

## 의료영상전송시스템을 위한 POF 광커넥터의 최적 설계

천민우<sup>1</sup>, 조경재<sup>2</sup>, 박용필<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> 동신대학교 병원의료공학과

<sup>2</sup> 에프엔엔(주)

### The Optimal Design of POF Optical Connector for Medical Image Transmission System

Min-Woo Cheon<sup>1</sup>, Kyung-Jae Cho<sup>2</sup>, and Yong-Pil Park<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> Department of Biomedical engineering, Dongshin University, Naju 520-714, Korea

<sup>2</sup> Fiber & Networking Co., LTD., Gwangju 500-706, Korea

(Received October 4, 2010; Revised October 11, 2010; Accepted November 1, 2010)

**Abstract:** For mass information transfer, the optical communication using optic fiber has been widely used. Especially, in the field of medical image, the large data is digitalized based on the standard image and it is used for telemedicine with this method. Therefore, to transfer the large amount of data fast and effectively POF (Plastic Optical Fiber) can be used and the development of optic connector for connection between POFs is very important. In this study, for stable optical coupling of POF optic fiber Ferrule and Sleeve were designed and produced by considering the bond stability and the insertion loss according to the physical contact and roughness profile was evaluated. As a result of examining the insertion loss by physical contact method of two optic fibers, it showed the loss was about 1.895dB. According to the results from studying the condition of grinding section for POF mass production, the mass production condition was established as POF profile roughness of 6nm and the loss of 0.2dB or lower by controlling the film size and time step by step.

**Keywords:** Glass optical fiber, Plastic optical fiber, Ferrule

#### 1. 서 론

광커넥터는 광통신 네트워크에서 광선로의 접속, 유지 및 보수에 사용되는 기본 부품으로 단일 모드 및 다중 모드용으로 나눌 수 있으며, 광케이블의 심선 수에 따라 단심 및 다심으로 분류한다.

고화질 영상 전송을 기반으로 하는 의료영상 분야는 고용량의 데이터를 고속으로 전송할 수 있어야 한다. 특히 의료 영상 전송 시스템 (picture archiving communication systems, PACS)은 영상 표준을 기반

으로 의료 영상 데이터를 디지털로 보관, 전송 및 가공이 용이 하도록 제작하고 있으며 [1] 이를 이용하여 원격진료 등에 적용하여 사용하고 있다. 이러한 초고속 데이터 전송 구현을 위해 광섬유가 사용되며 대표적인 것으로 glass optical fiber (GOF)와 plastic optical fiber (POF) [2]가 있다. 기존 GOF의 경우 Core 9  $\mu\text{m}$ , Clad 125  $\mu\text{m}$ 이나 POF는 Core 900  $\mu\text{m}$  Clad 1,000  $\mu\text{m}$ 의 물리적인 구조를 가져 외부 충격이나 진동에 매우 안정적인 광학 결합을 유지할 뿐 아니라 필요한 부품수를 줄일 수 있고 조립 또한 용이한 장점을 가진다. 이러한 광섬유의 연결에 광커넥터가 사용되며 광통신 네트워크에서 광선로의 접속, 유

a. Corresponding author: yppark@dsu.ac.kr

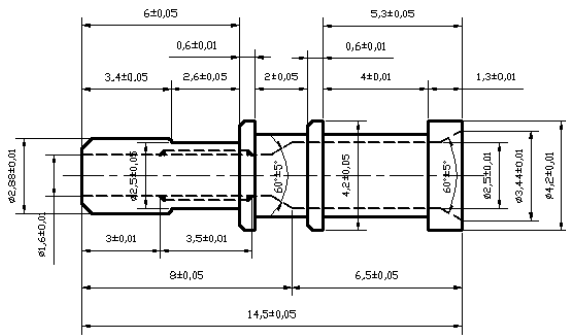


Fig. 1. Design of ferrule.

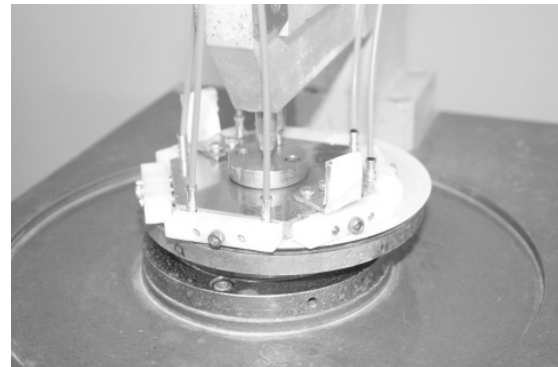


Fig. 2. POF section grind using polishing machine.

