

광 커넥터용 세라믹 Ferrule 가공기술 개발에 관한 연구

이 응 숙*, 이 성 국*, 황 경 현*, 정 명 영**, 최 태 구**

Development of Manufacturing Technology of Ceramics Ferrule for Optical Fiber Connector

Eung-Sook Lee*, Seung-Kook Lee*, Kyung-Hyun Whang*, Myung-Yung Chung**, Tae-Goo Choy**

ABSTRACT

This paper presents the process of manufacturing technology of ceramics ferrule for optical fiber connector. Precision zirconia ceramic ferrules is widely for high performance and low cost single mode optical fiber connectors. To polish the hole of the zirconia ceramic ferrule, the wire lapping instrument is developed and the machining experiment is conducted.

Through the centerless grinding using diamond wheel the surface roughness of zirconia ceramics ferrule is below the 1μm Rmax.

1. 서 론

광섬유를 이용한 정보 전송 시스템은 장거리 통신 뿐만 아니라 통신, 항공기 선박등의 이동체 및 고밀도 배선 장치에 효용이 높아, 광범위하게 실용화되어 각 용도에 따라 수많은 종류의 광커넥터가 개발되어 상용화 되고 있는 실정이다.¹

그런데, 광섬유 커넥터는 전기 커넥터와 달리 서로 맞대어 축 접속을 하므로 정밀한 축이음과 접촉면에서의 손실이 커다란 문제가 된다.

광커넥터 중에서도 단일모드(Single Mode) 용은 가장 고정도의 접속기술이 요구되어 원통중심에 광섬유를 고정하는 고정자(Ferrule) 방식이 주류를 이루고 있다.² 접속손실은 광섬유 축심이 어긋나거나 기울어짐에 따라 생기고, 양끝 단면사이의 접촉간격, 단면의 표면상태, 반사등에는 크게 영향을 받는다.

Sugita⁴, Higgins⁵, Ando⁶에 의하면, 페룰방식의

특징은 압입착탈(Push and pull) 구조로 되어있어 접속이 용이하며, 기존의 알루미늄이나 Capillary 대신 부분안정화 지르코니아(PSZ, partially stabilized zirconia) 세라믹 페룰을 사용하므로 가압접촉(Physical contact)에 의해 접속 손실을 줄이고 있다. 그러나, 광섬유의 중심(Core) 부분의 크기는 직경 10~50μm이며, 광커넥터의 원통 중심에 광섬유를 고정하는 페룰(Ferrule)은 외경이 2.5mm, 내경은 0.125mm으로 초미세 구멍 가공기술이 필요하며, 미크론 이하의 동심도(Concentricity)를 얻기 위한 원통 트리밍기술이 필요하다.

대표적인 광커넥터의 구조의 예³는 Fig.1과 같으며, 이때의 세라믹 페룰의 형상은 Fig.2와 같다.

실제로 가공시 요구되는 정밀도는 φ0.125mm의 내경과 φ2.499±0.0005mm의 외경의 치수 정밀도, 원통도, 진원도 및 편심 정도가 중요하며 단일모드의 경우 Table 1의 치수 공차이내에 들어가야 한다.⁶

따라서, 페룰의 가공시 해결해야 될 과제는 원통형상

* 한국기계연구원 가공기술실

** 한국전자통신연구소 통신부품 연구실

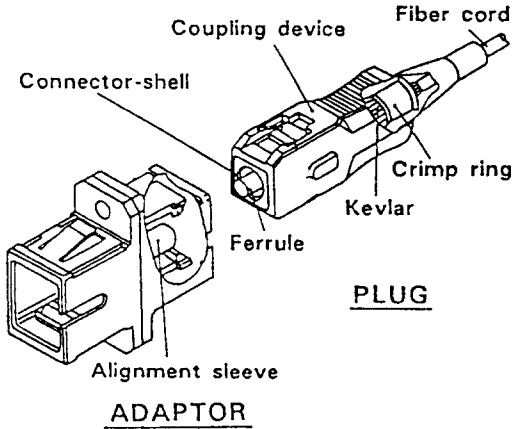


Fig. 1 Example of optical connector

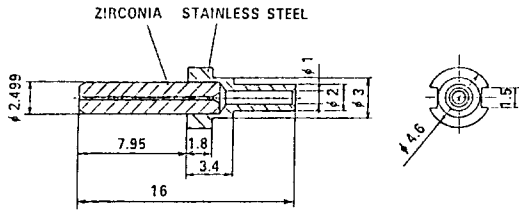


Fig. 2 Structure of zirconia ferrule

Table 1. Connector용 Ferrule의 치수공차

Ferrule	graded형 Multimode fiber용	Single mode fiber용
외경정밀도	$\pm 1.0\mu\text{m}$	$\pm 0.5\text{m}$
외경진원도		0.5 μm 이하
외경원통도		0.5 μm 이하
외경표면거칠기(Rmax)	1.0 μm 이하	0.5 μm 이하
미세구멍편심	2.0 μm 이하	0.7 μm 이하
구멍직경의정밀도		1 μm

