넥터의 페룰은 세라믹 소재인 지르코니아( $ZrO_2$ )로 제작되기 때문에 소재 특성상 전적으로 연삭 가공에 의존하고 있으며, 특히 광로(빛의 경로)를 일정하게 유지할 수 있도록 내부 통로를 기준으로 하는 페룰의 외경 연삭 기술

이 매우 중요하다. 이러한 페룰의 마무리 외경 연삭에 사용되는 무심연삭기는 현재 대부분 일본에서 수입하고 있는 실정인데, 고정밀 이송/제어 기술로 대표되는 장비 기술의 부재가 가공/제작 기술의 부족으로 이어지는 악순환을 초래하고 있다. 따라서 광 커넥터용 페룰을 효과적으로 제작할 수 있는 초정밀 무심연삭기를 개발하는 것은 21세기 초고속 통신의 기반 기술을 확보하는 의미를 가지며, 이를 통한 정밀 부품 산업에의 파급 효과 또한 지대할 것으로 사료된다.

본 논문에서는 페룰 가공을 위한 초정밀 무심연삭기의 설계 및 제작에 관해 서술하고자 한다.

### 2. 페룰 가공용 무심연삭기

#### 2.1 기본 구조

광 커넥터의 핵심 부품인 페룰은 광통신의 중요한 커넥터 부품으로 슬리브 내에서 페룰을 서로 맞대 광파이버를 정렬하는데 사용되는 부품이다. 광파이버의 맞대기가 정확하고 광학 특성에 영향을 주지 않기 위해서는 높은 가공 정도를 요구한다.

<sup>†</sup> (주)세스코

E-mail : cesco@korea.com

TEL : (032)575-1944 FAX : (032)571-9551

\* (주)세스코

페룰의 요구정도(참고치)를 살펴보면

- 형 상 :  $\varnothing 2.5 \times 10$
- 재 질 : Zirconia 계 Ceramics
- 진 원 도:  $0.1 \mu\text{m}$  이하
- 원 통 도:  $0.5 \mu\text{m}$  이하
- 면 조 도: Ry  $0.5 \mu\text{m}$  이하
- 치수정도:  $\pm 0.2 \mu\text{m}$

페룰과 같은 fine ceramics 의 요구에 대응하는 초정밀 무심연삭기의 개발을 실현하기 위하여, 기계시스템 각부의 고정도화, 고 강성화와 열 변위를 고려하여 balancing 이 뛰어난 소형기의 제작을 개발 목표로 하였다. 특히 치수 관리 폭이 극히 좁다는 것에서 극미량 절입이 가능한 slide 구조의 채용이 필요하게 되어, 50nm 단위의 치수 추종을 목표로 설계 계획하였다. 이를 바탕으로 페룰 가공용 무심연삭기의 재원을 Table 1 에 나타내었다.

페룰 가공용 무심연삭기의 구조는 Fig. 1 에서 보는 바와 같이 본체, 연삭 주축, 조정차축, 이송 테이블, 드레싱 장치로 구성되어 있다.

### 2.2 연삭 주축의 설계

연삭 주축 구조는 강성의 높은 양단지지 구조를 채택 하였으며, 베어링구조는 저속 사양 및 고속 사양에서의 대응과 높은 회전 정밀도, 고강성을 고려 하여 유정압 베어링을 채택 하였다.

**Table 1 Specification of centerless grinder**

ITEM		SPECIFITION
본체		110 × 765 × 900
가공범위(mm)		$\varnothing 0.5 \sim 10\text{mm}$
GW 주축 구동 MOTOR		3.7kW
조정차 경사각		$+5^\circ \sim -1^\circ$
기계중량(kgf)		2500
GW 주축계	연삭 스톨	$\varnothing 250 \times \varnothing 157 \times 150$
	베어링 형식	유정압
	주축구동	Inverter + Pulley
RW 주축계	조정차 스톨	$\varnothing 250 \times \varnothing 127 \times 180$
	베어링 형식	유정압
	주축구동	Servo
Dressing Unit	Traverse 구동	Inverter
	Dia-feed 구동	AC servo
	Slide 형식	Turcite
	최소 절입량	$0.1 \mu\text{m}$
이송 기구	Slide 형식	유정압
	최소 절입량	$0.05 \mu\text{m}$

유정압 주축은 볼 베어링과 같은 높은 강성과 부하용량을 유지하면서도 윤활유막의 평균화 효과에 의해 구성부품의 형상정밀도 이상의 회전정도를 낼 수 있으며, 가압 된 윤활유막에 의한 우수한 감쇠특성과 비접촉에 의한 긴 수명을 유지하는 등의 특징을 지니고 있어 고정밀 주축에 많이 사용되고있다.

