

◆특집◆ 지능형 연삭 가공 시스템 III

광통신용 페룰 동축가공기 개발을 위한 설계, 제작 및
척킹압에 따른 가공 특성 평가

이호준*, 안건준*, 김동길**, 이상조**, 최현중***, 최영재***

Evaluation of Machining Characteristics according to the Chucking Pressure, Design, and Production for Developing Coaxial Grinding System of Light Communicative Ferrule

Ho-Jun Lee*, Keon-Joon Ahn*, Dong-Kil Kim**, Sang-Jo Lee**, Hon-Zong Choi***, Young-Jae Choi***

Key Words : Ferrule (페룰), Grinding(연삭), Co-axle Grinding Machine(동축가공기), Roundness(진원도), Concentricity(동심도), Cylindricity (원통도), center-pin(센터핀)

1. 서론

각광을 받고 있는 광통신 분야의 핵심부품인 페룰은 일본이 전세계의 95%를 장악하고 있다. 국내에서도 일부 업체에서 양산을 하고 있으나, 핵심 연삭공정에 사용되는 연삭 가공장비는 전량 수입되고 있는 실정이다. 페룰은 0.1~ 0.3 μ m의 동심도, \pm 0.2 μ m의 외경치수, 0.1 μ m대의 진원도와 원통도, 10nm의 표면거칠기를 구현해야 세계적 경쟁력을 갖추 수 있는 초미세, 초정밀 기계가공 부품이다. 이러한 가공정밀도를 구현하기 위한 동축가공 연삭시스템의 공정은 기존의 와이어를 이용한 센터리스 연삭 방식에서 초미세 센터핀을 이용한 초고속 원통연삭 방식으로 급속히 변화하게 되었다. 국내에서 생산되고 있는 동축가공 연삭시스템중에 센터핀을 이용한 연삭방식을 채용하고 있는 장비의 상용화는 전무

한 상태이고, 일본에서 2~3 업체만이 상용화에 성공하였다. 국내 일부에서 생산된 장비는 구형의 가공방식을 채택한 장비이며, 생산된 페룰의 품질이 낮아 세계적인 페룰 업체와의 경쟁력에 있어서 심각한 격차를 보이고 있다.

본 연구에서는 페룰의 가공공정 중에 동축가공 연삭시스템에 적합한 장치의 구조해석, 설계를 통하여 기초 실험장치를 제작하고 제작된 실험장치를 통하여 페룰의 동축가공에 대한 가공특성을 평가하였다. 페룰의 동축가공을 위해서는 우선 가공시 페룰을 지지하기 위한 센터핀이 장착된 척킹장치, 양센터핀을 일직선상에 정렬하기 위한 미크론 단위로 조정 가능한 미세 조정장치, 페룰을 적절한 압력으로 척킹할 수 있는 척킹압력 조정장치, 고속 대량 생산을 고려하여 방진이 가능한 주축 고정장치, 가공 전후에 페룰을 적합한 속도로 회전시키기 위한 휠, 그 외에도 고정도의 연삭유 정화장치, 가공중의 분진 비산을 방지하기 위한 집진장치 등을 필요로 한다. 본 연구의 수행을 위하여, 연삭시스템에 필요한 각 주변 장치 요소들을 자체 설계, 제작하고 제작한 장치를 통합하여 기초 실험장치를 구성하였다. 척킹압에 따른 페룰의 동축가공 특성을 평가하기 위하여 척킹

* 크루셜텍 주식회사 천안연구소

Tel: 041-548-3377, Fax: 041-548-3377

Email: hjlee@crucialtec.com

생산 시스템 특히, 페룰 가공시스템의 지능화, 자동화, 개방화 분야에 관심을 두고 연구활동을 하고 있다.

