

폴리머 테이퍼링 도파로 영역이 있는 저 손실 플라스틱 광섬유 커플러

김광택* · 민성환* · 윤중현**

Low Loss Plastic Optical Fiber Coupler Incorporating a Polymer Tapering Waveguide Region

Kwang-Taek Kim* · Seong-Hwan Min* · Jung-Hyun Yun**

요약

본 논문에서는 폴리머 테이퍼링 도파로 영역을 포함하는 1×4 형태의 플라스틱 광섬유 커플러를 제안하고 구현하였다. 플라스틱 광섬유와 폴리머 사각 도파로의 접속면에서 광 누설 손실을 줄이기 위해 단면이 원형에서 구형으로 천천히 바뀐 플라스틱 광섬유를 도입하였다. 실리콘 고무로 만들어진 주형을 이용하여 소자를 제작하였다. 제작된 소자는 1.33 dB의 삽입손실과 2.2 dB의 평탄도를 보였다.

ABSTRACT

In this paper, we proposed and demonstrated a low loss 1×4 type plastic optical fiber(POF) coupler incorporating a polymer tapering waveguide region. To avoid leakage loss at the interfaces between the POF and the polymer waveguide, we employed two POF transition regions, in which the cross section of the POF is adiabatically converted from a circular to a rectangular shape without change of its cross-section area. The device was fabricated based on a injection mold made of a silicon rubber. The fabricated POF coupler showed 1.33 dB of excess loss and 2.2 dB of flatness.

키워드

Plastic optical fiber, POF coupler, Polymer waveguide
플라스틱 광섬유, 플라스틱 광섬유 광커플러, 폴리머 도파로

1. 서론

플라스틱 광섬유(POF : plastic optical fiber)는 광 전송 매체로 홈 네트워크, 자동차 광 네트워크, 광학 감지 시스템과 같은 단거리 데이터 통신에 사용되고 있다. 광섬유 커플러는 광 파워를 분배하거나 파장이 다른 광신호를 분할하는 목적으로 이용되는 소자이다

[1,2]. 특히 자동차내 통신 용량의 증가로 광 네트워크 구조가 링버스 구조에서 성형 구조로 바뀌고 있는 추세여서 POF 커플러 수요는 크게 증가 할 것으로 사료된다[3]. 그뿐만 아니라 POF 커플러는 홈 네트워크, 공장자동화, 광센서 시스템에서 다양하게 적용되고 있다. 이러한 수요 증가에 대응하기 위해서는 높은 성능과 낮은 가격으로 제조할 수 있는 플라스틱 광섬유

* 호남대학교 전자광공학과(ktkim@honam.ac.kr)

** 조선이공대 광정보전과

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

접수일자 : 2012. 06. 29

심사(수정)일자 : 2012. 07. 26

게재확정일자 : 2012. 08. 09

커플러 제조 기술을 확보해야 한다. 기존의 측면 연마 방법[4,5], 주형 방법[6], 열 융합 방법[7,8], mixing rod 방[9], 아크릴 기반의 도파로 방법[10] 등 여러 가지 POF 커플러를 제조하는 기술이 잘 알려져 있다.

본 논문에서는 구조가 간단하고 손실이 작으며 대량생산에 적합한 POF 커플러를 제안하였다. 제안된 POF 커플러의 형태는 1×4 형태이다. 중간에 폴리머 테이퍼링 도파로를 삽입하여 입력단과 출력단 사이에서 광 신호 분배가 발생하도록 설계하였다. 소자 제작을 위해 실리콘 고무 주형을 이용하였다. 실리콘 고무 주형은 다른 물질과 접촉되지 않는 성질이 있어 실리콘 주형에 채우는 폴리머 도파로 물질과 쉽게 분리되어 이 주형을 반복적으로 사용할 수 있는 장점을 가지게 된다. 폴리머 광도파로는 단면이 4각 구조이고 POF의 단면은 원형 구조이다. 폴리머 도파로와 플라스틱 광섬유를 직접 접속하면 광이 누설되는 빈틈이 발생한다. 광 손실을 줄이기 위하여 플라스틱 광섬유의 단면 구조를 원형에서 사각 구조로 서서히 변화하는 기법을 개발하였다. 실험 결과 제안된 소자는 기존의 POF 커플러[8]보다 삽입손실이 1dB 이상 개선됨을 보였다.