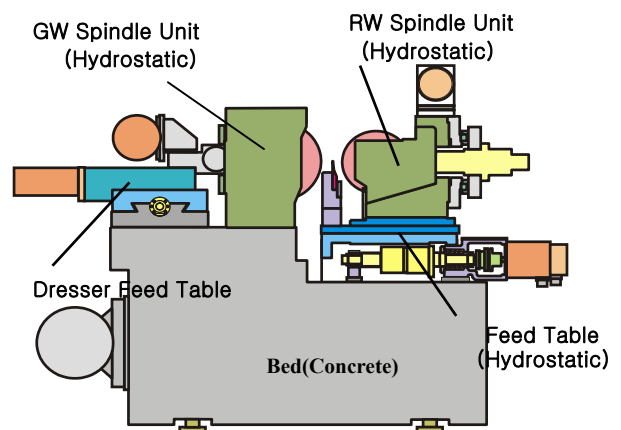
동력전달요소는 플렉시블커플링(flexible coupling)을 사용하였다. 플렉시블커플링의 경우 벨트구동에서의 요동과 같이 정도를 급격히 악화시킬 수 있는 변수가 없으므로 회전수의 변화와 관계없이 거의 일정한 회전정도를 나타내며 상대적으로 벨트구동방식에 비해 우수한 회전정도를 보이고 있다. 연삭 주축의 layout 을 Fig 2 에 나타내었다.

개발 연삭기의 스톨은 취성 재료인 세라믹을 대상으로 하기 때문에 다이아몬드 스톨의 장착을 기본으로 하였다. 다이아몬드 스톨을 채용 함으로써 지석마모가 작으므로 장시간의 치수안정화도 유리하기 때문이다. 가공정도의 안정화를 배려하여 스톨 폭은 최대 150mm 까지 장착가능토록 하였으며 회전에 의한 발열의 감소 및 축 강성을 고려하여 스톨의 최대지름은  $\varnothing 255\text{mm}$  로 설정하였다.

### 2.3 조정차축의 설계

작업자의 숙련을 필요로 하는 가공정도 조정을 용이하게 하기 위하여 조정차 폭을 180 mm 로 하고, 강성이 뛰어난 양단지지구조로 하였다. 일반적으로 RW 은 가공 시 GW 에 비해서 회전수가 낮고, 부하능력이 작다.

베어링구조는 저속에서 무단변속사양에의 대응과, 높은 회전정밀도, 고강성을 고려하여 유정압 베어링을 채용하였다.



