

가늘어진 아크릴 원통을 이용한 1×7 커플러 제작 및 특성 측정

민성환* · 김광택**

Fabrication and Characterization 1×7 Plastic Optical Fiber Coupler Using Tapered Acrylic Cylinder

Seong-Hwan Min* · Kwang-Taek Kim**

요 약

본 논문에서는 가늘어진 아크릴 원통이 광 결합 및 광 분배 작용을 하는 1×7 형태의 플라스틱 광섬유 커플러를 제안하고 구현하였다. 제작된 소자는 광 결합기로 동작 시 2.27~3.31 dB의 삽입손실과 광분배기로 동작 시 8.67 ~ 11.27dB의 삽입손실을 보였다.

ABSTRACT

In this paper, we proposed and demonstrated 1×7 type plastic optical fiber(POF) coupler incorporating a tapered acrylic cylinder which works optical combining and dividing region. A fabricated POF coupler showd 2.27~3.31 dB of insertion loss for optical combining and 8.67 ~ 11.27dB of insertion loss for optical spitting.

키워드

Plastic Optical Fiber, POF Coupler, POF Combiner, Acrylic Tapered Cylinder
플라스틱 광섬유, 플라스틱 광섬유 커플러, 플라스틱 광섬유 결합기, 아크릴 테이퍼 원통

1. 서 론

최근 플라스틱 광섬유(POF : Plastic Optical Fiber) 광 네트워크는 자동차, 홈 네트워크, 자동 제어 및 광센서 시스템에 채택되었다. 고속 데이터 통신에 대한 수요가 성장함에 따라 특히, 자동차에 사용 되는 광학 네트워크는 링 버스 네트워크에서 스타 네트워

크로 변하고 있다[1]. 현재의 자동차는 단순한 운송수단만이 아닌 움직이는 사무실의 형태인 엔터테인먼트 공간으로 진보하고 있다. 기존의 오디오 장치 뿐 만 아니라 car theater, 텔레매틱스 단말기, 내비게이션 장치, 디지털 멀티미디어방송 단말기(DMB) 및 차량 안전 제어(Safety System) 시스템 등에 다수의 전자 통신 기기들이 자동차 기술에서 필수적 요소로 자리

* 호남대학교 전기전자공학과(peacemillion@nate.com)

** 교신저자(corresponding author) : 호남대학교 전자광공학과(ktkim@honam.ac.kr)

접수일자 : 2013. 11. 15

심사(수정)일자 : 2013. 12. 30

게재확정일자 : 2014. 01. 10

잡고 있다. 자동차 내부의 전장품의 수가 증가하고, 복잡해짐에 따라 보다 정확하고 효율적인 차량 내부의 전장품 제어를 위해 광 네트워크인 MOST를 적용한 차량이 증가하고 있어서, MOST 세계시장은 안정성이 크고, 영속성이 있으며, 성장성과 독점성을 가지고 있다.

광 부품과 관련하여 POF를 사용함으로써 각종 멀티미디어 기기 및 전자제어 장치들을 연결시켜 주는 200여 가닥의 와이어가 단 1~2개의 광섬유와 10여 가닥의 와이어로 정리됨으로써 자동차 등 수송시스템의 설계 및 생산 공정이 획기적으로 단축되고, 품질과 연비의 개선이 기대 된다. 이러한 자동차 광 네트워크에 신호를 분기하거나 결합하기 위한 광 커플러는 필수적으로 요구된다. 지금까지 다양한 형태의 플라스틱 광섬유 커플러 제조 방법이 알려져 있다. 기존의 측면 연마 방법[2,3], 주형 방법[4], 열 용합 방법[5,6], mixing rod 방법[7], 아크릴 기반의 도파로 방법[8] 등 여러 POF 커플러를 제조하는 기술이 잘 알려져 있다.

본 논문에서는 가늘어진 아크릴 원통을 이용하여 1×7 유형 플라스틱 광섬유 결합기를 제안한다. 제안된 아크릴 원통에서 광 결합과 분배가 이루어지기 때문에 제안된 소자는 광 신호를 분배기로 혹은 광 결합 모두 사용 가능하다. 제안된 소자는 광통신 분야 외에도 태양광 에너지 전송시스템[9]에서 광 에너지를 모으고 분배하는 목적으로 이용될 수 있다 소자구조와 입력광의 빔 패턴에 따라 소자의 성능을 광학시뮬레이션으로 분석하여 최적화된 구조를 설계 후 제작하여 그 특성을 측정하였다.

