

단일모드 광섬유에서의 편광모드분산 특성에 관한 연구

A Study of PMD Characteristic in Single Mode Optical Fiber

이청학*, 김성탁, 김기대, 박대희
원광대학교 전기·전자 공학부

Cheong-hak Lee*, Seong-Tak Kim, Kee-dae Kim, Dae-hee Park
School of Electronic and Electrical Engineering, Wonkwang University

Abstract

Polarization mode dispersion (PMD) restrict the bend-width of single mode optical fiber, and it is important parameter in the optical fiber having long-length. Although fiber has perfect circular symmetry, fiber bending, twisting and laws governing manufacture cause additional Polarization mode dispersion. The effect of polarization mode dispersion in general single mode fiber of long length is discussed in this paper. Measurement of PMD with random mode coupling were conducted in two kind of fibers using different laws governing manufacture and interferometric method.

1. 서론

광섬유는 정보전송의 통로로서 회로류 첨가 광섬유를 이용한 광 증폭기의 개발과 함께 0.1mm 정도의 직경을 가진 광섬유를 통하여 100km 이상의 장거리를 전기적인 중계기 없이 10Gb/s의 속도로 다량의 정보를 신속하고 정확하게 송·수신 할 수 있는 정보 고속도로 역할을 수행하고 있으며, 20Gb/s의 초고속 광통신도 실용화가 가능하게 되었다.

광섬유의 분산특성은 수신기단에서 검출된 신호의 에러를 증가시킴으로써 광섬유도파로의 정보 전송 용량을 제한하는 중요 성분이며, 광섬유의 분산특성은 모드분산, 재료분산, 구조분산, 편광모드분산 등으로 크게 네 가지로 나눌 수 있다.

단일모드 광섬유로 정보를 초고속으로

원거리를 전송시킬 때, 편광모드분산 (Polarization mode dispersion : PMD)은 광섬유의 전송용량을 제한하는 결정적인 요인으로 작용하기 때문에 최근에 활발한 연구가 이루어지고 있다.^{[1][2]} 또한 동일한 규격을 가지고 있는 광섬유일지라도 제조공법이 다르게 제조되었을 경우 코어의 굴절률 분포 형상이 다르기 때문에 편광모드분산에 영향을 준다.

본 연구에서는 서로 다른 제조공법으로 제조된 광섬유를 접속하였을 때의 편광모드 분산 특성과 광섬유의 bending, Twisting, 축압에 따른 편광모드분산 특성을 각각 측정하였다. 이때, 광섬유 제조공법인 MCVD (Modified Chemical Vapor Deposition)법과 VAD(Vapour Phase Axial Deposition)법으로 제조된 광섬유를 사용하여 각각의 편광 모드분산 특성을 측정하였고, 두 광섬유를

접속했을 때의 각각의 편광모드분산 특성 변화를 측정하였다.

2. 편광모드분산

분산이란 일련의 신호로 전파되는 광 신호들이 광섬유를 따라서 장거리를 지나면 각각의 신호가 변형되고, 폭이 증대되어 그들의 이웃과 서로 겹쳐지게 되는 현상이다.

단일모드 광섬유는 다중모드 광섬유와는 달리 하나의 모드만 존재할 것이라고 생각 하지만 실제로 이 기본모드에는 서로 직교하는 두 개의 편광모드가 존재한다. 일반적으로 단일모드 광섬유는 어느 정도의 복굴절을 가지고 있고, 편광모드분산은 단일모드 광섬유에서 복굴절로 인하여 두 가지 현상이 발생한다. 하나는 광섬유를 통해 빛이 진행하면서 편광상태가 변하는 것이고, 또 다른 하나는 두 개의 편광상태 사이에서 군지연이 발생하는 것이다. 그림 1.은 복굴절 특성을 갖는 광섬유에서 편광모드분산을 나타낸 것이다.

