

논문 20-12-12

프레임 브러싱 방법을 이용한 열확산 코어 광섬유 제작 및 특성

Fabrication and Characterization of Thermal Expanded Core Fiber using the Flame Brushing Method

김준형¹, 양희영¹, 이상필², 이현용^{3,a}

(Jun-Hyong Kim¹, Hoe-Young Yang¹, Sang-Pil Lee², and Hyun-Yong Lee^{3,a})

Abstract

Thermal expanded core (TEC) fiber can reduce, being advantaged from thermal diffusion technology, connection loss by expanding the tolerance in relation to axial offset and gap when making optical connection having mode field diameter (MFD) of optical fiber expanded locally. In this paper, TEC fiber fabrication system based on the frame brushing techniques using twin-torch tip was designed and developed in order to maintain a stable thermal diffusion and single-mode when manufacturing TEC fiber. We were able to obtain that varied kinds of TEC fibers of which MFD could have been extended between 20 μm and 40 μm by TEC fiber fabrication system. In addition, the characteristic of connection loss was measured by alignment two TEC fibers of which MFD was 30 μm .

Key Words : Thermal expanded core fiber, Flame brushing, Twin-torch tip, Mode field diameter, Coupling loss

1. 서론

광통신망이 점차 확장됨에 따라 광 시스템을 구성하고 있는 관련 소자는 필연적으로 광 신호를 주고받기 위해 광섬유와의 광 결합이 필수적이며 이러한 광섬유와의 연결에 의한 접속 손실은 광통신망의 확장에 따라 광 시스템에서 중요한 변수로 작용하고 있다. 또한 관련 광소자의 제작에 있어 효율적인 광 결합 방법을 적용하여 대량생산과 저가격화 실현으로 높은 경쟁력을 갖추기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 연구는 광소자와 광섬유, 광섬유와 광섬유간의 정렬을 저손실로 보다 용이하게 하기 위한 방법으로 tapered 광섬유, lensed 광섬유가 있다[1-3]. 그리고 또 다른 방법으로 본 연구에서 다루고자 하는 TEC (Thermal

Expanded Core) 광섬유가 있다. TEC 광섬유는 열확산 기술에 따른 광섬유의 MFD (Mode Field Diameter) 를 국소적으로 2배에서 3배로 확대해서 굴절률 분포를 변화시켜 NA (Numerical Aperture) 를 작게 한 광섬유로, 축의 비틀림 및 간격에 대한 허용범위가 넓어져 접속 손실을 감소시킬 수 있다 [4-12]. 그러므로 이러한 TEC 광섬유를 사용하여 광 결합을 위한 광섬유와 광섬유 혹은 광섬유와 광소자 사이의 연결에 의한 여러 유형의 접속손실을 효과적으로 감소시키기 위해 광 송수신 모듈이나 광 스위치 등의 제작에 응용하고 있다[13-17].

열확산에 의한 TEC 광섬유를 제작하기 위해서는 제조 공정 시간이 매우 길고, 코어가 확장된 광섬유를 제작하기 위한 전용 장비가 전무하기 때문에 대량생산이 어렵다. 이러한 코어가 확장된 광섬유를 제조하는데 있어서의 문제점은 열확산이 안정하지 못해 정확한 MFD 의 조절이 용이하지 않는다.

본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 열확산을 안정화하기 위해 트윈-토치 팁 (twin-torch tip) 을 적용하였고, 열을 가하는 광섬유의 중앙부의 코어확장이 최대가 되도록 하기 위한 프레임 브러싱 (flame brushing) 방법을 이용하

1. 전남대학교 광공학협동과정

2. (주)이상테크

3. 전남대학교 응용화학공학부 촉매연구소
(광주시 북구 용봉동 300)

a. Corresponding Author : hyleee@chonnam.ac.kr

접수일자 : 2007. 10. 4

1차 심사 : 2007. 10. 22

심사완료 : 2007. 10. 31

여 TEC 광섬유 제조 시스템을 제작하였다. 또한 제작한 TEC 광섬유 제조 시스템으로 TEC 광섬유를 제조하여 그 특성을 측정하고 고찰하였다.

2. 실험

본 실험에서 TEC 광섬유 제조하기 위해 제작한 TEC 광섬유 제조 시스템의 간략한 구성도를 그림 1에 나타내었다.

TEC 광섬유 제조 시스템에서 광섬유를 열처리하기 위한 방법으로 그림 2와 같이 토치 부분의 화구가 두 개인 트윈-토치 팁을 이용한 프레임 브러싱 기법으로 TEC 광섬유를 제조하였다.