II. 소자 구조 및 동작 원리

광학설계 디자인 프로그램 Light Tools를 사용하여 소자의 특성을 시뮬레이션을 하였다. 이때 플라스틱 광섬유의 코어와 클래딩의 굴절률은 각각 1.49와 1.41로 설정하였고, 코어와 클래딩의 직경은 각각 0.98mm와 1.0mm로 설정하였다. 테이퍼 구조의 아크릴 도파로의 굴절률은 1.49이다. 접속부위에서 Fresnel 반사와 광 흡수가 없다는 것을 가정하였고, 먼저 입력 채널과 출력 채널 사이의 투과율에 광원의 방사 패턴의 영향

을 조사하였다.

그림 1은 Light Tools를 이용하여 만든 시뮬레이션 모형도이다. 여기서 L은 아크릴 원통의 길이이며 Ch.1은 입력 채널 광섬유 중 가운데 있는 플라스틱 광섬유, Ch.2는 가장 자리에 위치한 6개중 하나이다. 가장 자리의 나머지 광섬유(Ch.3 ~ Ch.6)와 Ch.2의 구조적 대칭성을 가지며 Ch.2와 동일한 특성을 때문에 Ch.2로의 광학특성만 분석하였다.

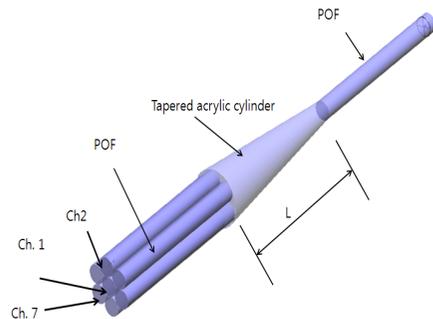


그림 1. 제안된 1×7 플라스틱 광섬유 커플러 구조
Fig. 1 Structure Optical Coupler Design

하나의 입력 채널에서 7개의 출력 단으로 광이 전달될 때 제안된 소자는 광분배기로 동작한다. 제안된 소자 구조의 광분배기의 기능은 기존의 평판도파로 구조의 1×N 형태의 광 커플러[7]와 거의 유사하기 때문에 광학 시뮬레이션은 수행하지 않았다. 본 논문에서는 광 결합기 기능, 즉 7개의 입력 채널에서 1개의 출력 채널로 광 신호 혹은 광 파워를 모으는 기능에 대해서 분석하였다. 그림 2는 광원의 발산 각에 따른 전달 비를 나타낸 것이다. 발산각도에 따른 빔의 세기는 Lambert 패턴을 가지는 것으로 가정하였다. 여기서 테이퍼 길이는 10.0 mm로 가정하였다.

광원으로 발산 각(divergence angle)이 작은 레이저나 발산 각이 매우 큰 LED가 도입 될 수 있기 때문에 광원에서 발산되는 빔의 최대 각도에 따라 입력과 출력사이의 광 파워 전달 비(transmittance)가 어떻게 변하는지 분석해볼 필요가 있다. Ch.1과 Ch.2 입력에서 하나의 출력 단까지 광 파워 전달 비, 즉 채널의 전달 비 광원의 발산 각이 10° 일 때까지 95% 이상 됨을 알 수 있다. 하지만 광원의 발산 각이 30° 이상으로증가하면 전달 비는 40%이하로 감소한다. 가

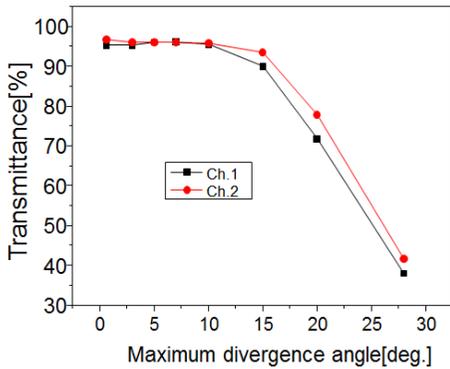


그림 2. 광원의 발산 각에 따른 전달 비

Fig. 2 Transmission ratio according to the divergence angle of a light source

늘어진 원통 구조에서 광의 누설에 의한 손실 개념이 그림 3에 나타나 있다.

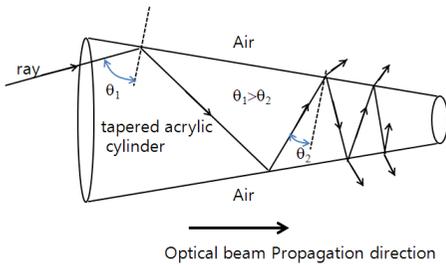


그림 3. 가늘어진 원통 구조에서 광선 경로
Fig. 3 Ray trace in the tapered cylinder

초기에 원통 경계면에서 전반사 조건을 만족하는 광선은 광선이 진행하면서 경계면에서 입사각이 점점 작아져 전반사 조건을 만족 할 수 없게 되어 밖으로 아크릴 원통 밖으로 누설된다. 광원의 발산각의 클수록 원통 밖으로 누설되는 광선의 수가 상대적으로 증가함을 의미한다.

