

## 유기 비선형 광학 재료를 이용한 플라스틱 광섬유 제작 및 특성

김응수<sup>†</sup> · 강신원\*

### Characteristics and fabrication of POF using organic nonlinear optical materials

Eung Soo Kim<sup>†</sup> and Shin Won Kang\*

#### Abstract

We have fabricated a multi-mode nonlinear plastic optical fiber (POF) using organic nonlinear optical materials and demonstrated the propagation of light. The refractive indices of core and cladding are 1.5240 and 1.5172. We made a POF preform by rod-in tube method. The core diameter of the fabricated POF is about 30  $\mu\text{m}$ . We evaluated the temperature characteristics of POF. The sensitivity is 0.345 mW/°C and the linearity of sensor was good.

**Key Words :** plastic optical fiber (POF), organic material, preform, sensitivity, sensor

### 1. 서 론

정보통신 기술발달로 인해 초고속 정보화 사회 실현이 가능하게 되었다. 기존의 기간 통신망은 구리선으로 이루어져 대용량의 고속 통신에는 적합하지 않았다. 이런 단점을 극복하기 위한 수단으로 광의 전파사 원리를 이용하여 빛을 광섬유 코어 내로 전파시키는 광섬유를 이용한 광 통신망이 주목을 받고 있으며, 이러한 광섬유는 통신뿐만 아니라 센서 등 여러 분야에 사용되고 있다<sup>[1-3]</sup>. 현재와 같이 인터넷이 발달되어 전 세계적으로 네트워크가 형성되어 있으므로 초고속으로 대용량의 정보를 정보 전송을 위해서 광기술을 이용한 전송 기술이 요구되고 있다. 특히 초고속 정보화 사회의 기본인 Fiber To The Home(FTTH), Fiber To The Office(FTTO)를 실현하기 위해서는 광통신기술이 핵심 요소중의 하나이다. 지금의 광통신망은 주로 실리카(SiO<sub>2</sub>)재료로 만들어진 광섬유로 구성되어지는데, 광섬유의 직경이 10  $\mu\text{m}$  정도의 단일 모드 광섬유로 이루어져 대용량의 장거리 통신에는 적합하지만, 광섬유의 분

기나 접속 등의 설치가 어렵고 가격이 비싼 단점 때문에 대내망과 같은 근거리 통신망에는 플라스틱 광섬유(plastic optical fiber)가 주목을 받고 있다<sup>[4]</sup>. 플라스틱 광섬유는 실리카 광섬유에 비해 코어 직경이 크고, 가공성이 우수하며 유연하며 충격에 강한 등의 장점이 있어 설치비용이 저렴하며 유지 보수도 간단하여 근거리 통신망, 자동차 네트워크, 홈 네트워크에 플라스틱 광섬유가 많이 사용되어 질 것이다. 하지만 플라스틱 광섬유는 실리카 광섬유에 비해 손실이 크고, 열적 안정성이 좋지 않은 단점이 있다<sup>[5]</sup>. 일반적으로 많이 사용되고 있는 통신용 플라스틱 광섬유는 Graded Index (GI) 구조를 가지고 있고, 제조법으로는 비선형성이 없는 polymethyl methacrylate(PMMA)를 사용하여 계면 Gel 중합법으로 만들어지고 있다<sup>[6]</sup>. 본 연구에서는 유기 비선형 광학 재료로 많이 사용되고 있는 disperse red 1(DR1)을 기존의 플라스틱 광섬유 제조 방법과는 다른 코어 모재와 클래딩 모재를 결합하는 방법으로 광섬유를 제조하였으며, 제작된 플라스틱 광섬유를 이용하여 온도특성을 조사하였다. 본 연구에서 사용한 광섬유 제조법은 실리카 fiber에서는 적용한 사례가 보고되었지만<sup>[7]</sup>, 본 논문에서 플라스틱 광섬유의 제작에도 적용할 수 있음을 확인하였으며, 이렇게 제작된 비선형 플라스틱 광섬유는 센서 및 통신용 광학소자에 응용될 수 있을 것으로 생각한다.

