

스텝인덱스 단일모드 광섬유의 최소분산 특성에 관한 연구

김원준, 장덕석, 이상섭
(한양대학교)

A Study on the Minimum Dispersion Characteristics of Step Index Single Mode Optical Fibers

Won-Joon Kim, Dae-Seok Chang, Sang-Seel Lee
(Hanyang University)

Abstract

In this paper, minimum dispersions of step index single mode optical fibers manufactured by the VAD method are calculated and measured by the phase modulation method. From them, we find that the calculated data agree closely with the results measured at the wavelength around 1.3 um, and that a method to shift zero dispersion wavelength (λ_0) at the wavelength around 1.55 um is to control refractive index profile(Δ) and relative refractive difference(Δ).

1. 서론

단일 모드 광섬유를 이용한 전송선로에서 중요한 특성으로 전송 손실 및 전송대역 특성을 들 수 있다. 광섬유의 전송대역은 분산특성에 의하여 제한을 받지만, 단일모드 광섬유는 모드분산이 존재하지 않으므로 광대역 전송선로를 구성할 수 있다. 단일모드 광섬유의 전송대역은 파장 분산에 의해서만 제한을 받는다.⁽¹⁾ 광섬유의 굴절률 분포가 균일할 때 Gloge⁽²⁾의 이론에 의하면, 파장 분산은 재료분산과 도파로분산으로 분된다. 재료분산과 도파로분산의 합성으로 되는 전파장분산은 어느 파장에서 0으로 된다. 영분산 파장에서 단일모드 광섬유를 전송선로로 이용하면, 고차모드의 영향을 무시하여 전송대역은 무한대로 되어 초광대역 전송선로를 얻을 수 있다.⁽³⁾ 이때 전송선로의 중계 구간은 전송손실에 의해서만 제한되므로, 영분산 파장 및 저분산 파장 영역을 조사하여, 단일모드 광섬유의 퍼라미터들의 의존성을 밝혀 두는 일은 초광대역 단일모드 광섬유 전송선로를 얻기 위하여 중요한 일이다. 이 연구에서는 극저손실 광섬유를 초광대역 전송선로로 유효하게 이용하기 위하여, 저분산 영역에서 스텝인덱스 단일모드 광섬유의 분산 특성을 수치계산 및 측정에 의하여 확인하였다.

2. 파장분산의 계산

단일모드 광섬유 내에서 발생하는 광신호의 디스토션은 광원의 중심파장 및 파장폭과 광섬유의 파장분산에 의하여 결정된다.⁽⁴⁾ 파장분산은 파장에 따라 빛의 진행속도가 다르기 때문에 생기는 것으로, 원형대칭 단면 구조를 가진 단일모드 광섬유에서 유일한 분산요인이 된다. 파장분산을 측정함으로써 광섬유의 파장과 파장폭이 주어질 때 광신호의 디스토션과 전송시스템의 전송대역폭을 계산할 수 있다. 송신속 2개의 광원의 위상차를 θ_1 , 이 광원파장에서의 전파지연 시간의 차를 τ 라 하면 수신속의 위상차 θ_2 는 식(2-1)과 같다.⁽⁷⁾
$$\theta_2 = \theta_1 + 2\pi f \tau \text{ (rad)} \dots\dots (2-1)$$
 여기서 f 는 변조주파수이다. 광섬유의 길이 1Km 당의 지연을 T 라 하면,
$$T = \frac{\theta}{2\pi f} \cdot \frac{1}{L} \text{ (PS/Km)} \dots\dots (2-2)$$
 로 되며, $\theta = \theta_2 - \theta_1$, L 은 광섬유의 길이이다. 특 4개의 광원파장 ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$)에 대하여 측정하고, 위상차들 식(2-3)에서 구한다.
$$\theta_{ij} = \theta_i - \theta_j \dots\dots\dots (2-3)$$
 여기서 $i = 1, 2, 3, j = 1+i$ 이다.

식 (2-3)을 식 (2-2)에 대입하여 식 (2-4)를 얻는다.

$$\Delta T_{1j} = \frac{0.1j}{2\pi f} \cdot \frac{1}{L} \quad (\text{PS/Km}) \dots\dots (2-4)$$

이것을 그래프에 나타내면 그림 (2-1)과 같다.

