

열 확산을 통한 다중 코어 플라스틱 광섬유의 전송 용량 개선

Bandwidth Enhancement of Plastic Optical Fiber with Multistep Core by Thermal Diffusion

이세형, 백운출, 김덕영, 최재호, 정영주

광주과학기술원 정보통신공학과

ychung@kjist.ac.kr

초고속 기가 비트 네트워크에 대한 요구가 증가됨에 따라 근거리 통신망에 적합한 다중모드 광섬유에 대한 관심이 증대되고 있다. 기존 광통신의 핵심 부품인 단일 모드 Glass Optical Fiber (GOF)는 전송량도 많고 전송속도도 빠른 장점이 있으나, 연결이 용이하지 않고 고가의 부품을 사용해야 하므로 건물내 LAN 혹은 근거리 통신망의 구성에는 많은 애로점이 있어 가격 경쟁력이 있으면서도 설치 및 광섬유간의 연결을 용이하게 할 수 있는 실용적인 플라스틱 광섬유(POF)의 수요가 증가하고 있다. 다중 모드 광섬유에서는 많은 모드들이 각각 다른 경로로 전파하는데 이 모드간에 서로 다른 전송 지연을 Differential Mode Delay (DMD)라 하고 전송 용량 및 전송 가능 거리에 직접적인 영향을 미치며 기가 비트 전송을 구현하는데 중요한 문제로 제기되고 있다. 이 DMD를 최소화하기 위해서는 그룹 굴절률 n_g 의 모드에 따른 최대 변화량 Δn_g 를 최소화하는 것이 전체 시스템의 성능을 개선하는데 중요한 요구조건이 된다. Step-Index(SI) 굴절률 분포를 갖는 경우 광섬유 V-number의 제곱에 비례해서 Δn_g 가 증가하므로 DMD가 커지게 되어 전송용량에 크게 영향을 미친다. 따라서 다중 모드인 경우에 DMD를 줄이기 위해 일반적으로 Graded-Index(GI)형태를 갖도록 모재를 만들며 이론적으로 $\alpha \sim 2$ 일 경우에 DMD가 최소값을 가지는 것으로 알려져 있다.

GI-POF 제조기술은 그 방식에 따라 Batch 공정과 연속공정으로 구분할 수 있으며 [1], 대표적인 Batch 공정으로는 일본의 Keio대학에서 개발한 Koike방식을 들 수 있다. 이는 Dopant를 사용하여 몇 단계, 많게는 20여 단계에 걸친 중합을 통하여 모재를 제조하는 것으로 일본의 AGC(Asahi Glass Company)등에서 상업화 연구가 완료되었다. 연속 공정으로는 반응 압출에 의한 광섬유 인출 기술이 개발되었으나 공정 변수가 많고 재현성이 확보되지 못해 GI 모재를 경제적으로 얻기 어려운 실정이다 [2,3]. 다른 방법으로는 GI를 근사화하여 다단계 SI형태인 다중 코어를 갖는 모재를 만드는 방법이 있다.

본 연구에서는 마지막 방법을 개선하여 보다 GI에 근접한 굴절률 분포를 얻기 위한 새로운 방법을 시도하였다. 위에서 보여진 GI 모재를 직접적으로 제조하는데 필요한 많은 중합 과정 및 어려움을 줄이고 경제적이면서 재현성이 확보될 수 있는 새로운 GI 모재 제조 방법을 제시하였다. 우선 다단계 모양의 굴절률을 갖는 모재를 제조하고 완성된 모재를 열처리함으로써 모재 안에 첨가된 물질을 확산시켜 자연스럽게 GI 모재를 제조할 수 있음을 보였다. 확산에 사용된 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r D \frac{\partial C}{\partial r} \right).$$

여기서 C 는 Dopant의 농도이고 D 는 열 확산 계수이다 [4]. 또한 전송 가능한 모든 모드들을 계산하기 위하여 벡터로 표현되는 맥스웰 방정식을 아무런 근사화 없이 수치 해석적으로 풀었다. 그림 1은 다중 모드에서 일반적으로 볼 수 있는 그룹 굴절률 분포를 유효 굴절률에 대하여 나타낸 그림이다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 Δn_g 를 정의할 수 있고 이에 따라 전송 용량을 계산식 $B.W. = 3 \times 10^{-4} / \Delta n_g$ [Gbps · km]