의 PSZ 세라믹 초정밀 연삭기술 및 초미세 구멍 가공 기술이며, 이에 대한 가공방법 및 가공기술은 전혀 공개되지 않고 있는 실정으로, 본 연구에서는 우선적으로 세라믹 초미세 구멍가공 및 초정밀 원통 외경연삭을 위한 방안을 제시하며 이를 위한 장치의 제작 및 실험결과에 대해 서술한다.

2. 세라믹 Ferrule의 내경 가공기술

2.1. 미세구멍 가공장치 제작

현재 사용되고 있는 방법은, 미세분말의 지르코니아를

결합재와 혼합하여 압출하면서 미리 정해진 크기의 구멍을 가지게끔 성형하여 소결공정에 들어간다. 소결 후에는 구멍의 직경이 줄어들게 되므로, 내경을 키우고 외경을 연삭하여 폐를 완성하게 된다. 실제 미세구멍의 가공(Hole Polishing)에는 미세 와이어와 다이아몬드 분말을 이용하여 내경을 래핑한다. 와이어를 이용한 가공방법으로는 다이아몬드 피복와이어를 사용한 절단등이 있으나, 와이어를 이용하여 내경을 폴리싱하는 방법은 잘 알려져 있지 않다. 이 방법은 압출 소결된 지르코니아 봉(외경: 2.8~3.1mm, 내경: 0.08mm 정도)을 적당한 길이로 잘라, 미리 성형된 구멍에 가는 텅스텐선 혹은 피아노선을 집어 넣고 다이아몬드 분말을 묻혀 통과시키므로 구멍의 치수를 맞춰나가는 방식이며, 최종 치수에 도달하기까지는 3~4단계의 과정을 반복한다.

따라서, 본 연구에서는 미세 와이어와 다이아몬드 분말을 사용하여 미세 구멍을 가공하는 와이어 래핑장치를 직접 설계 제작하였다. 실험장치의 구조는 Fig. 3과 같으며, 와이어의 이송과 회송을 위한 장치(⑦, ⑧), 요동 방지(③, ⑨) 및 장력 조정장치(②), 공작물 회전 장치(⑤), 다이아몬드 분말용기(④), 미세위치조정틀러(①, ⑥) 등으로 구성되어 있다.

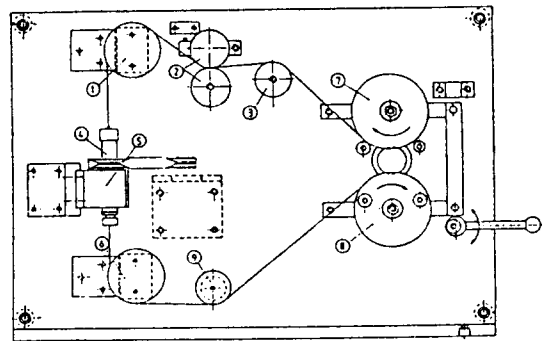


Fig. 3 Experimental set up for wire lapping

2.2 미세구멍 가공실험

미세구멍 가공실험에 사용한 시편은 완제품으로서 외경 2.5mm, 내경 0.125mm, 길이 12.7mm의 부분안정화 지르코니아이며, 와이어는 직경 0.1mm의 텅스텐 와이어를 사용하였다.

Fig. 4는 실제 가공후의 구멍의 상태를 비교한 것으로 (a)는 와이어가 들어가는 입구부의 형상이고, (b)는 가공후 시편의 중간지점을 절단하여 본 단면사진으로

전체적으로 균일하게 가공된 상태로 직경이 135 μ m로 커진것을 알 수 있었으며, (c)는 와이어가 빠져 나오는 시편의 끝부분으로 원주의 일부가 미세하게 파쇄된 부분이 있는 것을 알 수 있다.