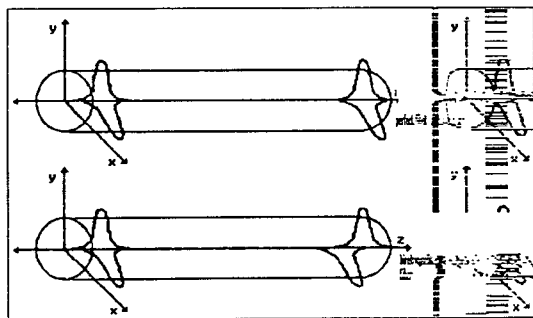


그림 1 복굴절 광섬유에서의 편광모드분산

광파의 전달은 광의 강도와 위상으로 생각할 수 있으며, 편광모드분산은 광의 위상

에 관련된다. 위상 φ 는 각주파수 ω 와 시간 t 의 곱으로 나타낼 수 있다. 이때 각주파수 ω 는 주파수 f 의 2π 배이다. 2개의 광파의 위상차는 $\Delta\varphi$ 는 다음 식으로 나타낸다.

$$\Delta\varphi = \Delta\omega \Delta t = 2\pi(\Delta f \Delta t) \quad \text{--- ①}$$

여기에서 식 ①은 시간영역의 Δt 로 다시 쓰면 다음 식으로 된다.

$$\Delta t = \Delta\varphi / \Delta\omega = \Delta\varphi / (2\pi \Delta f) \quad \text{--- ②}$$

개념적으로는 편광모드분산은 직교하는 2가지의 편광(x-편광, y-편광)사이의 위상차 $\Delta\varphi$ 가 2π 로 되는 군지연 시간차로 정의되어지므로, 식 ②는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \Delta t &= \Delta\varphi / (2\pi \Delta f) = 1 / (\Delta f) \\ &= 1 / (f_1 - f_2) = \lambda_1 \lambda_2 / \{c(\lambda_1 - \lambda_2)\} \quad \text{--- ③} \end{aligned}$$

식 ③에서 주파수 f 는 $f = c/\lambda$ 로 나타낼 수 있다.

3. 실험

실험에서는 제조 공법에 따른 편광모드분산을 측정하기 위하여 L사의 MCVD (Modified Chemical Vapor Deposition) 공법과 T사의 VAD (Vapour Phase Axial Deposition) 공법으로 제작된 2가지 종류의 시료를 사용하여 편광모드분산 특성을 측정하였다.

각각의 시료에 기계적인 bending, Twisting, 축압을 가하였을 때의 편광모드분산을 측정하였으며, 서로 다른 제조 공법의 광섬유를 접속하여 각각의 편광모드분산 특성 값을 측정하였다. 편광모드분산을 측정하기 위한 Optical test system 장비는

EXFO사의 Light source(IQ2100)와 Interferometric Technique를 사용한 PMD Analyzer (IQ5500)를 사용하였다. 각각의 광섬유를 bobbin에 동일하게 60g의 장력으로 winding하여 실온에서 측정하였다.

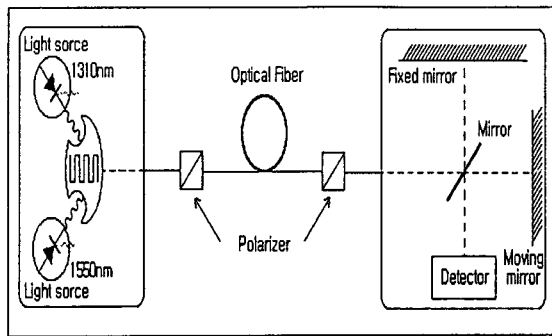


그림 2 편광모드분산 측정장비

실험 장비는 그림 2와 같이 구성하였다.^[3] 편광모드분산을 측정하기 위한 L사와 T사의 광섬유 특성 값은 표1과 같다.

특성값	제조 공법	MCVD (L사)	VAD (T사)
	코어의 직경 (nm)		8.67
클래드 직경 (nm)		124	124.79
코어 비원률 (%)		1.331	1.059
클래드 비원률 (%)		0.209	0.173
손실 (dB/km)	1550nm	0.194	0.267
	1310nm	0.337	0.464
영 분산파장 (nm)		1315.1	1316.2
차단파장 (nm)		1274	1305
코어/클래드 동심오차 (μm)		0.021	0.113

표 1. 제조공법별 특성값

4. 결과 및 토의

L사의 편광모드분산 값이 0.06ps이고,

$\sqrt{\text{km}}$ 당 0.044ps을 보이고, T사의 편광모드 분산 값이 0.05ps이며, $\sqrt{\text{km}}$ 당 0.022ps 임을 보인다. 따라서 MCVD 공법으로 제조된 L사의 편광모드분산보다 VAD 공법으로 제조된 T사의 편광모드분산 값이 훨씬 적음을 알 수 있다.