**Fig. 1** Layout of centerless grinder

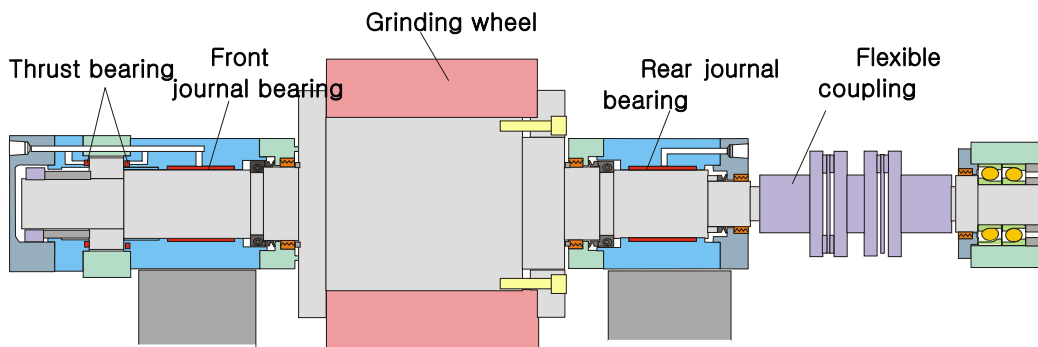


Fig. 2 Layout of grinding wheel spindle

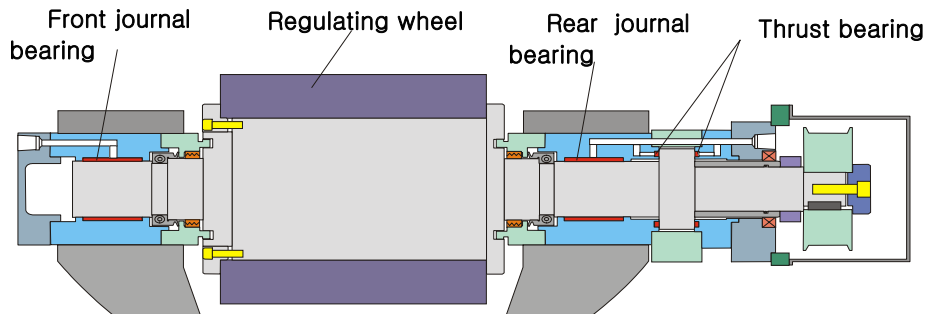


Fig. 3 Layout of regulating wheel spindle

RW 의 가공물에 제동을 건다는 것은 RW 의 회전수, 즉 RW 의 원주속도와 가공물의 원주속도가 거의 동일함을 말한다. RW 의 회전에 의해서 가공물의 회전수가 증가하고 이송속도(feed rate)가 일정할 때는 가공물 1 회전 당 슷들에 들어간 양은 감소하게 된다. 따라서 그만큼 열도 나지 않게 되는 것이다. 또한 일정 시간당 가공물의 회전수는 RW 의 회전을 올림으로서 증가하는 것이므로 그만큼 진원도도 좋아지게 된다. 이와는 반대로 회전수를 올린 만큼 가공물은 불안하게 되므로 미끄러짐 상태에 가까워지게 된다.

조정차 회전수는 10~300 RPM 의 범위에서 무단 변속이 가능하도록 하였으며 그에 따라 구동부는 Gear box + AC servomotor + Inverter 의 구조로 하였다. 가공물의 회전제어 및 회전기준의 중요도를 고려하여, 외주면의 회전정밀도 향상을 우선 판단의 기준으로 하였다. Fig. 3 에 조정차축의 구조를 나타내었다.

#### 2.4 조정차 테이블의 구조

페룰 가공을 위해 50 nm 의 미소절입 분해능을 목표로 하고 있으며, 추중정밀도 향상을 고려하여

유정압 슬라이드 구조를 채용하였다

각형 구조로 전후, 좌우 모두 밸런스를 중시한 안정된 구조를 배려하여, 미소이송에 따른 추중성향을 계획하였다. 열 변위 대책으로서 drain 측은 최대한 빨리 외부로의 회수가 가능하도록 베드 내에 구배를 가진 gutter 부품을 배치하고, port 수도 가능한 한 증가시켰다.

이송기구는 C1 급 볼스크류를 사용하였으며 servo motor 와는 커플링을 이용하여 직결하는 구조로 하였다. 볼스크류는 THK 사의 BNFN 4506A-7.5 RRG0 +465C1 모델이며, 축경 Ø45, lead 6mm, 부하회로수 3 열×2.5 권, 기본 정격하중 Ca 41.2 kN, C<sub>0a</sub> 150.0 kN, 강성은 2210 N/μm이다.

연삭 부하의 변동에 대하여도 치수변화가 나타나지 않도록 강성에 최대한 배려를 하였다. 이송기구를 직결로 함으로써 구동계의 slip 현상을 제거하며, 최소 이송량과의 관계에서 lead 는 5~6 mm 가 한계이므로, 상기 재원의 볼스크류를 선정하고 직결방식을 채용하였다. 소형화 및 고정도화를 달성하기 위하여 이송계의 stroke 는 50mm 로 억제하였으며, 조립의 용이화 및 고강성 보지를 위하여 볼스크류는 양단지지구조를 채용하였다.

테이블과의 고정에는 spacer 조정방식으로 하였으므로 조립 시, 유정압 slide 의 부상량과의 관계를

주의할 필요가 있다. 정확한 미소이송의 추종성과 slide 부에 연삭액이나 마스트로부터의 보호 등을 고려하고, 특히 작동으로 연삭액이나 먼지가 혼입되는 것을 방지하도록 seal 이나 cover 의 구조에 노력을 기울였다.

구조의 간소화 및 높이를 최대한 낮추기 위하여 그리고 덧붙여 고강성화가 가능하도록 곡면 (R 면) 지지방식을 채용하였다. 슬라이드와 조정차의 경사각 조정기구를 각각 분리하는 쪽이 조작성은 향상되지만, 높이방향의 거리를 낮출 수 없기 때문에 보류하였다.

곡면지지방식에서는 좌우대칭에 가까운 구조를 가진 구동계의 장착이 가능하기 때문에, 테이블 상부의 중량밸런스가 종래방식의 구조보다 향상되고, 미소절입 추종정밀도에도 유리하게 작용한다고 판단할 수 있다. Fig. 4 는 R 면 조정차대의 측면 layout 을 나타낸 것이다.

2.5 수정장치(Dresser)

무심연삭기의 스톨 수정장치는 연삭 스톨의 수정장치와 조정 스톨의 수정장치가 사용된다. 다이아몬드 스톨의 드레싱은 기외 수정한 다이아몬드 스톨을 장착하는 방법이 통례로 되어 있으나, 편마모 등에 의한 탈착, 수정후의 정도 재현의 신뢰성은 뒤떨어지는 점이 있다 초정밀 연삭에 대응하기 위한 수정장치는 기상수정이 유리한 조건이 된다고 판단하고 있다. 그러나 광폭 다이아몬드 스톨의 기상수정에 관하여는 확립되지 않은 기술이 많기 때문에 적합한 드레싱 기술을 좀더 조사, 검토해 나갈 필요가 있다고 사료된다.