(a) Entrance (x75)



(b) Midpoint (x200)



(c) Exit (x200)

Fig. 4 Photograph of ferrule hole

Fig. 5는 다이아몬드 분말의 입자 크기에 따른 가공량 (직경의 확대량)을 나타낸다. 횡축은 가공시편의 길이방향으로 직경의 측정위치를 나타내는 것으로, 와이어가 들어가는 입구측으로부터의 0.7mm, 4.0mm, 12.7mm 되는 지점을 절단하였으며, 종축은 이점에서의 단면직경을 측정하여 직경이 확대된 가공량을 표시한 것이다.

입자크기 #600 (grain size 20-30 μ m)의 경우 3분간의 가공으로 직경이 10 μ m, #6000 (grain size 2-4 μ m)의 경우는 3 μ m정도 페룰의 내경이 확대된 것을 알 수 있다. 즉, 굵은 입자일수록 가공량이 많음을 알 수 있으나 가공중 와이어도 손상을 입게되어 끊어지는 경우가 많았으며, 입자가 작은 경우는 가공능률은 다소 떨어지나 안정적으로 작업을 수행할 수 있었다.

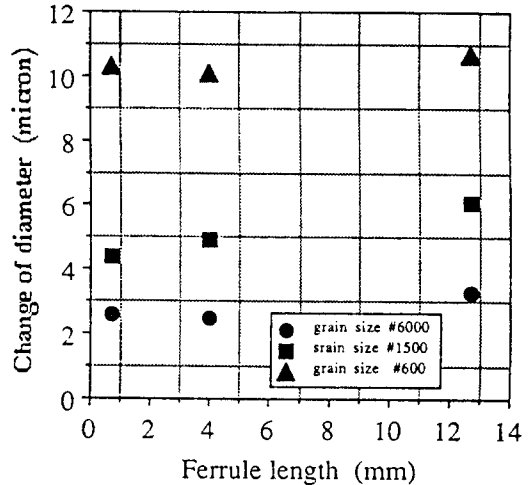


Fig. 5 Effect of grain size (wire speed : 20m/min)

Fig. 6은 와이어의 이송속도 영향을 나타낸다. 입자크기 #3000 (grain size 4-8 μ m)으로 3분간 가공한 것으로 와이어 이송속도의 증가에 따라 가공능률은 증가함을 나타낸다. 와이어의 이송속도를 높일수록 가공중 와이어의 회전이송계에서 전달되는 진동에 의한 영향으로 입구와 출구쪽의 가공량이 불균일하게 나타났다.

본실험을 통하여 와이어의 이송속도를 20m/min로 3분간 가공하였을 때, #600 (grain size 20-30 μ m)과 #1500 (grain size 8-15 μ m)과 가공량은 입자의 크기의 1/2정도이며, 고운입자인 #3000 (grain size 4-8 μ m)과 #6000 (grain size 2-4 μ m)는 입자 크기와 같은 양만큼 가공됨을 알 수 있었다. 따라서 다이아몬드 분말 입자

크기, 와이어 이송속도, 가공시간 등의 관계를 이용하여 소정의 크기로 가공할 수 있음을 알 수 있다. 단, 이때의 미세구멍의 진원도는 측정하지 못하였다.

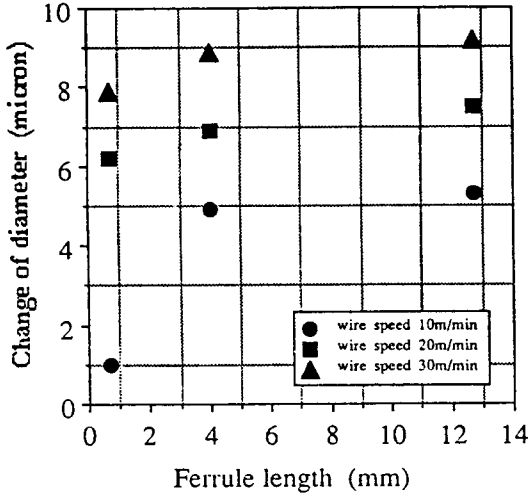


Fig.6 Effect of wire speed
(grain size : #3,000, lapping time : 3min)

