

## 레이저의 자기궤환 발진을 이용한 광대역 색분산 측정

### Simultaneous measurement of broadband dispersion employing the self-seeding laser oscillating

김영철\*, 김현덕\*

\*경북대학교 전자전기컴퓨터학부

hyundkim@ee.knu.ac.kr

초고속 장거리 광전송 시스템의 구현을 위해서는 광섬유의 색분산을 분산을 적절히 보상하여야 하고, 색분산의 영향은 전송속도(bit rate)의 증가에 따라 더욱 중요해지고 있다. 광섬유의 분산을 적절히 보상하기 위해서는 광섬유의 색분산계수와 길이를 정확하게 측정하는 것이 중요하다. 하지만, 광섬유의 색분산계수와 길이의 측정을 위해 별도의 장비를 사용할 경우 측정비용이 증가할 뿐만 아니라 측정 시간도 오래 걸리는 단점이 있다. 색분산계수 측정의 경우, 특정 파장영역의 분산만을 측정하므로 광대역의 색분산측정을 위해서는 측정 비용과 시간의 증가는 불가피하다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 광섬유의 C/L-band 광대역 색분산계수와 길이를 동시에 측정할 수 있는 측정법을 제안한다.

광섬유의 광대역 색분산계수와 길이를 동시에 측정하기 위한 측정 장치의 구성은 그림 1과 같다. 제안된 측정 장치에서 C/L-band 레이저의 출력은 파장분할다중화기(WDM)에서 다중화된 후, 피측정 광섬유(FUT : Fiber-under-Test)를 통과하고, 각각의 C/L-band 레이저들로 재입사된다. 각각의 C/L-band 레이저에 문턱전류보다 작은 직류 바이어스전류를 인가한 후 변조 전류를 인가하면 레이저는 다중모드 광펄스열을 출력하고, 이 광펄스들은 피측정 광섬유를 통과한 후 다시 각각의 레이저에 재입사된다. 각각의 레이저에서 서로 다른 모드(파장)의 광펄스들은 레이저에서 동시에 출력되지만, 피측정 광섬유의 색분산 때문에 레이저로 궤환되는 시간은 모드에 따라 다르다. 이 경우 특정 모드의 광펄스가 레이저에 인가되는 충전류가 문턱전류보다 큰 순간에 지속적으로 레이저에 재입사되면 폐경로를 통해 단일모드 자기 궤환 발진이 일어난다.

레이저에 인가되는 변조전류의 주파수를 변화시키면 특정 모드에서 발진하는 파장이 변하게 된다. 주파수를 변경하여 발진하는 파장을 인접모드(파장)로 변화시키기 위한 주파수 변화량( $\Delta F_{MD}$ )을 측정하면 다음의 식을 이용하여 C/L-band에서의 색분산계수( $D$ )를 구할 수 있다<sup>(1)</sup>.

$$D = -(n/cF)(\Delta F_{MD}/\Delta\lambda)$$

여기서  $n$ 은 굴절률,  $c$ 는 빛의 속도,  $F$ 는 초기 변조주파수,  $\Delta\lambda$ 는 인접모드 사이의 간격이다.

또, 특정 변조주파수에서 특정 모드의 발진이 일어난 후, 변조주파수를 계속 증가시키면 다시 동일한 모드에서 발진이 일어난다. 이처럼 하나의 모드에서 발진이 일어난 후, 동일한 모드에서 반복해서 발진이 일어나기 위해 필요한 변조주파수의 변화량( $\Delta F_{ML}$ )을 측정하면 다음의 식을 이용하여 광섬유의 길이( $L$ )를 측정할 수 있다. 이는 레이저의 파장영역에 무관하게 동일한 측정결과를 얻을 수 있다<sup>(2)</sup>.

$$L = c/(n\Delta F_{ML})$$

그림 1의 측정 장치에서 레이저에 인가되는 변조전류의 주파수를 순차적으로 증가시키면서 레이저의 자기궤환 발진을 분석하면 피측정 광섬유의 광대역 색분산계수와 길이를 동시에 측정할 수 있다.

그림 1과 같이 제안된 측정장치를 구성하여 변조전류의 주파수를 변화시키고, 광검출기를 이용하여 광 출력과위를 측정하기 위하여 컴퓨터와 계측기 간에 GPIB통신을 이용하여 제어하였다. 측정된 결과는 신호처리 알고리즘을 이용하여 C/L-band 광대역 색분산계수와 길이의 측정을 자동화 하였다. 측정장비의 제어와 신호처리 알고리즘의 구현을 위하여 National Instrument사의 LabVIEW 7.0을 사용하였다.

