

변조위상변위법에 의한 단일모드광섬유의 색분산 측정

정회원 전 영 윤*

Chromatic Dispersion Measurement of Single Mode Optical Fibers by Modulation Phase-Shift Method

Young-Yun Chun* *Regular Member*

요 약

이 논문에서는 변조위상변위법을 이용한 색분산 측정의 원리 및 실험결과를 나타내었다. 변조위상변위법은 변조된 신호를 측정광섬유로 전송한 후 원 신호와 위상차이를 비교하는 방식이다. 광전송매체로써 가장 많이 사용되고 있는 non-shifted SMF, DSF, 및 DCF의 색분산 측정결과를 기술하고, 측정광섬유의 적절한 길이, 변조주파수, 그리고 샘플 데이터간의 파장간격 등의 관계를 연구하였다.

ABSTRACT

The chromatic dispersion measurement equipment based on modulation phase-shift method has been set up. The modulation phase-shift method is measuring the phase difference between input modulation optical signal and transmitted modulation optical signal in the test fiber. Dispersion measurement results of the typical optical fibers, non-shifted SMF, DSF and DCF, are described. The optimum measuring conditions are theoretically studied as function of test fiber length, light source modulation frequency and wavelength interval.

I. 서 론

광섬유의 색분산은 손실특성과 함께 광섬유의 전송특성을 나타내는 중요한 요소로써 광섬유내 전송되는 정보의 용량을 제한하는 요인으로 작용한다. 광통신에 사용되는 광원의 파장선폭($\Delta\lambda$)이 "0"이 아니기 때문에 이러한 광이 광섬유 코어로 전송될 때 파장에 따른 전파속도가 다르게되는 색분산이 일어나게 된다. 색분산으로 인하여 광 펄스는 광섬유를 진행함에 따라 펄스의 퍼짐 현상이 나타난다. 따라서, 전송속도가 높을수록 인접 신호간 간격이 작기 때문에 색분산의 영향은 더욱 커지게 되고, 10Gb/s 이상의 전송속도에서는 주된 성능제한 요소가 된다.

색분산을 측정하는 방법에는 펄스지연법(Pulse Delay Method)^[1], 간섭법(Inteferometric Method)^[2]과 변조위상변위법(Modulation Phase Shift Method)법^[3~6]이 있다. 펄스지연법은 파장별 펄스를 만들어 펄스를 광섬유에 전송시킨 다음 출력단에서 입력펄스에 대한 상대적인 지연시간을 측정하여, 색분산값을 계산해 낸다. 이때 매우 짧은 펄스가 필요하고, 정확한 파장별 색분산 값을 구하기 위해서는 여러 파장대역의 펄스가 필요하다. 간섭법은 Mach-Zehnder Interferometer와 같은 간섭계를 구성하여 간섭패턴에 의해 분산을 측정하는 방법이다. 간섭계는 한쪽 arm에 시험 광섬유를 설치하고, 다른 쪽 arm은 reference arm으로 air path를 구성한다. 넓은 대역폭을 갖는 LED의 광출력은 간섭계를 통과한 후 검출기에서 간섭패턴을 얻고, 이를 푸리에 변

* 원광보건대학 정보통신과(cyoung@sky.wkhc.ac.kr)

논문번호 : 99022-0906

접수일자 : 1999년 9월 6일

환(Fourier transform) 한 후 파장에 따른 위상변화를 이용해 색분산을 측정할 수 있다. 특히, 간섭법은 수m의 짧은 시험광섬유의 측정이 가능하고, 비용이 적게 드는 장점을 갖는다. 그러나, 광원의 대역폭에 의해 측정 가능한 파장범위가 제한되고 reference arm이 거리변화에 대한 균일성과 외부환경에 매우 민감하므로 정확도가 떨어진다. 한편 변조위상변위법은 전기적 신호원으로부터 발생한 정현파 신호가 시험 광섬유를 통해 전달된 후 원 신호와 위상차이를 비교하는 방식이다. 변조위상변위법은 시험광섬유의 색분산량에 따라 다르지만 보통 수백m 이상의 길이가 요구되고, 파장선폭이 좁은 광원 등이 요구된다.