지 및 보수에 적용된다. 광커넥터는 광섬유-케이블, 광원-광섬유, 수용체-광섬유를 접속 및 연결하는 접속 부품으로 핵심 기술은 심선의 정렬에 사용되는 페룰 (ferrule)이다. 현재 단일 모드의 광섬유 연결에 널리 사용되고 있는 커넥터는 SC형 커넥터 [3,4]이며 사용되는 페룰은 정밀가공에 의해 정밀도가 서브마이크론 수준 [5]을 유지해야 하며 접속 시 광손실 감소가 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 POF를 이용한 광커넥터를 제작하기 위해 메탈 형식의 페룰을 결합 안전성 설계를 통해 제작하였다. 또한 제작된 페룰을 이용하여 광접속간 발생하는 삽입 손실을 줄이기 위해 인가하중에 따른 손실을 측정하였고 POF 단면 연마 시 표면 조도를 향상시키기 위한 지그 및 연마 조건을 개발하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 페룰의 제작

광커넥터에 사용되는 페룰은 광섬유의 보호 및 정렬 기능을 가지는 핵심 요소로 정확한 형상의 유지가 필수적이다. 일반적으로 세라믹 [6], 금속, 및 플라스틱 재질을 사용하여 주로 제작되며 설계 및 가공 시에는 접속을 위한 외경 정밀도, 외경 진원도, 표면 거칠기, 내경 동심도 등을 신중하게 고려해야 한다.

본 연구에서는 가공 정밀도 및 용이성, 경제성을 고려하여 청동을 기반으로 한 메탈 페룰을 개발하였다.

광섬유 코어 (core) 부분의 크기는 직경 125  $\mu\text{m}$  ~ 1 mm로 하였으며 광커넥터 중심에 광섬유를 고정하는 페룰은 외경 2.8 mm, 내경 1.6 mm로 미세 가공하였다. 마이크론 이하의 동심도 (concentricity)를 얻기

위해 원통 트리밍 기술을 적용하여 제작하였다. 그림 1에 제작한 페룰의 설계도면을 나타냈다. 접속 시 좌측 부분은 광섬유 삽입 후 곡률이 10~25  $\mu\text{m}$ 로 볼록한 구형이 되도록 단면을 연마하였고 단면 연마 시 광섬유의 후퇴량  $\pm 0.05 \mu\text{m}$  미만, 볼록 곡면의 중심과 페룰 중심의 이심도가 50  $\mu\text{m}$  이하로 유지되도록 설계하였다.

### 2.2 POF 단면연마

광커넥터는 두 광섬유 혹은 다수의 광섬유들을 연결시키는 부품이므로, 연결과 분리가 가능하도록 구성되어야 한다. 동일한 광섬유 사이에서 광도파 매체의 완전한 연속성이 보장되어 광신호의 손실 없이 100% 전달이 가능한 광커넥터가 가장 이상적이다. 그러나 현실적으로 광섬유 접속 시 100% 전달은 불가능하며 그 손실을 최소화하는 것이 중요하다. 이러한 손실의 최소화를 위해서는 광섬유 절단면의 표면 거칠기와 미소 간극에 의해 발생하는 높은 삽입 손실을 줄여야 한다. 본 연구에 사용된 POF 광커넥터의 경우 광전송 시 손실의 최소화를 위해서는 접합면의 단면 연마가 필수적이다. 단면 연마를 위해서는 연마 필름의 입도조절, 연마 시간, 연마 단면의 압력 및 회전수 등이 변수가 된다. POF 개발 초기에는 단면 연마를 위해서 hand polishing 기법을 활용하여 직접 단면 연마를 하였지만, 연마 시간과 재현성 문제로 기계적인 연마의 필요성이 대두되었다. 본 연구에서는 연마 시 polishing machine을 활용하기 위해, POF 전용 연마 지그를 개발하였다. 개발된 연마 지그는 기존 polishing machine에 적용이 가능하도록, 지그의 중앙에 홈을 내어 polishing machine에 고정시키도록 고

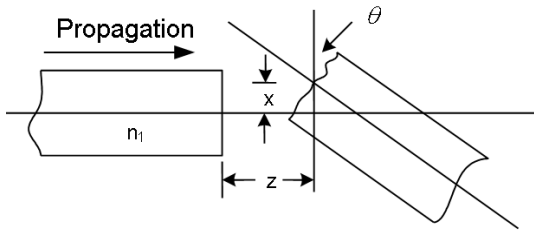


Fig. 3. Misalignment factors when connecting to optical fiber.