부산외국어대학교 디지털정보공학부 (Div. Digital Information Eng., Pusan University of Foreign Studies)

\*경북대학교 전자전기컴퓨터학부 (Div. Electronics, Electrical and Computer Eng., Kyungpook National University)

<sup>†</sup>Corresponding author: eskim@taejo.pufs.ac.kr

(Received : April 12, 2006, Accepted : May 26, 2006)

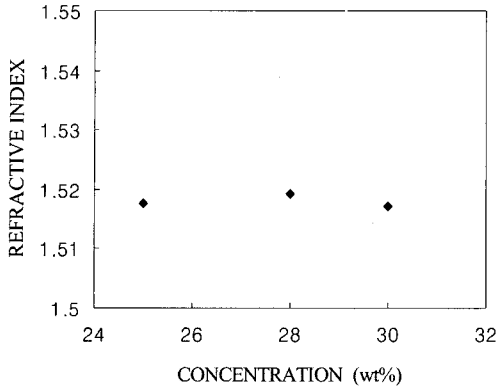


그림 1. BBP의 농도 변화에 따른 굴절을 변화  
Fig. 1. Refractive index according to the concentration of BBP.

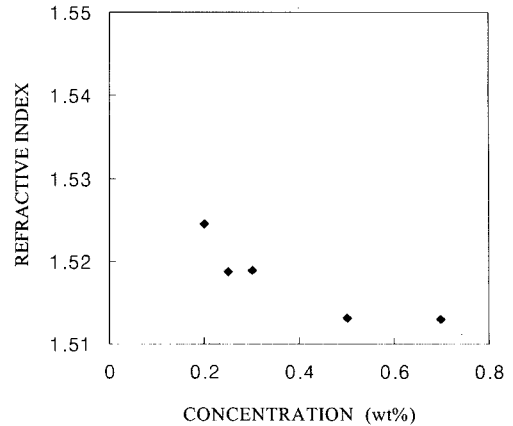


그림 2. BPO의 농도 변화에 따른 굴절을 변화  
Fig. 2. Refractive index according to the concentration of BPO.

## 2. 실험 및 측정

광섬유는 광을 전파시키는 코어와 코어를 둘러싸고 있는 클래딩으로 구성되어 있다. 본 연구에서 온도 감지센서로 사용하기 위한 플라스틱 광섬유도 코어와 클래딩으로 이루어진다. 이를 만들기 위해 코어와 클래딩을 각각 따로 만든 다음, 두 모재를 결합하여 플라스틱 광섬유를 만들었다. 클래딩을 만들기 위한 재료로 methyl methacrylate(MMA), benzyl-Butyl Phthalate (BBP), Benzoyl Peroxide(BPO)를 사용하였으며, 플라스틱 광섬유 코어에는 온도에 반응하도록 하기 위해 유기 비선형 광학 재료로 많이 사용되고 있는 DR1을 사용하였다. 광섬유에서는 광을 광섬유내에서 전파되도록 하기 위해서는 코어와 클래딩의 굴절율이 중요하다. 본 연구에서 사용한 재료의 농도에 따른 굴절을 본포를 조사하였다. 그림 1은 클래딩을 제작하기 위해 사용한 재료 중에서 BBP의 농도만 변화시키면서 굴절을 조사한 것으로 농도에 따라 굴절을 변화는 거의 없음을 알 수 있다.

그림 2는 클래딩을 제작하기 위해 사용한 재료 중에서 BPO의 농도만 변화시키면서 굴절을 조사하였는데, BBP와는 다르게 BPO의 농도가 증가함에 따라 굴절율은 감소하는 경향을 나타내고 있다.

플라스틱 광섬유의 코어로는 클래딩으로 사용한 재료외에 온도 감지를 위한 DR1을 사용하였으므로 DR1 농도변화에 대한 굴절을 조사한 결과를 그림 3에 나타내었다.

BPO와 DR1의 농도 변화에 따라 굴절율이 변하므로 각 재료의 농도를 변화시키면 코어와 클래딩의 굴절을 조절할 수 있음을 알 수 있다. 본 연구에서는 광섬

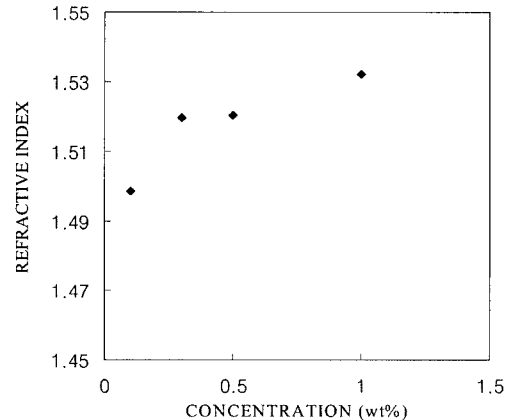


그림 3. DR1의 농도 변화에 따른 굴절을 변화  
Fig. 3. Refractive index according to the concentration of DR1.