본 실험에서 제작한 TEC 광섬유 제조 시스템은 열원의 원료로 산소 (O₂) 와 액화석유가스 (LPG) 를 사용하였다. 혼합비 조절을 위해 가스의 혼합비

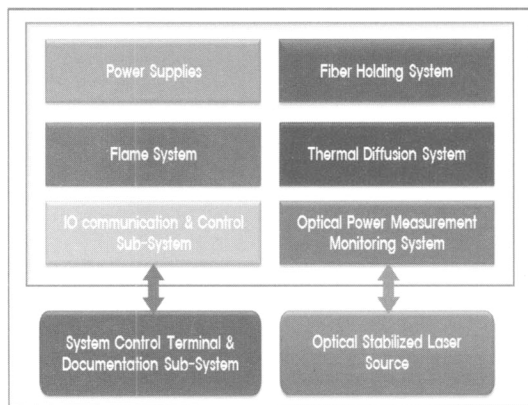


그림 1. TEC 광섬유 제조 시스템 구성도.
Fig. 1. Schematic diagram of TEC fiber fabrication system.

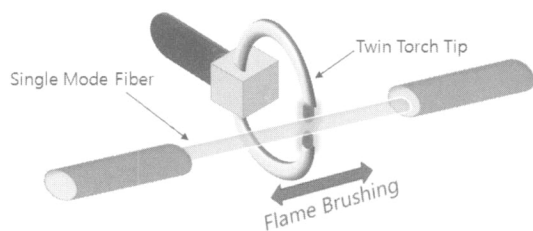


그림 2. 트윈-토치 팁을 이용한 프레임 브러싱.
Fig. 2. Schematic structure of flame brush using twin-torch tip for heat treatment.

조절이 0~50 sccm 의 성능을 가진 Mass Flow Controller (MFC) 를 적용하여 미량의 가스 조절이 용이하게 하였다.

TEC 광섬유 제조시스템의 토치 (torch) 부분은 분해능이 5 $\mu\text{m}/\text{step}$ 으로 제어 가능한 스텝-모터 드라이버 (step-motor driver) 를 사용하였다. 토치부의 동작은 피복이 벗겨진 부분의 중앙부에 진입하여 토치가 광섬유를 프레임 브러싱하도록 하였다.

TEC 광섬유를 제조하기 위해 먼저 단일모드 (single-mode) 광섬유 중간부의 피복을 광섬유 탈피기 (fiber stripper) 로 2 cm 를 벗겨내고, 광섬유의 피복이 벗겨진 부분의 정중앙부에 트윈-토치 팁이 위치하도록 정렬하였다. 그리고 광섬유의 한쪽 끝단부에는 1550 nm 파장의 레이저 광원을 반대쪽 끝단부에는 광 파워미터를 연결하여 제조시 발생하는 초과손실을 관찰하였다. 그림 3에는 TEC 열확산 코어 광섬유의 제조 과정을 나타내었다. 그

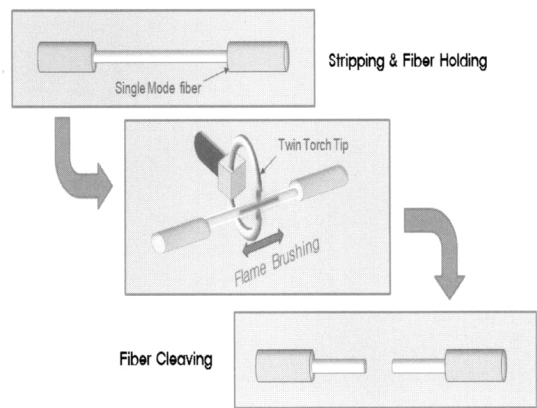


그림 3. TEC 광섬유 제조 공정.
Fig. 3. Fabrication process of TEC fiber.

리고 표 1에는 본 실험에서 적용한 TEC 광섬유의 제조 조건을 나타내었다.

열처리를 완료한 광섬유는 열을 가한 정중앙부를 광섬유 클리버 (cleaver) 로 절단하고, 제작된 TEC 광섬유의 MFD 측정을 위해 입력부에 1550 nm 파장의 레이저 광을 입사하여 열처리한 부분의 광섬유 끝단에서 출력되는 광을 IR (Infra Red) Vidicon Camera 로 관찰하였다.

또한 광섬유 가열 전후의 Gap 에 따른 결합손실을 측정하였다. 그리고 동일한 MFD 를 갖는 두 개의 TEC 광섬유를 정렬하여 Gap 과 Offset 에 의한 결합 손실을 측정하였다.