이 실험에서는 변조위상변위법에 대한 이론적 배경과 제작한 측정장치를 설명하고, 이 측정장치를 이용하여 단일모드광섬유, 색분산천이 광섬유 및 색분산 보상광섬유의 측정결과를 분석하고자 한다.

II. 변조위상변위법에 의한 색분산 측정

1. 측정장치의 구성

그림 1은 변조위상변위법을 이용한 색분산 측정 방법의 구성도를 나타낸다. 주요 구성요소들은 가변 파장 광원, 외부변조기, RF(Radio Frequency)신호발생기, PD(Photo-Diode), 샘플링 오실로스코프 등이다. 가변파장 광원은 파장변화에 의한 색분산을 측정하기 위해 필요하고, 정밀한 측정을 위해서는 파장안정도가 높아야 한다. 따라서 사용된 가변파장 광원의 대역은 1550 - 1580nm이고, 파장간격은 최소 0.01nm까지 가능한 것을 사용하였다. 최대 변조 주파수가 수십 GHz인 외부변조기로 입력되는 광신호는 편광변화에 의한 영향을 최소화하기 위해 편광조정기(PC)를 통해 입력시키고, 변조된 RF 신호

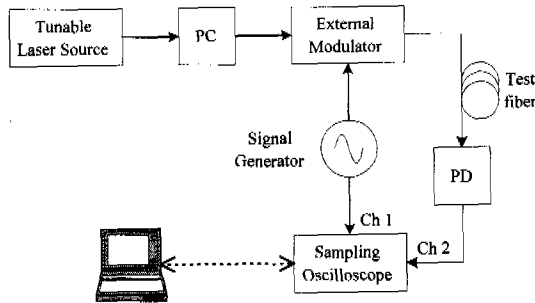


그림 1. 분산측정 실험장치

는 주파수 안정도가 수 kHz인 RF 신호발생기를 사용하였다.

그림 1과 같이 만들어진 장치를 사용한 색분산 측정 절차는 그림2와 같다. 첫째, 가변파장광원을 변조주파수 f_m 을 갖는 정현파로 외부변조하여 기준신호로 한다. 이 정현파를 측정용 광섬유에 입사시켜 측정할 길이 L의 광섬유를 통과한 후 수신된 신호와 기준신호간의 위상변화를 측정한다. 임의 파장 λ 에서 기준신호와 길이 L인 광섬유를 지난 수신신호간의 측정된 위상차는

$$\psi_\lambda = 2\pi f_m \tau_g L \quad (2-1)$$

로 주어진다. 여기서 τ_g 는 임의의 파장에서 상대그룹지연(relative group delay)를 나타낸다. (2-1)식에서 위상차는 변조주파수와 측정할 광섬유 길이의 함수로 표현된다. 둘째, 입사광의 파장은 측정하고자 하는 범위 내에서 변화시키면서 각 파장마다 기준신호와 측정광섬유를 통과한 수신신호간의 위상차를 측정한다. 측정된 위상차로부터 상대그룹 지연시간 τ_g 를 구한다. 셋째, 상대그룹 지연시간으로부터 (2-2)식을 적용함으로써 각 파장에서의 색분산계수(D)을 직접 구한다.