유의 비굴절을 고려하여 DR1의 농도는 0.3 wt%로 하였다. 광섬유 제작을 위한 코어와 클래딩 모재는 각 재료를 혼합하여 80 °C에서 중합시켜 제작하는데, 클래딩 모재에는 코어 모재를 결합하기 위해 중심에 직경 1 mm의 구멍을 만들었다. 이렇게 만든 코어 모재와 클래딩 모재를 결합하여 1차 모재를 만든 후, 히터에서 온도를 가하면서 모재를 연신하여 가늘게 만들었다. 가늘어진 1차 모재를 클래딩 모재에 다시 결합하여 2차 모재를 만든 후, 히터에 열을 가하면서 연신하여 최종의 플라스틱 광섬유를 제작하였다. 그림 4에는 플라스틱 광섬유를 제작하기 위한 실험 개략도이다. 제작된 플라스틱 광섬유의 코어와 클래딩의 굴절율은 1.5240와 1.5172으로 상용으로 사용되고 있는 실리카 광섬유

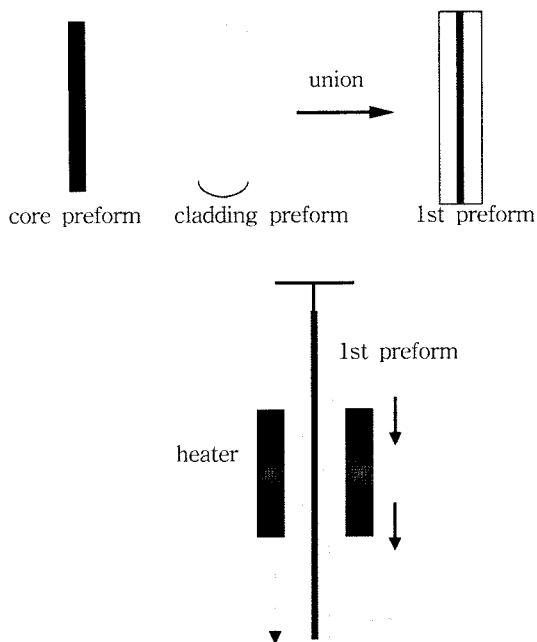


그림 4. 플라스틱 광섬유 제작 위한 실험 개략도  
Fig. 4. Experimental setup for fabrication of POF.

의 코어와 클래딩의 굴절율 차와 비교하면 조금 크지만 광의 전파와 센서 소자로 사용하기에는 문제없으며 굴절율 조절도 가능하기 때문에 통신 등 여러 응용분야에 사용 가능할 것으로 생각한다.

### 3. 결과 및 고찰

제작된 플라스틱 광섬유의 단면 사진은 그림 5와 같이 외경은 650  $\mu\text{m}$  정도이고 코어 직경은 약 30  $\mu\text{m}$ 이다. 그림 6은 He-Ne laser(632.8 nm)를 사용하여 제작된 광섬유의 코어에 광을 입사시켜 광섬유로 나오는 출력광을 관찰한 것으로 코어를 따라 광전송이 되었음을 알 수 있다. 제작된 플라스틱 광섬유의 광손실은 플라스틱 광섬유 입사전에 광 강도를 측정하고 플라스틱 광섬유내를 전송되어 나온 광 출력을 측정하여 계산하였는데, 손실은 약 0.45 dB/cm 정도였다. 이 손실은 제작된 플라스틱 광섬유의 길이가 짧은 관계로 직접 광 출력을 측정한 것으로, 플라스틱 광섬유 단면에서의 Fresnel loss와 결합효율 등을 고려하지 않았다. 하지만 상용의 플라스틱 광섬유를 같은 방법으로 측정된 결과와 비교하였을 때 큰 차이는 없었기 때문에 본 연구에 제작된 플라스틱 광섬유를 소자로 사용하는데 문제는 없을 것으로 생각한다.