표 1. TEC 광섬유 제조 조건.

Table 1. Fabrication conditions of TEC fiber.

Sample No.	열원 (LPG/O ₂)	토치부 설정 값		
		반복 거리	반복 속도	반복수
1	8.8/16.9	+/- 1000	800	800
2	8.8/16.9	+/- 800	700	800
3	9.0/17.28	+/- 1000	700	800
4	8.8/16.9	+/- 1000	500	800
5	9.8/18.81	+/- 1000	700	800
6	10.0/19.2	+/- 1000	700	800
7	10.9/24.8	+/- 1000	700	800

3. 결과 및 고찰

기존의 TEC 광섬유 제조 방법에는 그림 4에서 나타낸 Electric Furnace 방식[4,9,10,14]과 고순도의 수소 가스를 열원으로 하는 Micro Burner 방식[7,17]이 있다.

Electric furnace 방식은 광섬유 유리의 결정화 현상을 최소화하기 위해 진공 상태를 유지해야 하는 제조 공정상의 어려움이 있다. 그리고 Micro Burner 방식은 화구가 하나로 윗부분에서 불꽃이 나오도록 되어 있어서 코어를 확장하기 위한 전체적인 열 분포가 이루어지지 않고, 코어의 윗부분에만 집중적으로 열전도가 이루어진다. Micro Burner 가열 방법에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 그림 4의 (b)에서와 같이 여러 가지 개선 방법도 출되고 있으나, 그에 따른 부가적인 장치가 증가되는 문제가 있다. 또한 열원으로서 높은 시설비와 안정성이 떨어지는 수소가스를 사용하는 문제점을 안고 있다. 본 연구에서 제조한 TEC 광섬유 제조 시스템에서는 기존 장비의 열처리 문제점을 해결하기 위해 토치 부분의 화구가 두 개인 트윈-토치 타입을 사용하여 열원의 분포가 광섬유에 전체적으로 가해지도록 하였다. 또한, 프레임 브리싱 방법을 통해 열을 가하는 광섬유의 정중앙부에 코어 확산이 최대가 되도록 하며, 단일모드를 유지하도록 하였다.

표 1의 조건으로 제작된 TEC 광섬유의 Excess Loss 와 MFD 측정 결과는 표 2에 나타내었다.

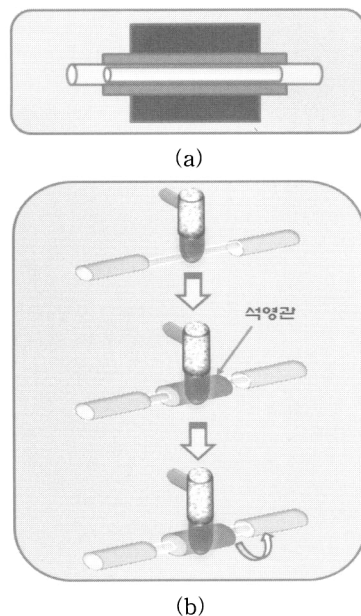


그림 4. (a) Electric furnace와 (b) Micro burner의 구조.

Fig. 4. Schematic structures of (a) the electric furnace and (b) the micro burner.

표 2. Excess loss와 MFD 측정 결과.

Table 2. Excess loss and mode field diameter of TEC fiber.

Sample No.	Excess Loss (dB)	MFD 측정값 (μm)
1	0.051	20.54
2	0.01	24.85
3	0.019	24.73
4	0.152	30.68
5	0.029	29.76
6	0.047	32.28
7	0.03	40.5

TEC 광섬유의 제조 조건에 따른 측정 결과를 살펴보면, 동일조건에서 열원의 온도에 따라 MFD의 크기 차이가 발생하였다. 열원이 높으면 비교적 큰 MFD 값을 갖는 TEC 광섬유가 제조됨을 알 수 있다. 또한 광섬유의 프레임 브리싱 속도 및 열원을 가하는 영역에 따라 MFD 값이 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다. 그러므로 저손실의 원하는 MFD 크기를 갖는 TEC 광섬유 제조를 위해서는 열원과 토치부의 설정이 최적화되어야 함을 알 수 있다.