$$D = d\tau_g/d\lambda \quad (2-2)$$

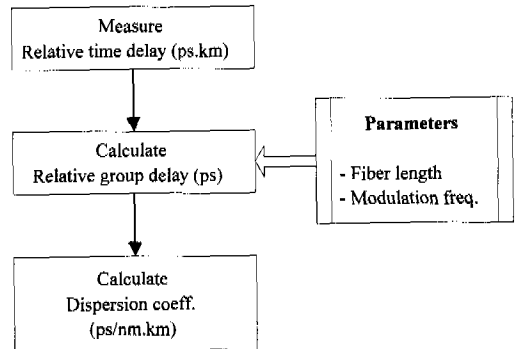


그림 2. 분산측정 절차

2. 색분산 측정

그림 3은 그림 1의 샘플링 오실로스코프에서 얻어진 데이터로부터 위상차를 얻기 위한 과정을 보이고 있다. 그림 3(a)는 샘플링 오실로스코프에서 얻어진 기준신호와 시험 광섬유를 통과한 신호로써 이들은 평균하여 얻은 신호이다. 그림 3(b)는 위상차를 얻기 위해 그림 3(a)의 신호를 미분한 결과이

고, 실선은 기준신호, 점선은 시험 광섬유를 통과한 신호이다. 미분한 신호에서 영을 교차하는 지점이 오실로스코프로 측정된 신호의 극치(최대 또는 최소)를 의미하므로 영 교차점의 차이는 위상차를 의미한다. 따라서, 이러한 위상차를 일정한 파장간격으로 측정하여 파장범위에 대해 누적함으로써 상대 그룹지연(τ_g)을 구할 수 있다.

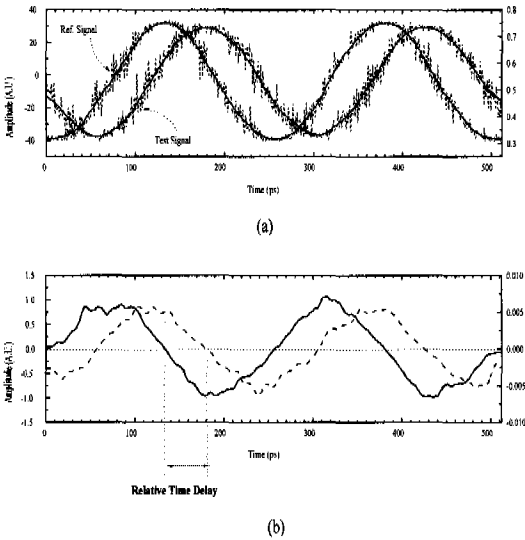


그림 3. 신호처리 결과

그림 4는 광섬유의 색분산을 측정할 때 다양한 측정조건에서 분산값에 따른 측정할 광섬유 길이 변화를 보이고 있다. 측정의 정확도를 결정하는 변수로는 변조주파수 f_m , 측정할 광섬유의 길이 L , 측정 샘플간의 파장간격 $\Delta\lambda$ 등이 있다. 변조주파수는 물론, 측정할 광섬유의 길이는 길수록, 측정 샘플간의 파장간격은 좁을수록 측정의 정확도를 높일 수 있다. 그러나, 변조주파수는 현재 외부변조기의 특성상 10GHz 이하로 제한되고, 변조주파수가 낮아질수록 위상차에 대한 해상도가 떨어진다. 또한, 측정할 광섬유의 길이가 길어지면 수신신호의 출력이 낮아지기 때문에 수신된 신호의 품질 저하로 위상차의 오차가 커질 수 있다. 한편 가변파장광원의 측정 파장간격($\Delta\lambda$)이 좁으면 데이터 처리시간이 길어진다. 따라서, $\Delta\lambda$ 간격으로 측정된 샘플간의 time delay는

$$\Delta T = D \cdot \Delta\lambda \cdot L \quad (2-3)$$

이므로 phase ambiguity를 피하기 위해서는 $\Delta T < 1/f_m$ 이 만족되도록 변수들을 선택해야 한다. 즉 위상차가 2π (360°)를 벗어나지 않도록 하기 위해서는 변조주파수의 사용 범위가 주어지게 된다. 그림 4(a)와 (c)는 NZ-DSF(NonZero-Dispersion Shifted