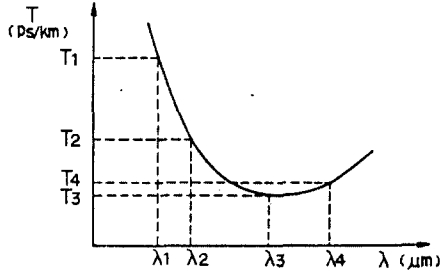


Fig.(2-1) A Plot of Time Delay T as a Function of LASER Wavelength λ. Note that $T_3 = T_4 + \Delta T_{34}$, $T_2 = T_3 + \Delta T_{23}$, $T_1 = T_2 + \Delta T_{12}$.

그림 (2-1)로부터 최소자승법에 의하여 T를 식 (2-4)와 같이 근사시킨다.

$$T = A\lambda^2 + B + C\lambda^{-2} \dots\dots\dots (2-4)$$

여기서 A, B, C는 상수이며, B의 값이 0으로 하면 식 (2-4)는 영분산 파장에 대한 상대지연을 나타낸다.

파장분산 D는 식(2-4)를 λ에 대하여 미분하여 식 (2-5)로 된다.

$$D = 2A\lambda - 2C\lambda^{-3} \quad (\text{PS/Km. nm}) \dots\dots (2-5)$$

여기서 상수 A, B, C를 구하기 위하여, 각 파장의 광원을 30, 200, 800 MHz로 변조했을 때 지연시간 T를 구한다.

이 결과를 이용하여 T 및 D를 계산하고, 최소분산 파장 λ₀를 구한다. 파장 1.3 μm와 1.55 μm에서 최소분산 특성을 고찰하기 위하여 1290 ≤ λ ≤ 1560 μm로 한다.

계산을 위한 흐름도는 그림(2-2)와 같으며, 계산결과는 그림(2-3)와 같다. 사용된 컴퓨터는 PRIME 9750이다.

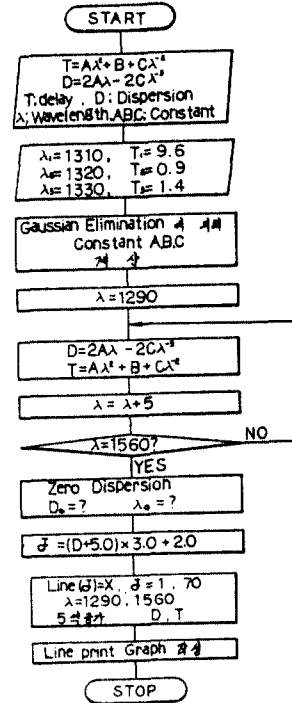


Fig.(2-2) The Flow Chart of Computation for Minimum Dispersion at λ=1.3 μm, 1.55 μm.

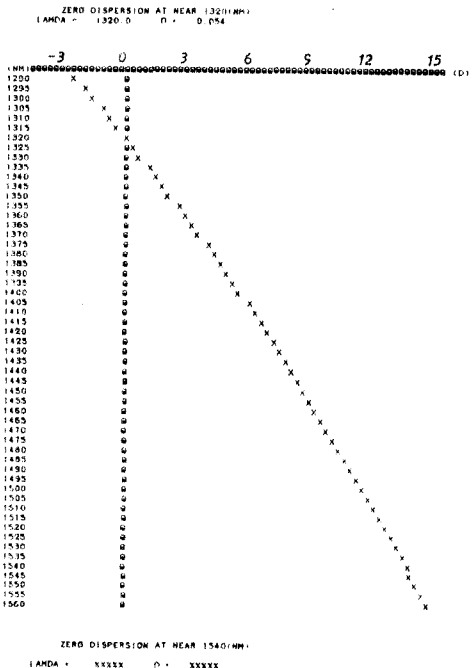


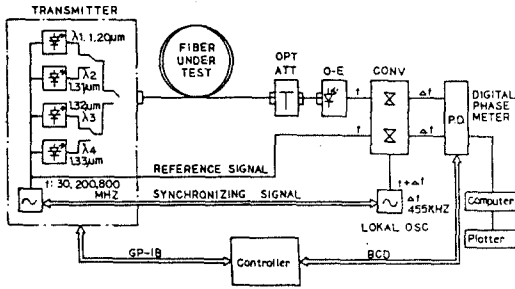
Fig.(2-3) A Plot of Chromatic Dispersion Computation

3. 파장분산의 측정 (5) (6) (7)

Table. (4-1) A Comparison of Theory with Experimental Data

3-1. 측정방법

이 광섬유의 파장분산 측정에 사용된 측정기는 파장분산측정기 AQ-1030이며, 그림(3-1)은 이 측정기의 계통도이다.