II. 소자 구조 및 동작 원리

실리콘 고무는 다른 물질과 접촉되지 않는 특성을 가지고 있어 이를 투명 에폭시를 이용한 도파로 제작의 주형(mold) 재료로 이용하였다. 제안된 소자의 구조는 그림 1과 같이 양쪽 끝에 두 개의 플라스틱 광섬유 변형 영역(POF transition region)있고 중심부에 폴리머 도파로 영역(polymer waveguide region)있다. 도파로 물질의 굴절률이 1.49인 폴리머의 일종인 자외선 에폭시를 고려하였고, 도파로 외부는 굴절률이 1.41인 폴리머를 코팅한다.

하나의 입력 채널 플라스틱 광섬유에서 결합된 광은 폴리머 도파로 영역에서 4개의 출력 채널 플라스틱 광섬유로 광신호가 분배된다. 폴리머 도파로 영역에서 광선들이 여러 각도로 확산되기 때문에 광분배가 일어난다. 코어와 클래딩의 경계면에서 광선들은 전반사 조건을 만족한다. 투명 에폭시로 만들어지는

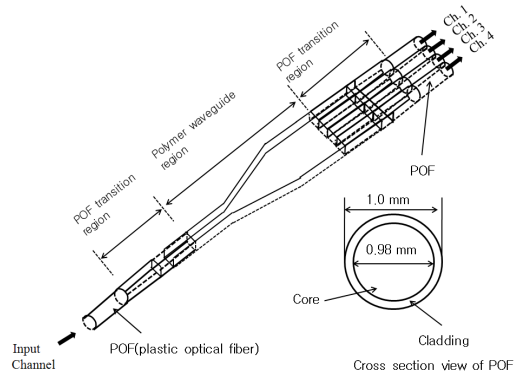


그림 1. 제안된 1×4 형 플라스틱 광섬유 커플러 구조

Fig. 1 Structure of proposed 1×4 POF coupler

폴리머 도파로 영역의 단면은 네모 모양이며 플라스틱 광섬유의 단면은 원형이다. 이 둘을 직접 접속하면 광신호 일부가 빈틈으로 누설된다. 이런 광학적 누설 손실을 줄이기 위해 플라스틱 광섬유 끝부분의 모양을 원형에서 4각(rectangular) 구조로 서서히 변화시켜 접속 부분에서 빈틈이 없도록 설계 및 제작 한다.

그림 2는 상용화된 소자 해석 프로그램(Lighttools)을 이용하여 제안된 소자를 광선이론으로 분석한 결과를 보여 주고 있다. 광분배가 균등하게 일어나기 위해서는 폴리머 도파로의 테이퍼 되는 영역의 길이가 중요하다. 이를 설계 프로그램으로 분석한 결과 테이퍼 영역의 길이는 10 mm가 적합한 것으로 나타났다. 하나의 입력 채널(channel)에 결합된 광선들이 폴리머 도파로 영역을 통과한 후 4개의 출력 채널로 손실 없이 균등하게 분배 되는 과정을 그림 2부터 알 수 있다.

여기서 입력광의 분포는 람버트(Lambert) 빔 형태로 가정하였고 파장은 633 nm로 설정하였다. POF 코어의 굴절률은 1.49, 클래딩의 굴절률은 1.41로 가정하였다. 폴리머 도파로의 코어와 클래딩의 굴절률은 POF의 굴절률과 동일한 것으로 가정하였다. 플라스틱 광섬유에 결합되는 광선의 최대 허용 수용각(maximum acceptance angle) 29.8° 이다. 플라스틱 광섬유에 결합된 수많은 광선들은 각각의 경로를 가지며 폴리머 도파로 영역에 도달한다. 폴리머 도파로에서는 광선들이 여러 각도로 확산되고 경계면에서 전반사를 통해 진행 후 출력단의 4개의 플라스틱 광섬유에 결합된다. 이 소자를 역으로 이용하면 광 콤바이너가 되

며 이때는 4개의 광섬유에 각각 입력된 신호가 하나의 출력 광섬유로 결합된다.

