

페를 가공용 무심연삭기의 가공변수에 관한 연구

박봉진(인하대 대학원 기계공학과), 이은상(인하대 기계공학과),
최현중, 이석우(한국생산기술연구원), 조순주(㈜세스코)

A Study on Machining Variable of Centerless Grinding using for Ferrule Machining

B. J. Park(Mech. Eng. Dept, INHA Univ.), E. S. Lee(Mech. Eng. Dept., INHA Univ.)
H. J. Choi, S. W. Lee(KITECH), S. J. Cho(CESCO, LTD)

ABSTRACT

This paper compared the surface roughness with variables before development of centerless grinding using for ferrule machining. In this paper, theoretical surface roughness is obtained from variables such as mesh number, rate of concentration of grinding wheel, wheel rotation of work-piece etc., and optimum condition of machining is selected.

For satisfaction the technical side and economical side, centerless grinding using for ferrule machining should be designed more than #600, 18.8% rate of concentration of grinding wheel, 1440rpm wheel rotation of work-piece.

Key Words : Centerless grinding (무심연삭기), Ferrule (페를), Mesh number (입도), Rate of concentration of grinding wheel (연삭 스톨의 입자율),

1. Introduction

광통신 기술의 발전은 고속, 광대역을 요구하는 서비스의 전개에 있어 필수적인 기반 기술이다. 광통신 부품 중 광커넥터의 핵심 부품인 페를(Ferrule)은 파이버의 주요한 커넥터 부품으로 사용되는 것으로 Fig.1의 광커넥터의 구조에서 보는 바와 같이 슬리브내에서 광파이버를 서로 맞대 광섬유를 정렬하는데 사용된다. 광파이버의 맞대기가 정확하고, 광파이버의 광학 특성에 영향을 주지 않도록 하기 위해서는 파이버 삽입구멍에 높은 동축도와 원통도가 요구되며, 페를의 외경이 일치하지 않으면 광의 손실이 생기고 통신 장애가 발생하므로 고정밀도로 가공이 요구되어 지고 있다.

페를의 형상은 Fig.2와 같으며 고정밀도를 가지는 페를은 일반적으로 Table1의 사양을 가진다. 특히 페를의 외경 가공시 사용되는 무심연삭기는 일반 연삭기에 비해 가공 메커니즘이 복잡하여 그 원리를 아는 일은 매우 중요하다.

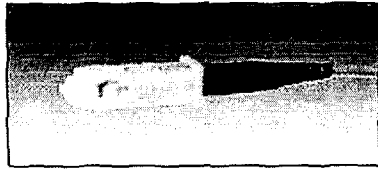
따라서 본 논문에서는 무심연삭기의 가공 메커니즘을 이해하고 표면거칠기 값을 이론적으로 계산함으로써 페를 가공 무심연삭기의 개발에 앞서 그 성능을 평가하고 최적의 연삭기 개발을 도모하고자 한다.

2. Mechanism and Theoretical background

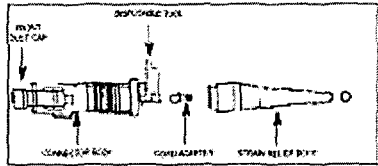
2.1 무심연삭기의 가공 특성

일반적으로 페를은 고정도 난삭재의 세라믹 재질로써 일반적인 가공법으로는 가공이 불가능하거나 만족할 만큼의 가공 능력 및 가공 정밀도를 얻을 수 없다. 이러한 세라믹의 정밀기계 가공법으로 가장 많이 사용되는 것은 연삭 가공이며, 다이아몬드 지립의 연삭 스톨을 장착한 연삭기가 필수적이다. 또한 페를은 그 크기가 2.499 μ m로 아주 작아 일반 원통 연삭 방식으로는 가공이 불가능하다.

무심연삭은 일반 연삭과 달리 공작물을 축에 장착하는 것이 아니고 연삭스톨 (Grinding wheel)과



(a) Photograph of optical connector



(b) Structure of optical connector

Fig. 1 Optical connector

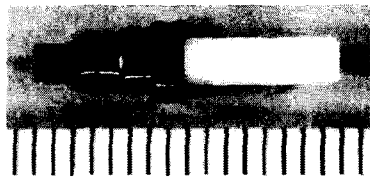


Fig. 2 Photograph of ferrule

조정숫돌(Regulating wheel), 사이에 끼우고 연삭하는 것으로 크기가 작아 회전시키기 어려운 페룰과 같은 공작물 가공에 적합한 가공법이다. 이때 공작물은 조정숫돌에 의해서 동력이 전달되며 회전수는 다음과 같다.

$$n_w = n_r \times \frac{D_r}{d_w} \quad (1)$$

여기서 D_r 은 조정숫돌의 직경, d_w 은 공작물의 직경, n_r 은 조정숫돌의 회전수를 나타내며, 개발하고자 하는 페룰 가공용 무심연삭기 조정숫돌의 회전수는 20-30 rpm 이다.