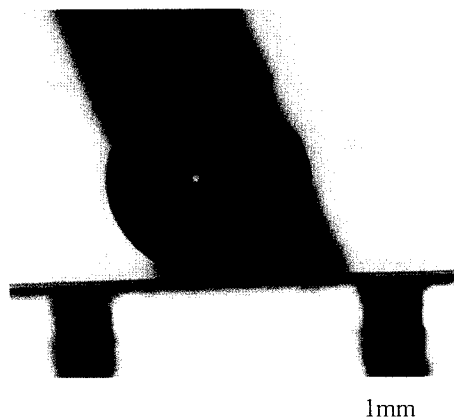


그림 5. 제작된 플라스틱 광섬유의 단면 사진  
Fig. 5. The photograph of the fabricated POF.

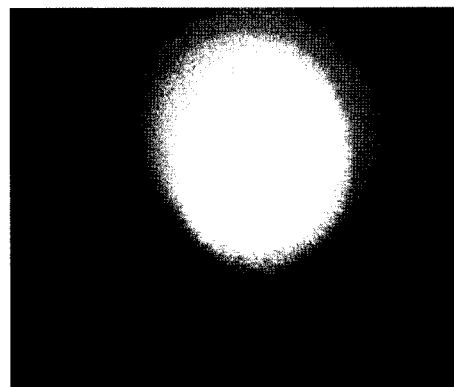


그림 6. 제작된 플라스틱 광섬유의 도파 사진  
Fig. 6. The photograph of the propagation of light in POF.

이상과 같이 제작된 플라스틱 광섬유를 이용하여 온도에 대한 특성을 조사하였다. 실험 장치도는 그림 7과 같으며 제작된 플라스틱 광섬유에 광 결합 효율을 높이기 위해 플라스틱 광섬유의 단면을 연마하였다. 광을 플라스틱 광섬유에 결합시키기 위해 렌즈를 통하여 광을 결합 시키고, 히터를 사용하여 플라스틱 광섬유의 온도를 변화시키면서 플라스틱 광섬유에서 나오는 출력광을 광 검출기로 측정하였다. 광원으로는 He-Ne laser를 사용하였다. 20  $^{\circ}\text{C}$ 에서 100  $^{\circ}\text{C}$ 까지 온도를 변화시키면서 플라스틱 광섬유를 통과한 광 출력을 조사한 결과는 그림 8과 같으며, 온도가 증가함에 따라 출력도 증가하는 경향을 보이고 있다. 이것은 온도가 증가함에 따라 코어로 사용된 DR1의 광학적 특성이 변화되어 출력 변하는 것으로 판단된다. 왜냐하면 재료의 광학적 특성 변화에 의해 광섬유내로 전

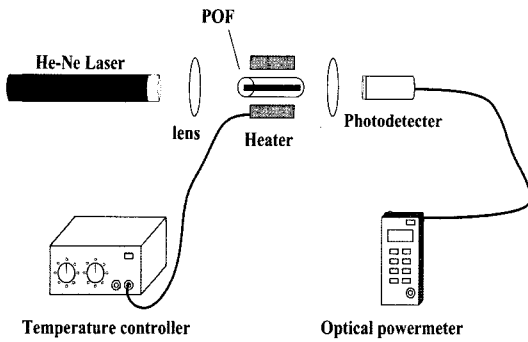


그림 7. 온도 특성 실험 장치도  
Fig. 7. Experimental setup for temperature characteristics of POF.

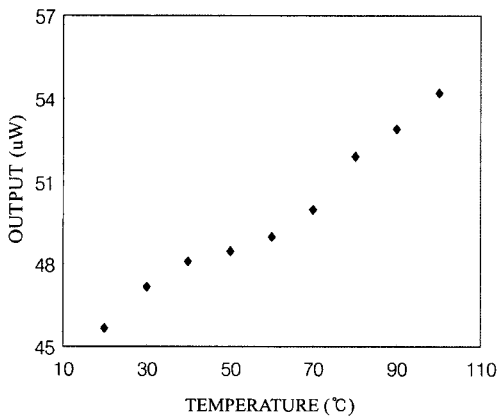


그림 8. 온도에 대한 출력 특성  
Fig. 8. Output characteristics as a function of temperature.