조정 스톨의 수정장치는 가공물의 회전제어 및 회전기준이 되는 조정차의 외주면을 수정한다고 하는 중요도를 고려하여 진직성, 재현성에 뛰어난 우수한 슬라이드구조를 가진 고정도의 장치를 검

토하고 있다. 경한 재질 및 고정도 수정을 위해, 궁극적으로는 소경의 로터리 다이아몬드 드레서의 장착이 필요하게 될 것으로 예상된다.

2.6 기타장치

베드구조는 내부에 콘크리트를 충전 하여 진동 방지 및 열 변위량의 감소를 하였으며 열 변위가 완만하게끔 coolant 용량 및 pump 의 토출량을 크게 선정하여, 베드가 코너에서 세정 겸용으로 주수하여 온도의 균일화와 안정화 시켰다.

Coolant tank 에 정밀 수온 관리 장치의 장착과 정압 베어링용 유압 unit 에 정밀 유온관리장치의 장착을 고려하고 있다.

3. 이송계의 제작

3.1 조정차대 테이블 이송장치 제작

이제까지의 설계를 바탕으로 제작한 조정차대의 유정압 안내면 테이블을 Fig. 5 에 나타내었다. 유정압 테이블은 양면 지지형이며 수평방향과 수직방향은 동일한 패드 형상을 갖도록 설계하였다. 수직방향의 경우에는 1 열에 3 패드식 좌우 2 열로 되어 있으며, 수평방향의 경우에는 1 열로 구성되어 있다. 테이블은 이송계 강성 500 N/μm 이상, 이송분해능 0.05 μm 이하, 반복정밀도 ±0.2 μm 이내로 설계 제작하였다.

3.2 Dresser 이송장치 제작

Dresser 이송계 구조를 보면 dia feed 는 Servo motor + Ball screw + LM guide 의 구조로 되어있고, Traverse 는 Motor + Ball screw + LM guide 의 구조로 되어있다. Fig. 6 은 제작된 dresser 이송 장치를 나타내고 있다.

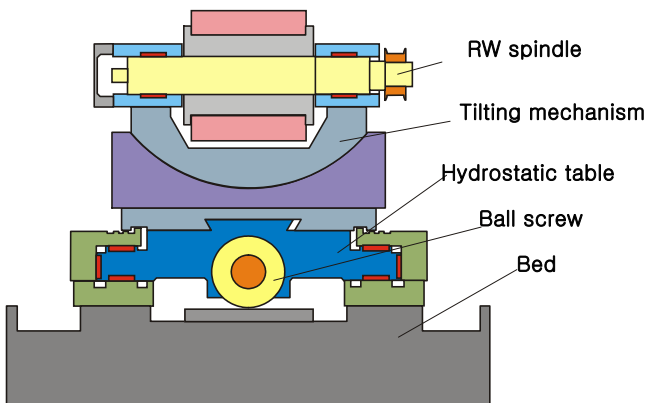


Fig. 4 Regulating wheel slide base



Fig. 5 Prototype of hydrostatic table



**Fig. 6** Dresser feeding table

#### 4. 결 론

고기능성 부품인 페룰의 외경 연삭 가공을 위한 초정밀 무심연삭기의 구조 및 사양에 대하여 layout 및 각 unit 의 설계를 완성하였다. 그러나 아직도 각 세부적으로 검토해야 할 과제가 산적해 있다. 제작품의 실질적인 테스트가 병행 되어야 하며 in-process gage system 의 운영 등 연삭 시스템의 고정도, 고강성에 적합한 연삭 조건과 주변환경에 관한 연구도 비중 있게 진행 되어야 한다고 사료된다.

#### 후 기

본 연구는 산업자원부에서 주관하는 “고기능성 부품용 지능형 연삭시스템개발”의 지원에 의해 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참고문헌

- (1) C. H. Park, G. W. Ryu, H. S. Lee, Y. G. Jung, 1995, “Effect of the power transmission units on the Rotational accuracy of a hydrostatic spindle”, Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 12, No. 2, pp 59- 68.
- (2) Chun Hong Park, Joo Hoo Hwang and Soon Joo Cho, 2003, “A Feeding system of centerless grinder for machining the ferrule”, KSME Fall Conference, pp. 129-134.
- (3) Soon Joo Cho, Hyung Gil Kim, EBIHARA, TUSKISMA, 2003, “The study on the development of ultra precision centerless grinder”, Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 20, No. 6, pp 11-14.