따라서 본 논문에서는 연속적으로 공작물을 가공할 수 있는 Through-feed 방식의 무심 연삭기를 채택하여 연삭숫돌의 입도, 숫돌의 연삭입자율, 조정숫돌의 회전수에 영향을 받는 공작물의 회전수에 따른 표면 거칠기 값을 이론적으로 계산했다.

Fig. 3 은 Through-feed 방식의 무심 연삭기 개략도를 보여주고 있다.

Table 1. Specification of ferrule

Item	Unit	Average	Standard specification
외경	mm	2.499	2.499±0.0005
내경	mm	0.125	0.125±0.001
동축도	μm	0.458	≤1.4

표면거칠기	μm	0.117	≤0.5
-------	----	-------	------

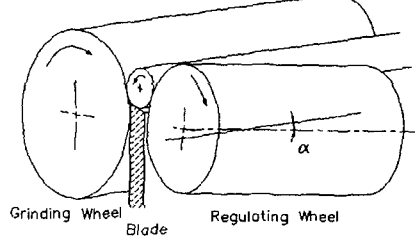


Fig. 3 Through-feed type centerless grinding

2.2 표면거칠기 모델링

연삭면은 연삭입자의 절삭날에 의해서 절삭된 것이므로 그 조도도 보통의 절삭면과 같이 연삭방향의 조도와 그것에 직각인 조도로 나뉘어 생각할 수 있다. 외경 연삭인 경우에 대해서 생각하면 Fig. 4 에 있어서 숫돌 O_1 의 절삭날 X 가 가공물 O_2 의 한 점 A 를 절삭하고 나서 다음의 절삭날 Y 가 동일한 점을 절삭할 때까지 가공물은 γ 만큼 회전했다고 하면 상대적으로 숫돌의 중심이 O_1 에서 O'_1 로 움직여서 가공물 위의 B 점의 조도는 CP 높이로 된다. 연속절삭날 간격을 a, 숫돌과 가공물의 속도를 각각 V, v; 반경을 R, r 로 하면

$$\gamma = \frac{v}{V} \cdot \frac{a}{r} \quad (2)$$

가 된다. 한편 $\Delta O_1 O_2 P$ 에 있어서

$$\overline{O_1 P}^2 = \overline{O_1 O_2}^2 + \overline{O_2 P}^2 - 2 \cdot \overline{O_1 O_2} \cdot \overline{O_2 P} \cos \frac{r}{2}$$

이므로 조도 $CP=x$ 로 하고, x는 r에 비해 작으므로 x^2 의 항을 무시하고 또 γ 도 작으므로 $\cos(\gamma/2)=1-(1/8)\gamma^2$ 로 해서 계산하면

$$x = \frac{1}{8}(R+r) \frac{r}{R} \gamma^2$$

이것에 식(2)을 사용하면 결국 다음과 같은 연삭방향의 조도의 식이 얻어진다.

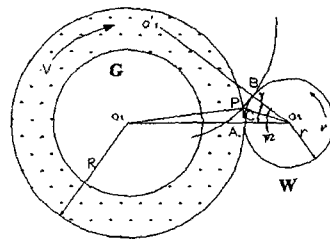


Fig. 4 Formative model of grinding surface roughness

$$x = \frac{1}{8} \cdot \frac{R+r}{Rr} \left(\frac{v}{V}\right)^2 a^2 \quad (3)$$

다음은 연삭입자를 완전한 원으로 생각하여 직경을 d_0 , 연삭면에 남는 출자국의 폭을 b 하면 연삭방향에 직각인 면의 조도 x' 는

$$\left(\frac{d_0}{2}\right)^2 - \left(\frac{d_0}{2} - x\right)^2 = \left(\frac{b}{2}\right)^2$$

로 되며 x^2 를 무시하면

$$x' = \frac{1}{4} \cdot \frac{b^2}{d_0} \quad (4)$$

가 된다.