3. 세라믹 Ferrule의 외주 연삭가공기술

3.1. 센터리스 연삭

세라믹은 고경도, 경취성 재료로서 난삭재에 속한다. 따라서, 일반적인 가공법으로는 가공이 불가능하거나 만족할 만큼의 가공 능률 및 가공 정밀도를 얻을 수 없다. 세라믹의 정밀기계 가공법으로서 가장 많이 사용되는 것은 연삭 가공이며, 다이아몬드 지립의 연삭 스톨, 고강성 고정밀도의 연삭반이 필요하다. 또한, 페룰의 소재는 난삭재인 지르코니아 세라믹이며, 크기가 아주 작아 센터구멍 가공이 힘들뿐 아니라 공작물을 회전시키는 것도 어려우므로 공작물의 양끝을 고정하여 연삭하는 방식은 불가능하다. 따라서, 일반적으로 직경이 작은 공작물은 센터리스 연삭방식을 이용하여 높은 생산성을 올리고 있으므로, 본 연구에서도 이에 따라 다이아몬드 스톨을 사용한 센터리스 연삭 시스템을 채택하였다. Fig. 7은 센터리스 연삭의 기본양식을 나타낸다.

3.2 페룰 원통 연삭실험

(1) 개요

실험에 사용한 초정밀 만능 연삭반(Toyoda Gux25)

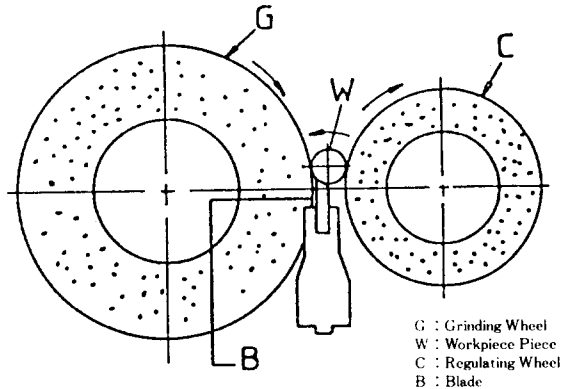


Fig. 7 Centerless grinding

은 연삭 스톨축의 베어링이 유정압방식(Hydrostatic)으로 강성이 높고 매우 높은 회전 정밀도를 가지고 있으며, 스톨대 이송 시스템에도 유정압 슬라이드를 사용하여 미세 절입이 가능하다.

센터리스 연삭방식의 구현을 위해 심압대의 양 센터 사이에 조정휠을 끼우고 회전시키며, 공작물의 지지를 위해 블레드를 설계 장착하였다. 지르코니아의 피삭성을 파악하기 위해 CBN 및 다이아몬드 스톨을 사용하며, 조정휠의 회전수와 연삭스톨의 절입 속도를 변화시켜 가면서 피삭재의 표면 거칠기를 측정하였다. 가공방식은 조정휠과 블레이드 사이의 관계가 일정하게 유지되도록 스톨대가 절입되는 Infeed방식으로 하였다.

다이아몬드 스톨의 경우, 가공전에 연삭 스톨의 형상 정밀도와 스톨 입자 출출량을 조절하는 트루잉 및 드레싱 작업이 일반 연삭 스톨에 비해 상당히 어려운 실정이다. 트루잉 및 드레싱의 일반적인 방법으로는, 강재 Roll 연삭에 의한 트루잉 및 드레싱, 전착롤 드레서에 의한 트루잉 후 GC 스톨이나 WA stick을 사용하여 드레싱하는 방법, 단인 혹은 다인 다이아몬드 드레서를 사용하여 트루잉하고 GC 스톨이나 WA stick으로 드레싱하는 방법등을 들 수 있으며*, 본 실험에서는 작업면의 성질을 일정하게 유지하기 위해 단인 다이아몬드 드레서를 사용하여 트루잉한 다음 GC 스톨로 드레싱하였다.

(2) 실험장치 및 조건

- ◆ 연삭반 : 초정밀만능연삭반(유정압스핀들)
- ◆ 연삭스톨 : CBN 120N, Diamond wheel(#140, 270, 325, 600)
- ◆ 트루잉 방법 : Single point diamond dresser
- ◆ 트루잉 속도 : 60mm/min, (5μm depth of cut),

sparkout 5회 실시(3.0mm/min)

- ◆ 드레싱 : GC120 스톨 사용
- ◆ 블레이드선단각 : 30°
- ◆ 블레이드높이 : 13mm
- ◆ 연삭액 : 수용성 60배 희석(Soluble 1.6%)
- ◆ 조정휠 회전수 : 20, 40, 80, 120. (rpm)
- ◆ 절입속도(Infeed rate) : 0.5~4μm/sec.