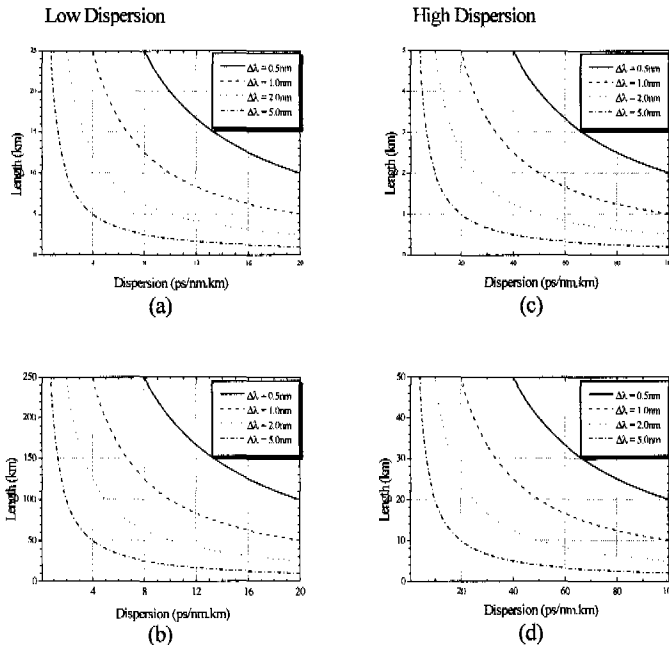


그림 4. 색분산, 선폭 및 변조주파수에 따른 측정할 광섬유 길이

Fiber) 나 DSF와 같이 1550nm대역에서 분산량이 적은 경우 f_m 이 각각 10GHz와 1GHz 일 때, $\Delta\lambda$ 변화에 따라 phase ambiguity를 피할 수 있는 최대 광섬유 길이를 보이고 있다. 예를 들어, f_m 이 10GHz이고 $\Delta\lambda = 1.0\text{nm}$ 인 경우 1550nm 대역에서 DSF의 정확한 분산량을 측정하기 위해 요구되는 최대 광섬유 길이는 약 20km이다. 또한, f_m 이 1GHz인 경우에는 최대 광섬유 길이가 약 200km가 되므로 광섬유 손실에 의해 정확한 위상차를 구할 수 없음을 예상할 수 있다. 그림 4(b)와 (d)는 non-shifted SMF(Single Mode fiber)나 DCF(Dispersion Compensation Fiber)와 같이 분산량이 큰 경우 f_m 이 각각 10GHz와 1GHz 일 때, $\Delta\lambda$ 변화에 따라 phase ambiguity를 피할 수 있는 최대 광섬유 길이를 보이고 있다. 예를 들어, f_m 이 10GHz이고 $\Delta\lambda = 1.0\text{nm}$ 인 경우 1550nm 대역에서 non-shifted SMF의 정확한 분산량을 측정하기 위해 요구되는 최대 광섬유 길이는 약 5km이다. 따라서 측정 샘플의 길이와 예상되는 색분산 계수의 크기를 고려하여 최적의 변조 주파수를 선택해야 한다. 여기서는 변조 주파수를 10GHz를 사용하였다.

III. 색분산 측정 결과

그림 5부터 그림 7까지는 각각 색분산이 1300nm 영역에서 최소이며 현재 광통신에 가장 많이 사용되고 있는 non-shifted SMF와 1550nm영역에서 색분산이 최소인 DSF 그리고 non-shifted SMF를 1550nm에서 운용할 경우 이 영역에서 높은 색분산을 보상할 수 있는 DCF의 색분산을 측정된 결과이다. 사용된 광섬유의 길이는 1550nm대역에서 색분산과 phase ambiguity를 고려하여 각각 1km, 20km, 3.873km 광섬유를 사용하였다. 즉 2장에서 분석한 바와 같이 phase ambiguity를 없애기 위하여 측정 광섬유의 길이를 고려하여 변조주파수는 10GHz로 하였다.