** 연세대학교

*** 한국생산기술연구원 나노가공팀

압의 조건에 따른 실험을 한 후 동축가공이 완료된 페들의 동심도, 진원도, 원통도 등을 측정하여 동축가공기 개발을 위한 최적의 조건을 결정하였으며, 차후(2단계 개발사업)에 주변장치 요소들을 통합하여 세계 최고 수준의 페를 동축가공장비를 개발하기 위하여 필요한 개선점 및 보완점을 획득하고자 하였다. 그리고 이의 개발 요소를 활용하여 초미세, 초정밀의 소형 원통연삭기를 제작할 수 있는 능력을 확보 하였다.

2. 실험장치

2.1 척킹시스템 척킹오차의 이론적 상관관계

2.1.1 센터핀과 페들의 관계

양센터핀과 센터구멍사이의 정렬 오차는 2개의 평행 오차와 1개의 각도오차에 의해 $s_x, s_y,$ 와 $S_x, S_y,$ 로 표시된다. 센터핀에는 정점을 원점으로 하는 직교 좌표계 $x_h - y_h - z_h$ (주축대쪽)와 $x_t - y_t - z_t$ (심압대쪽)을 고정 시키고, 센터 구멍에는 입구부의 중심을 원점으로 하는 직교 좌표계 $X_h - Y_h - Z_h$ (주축대쪽)와 $X_t - Y_t - Z_t$ (심압대쪽)을 고정 시킨다. 주축대 센터핀은 보통 주축대에 끼워져 베드 등에 고정되어 있으므로, 좌표계 $x_h - y_h - z_h$ 는 외부에서 보면 정지된 것으로 간주되며, 나머지 3개의 좌표계는 페들의 회전에 따라 이동되어 얻어진다. 따라서 나중에 가공물의 회전에 따른 페들의 위치는 좌표계 $x_h - y_h - z_h$ 를 기준 좌표계로 나타낸다. 다음은 위치와 좌표계의 관계를 수식적으로 나타낸 것이 식(1)이다.

$$\begin{aligned} X_h &= (X_h \ Y_h \ Z_h) \\ X_t &= (X_t \ Y_t \ Z_t) \end{aligned} \quad (1)$$

2.1.2 양 센터 핀의 관계

Fig 1에서 양 센터핀 상호간의 위치 관계를 나타내었다. 여기서, 좌표계 $x_h - y_h - z_h$ 는 좌표계 $x_t - y_t - z_t$ 를 먼저 적절하게 직선 변환시킨 후, y축에 대하여 (180 -)만큼 회전 변환한 것을 식으로 나타내면 식(2)와 같다.

$$X_t = \begin{bmatrix} -\cos\phi & 0 & -\sin\phi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin\phi & 0 & -\cos\phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & s_x \\ 0 & 1 & 0 & s_y \\ 0 & 0 & 1 & -l_h \\ 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times x_h \quad (2)$$

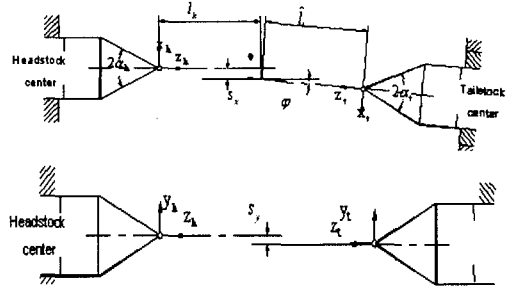


Fig. 1 Alignment errors between center pins

2.2 유한요소해석을 이용한 자중과 연삭력에 의한 변형분석

Fig. 2는 ANSYS를 이용하여 동축가공기를 자중에 의한 X, Y, Z방향의 변형 및 연삭력에 의한 변형을 분석한 그림이다. Z방향의 변형에서는 중심부분의 처침이 $4\mu\text{m}$ 가 가장 많았고, Y방향의 변형에서는 상부는 변형이 거의 없고 하부만 전후 방향으로 $3\mu\text{m}$ 정도 팽창하였다.