파되는 광의 도파 모드 특성이 변하기 때문이다. 플라스틱 광섬유의 온도 특성 실험에서 온도에 대한 감도는 약  $0.165 \mu\text{W}/^\circ\text{C}$ 로 넓은 범위에서 선형성이 좋은 특성을 보여주고 있어 본 연구에서 제작된 플라스틱 광섬유가 온도 센서로 사용될 수 있음을 확인하였다. 하지만 본 연구에서 나온 센서의 감도가 조금 낮은 것은 플라스틱 광섬유를 연마하고 렌즈를 통하여 광을 플라스틱 광섬유에 결합시켰지만, 결합효율이 아주 좋지 않았기 때문일 것으로 생각된다. 전용 커넥터를 이용하여 pigtail 된 광원과 결합하면 감도는 좀 더 좋아질 것으로 생각된다.

## 4. 결 론

유기 비선형 광학 재료를 이용하여 플라스틱 광섬유를 제작하여 온도 특성을 조사하였다. 제작된 플라스틱 광섬유는 코어에 온도 변화를 감지하기 위해 비선형성이 있는 DR1을 사용하였으며, 제작 방법은 코어와 클래딩의 모재를 만든 다음, 두 모재를 결합하는 모재 결합법을 사용하였다. 제작된 플라스틱 광섬유의 코어 직경은 약  $30 \mu\text{m}$ 였으며, 광전송 실험을 통하여 광이 전송됨을 확인하였다. 또한 온도 특성을 조사한 결과 온도에 따라 출력 특성이 변함을 확인하였으며, 온도에 대한 감도도 좋았고, 넓은 범위에서 선형성을 보여주고 있어 온도 센서로 사용될 수 있음을 확인하였다. 또한 비선형 광학 재료를 사용하였으므로 통신용 광학 소자에도 적용할 수 있을 것으로 생각된다.

## 감사의 글

본 연구는 정보통신부의 정보통신기초기술연구지원사업(정보통신연구진흥원)으로 수행한 연구결과입니다.

## 참고 문헌

- [1] P. R. Tricshitta and W. C. Marra, "Applying WDM technology to undersea cable networks", *IEEE Comm.*, vol. 36, pp. 62-66, 1998.
- [2] N. Uchida, "Development and future prospect of optical fiber technologies", *IEICEE-85-C*, pp. 868-880, 2002.
- [3] 조강민, 윤정현, 김응수, 이승하, 강신원, "프리즘과 광섬유-평면도파로의 소산장 결합을 이용한 자외선 센서", *센서학회지*, 제13권, 제5호, pp. 350-355, 2004.
- [4] S. Savovic and A. Djordjevich, "Influence of numerical aperture on mode coupling in step index plastic optical fibers", *Appl. Opt.*, vol. 43, no. 29, pp. 5542-5546, 2004.
- [5] G. Keiser, "Optical fiber communications", *MacGraw-Hill*, 2000.
- [6] T. Ishigure, E. Nihei, and Y. Koike, "Graded-index polymer optical fiber for high-speed data communication", *Appl. Opt.*, vol. 33, pp. 4261-4266, 1994.
- [7] J. P. III Fletcher, T. Miller, J. A. J. Rennell, D. H. Smith, P. Bauer, N. Cibis, R. Sattmann, and R. Sowa, "Rod-in-tube optical fiber preform and method", US patent 20040107735, June 10, 2004.



김응수 (Eung Soo Kim)

- 1990년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
- 1992년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업 (공학석사)
- 1996년 3월 일본게이오대학 물질과학과 졸업(공학박사)
- 1996년 3월~1997년 3월 LG 반도체주식회사 ULSI 연구소 선임연구원
- 1997년 3월~현재 부산외국어대학교 디지털정보공학부 부교수
- 주관심분야 : 광센서, 비선형광학, 반도체공정 및 광집적회로



강신원 (Shin Won Kang)

- 1978년 경북대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
- 1980년 영남대학교 전자공학과 졸업 (공학석사)
- 1993년 일본게이오대학 생체의공학과 졸업(공학박사)
- 현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 교수
- 주관심분야 : 광센서 및 반도체광학 센서