안하였으며, 완벽한 회전을 위해 한 변에 2개의 페를이 고정되어, 총 12개의 페를 단면을 동시에 연마할 수 있도록 설계·제작하였다. 페를의 고정을 위해서 페를의 위치에 V홈을 내어 바깥쪽에서 나사를 사용하여 고정할 수 있도록 설계하였으며, 지그에 페를을 고정할 때 무리한 힘에 의한 페를 손상 예방과, 지그에 페를을 쉽게 탈부착할 수 있도록 스프링을 삽입하였다. 제작한 그림 2의 연삭 지그를 이용하여 POF 단면을 연마하였다.

2.3 결합 안정성 설계

광커넥터에서 광섬유는 physical contact 법에 의해 접속이 이루어진다. 그러나 광섬유 접속 시 bending 및 공차에 의한 축 어긋남 (lateral offset), 축 꺾여 구부러짐 (angular misalignment)과 광섬유 사이의 gap에 의한 손실 등 비정렬 요인에 의해 광 손실이 발생한다. 그림 3에 광섬유 접속시 비정렬 요인을 나타냈다.

비정렬 요인에 의한 손실값을 다음 식 (1), (2) 및 (3)을 이용해 계산하고 이들 값으로부터 허용 가능한 공차 범위를 설정하였다.

$$L_{\text{lateral}}(\text{dB}) = -10\log\left(1 - \frac{2x}{\pi R}\right) \tag{1}$$

$$L_{\text{endface}}(\text{dB}) = -10\log\left(1 - NA\frac{z}{3R}\right) \tag{2}$$

$$L_{\text{angular}}(\text{dB}) = -20\log\left(1 - NA\frac{\theta}{60}\right) \tag{3}$$

\$x\$ : 축 어긋남, \$z\$ : 간격 (gap), \$\theta\$ : 축 구부러짐, NA : POF의 개구수

식 (1)은 광파이버 간의 축 어긋남에 의한 손실을 나타내며 식 (2)는 축의 간격, 식 (3)은 축이 꺾여 구부러지는 요인에 따라 발생하는 오차율을 나타낸다. 이 식으로부터 접속손실 1.0 dB 이하를 만족하는 비정렬 손실 요인 허용 범위를 정하였으며, 축 어긋남 (lateral offset) \$\le 40 \mu\text{m}\$, 간격 (endface separation) \$160 \mu\text{m}\$, 축 꺾여 구부러짐 (angular misalignment) \$\le 13.5^\circ\$ 이내에서 허용 오차를 확인하였다. 이에 따라 제작된 페를의 가공 정밀도를 \$10 \mu\text{m}\$ 이하, 페를간의 접속에 사용되는 sleeve의 설계 공차를 \$\pm 40 \mu\text{m}\$로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 압착 하중에 따른 손실 측정

본 연구에 사용된 광커넥터의 결합 방법은 일반적으로 사용되고 있는 physical contact 법을 적용하였으며, 이 방법은 접촉면에 결합이 없을 때 우수한 성능을 보인다 [7]. 따라서 저손실의 광커넥터를 제작하기 위해서는 접촉면의 정확한 정렬뿐 아니라 접촉면에서 발생하는 하중 조건도 중요하다. 본 연구에서는 접촉면에 인가되는 하중 조건에 따라 삽입 손실을 확인하기 위해 단면이 연마된 POF를 사용하였으며 삽입손실을 식 (4)에 나타냈다.

$$\text{Insertion loss (dB)} = -10\log\frac{P_2}{P_1} \tag{4}$$

\$P\_1\$ : 입사 광 출력, \$P\_2\$ : 출력 광 출력

측정에 사용된 광원은 발진 파장이 635 nm인 레이저 다이오드를 사용하는 SIFC635 (Thorlabs Inc, USA)를 채택하였으며 광 출력 측정기 PM100 (Thorlabs Inc, USA)을 이용하여 광 출력을 측정하였다. 입사광은 접속면이 없는 POF를 사용하여 측정하였으며, 연마 과정을 거쳐 표면 조도가 10 nm 이하가 되도록 제작하였다. 두 POF 간의 연결은 결합 안정성 설계를 통해 제작된 페를과 슬리브를 이용해 physical contact 법으로 접속하였다. 동일 방법으로 10회 측정한 결과를 그림 4에 나타냈다.