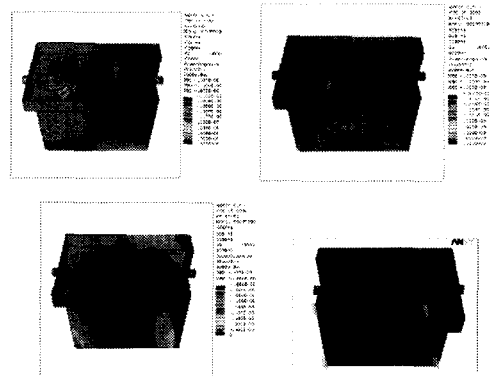


Fig. 2 Analysis of Co-axle Grinding Machine

2.3 실험장치 구성

본 연구에서는 페들의 동축가공을 위한 주변장치의 개발에 있어서 개발된 각 장치요소들의 성능을 평가하기 위한 통합 실험장치를 Fig. 4와 같이 구성하였다. Fig. 3은 동축가공기의 상세도를 나타내는 것으로 Fig. 4에서와 같이 Regulating 휠과 Grinding 휠을 회전시키기 위한 구동수단으로서 4축의 AC 서보모터를 사용하였고, 각 휠의 이송을 위하여 자체설계의 초정밀급 리니어 가이드와 볼스크류, AC 서보모터를 사용한 구동방식을 채택하였다.

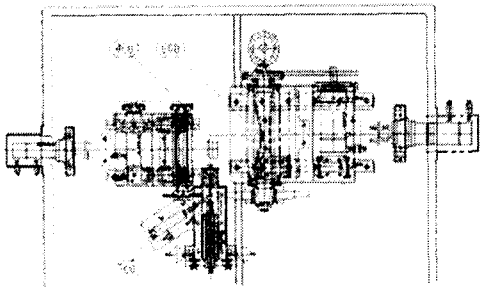


Fig. 3 Design for developed coaxial grinding system

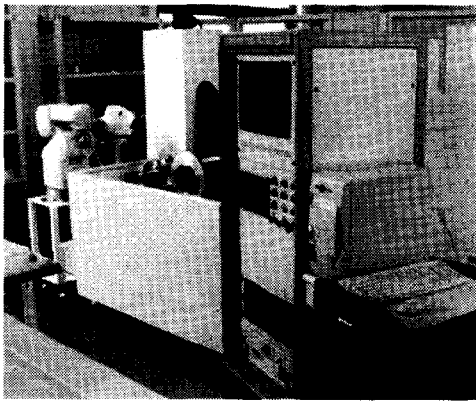


Fig. 4 Test equipment for developed coaxial grinding system

휠의 이송과 회전을 포함한 4축의 서보모듈들을 제어하기 위하여 미쯔비시 Q-시리즈 PLC 컨트롤러와 펜티엄 PC로 각 서보모듈들의 제어를 실시하였으며, 터치스크린을 이용한 통신모듈을 별도 설치하여 실험장치 운용의 편의를 도모하였다. 서보기구와는 별도로 동축가공에 필요한 페룰의 척킹은 주축측과 심압측에 초경합금 다이아몬드팁 센터를 이용하였고, 각 센터는 미세조정 나사로 Grinding 휠과의 정렬을 실시하였다. 특히, 심압측은 압축공기를 이용한 특수 스피들을 구조로 설계하였으며, 압축공기를 사용하여 페룰의 축방향으로 가해지는 힘을 조절할 수 있게 함으로써, 동축가공의 가공정밀도를 높일 수 있다. 그 외에 연삭유 공급장치와 가공 중 분진제거를 위한 집진장치를 설치하였으며, 위에서 언급한 총 4축의 서보기구, 연삭유 공급장치, 집진장치 등을 통합제어 할 수 있도록 통합제어부를 구성하였다. 통합 제어장치의 제어 프로그래밍 및 작업상의 편의를 위하여 PC와

통합제어부를 연결함으로써 PC와 PLC 제어의 장점을 수용한 향상된 제어부를 구성하였다.

Fig 5는 실험에 사용한 스피들과 페룰 가공시의 슷들과 조정자와 페룰을 고정하기 위한 척킹 시스템을 나타내는 것으로 스피들의 총 길이는 465mm, Housing의 최대 직경은 150mm, 주축의 최대직경은 68mm, 플랜지 외경 95mm의 스피들을 설계 및 제작하였으며 자세한 사양은 Table 1과 같다.