그림(3-1) AQ-1030의 측정계통도

제어처리부와외 대화 형식으로 측정을 진행한다. 측정값자, 광섬유 길이 등을 입력시켜 프로그램을 실행하면, 시스템은 원곡상대로 되어 위상와 측정결과로부터 부터 상대지연과 파장분산을 계산하고 프린트출력된다.

3-2. 측정결과 및 그찰

그림(3-2)는 파장분산의 측정결과를 나타내며, 표(4-1)은 계산 결과와 측정결과를 비교하여 나타내고 있다.

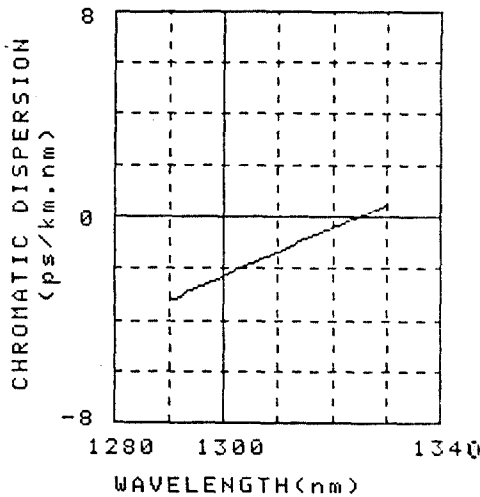


Fig. (3-2) Experimental Results of Chromatic Dispersion.

파장 λ (nm)	시연지연 T(ps/Km)		분산 D(ps/km.nm)	
	이론치	측정치	이론치	측정치
1290	34.1	55.2	-2.74	-3.25
1300	11.4	27.6	-1.78	-2.25
1310	-1.7	9.6	-0.35	-1.33
1320	-5.7	0.9	0.05	-0.41
1330	-0.68	1.4	0.94	0.50

표(4-1)에서 보는 바와 같이 파장 1.3 μm 근처에서 계산결과와 측정결과가 거의 일치하고 있음을 알 수 있다.

3-3. 영분산 파장의 제어

VAD 법으로 제조하는 단일모드 광섬유의 전분산은 도파로 분산을 변화시켜 파장 1.55 μm 에서 최소가 되게 할 수 있다. 전이 시키기 위한 방법으로는, (1) 굴절률 분포(α)를 조정하기 위하여 H₂/O₂ 유량비율을 조정하거나, 코어용 버니와 프리즘의 중심축과의 각도를 100~60° 범위로 조정하고, (2) 비굴절률차(Δ)를 제어하기 위하여 GeCl₄ 량을 설계치 보다 약간 더 많이 첨가시키고 Rayleigh 산란손실을 감안할 때 굴절률 분포를 Depressed 형으로 하여야 한다.

4. 결 론

VAD 법으로 제조한 스텝인덱스 단일모드 광섬유의 최소분산 특성을 계산 및 측정에 의하여 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 수치계산을 최소 차승법으로 근사시켜서 간단히 계산한다.
- (2) 파장 1.3 μm 근처에서 위상변조법으로 측정한 결과는 계산결과와 거의 일치한다.
- (3) 파장 1.55 μm 대로 최소분산 파장(λ₀)을 전이 시키기 위한 하나의 방법은 굴절률 분포(α)와 비굴절률차(Δ)를 제어하는 것이다.
- (4) 파장 1.55 μm 에서 파장 분산 특성을 더욱 연구 할 필요가 있다.

참 고 문 헌

1. N. Imoto et al, " Dispersion Characteristics of Single Mode Optical Fibers, " E.C.L.T.J, Vol. 28, No.6, pp.19-35 (1979/6)
2. D.Gloge, " Dispersion in Weakly Guiding Fibers", Applied Optics, Vol. 10, No.11, pp.2442,(1971)
3. J. Yamada, "High Speed Optical Pulse Transmission at 1.29 um Wavelength Using Low Loss Single Mode Fibers," IEEE J. of Quantum Electron, QE-14, No.11, pp.791, (1978)
4. L.G. Cohen et al, " Dispersion and Bandwidth Spectra in Single Mode Fibers", IEEE J.Quantum Electron, QE-18, pp. 49, (1982)
5. K. Daikoku, " Direct Measurement of Wavelength Dispersion in Optical Fibers, Difference Method ", Electron Lett, Vol.14, No.5, pp. 149, (1978)
6. T. Miyashita et al, " Wavelength Dispersion in a Single Mode Fibers ", Electron Lett , Vol. 13, No.8, pp.227, (1977)
7. Instruction Manual, AQ-1030 Wavelength Dispersion Measuring Set, Printed by ANDO Electric Ltd, Co.