으로부터 구할 수 있다. 그림 2, 3, 4는 각각 1단, 2단 및 4단 모양의 계단형 굴절률을 갖는 모재를 열처리했을 경우의 굴절률 분포 변화에 따른 전송 용량의 변화를 보여주고 있는 그림이다. 수치해석 결과에서 알 수 있듯이 열 처리를 함으로써 전송 용량을 효과적으로 증가시킬 수 있음을 알 수 있었고 쉽게 GI 모재를 제조할 수 있음을 보였다. 전송 용량을 추정하기 위하여 DMD를 계산할 때 Δn_g 의 범위를 모든 고차 모드까지 포함하였는데, 실제의 경우 유효 굴절율이 클래딩의 굴절율에 근접한 상당수의 모드가 전파 도중 손실되며 이를 고려할 경우 전송 용량은 더 커지게 되지만 이는 광원에서의 입사 조건, 광섬유의 포설 상태 등에 상당한 영향을 받게 된다. 본 연구에서 알 수 있듯이 다단계일수록 보다 가까운 GI 굴절률 분포를 얻을 수는 있는데 단계가 많을수록 제조하기가 어려우므로 적절한 전송 용량을 얻기 위해서는 열 확산 시간과 단계의 수에 대한 최적화가 필요하다.

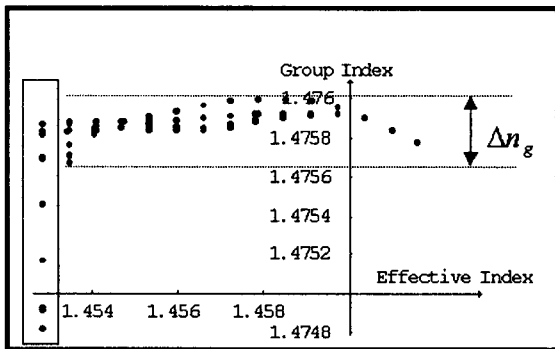


그림 1. 전송 가능한 모든 모드의 그룹 굴절률을 유효 굴절률에 대하여 그린 그림.

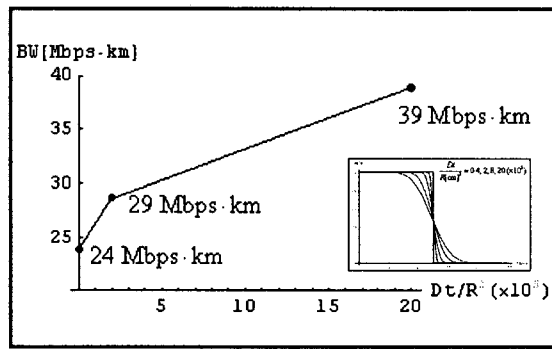


그림 2. 단일 계단형 굴절률 변화에 따른 전송 용량의 변화.

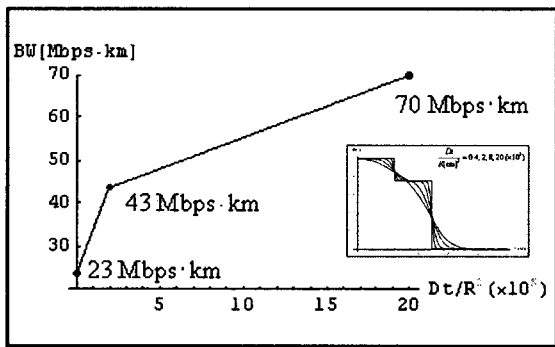


그림 3. 2단 계단형 굴절률 변화에 따른 전송 용량의 변화.

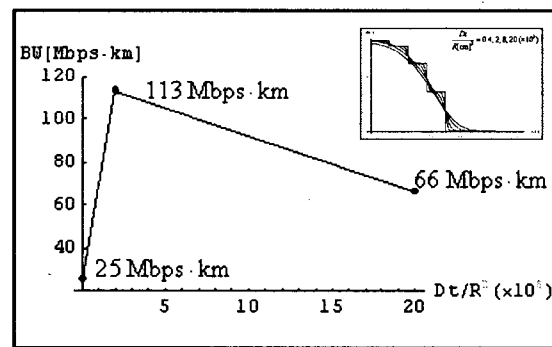


그림 4. 4단 계단형 굴절률 변화에 따른 전송 용량의 변화.

* 본 연구는 SKC의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Yasuhiro Koike, Takaaki Ishigure, and Eisuke Nihei, "High-Bandwidth Graded-Index Polymer Optical Fiber," *J. Lightwave Technol.*, Vol. 13, No. 7, pp. 1475-1489, 1995
2. V. Levin, T. Baskakova, Z. Lavrova, A. Zubkov, H. Poisel, K. Klein, "Production of multilayer polymer optical fibers," ICPOF 1999, pp. 98-101, 1999
3. K. Irie, Y. Uozu, and T. Yoshimura, "Structure design and analysis of broadband POF," ICPOF 2001, pp. 73-79, 2001
4. M. O. Vassel, "Calculation of propagation modes in a graded-index optical fibre," *Opto-electronics*, pp. 271-286, 1974