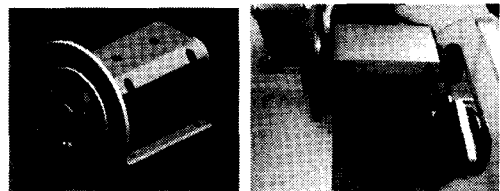


Fig. 5 Assembly drawing of the developed spindle system

Table 1 Specification of spindle system

Item	Specification
Radial stiffness (N/m)	100
Radial run-out (μm)	0.3
Maximum speed (rpm)	10,000
Vibration amplitude (m)	0.5
Heat generation (?)	5

2.4 페룰 척킹시스템

Fig. 6은 본 연구에 사용한 페룰의 척킹시스템의 사진을 나타낸 것이다. 고정 센터핀이 장착되는 주축측과 압축공기의 공급으로 실린더가 페룰의 축방향으로 구동할 수 있도록 구성된 심압측으로 나뉘어져 있다. 심압측 센터핀과의 정렬을 위하여 주축측 센터핀을 고정하고 있는 척킹블록은 양옆에 설치된 미세 조정 나사에 의하여 센터핀의 각도와 위치를 마이크론 단위로 조절할 수 있으며 척킹압은

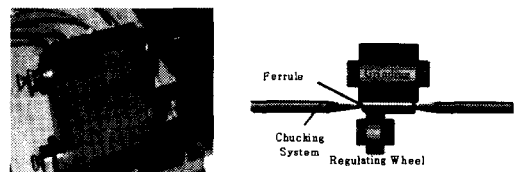


Fig. 6 A photograph of Chucking system including each micro center-pin and chucking block

0~0.9Mpa까지 임의 조정이 가능하며 설정압력에 의해 center-pin이 고정되는 구조로 설계되어 있다.

3. 실험방법

3.1 Center-pin의 조건에 따른 척킹시스템과 가공특성 평가

척킹 시스템에 가장 영향을 미치는 변수에는 많은 것들이 있으나 본 실험에서는 척킹압에 따른 영향을 분석하였으며, 척킹시 alignment는 30배율의 루페에 치수를 붙여 alignment를 맞춘후 페룰의 동심도, 진원도, 원통도를 측정하여 적정 가공조건을 결정하였다. 페룰 가공시 가장 중요한 정밀도는 동심도이며, 진원도와 원통도는 동축가공 공정중 Fine centerless machine을 이용한 공정에서 최종 마무리 되므로 본 동축가공 공정에서는 동심도 유지를 부분적 보조 정밀도로 판단하였다. 페룰의 가공정밀도 중에서 중요한 것이 동심도인데 동심도의 측정은 전수검사로서 가공 되어진 모든 페룰을 검사하여야 한다. 따라서 동심도 측정의 정확도를 유지하면서 빠른 시간 내에 페룰을 측정하기 위하여 동심도 측정기를 크루셀텍(주)에서 자체 개발하여 사용하였다. 동심도를 측정하는 방식은 20배율의 광학렌즈와 CCD Camera, VMU, Frame Grabber 등을 이용하여 광 페룰 선단의 내경을 확대, 형상화하고, 동일한 위치에서 광 페룰을 회전시키면서 내경을 측정하여 최종 동심도의 값을 얻어내는 방식을 채택하였다. Fig 7은 페룰의 외경공차를 측정하기 위한 측정부위를 나타내는 그림이며, Table 2는 척킹시스템의 특성을 분석하기 위한 실험조건을 나타내는 것으로 Regulating wheel speed 및 Grinding wheel speed는 한국 생산기술연구원에서 연구한 최적조건을 참고하였고, 심압편과 주축편의 각도는 현재 페룰을 가공하고있는 일본 업체 조사와 자체 실험치를 감안하여 설정하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 척킹압의 변화에 따른 페룰가공 특성평가