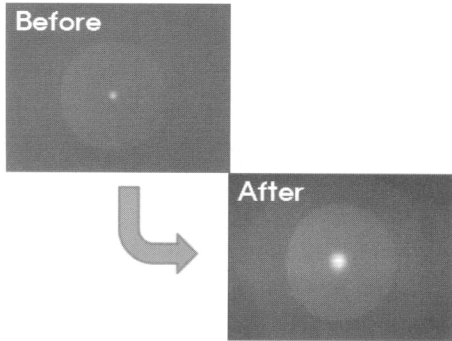


그림 5. 단일모드 광섬유의 열처리 전과 후.
Fig. 5. Single-mode fiber of before and after the heat treatment.

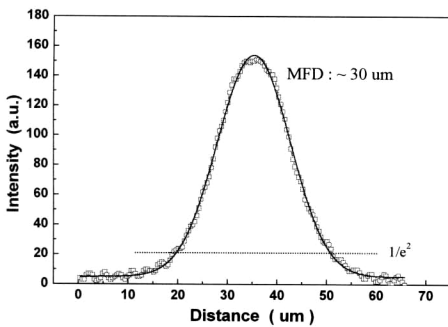


그림 6. TEC 광섬유의 빔 프로파일.
Fig. 6. Beam profile of TEC fiber.

그림 5는 단일모드 광섬유에 열처리를 하기 전과 열처리 후에 광섬유 끝단에서 출사되는 1550 nm 파장의 광을 IR Vidicon Camera로 Near field pattern을 측정한 결과로, 열처리를 한 후에 빔의 크기가 훨씬 커졌음을 확인할 수 있다.

그림 6은 그림 5에서 측정된 TEC 광섬유 끝단에서의 빔 프로파일을 Gaussian function fitting하여 $1/e^2$ 로 정의된 MFD를 계산한 그래프이다. 그 결과 단일모드 광섬유에 열을 가해 제조된 TEC 광섬유가 단일모드 조건을 유지하고 있으며, MFD가 30 μm 로 확장되었음을 알 수 있다.

그림 7과 그림 8은 MFD 크기가 30 μm 인 2개의 TEC 광섬유를 서로 정렬하여 Gap과 Offset에 의한 결합 손실 특성을 나타내었다. 그림 7에서 결합 손실이 1 dB인 지점을 기준으로 하였을 때, Gap은 약 320 μm 였다. 그리고 그림 8에서는 결합

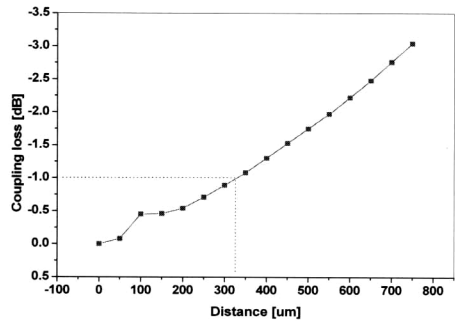


그림 7. Gap에 의한 결합 손실 특성.
Fig. 7. Coupling loss characteristic of gap between two TEC fibers.

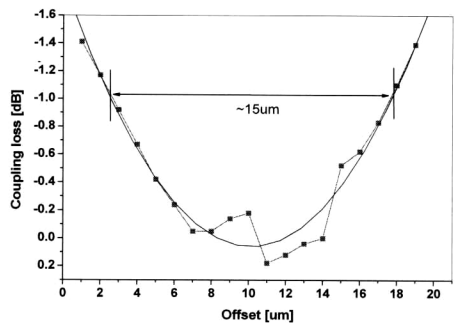


그림 8. Offset에 의한 결합 손실 특성.
Fig. 8. Coupling loss characteristic of offset between two TEC fibers.

손실이 1 dB를 기준으로 하였을 때, Offset이 약 15 μm 였다. 그러므로 TEC 광섬유가 축의 비틀림 및 Gap에 대한 허용 범위가 넓어지고, 결합 효율이 향상되었음을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 TEC 광섬유를 제조할 때 열 분포를 안정화하기 위해 트윈-토치 팁을 사용하였고, 단일모드를 유지하며 코어 중심부의 MFD가 최대로 확대되도록 프레임 브러싱 기법을 적용한 TEC 광섬유 제조 시스템을 제작하였다. 또한 여러 가지 제작 조건을 통해 단일모드 광섬유의 MFD가 20 μm 에서 40 μm 까지 다양하게 국소적으로 확대되