따라서 식(3)과 식(4)에 의해 외경 연삭인 경우 연삭면의 조도를 나타내는 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$h = x + x' = \frac{1}{8} \cdot \frac{R+r}{Rr} \left(\frac{v}{V}\right)^2 a^2 + \frac{1}{4} \cdot \frac{b^2}{d_0} \quad (5)$$

3. Simulation

이상에서 알아본 식에 개발하고자 하는 페를 가공용 무심연삭기를 적용하여 연삭숫돌의 입도를 기본으로 숫돌의 연삭입자율, 조정숫돌의 회전수 등의 가공변수를 달리하여 시뮬레이션 시켰다.

Table 2 는 개발하고자 하는 페를 가공용 무심연삭기의 기본 사양을 보여주고 있다.

Table 2. Specification of centerless grinding

Item	단위	Spec.
연삭숫돌의 지름	mm	255
공작물의 지름	mm	2.499
주축속도	m/min	2000
조정숫돌의 회전수	rpm	20~30

3.1 숫돌입자율에 따른 표면 거칠기 비교

공작물의 회전수는 조정숫돌의 회전수에 따라 틀려지므로 식(1)에 의해서 조정숫돌의 회전수가 20rpm 일때 공작물의 회전수 1440rpm, 조정숫돌의 회전수가 30rpm 일때 공작물의 회전수 2160rpm 각각에 대해서 연삭입자율에 따른 표면 거칠기 값을 계산했다. 연삭 숫돌의 입도는 #200 ~ #3000 를 사용하였으며, 연삭입자율은 100(25%), 75(18.8%), 50(12.5%) 세가지를 사용하였다.

Fig. 5 는 조정숫돌의 회전수 20rpm 일때, Fig. 6 은 조정숫돌의 회전수 30rpm 일때 연삭입도와 숫돌 입자율에 따른 표면 거칠기 값을 비교한 그래프

이다.

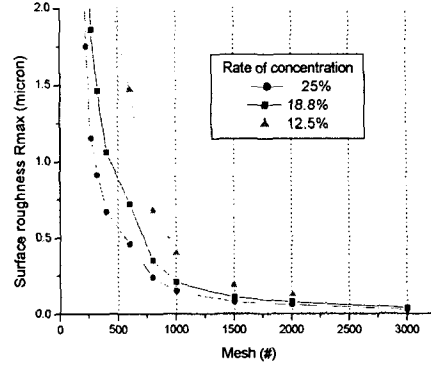


Fig. 5 Relationship between surface roughness and rate of concentration of grinding wheel (at rotation of regulation wheel : 20 rpm)

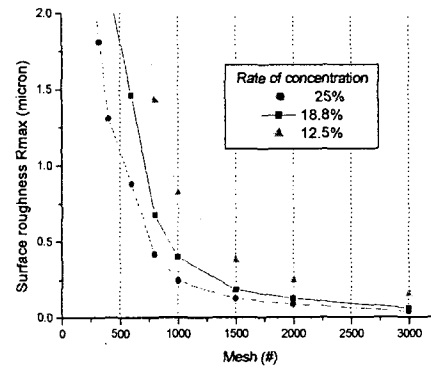


Fig. 6 Relationship between surface roughness and rate of concentration of grinding wheel (at rotation of regulation wheel : 30 rpm)

그림에서 보는 바와 같이 조정숫돌의 회전수가 20rpm 일 때 페를의 만족할만한 표면 거칠기 $0.5\mu\text{m}$ 는 연삭입자율에 따라 각각 숫돌의 입도가 100(25%)에서는 #400, 75(18.8%)에서는 #600, 50(12.5%)에서는 #800 이상에서 얻어지는 것을 볼 수 있다.

하지만 #2000 이상에서는 표면 거칠기의 향상이 두드러지지 않으므로 경제성을 고려할 때 적절한 숫돌의 선택이 요구되어 진다.

3.2 회전 속도에 따른 표면 거칠기 비교

표면 거칠기에 영향을 미칠 것으로 예상되는 연삭입자 사이의 거리는 연삭입자율에 따라 달라지므로 연삭입자율이 75(18.8%)인 연삭 숫돌을 사용하여 회전 속도에 따른 표면 거칠기 값을 계산했다. 연삭숫돌의 입도는 #200 ~ #3000 를 사용하였으며, 조정숫돌의 회전수는 20rpm 과 30rpm 으

로 하였다.