그림 5는 non-shifted SMF에 대한 것으로 1535nm에서 1560nm까지 1nm간격으로 위상차를 측정하였다. 그림에서 도형은 측정된 상대그룹지연을 나타내고, 실선은 각각 측정된 상대그룹지연이차 polynomial 함수로 curve fitting 한 결과와 상대그룹지연으로부터 얻어진 분산값을 나타낸다. 측정된 non-shifted SMF는 약 15.9~17.4ps/nm.km의 분산값을 갖고, +0.046 ps/nm².km의 기울기를 나타내고 있다. 이 값들은 ITU-T G.652에서 제시하고

있는 1550nm대역에서의 색분산특성 권고치와 잘 일치하고 있다.

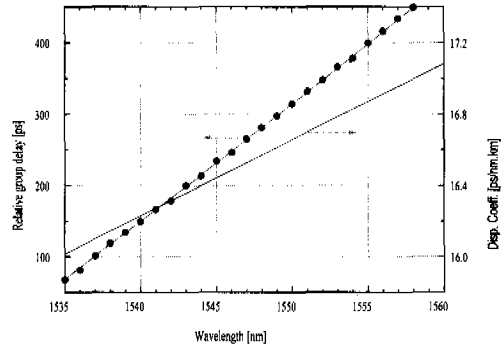


그림 5. SMF 분산측정 결과

그림 6은 DSF에 대한 것으로서 1535nm에서 1560nm까지 1nm간격으로 위상차를 측정하여 얻은 색분산은 약 1.8 ~ -0.3ps/nm.km, 색분산기울기는 +0.042ps/nm².km이며, 영분산 파장은 약 1562nm임을 알 수 있다. 이는 측정샘플사에서 제공한 실제 값과 영분산 위치는 거의 일치하고, 기울기는 +0.060ps/nm².km으로 다소 차이를 갖는데 이는 위상차 계산과정과 좁은 범위에서 Curve fitting을 하였기 때문이라고 예상된다. 또한 이들 특성은 ITU-T G.653에서 제시한 수Gb/s이상의 광전송링크에서 사용될 수 있는 특성치와 일치한다.

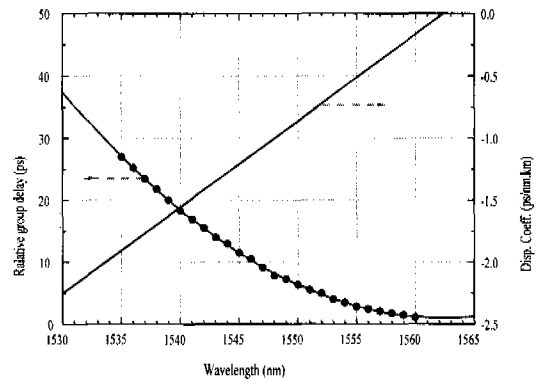


그림 6. DSF 분산측정 결과

그림 7은 1550nm 대역에서 색분산 계수가 큰 DCF를 측정된 결과이며, 이 광섬유는 큰 색분산으로 인하여 1550nm에서 1555nm까지 0.1nm 간격으로 위상차를 측정하였다. 측정된 결과에서 색분산

값은 실제 데이터 값과 거의 유사하지만 기울기가 양의 값으로 서로 다르다. 이 결과도 그림 7과 같이 위상차 계산과정과 좁은 범위에서 Curve fitting 을 하였기 때문이라고 예상된다.

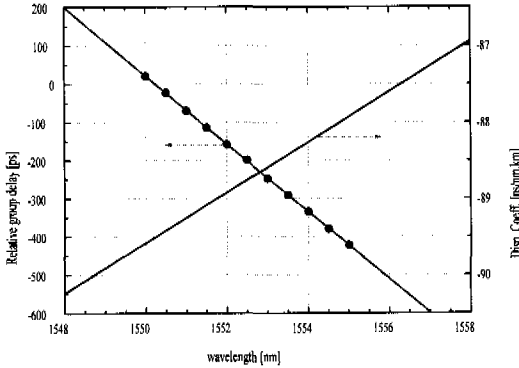


그림 7. DCF 분산측정 결과

이상의 3가지 샘플 측정결과로부터 광섬유의 손실이 최소화이며, 가장 활성화되어 있는 어비움침가 광섬유증폭기를 활용하는 1550nm 대역에서 정밀한 색분산특을 측정하는데 새롭게 구축한 위상변조방법이 매우 유용할 것으로 생각된다.