그림 4은 두 개의 입력 채널에 빛을 입사하였을 경우 테이퍼 실린더의 길이(L)에 따른 투과율을 보여준다. 7개의 입력 채널 중 중심채널 Ch.1은 테이퍼 길이에 관계없이 높은 전달 비를 보이지만 Ch.2의 경우 테이퍼 길이가 짧을 경우 큰 손실을 보인다. 테이퍼 길이가 5mm를 초과하는 경우 두 입력 채널의 전달 비는 테이퍼 길이와 관계없이 투과율이 비슷한걸 알 수 있다.

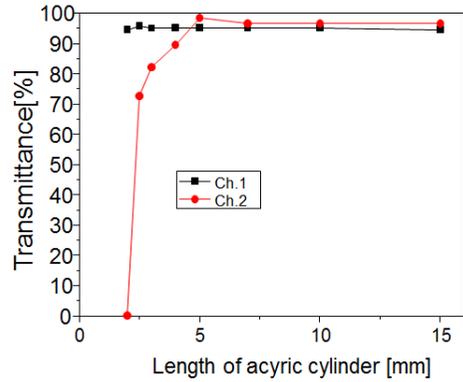


그림 4. 테이퍼 길이에 따른 전달 비

Fig. 4 Transmittance according to Length of acrylic cylinder

III. 소자 제작

플라스틱 광섬유(Plastic Optical Fiber)를 이용한 1×7 형태의 커플러의 구조는 그림 5와 같이 아크릴 지지대의 중앙에 아크릴 원통을 고정하기 위한 구멍을 형성하고 그 속에 아크릴 원통을 고정한다. 아크릴 지지대 한쪽은 3.0 mm 구멍을 내어 플라스틱 광섬유 7개가 들어 갈 수 있도록 하였고 다른 한쪽은 1.0mm 구멍을 내어 하나의 플라스틱 광섬유를 고정시킬 수 있도록 제작하였다.

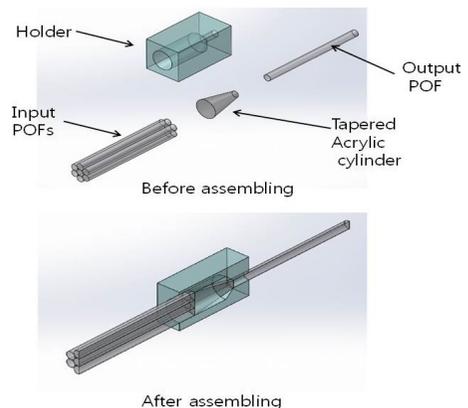


그림 5. 커플러 조립 방법
Fig. 5 Coupler assembling method

이때 사용 되는 8가닥의 플라스틱 광섬유는 동일하다. 아크릴 원통은 길이가 10.0 mm, 굵은 쪽 지름은 3.0 mm, 가는 쪽 지름은 1.0 mm 가 되도록 정밀 가공 장비로 제작하였다. 원통의 표면은 알갱이 크기가 1.0 μm 인 다이아몬드 연마제를 솜에 묻혀 습식 연마하였다. 아크릴 원통과 플라스틱 광섬유를 굴절률 정합 접착제(SK9)로 접착하였다. 그림 6는 제작된 아크릴 원통 사진이다.

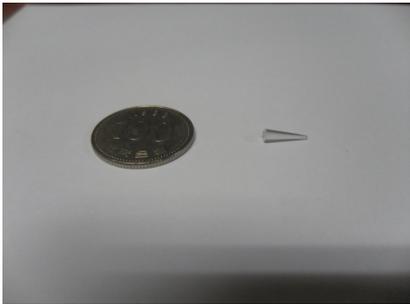


그림 6. 제작된 아크릴 테이퍼 원통 사진
Fig. 6 Picture of fabricated acrylic tapered cylinder

그림 7은 각 부품을 조립 후 완성된 소자 사진이다. 입력단과 출력단의 광섬유 길이는 1.0m로 제작하였다.