Physical contact 방식에 의한 삽입 손실률은 평균 1.859 dB로 측정되었고 변동계수 (coefficient of

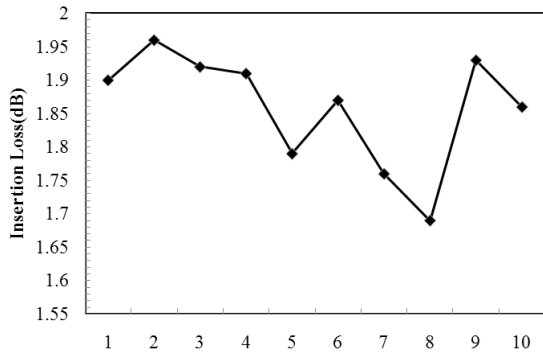


Fig. 4. Insertion loss by physical contact

variation)를 확인한 결과 0.046 CV로 비교적 균일하게 나타났다.

### 3.2 단면 거칠기에 의한 삽입손실 측정

광케이블은 상호간 접촉면이 균일하지 않으면 표면 조도에 의해 광 산란이 발생하게 된다. 발생한 광 산란은 광케이블 접속 시 전송 손실을 유발하며 손실을 최소화하기 위해 단면의 거칠기를 균일하게 해주는 작업이 필요하다. 본 연구에서는 polishing machine과 12 개의 POF 단면 연삭이 가능하도록 제작한 지그를 이용하여 연마를 진행하였다. POF 단면의 연마에서 표면 거칠기 개선을 위한 인자는 다양하지만 효율적인 제작을 위해 연삭에 사용되는 필름의 입도와 시간만을 조절하였으며 연삭을 위해 연삭 필름 (SEIKOH GIKEN Co., Ltd, DR-5D, DI-5D, FOS-01, Japan)의 을 사용하였다. POF는 길이 조절을 위해 케이블 커팅 시스템을 활용하였는데 표면 거칠기 및 단면의 기하학적 구조가 불규칙적인 양상을 보이게 되므로 이를 효과적으로 제거하기 위해 1단계에서 9 μm로 입도가 큰 필름을 사용하고 단계별로 낮은 입도를 가진 필름을 사용하여 총 4 단계로 나누어 연삭을 진행하였다. 표 1에 사용된 연삭 필름과 입도, 연삭 시간을 나타냈다.

이러한 4단계의 연삭을 통해 생성된 POF 단면을 atomic force microscope (AFM)를 통해 확인한 결과 거칠기가 6 nm로 나타나는 것을 확인하였으며 이를 바탕으로 손실률을 측정하였다. 동일 조건으로 연마되어 비슷한 단면 거칠기를 갖는 POF를 페룰과 슬리브를 연결하여 접속하였을 때 0.2 dB 이하의 손실값을 나타내는 것을 확인하였다. 일반적으로 사용하는

Table 1. Polishing condition table.

Step	Polishing film	Gran size	Surface pressure	Polishing Time
1	DR-5D	9 μm	300 g/cm <sup>2</sup>	20 sec
2	DR-5D	3 μm	300 g/cm <sup>2</sup>	20 sec
3	DI-5D	1.0 μm	300 g/cm <sup>2</sup>	20 sec
4	FOS-01	0.1 μm	300 g/cm <sup>2</sup>	1M 30 sec

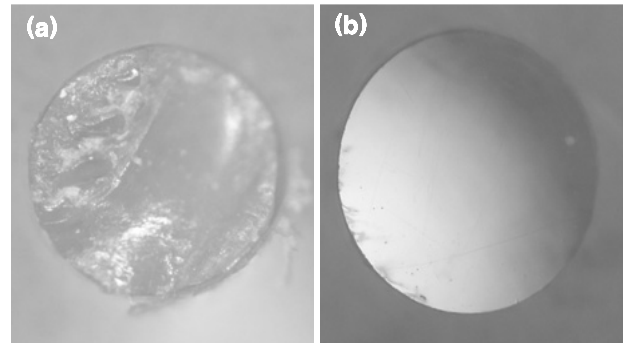


Fig. 5. Profile comparison of before and after polishing: (a) Before, (b) After.