(3) 실험방법

Zirconia의 피삭성을 파악하기 위해 CBN 120N으로 조정휠의 회전수를 변화시켜 가면서 연삭하였으며, 입도의 영향을 파악하기 위해 Diamond wheel의 입도를 변화시키면서 각각의 표면 거칠기를 측정하였다. 또한 조정휠의 회전수와 스톨의 절입속도 변화에 따른 영향을 알기 위해 가공후 표면 거칠기를 측정하였다.

(4) 실험결과 및 토론

지르코니아 세라믹은 비교적 고경도이기 때문에 다이아몬드 스톨에 의해 연삭되는 경우가 대부분이며, 가끔 경변가공의 경우 Al₂O₃와 같은 저경도의 스톨을 사용하는 경우가 있다. 실제 CBN 120N과 다이아몬드 스톨 SDC 140N의 연삭 결과를 비교해 보면, Fig. 8에서 알 수 있듯이 CBN의 경우가 표면 거칠기가 우수하다.

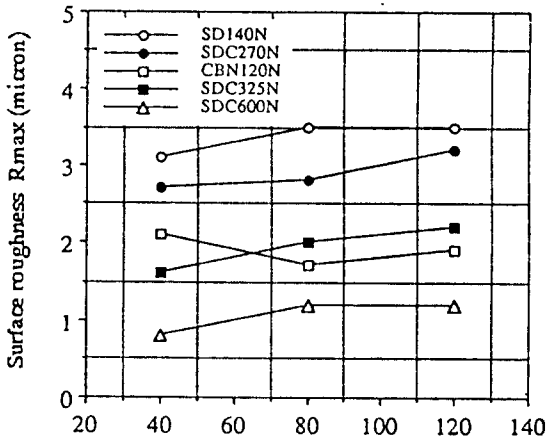


Fig. 8 Surface roughness due to grinding wheel variation

이는 CBN이 경도가 낮아 연삭 작용이 Cutting보다 마멸에 의한 영향이 많기 때문으로 생각된다.

그러나 CBN의 경우, 피삭성이 다이아몬드 스톨보다 훨씬 떨어지므로 연삭이 잘되지 않았으며 가공중 가공부

하의 증가에 대한 적응력이 부족하여 공작물이 튀어나가는 경우도 있었다.

다이아몬드 스톨의 입도 변화에 대한 표면 거칠기의 변화는 #325의 경우 Rmax 1.6~2.2μm, #600의 경우 Rmax 1μm이하로 가장 좋게 나타났다. 또한, 조정휠의 회전수 증가에 따른 표면 거칠기의 변화는 크게 나타나지 않아, 표면 거칠기는 연삭스톨의 입도에 직접적으로 관계됨을 알 수 있었다.

Fig. 9는 절입속도의 영향에 대한 표면 거칠기의 변동을 살펴본 것으로서, 스톨 절입량은 표면 거칠기에 커다란 영향을 주지 못한다는 것을 알 수 있다. 그러나, Udupa⁹ 등의 연구에서 조정휠의 회전수 및 절입속도 등은 센터리스 연삭에 있어서 진원도 등의 정밀도에 많은 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 단, 본연구에서는 가공물의 직경이 작은 관계로 범용의 측정장비로는 밀을 만한 자료를 얻지 못해 이부분에 대한 영향은 파악하지 못하였다. 또한, 절입속도의 증가는 연삭 저항을 증대시켜 높은 연삭 온도를 발생시키므로, 부분 안정화 지르코니아와 같이 연삭열의 양향을 받기 쉬운 재료의 경우는 충분한 주의를 요한다.¹⁰ 연삭 온도는 실제 1000C를 넘는 경우도 있으며, 국부적으로는 지립의 선단에서 1400C 정도까지 되는 것으로 알려져 있다. 특히 PSZ와 같이 열전도율이 낮은 재료는 국부적으로 높은 온도에 달하게 되어 결국 가공 변질층의 발생과 더불어 크랙, 잔류응력 등의 문제를 발생하게 되므로¹¹ 이에 대한 세심한 주의를 필요로 하게 된다.