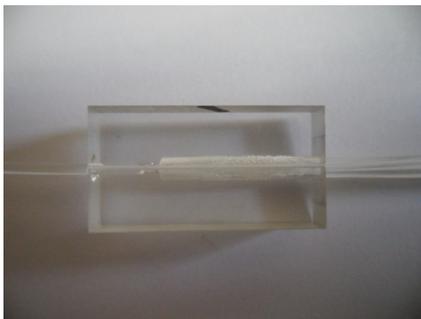


그림 7. 제작된 7×1형 광 커플러 사진
Fig. 7 Picture of fabricated the 1×7 optical coupler

IV. 특성 측정 및 분석

실험에서 광원으로 파장 633nm 레이저 다이오드를 사용하였다. 동일한 여러 개의 소자를 제작하고 그중

가장 특성이 우수한 소자를 선택하여 특성을 평가하였다. 그림 8은 광 결합기로서 기능을 살펴보기 위해 출력 단 빔을 스크린에 비추어 촬영한 사진이다. 왼쪽 사진은 하나의 입력 채널에 레이저 광을 입력했을 때, 오른쪽 사진은 두 개의 입력 채널에 레이저 광을 입력시켰을 때 출력 광을 스크린에 비췄을 때 나타나는 광세기 분포이다. 사용한 2개의 레이저는 동일한 광출력을 가진다. 두 개의 입력 채널에 레이저가 결합되었을 때 출력 단에 검출되는 광의 세기가 더 커지는 것을 육안으로 확인할 수 있었다.

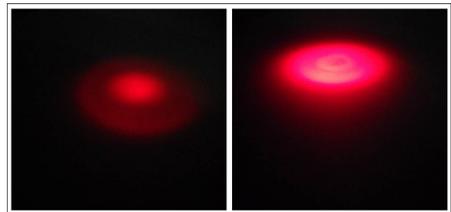


그림 8. 출력 빔의 세기 패턴, 하나의 레이저가 입력채널에 결합했을 때(좌), 두 개의 레이저가 입력채널에 결합되었을 때(우)

Fig. 8 Optical output Beam intensity pattern when one laser is launched into a input channel(left), and two laser are launched into two input channels(right)

소자의 특성은 입력단과 출력 단 사이의 삽입손실로 평가가 가능하다. 광 결합기와 광분배기로서의 성능을 측정하였다. 표 1은 7개의 입력 단에 각각 광원을 연결하여 하나의 출력 단에서 광세기를 검출하여 측정된 광 권력 전달 비를 데시벨 단위로 표시한 값이다. 즉, 이는 삽입 손실을 의미한다. 광 결합기로서 손실은 제 2.27 ~ 3.31 dB로 나타났다.

표 1. 측정된 광 결합기로서 삽입손실
Table 1. Measured insertion loss as optical combiner

| Input Channel | Insertion loss(dB) |
|---------------|--------------------|
| Ch 1 | 2.28 |
| Ch 2 | 2.99 |
| Ch 3 | 2.67 |
| Ch 4 | 2.73 |
| Ch 5 | 3.03 |
| Ch 6 | 3.31 |
| Ch 7 | 3.24 |

표 2.는 제작된 소자의 광 분배기로서 입력단과 출력 단 사이의 측정된 삽입손실 값이다.

표 2. 측정된 광 분배기로서 삽입손실.
Table 2. Measured insertion loss as optical splitter

| Output Chanel | Insertion loss(dB) |
|---------------|--------------------|
| Ch 1 | 8.62 |
| Ch 2 | 10.08 |
| Ch 3 | 11.27 |
| Ch 4 | 10.84 |
| Ch 5 | 10.84 |
| Ch 6 | 11.27 |
| Ch 7 | 11.27 |

광분배기로서 이상적으로 광 파워가 7개의 출력 채널에 손실 없이 균등하게 분배될 경우 8.45dB의 삽입손실을 가지게 된다. 제작된 소자의 광 분배 과정에서 삽입손실은 8.62dB~11.27dB 로 측정되었다. 입력단의 중심부에 위치한 Ch.1이 입력 채널로 선택되어 때 가장 작은 삽입손실을 보인 이유는 레이저 광이 원통 내에서 확산이 덜되어 중심 채널에 더 많은 광선이 집중되었기 때문으로 분석된다. 광분배기로 동작 시 초과 손실(excess loss)는 2.06dB로 나타났다. 여기서 초과손실이란 입력광의 파워와 출력 단 7개 채널에서 총 파워 사이의 비를 의미한다. 초과 삽입손실의 원인으로 광 분배 과정에서 아크릴 원통과 7개 플라스틱 광섬유와 접촉하는 부위에서 광섬유들 사이 빈 공간으로 광선의 누설, 가늘어진 아크릴 단면과 하나의 플라스틱 광섬유가 접속 시 부정확한 정렬에 발생하는 광선이 누설, 그리고 아크릴 원통 표면의 완전하지 못한 연마에 의한 산란 등으로 예상된다. 현재 1×7 형태의 플라스틱 광섬유 커플러를 생산하여 시판하는 기업은 없어 본 논문에서 제작된 소자의 직접적인 성능 비교는 어렵다. 다만, 1×3형태의 플라스틱 광섬유 커플러는 Industrial fiber optics (<http://www.i-fiberoptics.com>) 에서 시판하고 있으며 이 소자의 초과손실은 2.2 dB 이다. 본 논문에서 제작된 1×7형태의 소자의 기존 제품에 비해서 초과 손실이 더 커지 않음을 알 수 있고 분가 가지 수가 더 많다는 점에서 향후 상업화도 충분히 가능할 것으로 기대된다. 연마 공정과 정렬 공정 등을 개선하여 삽입손실을 줄일 여지