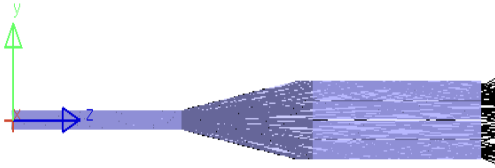


그림 2. 소자 모델링 및 광선 경로
Fig. 2 Device modeling and ray tracing

제작된 소자의 성능은 각 채널의 삽입손실, 초과손실 및 출력의 평탄도로 나타낼 수 있으며 다음과 같이 정의된다.

$$\text{삽입손실}[dB] = -10 \log \frac{n \text{ 번째 채널의 출력 광파워}}{\text{입력 광파워}} \quad (1a)$$

$$\text{초과손실}[dB] = -10 \log \frac{\text{출력 광파워의 합}}{\text{입력 광파워}} \quad (1b)$$

III. 소자 제작 및 분석

제안된 소자의 제작을 위한 첫 번째 공정은 실리콘 고무 주형물 제작이다. 실리콘 고무를 주형으로 선택한 이유는 에폭시와 접착되는 않는 성질 때문이다. 즉 에폭시를 경화시킨 후 고무 주형으로부터 쉽게 분리할 수 있어 고무 주형을 반복적으로 사용할 수 있다. 실리콘 고무 주형물 제작을 위해 아래 그림 3과 같은 금속 지그(jig)를 제작하였다. 금속 지그 내부의 표면은 경면이 되도록 연마한다. 이 금속 지그 안에 액체 상태의 실리콘 고무와 경화제를 10:1의 비율로 섞은 후 금속 지그 내부에 채운다. 이 후 실온에서 30분 정도 지나면 기포가 빠져 나간다. 45 °C에 4시간 정도 핫플레이트에 올려놓으면 그림 4와 같은 실리콘 고무 주형물이 만들어진다.

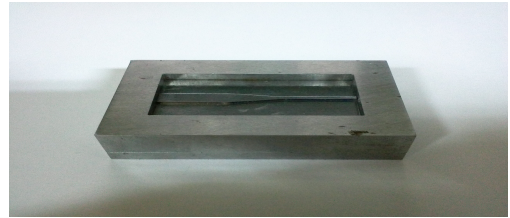


그림 3. 실리콘 고무 주형 제작을 위한 금속 지그 사진

Fig. 3 Picture of the metal jig for fabrication of silicon rubber mold



그림 4. 제작된 실리콘 고무 주형 사진

Fig. 4 picture of the fabricated silicon rubber mold

한편 플라스틱 광섬유를 원형 구조에서 4각 구조로 길이 방향으로 변화시키는 과정이 필요하다. 제조 과정은 그림 5에 제시되어 있다. 플라스틱 광섬유의 단면을 연마 후 열과 압력을 이용하여 가로 1mm, 세로 0.79mm인 4각 금속 틀 속에서 압착시킨다. 플라스틱 광섬유의 가열온도는 110 °C 이다. 그림 6을 끝단이 원형에서 4각 구조로 변형된 플라스틱 광섬유 끝 부분 사진이다.