케이블 커팅 시스템에 의해 절단된 연마전의 단면과 4 단계 연마 조건을 거친 후 광섬유의 단면을 그림 5에 나타냈다.

### 3.3 결합 안정성 평가

제작된 페룰과 슬리브의 결합 안정성을 평가하기 위해 인장력 시험을 하였으며 Telcodia 규정에 따라 명시된 인장력 시험기인 DPS-20 (IMADA Co., Ltd, Japan)을 이용하였다. 실험 시 광케이블 접속부를 기준으로 양방향으로 60 N의 장력을 가했다. 인장력을 가하기 전과 후의 손실량을 비교하기 위해 장력을 가하기 전의 삽입 손실량과 장력을 가한 후의 삽입 손실량을 각각 5회 반복 측정하였으며 그 결과를 표 2에 나타냈다.

반복 테스트를 통해 장력이 인가되기 전과 후를 비교한 결과 미소한 손실량의 차이를 보였으며 이는 설계 제작한 페룰과 슬리브의 결합 안정성이 우수함을 나타낸다.

**Table 1.** Result of tensile force test.

Number of measurement	Insertion loss (dB)	
	Before the tensile force test	After the tensile force test
1	1.81 dB	1.84 dB
2	2.00 dB	1.80 dB
3	1.88 dB	1.87 dB
4	1.94 dB	1.88 dB
5	1.84 dB	1.81 dB
Average	1.894 dB	1.840 dB

#### 4. 결론

본 연구에서는 의료영상과 같이 대용량의 데이터를 초고속 전송하기 위해 물리적 특성이 우수한 POF 광 커넥터의 페룰 및 슬리브를 설계 및 제작하였다. 결합 안정성 설계를 통해 페룰의 가공 정밀도를 10  $\mu\text{m}$  이하, sleeve의 설계 공차를  $\pm 40 \mu\text{m}$ 로 제작하였으며 이를 이용하여 광섬유 접속 시 삽입 손실을 분석하였다. 광접속시 손실에 미치는 인자는 다양하나 커넥터 접속, 단면 거칠기, 결합 안정성 등에 대해 검증하였다. 접속에 대한 손실을 확인하기 위해 설계 제작한 슬리브와 페룰을 physical contact 법을 적용하였다. 10 nm의 단면 거칠기를 가지는 POF를 사용하여 10 회 실험한 결과 평균 1.859 dB의 손실을 나타냈으며

변동률 (CV) 또한 미소한 것을 확인하였다. POF 단면 거칠기에 따른 손실은 단면 연마를 1~4 단계로 나누어 진행하였고 일반적인 커팅 시스템으로 커팅한 POF와 4 단계 연마 후 POF의 손실을 비교, 평가한 결과 0.2 dB 이하로 손실량이 매우 작은 것을 알 수 있었다. 또한 제작된 슬리브와 페룰의 인장력 실험을 통한 결합 안정성 검증을 위해 광커넥터 접속부를 기준으로 60 N의 힘을 가하였으며 장력을 가하기 전후의 측정값을 비교한 결과 큰 차이를 보이지 않아 설계 제작한 페룰과 슬리브의 결합 안정성이 우수한 것을 확인할 수 있었다.

#### REFERENCES

- [1] D. H. Cho, K. W. Koo, and H. S. Yang, *J. of KIEE*, **20**, 125, (2006)
- [2] D. G. Kim, S. Y. Woo, D. K. Kim, S. H. Park, and J. T. Hwang, *J. Opt. Soc. (Korea)* **9**, 99 (2005).
- [3] E. Sugita, R. Nagase, K. and Kanayama, T. *J. Lightwave Technol.* **7**, 1689 (1989).
- [4] R. Nagase, E. Sugita, S. Iwano, K. and Kanayama, Y. Ando, *IEEE Photon. Technol. Lett* **3**, 1045 (1991).
- [5] H. J. Lee, K. J. Ahn, D. K. Kim S. J. Lee H. Z. Choi, and Y. J. Choi, *J. of KSPE* **20**, 7 (2003).
- [6] H. C. Kao, and F. Y. Ho, *J. Eur. Ceram. Soc.* **20**, 2447 (2000).
- [7] Y. M. Yoon, J. H. Yoon, B. G. Kim, Y. K. Shin, and K. H. Song, *J. Opt. Soc. (Korea)* **15**, 287 (2004).