V. 결 론

본 논문은 가늘어진 아크릴 원통을 이용한 1×7형 플라스틱 광섬유 결합기를 제안 하였고, 이를 광 결합기와 광분배기로 활용할 수 있음을 실험으로 검증하였다. 광원에서 나오는 빔의 발산각과 원통 길이가 소자의 동작특성에 미치는 영향을 분석하여 적절한 소자구조를 설계하였다. 광 결합기로서 손실은 제 2.27~3.31 dB로 나타났고, 광분배기 작동 시 삽입손실은 8.62dB~11.27dB로 측정되었다. 아크릴 연마 공정개선과 packaging 과정에서 광섬유와 아크릴 원통의 정렬의 정확도를 높이면 향후 성능 개선이 이루어 질것으로 사려된다.

참고 문헌

- [1] T. Kibler, S. Pofertl, G. Böck, H.-P. Huber, and E.Zeeb, "Optical Data Buses for Automotive Applications", *J. of Lightwave Technology*, vol. 22, no. 9, 2004, pp. 2184-2199.
- [2] D.-G. Kim, S.-Y. Woo, D.-K. Kim, S.-H. Park and J.-T. Hwang, "Fabrication and characteristics of plastic optical Fiber directional couplers" *J. of the Optical Society Korea*, vol. 9, no. 3, 2005, pp. 99-102.
- [3] K.-T. Kim, D.-G. Kim, W.-K. Hyun, K.-B. Hong, K.-G. Im, S.-J. Baik, D.-K. Kim, and H.-Y. Hyun, "Side-Coupled Asymmetric Plastic Optical Fiber Coupler for Optical Sensor Systems", *J. of the Optical Society of Korea*, vol. 12, no. 4, 2008, pp. 255-261.
- [4] Y. Takezawa, S. Akasaka, S. Ohara, T. Ishibashi, H. Asano, and N. Taketani, 1994, "Low excess losses in a Y-branching plastic optical waveguide formed through injection molding", *Appl. Opt.*, vol. 33, no. 12, 1994, pp. 2307-2312.
- [5] Y. Jeong, S. Bae, and K. Oh "All fiber N × N fused tapered plastic optical fiber (POF) power splitters for photodynamic therapy applications", *Current Applied Physics*, vol. 9, no.

- 4, 2009, pp. 273-275.
- [6] K.-T. Kim, B.-J. Han, "High performance plastic optical fiber coupler based on fusing method", *IEEE Photonics Tech. Lett.* vol. 23, no. 24, 2011, pp. 1848-1850.
- [7] K.-T. Kim, S.-H. Min, J.-H. Yun, "Low Loss Plastic Optical Fiber Coupler Incorporating a Polymer Tapering Waveguide Region," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 4, 2012, pp. 867-871.
- [8] K.-T. Kim and M.-K. Kim" Low-Loss 1 2 Plastic Optical Fiber Coupler Incorporating a Tapered Polymeric Waveguide and Plastic Optical Fiber Transition Regions" *Japanese J. of Applied Physics*, vol. 51 2012, pp. 092502-1-092502-5.
- [9] S.-M. Kim, "Analysis of optical energy delivery through multi-core optical fibers" *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 5, 2012, pp. 1079-1085.

저자 소개



민성환(Seong-Hwan Min)

2012년 호남대학교 전자광공학과 졸업(공학사)

2012년~현재 호남대학교 대학원 전기전자공학과 석사과정

※ 관심분야 : 광섬유 통신 소자 및 센서, 바이오광학 센서



김광택(Kwang-Taek Kim)

1989년 경북대학교 전자공학과 졸업 (공학사)

1991년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사)

2000년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

2000년~현재 호남대학교 전자광공학과 교수

※ 관심분야 : 광섬유 통신 소자 및 센서, 바이오광학 센서