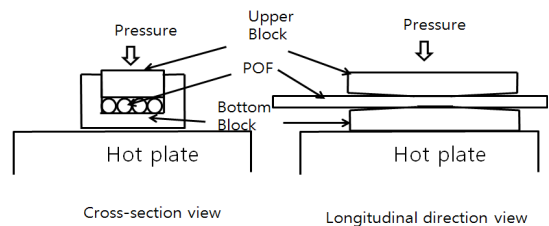


그림 5. 열과 압력을 이용한 플라스틱 광섬유의 변형 과정

Fig. 5 POF transforming process based on heating and pressing

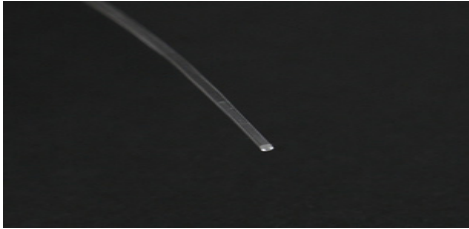


그림 6. 단면 모양이 변형된 플라스틱 광섬유 사진

Fig. 6 Picture of a POF whose cross-section view was transformed

그림 5와 같이 준비된 실리콘 고무 주형에 끝단이 변형된 플라스틱 광섬유들을 삽입하고 굴절률이 1.49인 자외선 경화 에폭시를 채운다. 에폭시의 굴절률은 플라스틱 광섬유의 코어의 굴절률과 동일한 SKII를 이용하였다. 에폭시와 광섬유 코어의 굴절률이 동일하기 때문에 접속면에서 프레넬(Fresnel)반사를 없앨 수 있다.

에폭시를 자외선으로 경화시키면 플라스틱 광섬유와 접착되고 중심 부위는 폴리머 광도파로가 된다. 자외선 경화 후 소자를 실리콘 고무 주형으로부터 소자를 분리하고 굴절률이 1.41인 에폭시를 소자의 외부에 코팅한다. 제작된 POF 커플러는 그림 7과 같다.

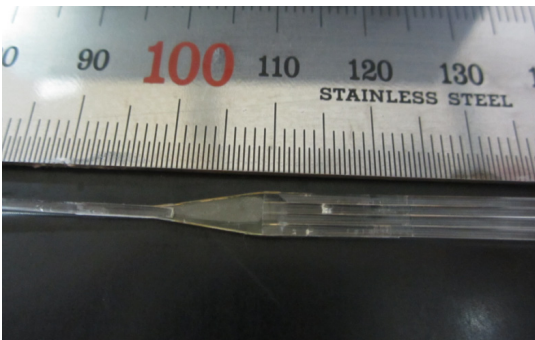


그림 7. 제작된 1×4 형 플라스틱 광섬유 커플러 사진

Fig. 7 Picture of fabricated 1×4 type POF coupler

소자의 특성을 측정하기 위해 하나의 실리콘 고무 주형을 이용하여 총 6개의 소자를 제작하였다. 제작된 소자들은 파장이 635 nm인 레이저 다이오드를 이용하여 그 특성을 측정하였다. 입력채널과 각 출력 채널 사이의 삽입손실을 측정하면 초과손실(excess loss)

와 평탄도(flatness)를 계산하여 얻을 수 있다.

여기서 평탄도란 각 출력채널의 최대광파위와 최소 광파위비를 의미한다. 제작된 소자의 특성은 표1에 제시되었다. 이상적인 1×4형 POF 커플러의 각 채널당 삽입 손실은 6dB 이다. 제작된 소자는 실험결과 삽입 손실은 6.0~9.5 dB으로 측정 되었고 초과 손실은 1.33~2.45dB로 관측되었다. 평탄도는 1.0~1.9 dB 사이였다. 제작된 소자는 기존의 유사한 아크릴 기반 POF 커플러[10] 보다 초과 손실이 1~2 dB 개선됨을 보였다. 제안된 소자 제조 방법을 이용하면 필요에 따라 출력 채널의 갯수를 쉽게 바꿀 수 있다. 제안된 소자 제조 방법은 실리콘 고무를 주형으로 이용하기 때문에 반복적으로 활용할 수 있어 대량 생산에 적합할 것으로 기대된다.