L사와 T사의 광섬유를 Furukawa Electric co.사의 fusion splice s-150으로 접속한 후의 편광모드분산 값은 0.07ps이고 편광모드 분산률이 0.028ps/ $\sqrt{\text{km}}$ 였다.

이 값은 L사와 T사의 편광모드 분산률의 차이 값을 알 수 있다. 또한 각각의 광섬유에 측압을 0.1kg에서 5kg까지의 압력을 가하였을 때, 각각의 제품이 측압에 대해 거의 영향을 보이지 않았다. L사가 약 0.044ps/ $\sqrt{\text{km}}$, T사가 0.024ps/ $\sqrt{\text{km}}$ 값을 보였다.

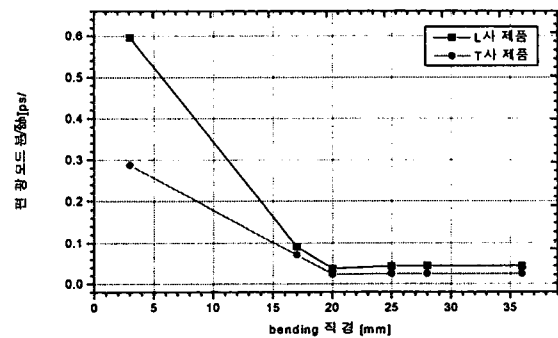


그림 3 bending에 따른 편광모드분산

그림 3은 T사와 L사의 bending 직경에 따른 편광모드분산 값을 나타내고 있다. T사와 L사 모두 직경 20mm에서 편광모드분산 값에 영향을 미치는 것을 알 수 있다. L사와 T사의 제품을 접속하고 bending을 가하였을 때에 직경 17mm에서의 편광모드 분산 값을 보였다.

광섬유의 Twisting 실험에서 T사와 L사의 광섬유에 Twisting을 가하였을 때에 각각, $360^\circ \times 80$ 회에서 편광모드분산 값이 증가하였으며, $360^\circ \times 90$ 회였을 때의 값은 각각 T사가 0.09ps, $0.062\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$ 였고, L사가 0.09ps, $0.065\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$ 였다. 또한 L사와 T사의 광섬유를 접속했을 때의 편광모드분산 값은 $360^\circ \times 60$ 회에서 0.25ps, $0.128\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$ 의 급격한 증가 값을 보였다.

본 연구는 원광대학교 창업지원센터의 입주 업체 미래통신과 공동 연구되었음.

International Wire & Cable Symposium Proceedings pp.665-670, 1994

[6] D. Gallagher, G. Wildeman W. Jackman, M. Fedotoff "SIMULATION OF SYSTEM LENGTH LIMITATIONS INDUCED BY PMD" International Wire & Cable Symposium Proceedings pp.27-36, 1996

[7] B. L. Heffner "Influence of optical source characteristics on the measurement of polarization-mode dispersion of highly mode-coupled fibers" OPTICS LETTERS Vol. 21, No. 2, 1996

참고문헌

[1] J. Power, C. Rochester, P. Worthington "Next Generation of Cable Designs For Optically Amplified Systems" International Wire & Cable Symposium Proceedings pp.395-401, 1994

[2] Yoshihiro Yoshida, Naoki Norimatsu, Haruo Abe, and Hitoshi Yamamoto "Characteristics of Optical Fiber Submarine Cables for Long-haul Submarine Optical Amplifier System" International Wire & Cable Symposium Proceedings pp.402-407, 1994

[3] Brian L. Heffner, "PMD measurement techniques a consistent comparison" OFC 96 Technical Digest pp.292-293, 1996

[4] Arthur F. Judy "IMPROVED PMD STABILITY IN OPTICAL FIBERS AND CABLES" International Wire & Cable Symposium Proceedings pp.658-664, 1994

[5] T. Sekito, Y. Suetsugu, Y. Yamazaki, and Y. Saito "Bending Induced Polarization Mode Dispersion with Random Mode Coupling"