페룰가공시 페룰의 적정 척킹압이 페룰 가공에 영향을 미치는 결과를 알아보기 위하여 척킹압을 변화 시키며 실험을 한 결과 0.2 MPa에서 가장 양호한 결과를 얻을수 있었으며, center-pin의 수명도 가장 길었다. Fig 8은 center-pin이 부서지거나 마모

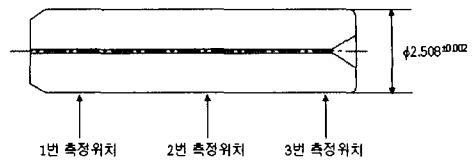


Fig. 7 Measurement position of Ferrule

Table 2 condition of experiment

Item		Condition
Degrees of cent-pin(°)	심압편	70
	주축편	40
Pressure of chucking (MPa)		0.2, 0.3, 0
Material speed (rpm)		1250
Depth of cut (μm)		50~90
Material of cent-pin		초경합금
Grinding wheel speed (rpm)		2800

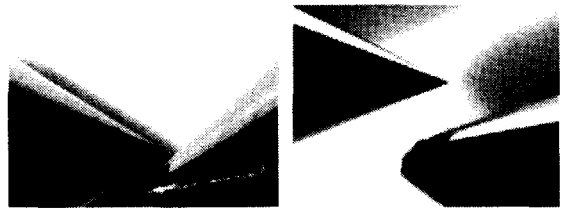


Fig. 8 A breakdown of cent-pin

되었을 경우의 사진으로 tip이 부서지는 경우의 대부분은 center-pin의 alignment가 맞지않아 발생하였고, 척킹압이 높음으로 인해 동축가공시 페룰의 회전이 양호하지 않고 Tip이 마모되는 경향을 보였다.

Fig. 9는 척킹압의 변화에 따른 동심도의 변화를 나타내는 것으로 0.2MPa에서 평균동심도 0.604 μm로 가장 양호하게 나타났다. 0.1MPa로 척킹한 경우 Regulating wheel로 페룰을 회전시키면 페룰이 Regulating wheel의 압력을 이기지 못하여 페룰이 척킹시스템에서 이탈하는 경우가 발생하였다. 그러므로 본 실험 결과에서는 0.1MPa의 측정값은 제외하였다. Fig. 9, 10은 페룰 가공후의 진원도 및 동심도를 나타내는 그래프로 진원도의 경우 척킹압에 따른 큰 변화는 없었으나 0.2MPa에서 평균진원도 1.848μm로 나타났으며, 원통도는 Fig. 7에서 페룰의 1, 2, 3번 측정위치의 값을 측정하여 가공 편차를 나타낸 것으로 페룰의 원통도 기준치가 φ 2.508 ± 0.002mm인데 0.2MPa의 경우 φ 2.508 ± 0.0010mm로 가장 양호한 가공상태를 보였고 0.3의 경우도

2.508 ± 0.0012mm로 나타나 0.2MPa과 0.3MPa의 차이가 크지 않았다.