IV. 결론

변조위상변위법을 이용한 색분산 측정 원리를 살펴보고, 장치를 직접 구성하여 단일모드광섬유의 색분산계수를 측정하였다. 광섬유의 길이, 변조주파수, 및 측정파장의 간격에 따른 색분산계수 측정의 정확도를 높이고, 즉 phase ambiguity를 없애기 위한 조건을 분석한 결과 DSF의 경우 $\Delta\lambda = 1.0\text{nm}$ 이고 변조주파수가 10GHz 일 때 최대 측정 광섬유 길이는 20km 이하임을 알 수 있었다. 또한 non-shifted SMF 광섬유에서는 $\Delta\lambda$ 와 변조주파수가 DSF와 같은 조건 일 때 최대 측정 광섬유의 길이는 5km로 나타났다. non-shifted SMF, DSF, DCF 3가지 광섬유의 색분산계수 측정 결과는 1550nm대역에서 각각 15.9~17.4ps/nm.km(1535nm~1560nm), 1.8 ~ -0.3ps/nm.km(1535 ~ 1560nm), -89.6~-87.7ps/nm.km(1550 ~1556nm)로 나타났으며, 이들 값은 제품에서 제시한 규격과 잘 일치하고 있다. 한편 수 Gb/s 이상 및 고효율 WDM에 시스템에서는 매우 중요한 요인으로 작용하는 DSF의 색분산 기울기와

영분산 파장은 각각 +0.042ps/nm²km, 1562nm로 나타났다.

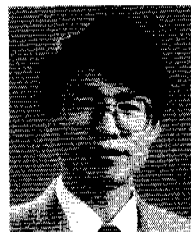
한편 10Gb/s 이상의 WDM시스템에 사용하기 위해서는 보다 정밀한 색분산 특성을 측정할 필요가 있으므로 광섬유의 길이에 따라 색분산 특성값의 정확도에 미치는 영향을 살펴보아야 할 필요가 있다. 또한 색분산은 온도에 따라 영분산 파장이 이동하므로 이에 대한 정확한 분석이 요구된다.

참고 문헌

- [1] L. G. Cohen and C. Lin, "Pulse delay measurements in the zero material dispersion wavelength region for optical fibers," Appl. Opt. 16, p.3136, 1977.
- [2] P. Merritt, R. P. Tatam and D. A. Jacson, "Interferometric chromatic dispersion measurements on short lengths of monomode optical fiber," J. Lightwave Technol. 7, p.703, 1989.
- [3] S. Ryu, Y. Horiuchi, and K. Mochizuki, "Novel chromatic dispersion measurement method over continuous gigahertz tuning range," J. Lightwave Technol. 7, p.1177, 1989.
- [4] "Definition and test methods for the relevant parameters of single-mode fibres," ITU-T G650, 1997.
- [5] Dennis Derickson, "Fiber Optic Test and Measurement", Hewlett-Packard Com. 1998.
- [6] B. Costa, D. Mazzoni, M. Puleo, and E. Vezzoni, "Phase shift technique for the measurement of chromatic dispersion in optical fibers using LED's," J. of Quantum Elect., 18(10), 1509, 1982.

전 영 윤(Young-Yun Chum)

정희원



1980년 : 전남대학교 물리학과 (학사)

1983년 : 전남대학교 대학원 물리학과(석사)

1996년 : 전남대학교 대학원 물리학과(박사)

1983년 3월~1998년 12월 : 한국전자통신연구원 광 파통신연구실 책임연구원

1995년 1월~1999년 3월 : 정보통신연구진흥원 책임
연구원

1999년 4월~현재 : 원광보건대학 정보통신과
<주관심 분야> 광통신, 광 수동부품 및 고속 가입
자전송기술등