C/L-band 각각의 광출력과위를 미분하여 다중모드에서 출력과위가 최대가 될 때의 변조주파수를 검출하고, 검출된 변조주파수의 상대적인 변화량을 이용하여 모드 간의 이동에 필요한 변조주파수의 변화량 ( $\Delta F_{MD}$ )을 구하고, 동일한 모드에서 반복해서 발진이 일어나기 위해 필요한 변조주파수의 변화량( $\Delta F_{ML}$ )을 구하였다.

제안된 측정법의 가능성을 검증하기 위해 그림 1의 실험장치를 구현하고, 광섬유의 C/L-band 광대역 색분산계수와 길이 측정 실험을 수행하였다. 본 실험에서 사용된 C/L-band 레이저의 특성은 표 1과 같다. 그림 2는 제안된 측정법을 이용하여 길이가 1km인 단일모드 광섬유의 광대역 색분산계수를 측정한 결과이고, PerkinElmer사의 상용장비 (모델: FD440)를 사용하여 측정한 결과를 함께 나타내었다. 제안된 장치를 이용한 결과는 비교적 일치하였으며, 오차 범위 내에서 개선의 여지를 가졌다.

동일한 측정 장치에서 광섬유의 길이를 동시에 측정한 결과는 Anritsu사의 상용 OTDR (모델: MW9060)을 이용하여 측정한 결과와 비교하여 표 2에 나타내었다. 길이 측정결과는 상용 OTDR을 이용한 측정 결과와 잘 일치하였으며, 약 1km ~ 23km 광섬유에 대해 매우 정확하게 일치하였다.

본 논문에서는 C/L-band 패브리-페롯 레이저의 자기회환 발진을 동시에 이용하여 광섬유의 광대역 색분산계수와 길이를 측정하고, 신호처리 알고리즘을 이용하여 측정의 자동화를 제안하였다. 제안된 측정 장치의 측정 결과는 상용 계측기와 비슷한 수준의 정확도를 보였다.

본 연구는 BK21프로젝트 및 젊은과학자연구활동지원사업의 지원으로 수행되었음.

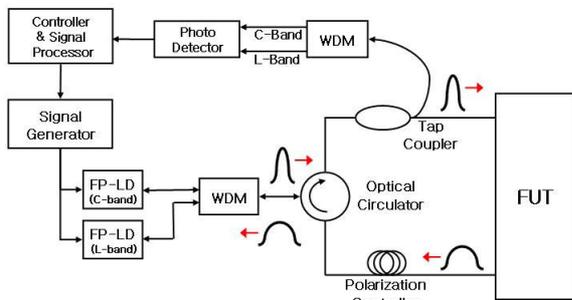


그림 1. 제안된 측정장치의 구성도

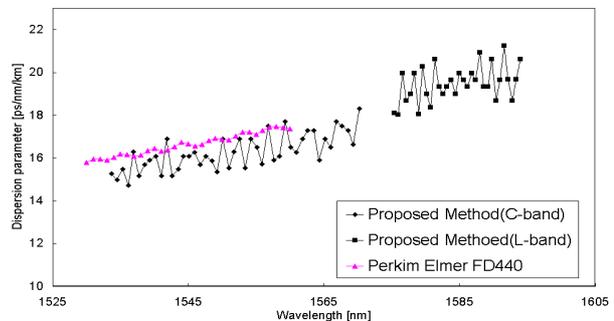


그림 2. 광대역 색분산계수 측정결과

표 1. C/L-band 레이저의 특성

	문턱전류 [mA]	중심파장 [nm]	모드간격 [nm]	스펙트럼 대역폭 [nm]
C-band FP-LD	15	1548.46	0.8	37
L-band FP-LD	18	1592.77	0.6	32

표 2. 광섬유 길이 측정결과

제안된 측정법 (km)	상용 OTDR (km)	상대비 (%)
1.0816	1.0828	0.11
23.9638	23.985	0.08

참고문헌

1. K.-H. Yoon, et al., OFC 2004, ThP 5, 2004
2. K.-H. Yoon, et al., OECC/COIN 2004, p682, 2004