Fig. 7 은 슷돌입자율이 75(18.8%)일때 조정스�돌의 회전수에 따른 표면 거칠기 값을 비교한 그래프이다.

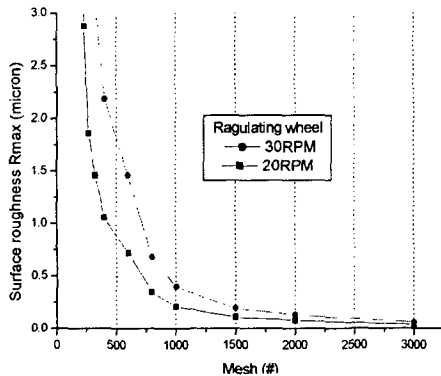


Fig. 7 Relationship between surface roughness and rotation of regulating wheel at 75(18.8%) rate of concentration of grinding wheel

무심연삭의 공작물의 회전 속도는 조정스�돌의 회전수에 영향을 받는다고 앞서 설명했다. (식 1 참조) 따라서 조정스�돌의 회전수가 20rpm, 30rpm 일 때 공작물의 회전수는 각각 1440rpm, 2160rpm 이 되며 Fig. 7 은 궁극적으로 공작물의 회전속도에 따른 표면 거칠기의 비교를 보여주고 있다.

그림에서 보면 페룰의 만족할 만한 표면 거칠기 0.5 μ m 는 슷돌의 연삭입자율이 75(18.8%)일 때 #800 이상에서 얻어지는 것을 볼 수 있으며 #1000 이상에서는 표면 거칠기의 차이가 뚜렷하지 않음을 알 수 있다.

4. Result

본 논문에서는 앞으로 개발이 예상되는 페룰 가공용 무심연삭기의 표면 거칠기 값을 이론적으로 계산하였으며, 시뮬레이션 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 페룰의 최대 표면 거칠기 값을 0.5 μ m 이하로 낮추기 위해서는 연삭 슷돌의 입도는 연삭입자율이 100(25%)일때 #400 이상, 75(18.8%)일때 #600 이상, 50(12.5%)일때 #800 이상이 되어야 한다.
- 2) 조정스�돌의 회전수에 의한 표면 거칠기 영향은 조정스�돌의 회전수가 20rpm 일때는 #400 ~ #800 에서, 30rpm 일때는 #600 ~ #800 에서 만족할 만한 표면 거칠기 값을 얻었다.

하지만 그 차이는 극히 미비하다.

- 3) 가공성과 경제성을 고려한 최적의 페룰 가공은 조정스�돌 20rpm 에서 연삭입자율이 75(18.8%)인 연삭 슷돌의 입도 #600 에서 얻어졌다.
- 4) 본 논문에서 이론식을 바탕으로 구한 표면 거칠기 값은 실제 가공시 측정된 표면 거칠기 값보다 다소 작을 수도 있을 것이다. 하지만 본 논문에서 구한 표면 거칠기 값은 드레싱을 전혀 고려하지 않은 것으로 실제 가공시 드레싱을 적용한다면 차이를 많이 줄일 수 있을 것으로 예상된다.

Reference

1. Y. Takeuchi, S. Mitachi, and R. Nagase, "High-Strength Class-Ceramic Ferrule for SC-Type Single-Mode Optical Fiber Connector" *IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS*, Vol. 9, No. 11, 1997.
2. 이용숙, 이성국, 황경현, 정명영, 최태구, "광 커넥터용 세라믹 Ferrule 가공기술 개발에 관한 연구", *한국정밀공학회지* 제 9 권, 제 3 호, 1992.
3. F. Hashimoto, G. D. Lahoti, M. Miyashita, "Safe Operations and Friction Characteristics of Regulation Wheel" *Annals of the CIRP* Vol. 47, 1998.
4. W. B. Rowe, M. Miyashita, W. Koenig, "Centerless Grinding Research and its Application in Advance Manufacturing Technology" *Annals of the CIRP* Vol. 38, 1989.
5. 김강, 주종남, "무심 연삭 공정의 3 차원 형상화 기구(II) -관통연삭-" *한국정밀공학회지* 제 15 권, 제 5 호, 1998.
6. 서남섭, "정밀공작법" p170, p193~p197, p272~p278, 대광서림, 1996.