표. 1 제작된 소자의 특성 측정 결과
Table 1. Experimental results of characteristics of fabricated devices

커플러	Port 번호	Ch. 1의 삽입 손실[dB]	Ch. 2의 삽입 손실[dB]	Ch. 3의 삽입 손실[dB]	Ch. 4의 삽입 손실[dB]	초과 손실[dB]	평탄도 [dB]
소자 1		9.0	8.9	7.2	8.9	2.43	1.8
소자 2		7.7	6.6	7.5	8.5	1.51	1.9
소자 3		9.5	7.2	6.0	7.3	1.33	2.2
소자 4		7.4	7.6	7.8	8.4	1.77	1.0
소자 5		7.2	7.2	8.2	9.4	1.93	2.2
소자 6		8.1	8.2	8.1	9.6	2.45	1.5

IV. 결론

본 논문에서는 테이퍼링된 폴리머 도파로 영역이 있는 1×4형태의 POF 커플러를 제안하고 구현하였다. 제작된 소자들의 초과손실은 1.33~2.45dB로 측정되었다. 이 결과는 기존의 소자보다 1~2 dB 감소함을 실험을 통해 확인하였다. 평탄도는 1.0~2.2 dB 사이였다. 제안된 제조 방법은 실리콘 고무 주형은 반복적으로 사용이 가능하기 때문에 기존의 방법에 비해 제작이 용이하여 대량의 플라스틱 광섬유 커플러 제조에 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

[1] 문용선, 노상현, 조광훈, 배영철, "WDM 방식의 양방향 광 이더넷 통신 모듈 구현," 한국전자통신학회논문지, 7권, 2호, pp. 409-415, 2012.

[2] 석재혁, 김응수, "광 네트워크 용 Spot-Size Converter 설계 최적화 설계", 한국전자통신학회 논문지, 7권, 3호, pp. 573- 578, 2012.

[3] T. Kibler, S. Pofnerl, G. Böck, H.-P. Huber, and E.Zeeb, "Optical Data Buses for Automotive Applications", J. of Lightwave Technology, Vol. 22, No.9, pp. 2184-2199, 2004.

[4] D-G Kim, S. Y. Woo, D.-K. Kim, S.-H. Park, J.-T. Hwang, "Fabrication and characteristics of plastic optical Fiber directional couplers" J. of the Optical Society Korea, Vol. 9. No. 3, pp. 99-102, 2005.

[5] 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", Journal of the Optical Society of Korea, Vol. 12. No. 4, pp. 255-261. 2008.

[6] 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. pp. 2307-2312, 1994.

[7] 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, pp. 273-275, 2009.

[6] High performance plastic optical fiber coupler based on fusing method" IEEE Photonics Tech. Lett. Vol, 23, No, 24, pp. 1848-1850, 2011.

[7] C. Yang, X. Sun, Y. Wang, M. Zhang, D. Ding, 2001, "1x7 plastic optical fiber coupler using cylindrical mixing rod", Proceedings of SPIE, Vol. 4603, pp. 183-187, 2001.

[8] A. A. Ehsan, S. Shaari, and M. Kamil , A. Rahman, "Low cost 1x 2 Acrylic-based plastic optical fiber coupler with hollow taper waveguide," PIERS, Vo1. 2, pp. 129-132, 2009.

[9] C. Yang, X. Sun, Y. Wang, M. Zhang, D. Ding, 2001, "1x7 plastic optical fiber coupler using cylindrical mixing rod", Proceedings of SPIE, Vol. 4603, pp. 183-187, 2001.

[10] A. A. Ehsan, S. Shaari, and M. Kamil , A. Rahman, "Low cost 1x 2 Acrylic-based plastic optical fiber coupler with hollow taper waveguide," PIERS, Vo1. 2, pp. 129-132, 2009.

저자 소개



김광택(Kwang-Taek Kim)

1989년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학박사)
 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



민성환(Seong-Hwan Min)

2012년 호남대학교 전자광공학과 졸업 (공학사)
 2012년 호남대학교 대학원 전기전자공학과 (공학석사과정)
 ※ 관심분야 : 광섬유 통신 소자 및 센서, 바이오광학 센서



윤중현(Jung-Hyun Yun)

1993년 조선대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
 1995년 조선대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1999년 조선대학교 대학원 전자공학과학과 졸업(공학박사)
 2003년 (주)지피텍 기술이사
 2006년 조선대학교 전자정보공과대학 전자공학과 초빙교수
 2007년~현재 조선이공대학 광전자정보과 전임강사
 ※ 관심분야 : 염료 감응형 태양전지, 광집적회로 소자 및 광통신 시스템