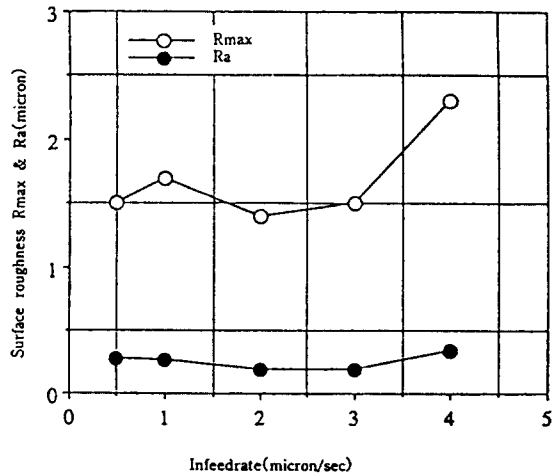


Fig. 9 Effect of infeedrate

4. 결 론

본 연구의 목표는 크게 세라믹의 초정밀 외경 연삭 기술개발 및 최적화와 초미세 구멍 가공기술 개발로 나눌 수 있으며, 연구 수행 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 가는 직경의 와이어와 다이아몬드 분말을 사용하여 미세 구멍을 폴리싱 하는 가공장치를 설계 제작하였으며, 다이아몬드 분말 입자의 크기, 와이어의 이송속도, 가공시간 등의 관계를 이용하여 소정의 크기로 가공할 수 있음을 밝혔다.
- 2) 지르코니아 세라믹의 초정밀 연삭을 위해서는 입자가 작은 다이아몬드 스톨을 사용하며, 직경이 작은 원통형상의 가공에는 생산성 측면에서 센터리스 연삭방식이 적절함을 알 수 있다.
- 3) Diamond wheel의 입도를 조절하면 표면 거칠기를 향상시킬 수 있으며, 그중 #400~600의 표면 거칠기를 1 μ m(Rmax)이하로 낮출 수 있었다.
- 4) 센터리스 정밀 연삭에 있어서 조정휠의 회전수와 스톨의 절입 속도는 표면 거칠기에 커다란 영향을 미치지 못하였다.
- 5) 초정밀 미세 가공에서는 측정기술 및 주변 관련기술의 개발이 필수적이며, 폐롤의 경우 미세구멍의 진원도, 외경과 내경의 동심도 등의 측정기술 개발이 시급하므로 이에 대한 관련연구가 뒤따라야 한다.

참고문헌

- 1) K. Nawata, "Multimode and Singlemode Fiber Connectors Technology", IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. QE-16, No. 6, June 1980, pp. 618~627.
- 2) Izumi Sankawa, Shinji Nagasawa, Toshiaki Satake, Mikikazu Ishida, Ryosuke Arioka, "Low-Loss Small-Size Optical Fiber Connector with a Precision Plastic Molded Ferrule", Journal of Light Wave Technology, Vol. LT-4, No. 8, August 1986, pp. 1237~1242.
- 3) Louise Joselyn, "Closing the gap in optical

connection", New Electronics, june, 1989, pp. 51~52.

- 4) Etsuji Sugita, Ryo nagase, Katanori Kanayama, Toshihiro Shin Talsu, "SC-Type Single-Mode Optical Fiber Connectors", Journal of Light Wave Technology, Vol. 7, No. 11, November 1989, pp. 1689~1696.
- 5) Thomas V. Higgins, "Connector users clamor for convenience but crave performance", Laser Focus World, Jaanuary 1991, pp. 165~173.
- 6) Yasuhiro Ando, Shin-ichi Iwano, Ryo Nagase, Kazunori Kanayama, Etauji Sugita, "Advanced Optical Connectors for single Mode Fibers ", NTT Review Vol. 3, No. 3, May 1991, pp. 110~121.
- 7) Satosi Ito, Ryoji Murata, "Study on Cutting-off Process with Diamond Abrasive Wire(1st Report)", JSPE, Vol. 53, No. 7, 1987, pp. 45~50.
- 8) 강재훈, 이용숙, 이재경, "기능성 세라믹 부품의 정밀기계 가공기술 개발", 한국기계연구소, 1990.
- 9) N. G. Subramanya Udupa, M. S. Shunmugam, V. Radhakrishnan, "Workpiece Movement in Centerless Grinding and its Influence on Quality of the Ground Part", Trans. ASME Journal of Engineering for Industry, Vol. 110, No. 2, pp. 179-186, 1988.
- 10) Y. Kondo, Y. Kuroshima, A. Tsukada, S. Okado, "Effect of Y₂O₃ Content on Grinding Force of Zirconia Ceramics", JSPE, Vol. 54, No. 5, 1988, pp. 953-958.
- 11) T. Nakajima, Y. Uno, T. Fujiwara, K. Ohashi, "A Quantitative Analysis of Grinding Process of Partially Stabilized Zirconia", JSPE, Vol. 55, No. 1, 1989, pp. 167-172.