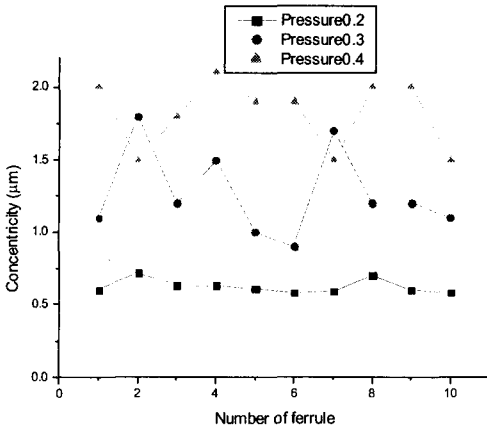


Fig. 9 Concentricity distribution of Ferrule

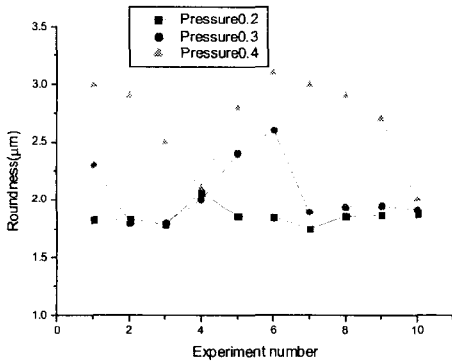


Fig. 10 Roundness of ferrule

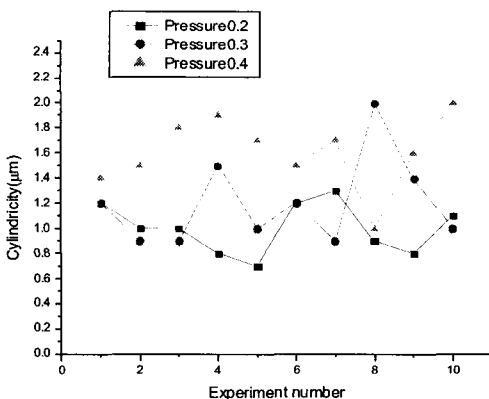


Fig. 11 Cylindricity of ferrule

5. 결론

본 연구에서는 고기능성 부품인 페룰의 최적 가공을 위하여 광통신용 페룰 동축가공기를 설계, 제작하였으며, 제작된 동축가공기를 이용하여 실험 변수들을 변화하면서 가공 실험을 하여 척킹압에 따른 페룰가공시 동축가공기의 특성을 규명하고자 하였다.

1. 미세 조정 나사에 의하여 센터핀의 각도와 위치를 마이크론 단위로 조정할 수 있고 척킹압은 0~0.9Mpa까지 임의의 조정이 가능한 척킹시스템을 장착한 초미세, 초정밀의 동축가공기를 설계, 제작하였다.

2. 척킹압이 낮으면 페룰의 회전이 원활히되거나 0.1MPa이하의 척킹압에서는 가공실험이 불가능 하였으나Regulating wheel 접촉시 페룰이 척킹시스템에서 떨어지지 않는 상태에서의 척킹압(0.2MPa)이 가장 양호한 동심도를 나타내었다.

3. 척킹압이 높으면 페룰의 회전이 원활하지 않아 페룰의 진원도가 급격히 나빠지는 경향을 보였다.

4. 페룰 척킹시 최적의 척킹압은 0.2MPa로 나타났으며, 0.2MPa의 척킹압으로 페룰을 가공한 후 측정된 결과의 평균값은 동심도 0.604μm, 진원도 1.848μm, 원통도의 가공 편차 1.0μm로 나타났다.

5. 척킹시스템의 척킹오차와 가공 결과치의 비교는 중기거점과제의 최종보고서에 추가 게재 하고자 한다.

후 기

본 연구는 산업자원부에서 주관하는 중기거점 사업인 고기능성 부품가공용 지능형 연삭시스템의 지원에 의해 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Kim, Dong-Kil, Kim, Young-Tae and Lee, Sang-Jo, "A study on the chucking alignment error analysis in coaxial grinding of ferrule," KSPE Summer Conference, pp. 9-14, 2002.

2. Shelofast, V. V., 편영식, 이건범, CAE를 이용한 Machine design, 기술정보, 2002.
3. Ohmori, H., Li, W., Makinouchi, A., Bandyopadhyay, B. P., "Efficient and precision grinding of small hard and brittle cylindrical parts by the centerless grinding process combined with electro-discharge truing and electrolytic in-process dressing," Journal of Materials Processing Technology, 98, pp 322-327, 2000..
4. 중기거점 "반도체 및 광산업 부품가공용 지능형 고정밀 주축개발," 1차년도 보고서, 산업자원부, 2002.
5. Pyoun, Y. S., et al., "Design of High Precision Spindle System for Ferrule Grinding Machine," Proceedings of the Korean Society of Precision Engineering Spring Annual Meeting 2002, pp. 15~19, 2002.