는 저손실의 TEC 광섬유가 제조됨을 확인하였다. 그리고 실험을 통해 TEC 광섬유를 이용하면 축의 비틀림 및 Gap 에 대한 허용 범위가 넓어지고, 결합 효율이 향상됨을 확인하였다. 그러므로 본 연구를 통해 제작된 TEC 광섬유 제조 시스템으로 다양한 종류의 TEC 광섬유의 대량 생산이 가능하고, 향후 지속적으로 TEC 광섬유의 수요가 예상되는 광 감쇠기, 광 스위치 등의 광 연결에 이용될 수 있을 것이라 기대된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RTI04-03-03) 지원으로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] N. Amitay, H. M. Presby, F. V. Dimarcello, and K. T. Nelson, "Optical fiber tapers—A novel approach to self-aligned beam expansion and single-mode hardware", *J of Lightwave Technol.*, Vol. LT-5, No. 1, p. 70, 1987.
- [2] K. Shiraishi, N. Oyama, K. Matsumura, I. Ohishi, and S. Suga, "A fiber lens with a long working distance for integrated coupling between laser diodes and single-mode fibers", *J of Lightwave Technol.*, Vol. 13, No. 8, p. 1736, 1991.
- [3] 김준형, 이상필, 이현용, "초고속 광 송수신 모듈용 Lensed fiber의 제작과 특성", *COOC* 2007, 14권, 1호, p. 92, 2007.
- [4] K. Shiraishi, Y. Aizawa, and S. Kawakami, "Beam expanding fiber using thermal diffusion of the dopant", *IEEE J. Lightwave Technol.*, Vol. 8, No. 8, p. 1151, 1990.
- [5] H. Hanafusa and J. Noda, "Thermally-diffused expanded core fibres for low-loss and inexpensive photonic components", *Electronics Lett.*, Vol. 27, No. 21, p. 1968, 1991.
- [6] Y. Ando and H. Hanafusa, "Low-loss optical connector between dissimilar single-mode fibers using local core expansion technique by thermal diffusion", *IEEE Photonics Technol. Lett.*, Vol. 4, No. 9, p. 1041, 1992.
- [7] M. Kihara, S. Tomita, and M. Matsumoto, "Loss characteristics of thermally diffused expanded core fiber", *IEEE Photonics Technol. Lett.*, Vol. 4, No. 12, p. 1390, 1992.
- [8] K. Shiraishi, T. Yanagi, and S. Kawakami, "Light-propagation characteristics in thermally diffused expanded core fibers", *J. Lightwave Technol.*, Vol. 11, No. 10, p. 1584, 1993.
- [9] O. Hanaizumi, Y. Aizawa, H. Minamide, and S. Kawakami, "Fabrication of an expanded core fiber having MFD of 40 μm preserving outer diameter", *IEEE Photonics Technol. Lett.*, Vol. 6, No. 7, p. 842, 1994.
- [10] O. Hanaizumi, Y. Aizawa, H. Minamide, and S. Kawakami, "Fabrication of an expanded core fiber having MFD of 40 μm preserving outer diameter", *IEEE Photonics Technol. Lett.*, Vol. 6, No. 7, p. 842, 1994.
- [11] M. Kihara, M. Matsumoto, T. Haibara, and S. Tomita, "Characteristics of thermally expanded core fiber", *J. Lightwave Technol.*, Vol. 14, No. 10, p. 2209, 1996.
- [12] G. S. Kliros and N. Tsironikos, "Variational analysis of propagation characteristics in thermally diffused expanded core fibers", *Optik*, Vol. 116, p. 365, 2005.
- [13] K. Kato, I. Nishi, K. Yoshino, and H. Hanafusa, "Optical coupling characteristics of laser diodes to thermally diffused expanded core fiber coupling using an aspheric lens", *IEEE Photonics Technol. Lett.*, Vol. 3, No. 5, p. 469, 1991.
- [14] J. H. Kim and B. Y. Kim, "Thermally expanded core fibers for hybrid fiber components", *J. of Optical Society of Korea*, Vol. 5, No. 2, p. 304, 1994.
- [15] Y. Ohtera, O. Hanaizumi, and S. Kawakami, "Numerical analysis of eigenmodes and splice losses of thermally diffused expanded core fibers", *J. Lightwave Technol.*, Vol. 17, No. 12, p. 2675, 1999.
- [16] M. C. Oh, S. H. Cho, and H. J. Lee, "Fabrication of large-core single-mode polymer waveguide connecting to a thermally expanded core fiber for increased alignment tolerance", *Opt. Commun.*, Vol. 246, p. 337, 2005.
- [17] Y. C. Lin and S. C. Lin, "Thermally expanded core fiber with fiber with high numerical aperture for laser-diode coupling", *Microwave Opt. Technol. Lett.*, Vol. 48, No. 5, p. 979, 2006.