

패브리-페롯 레이저의 자기궤환 레이저 발진을 이용한 광섬유 길이 측정법

Optical fiber length measurement based on self-seeding laser oscillation of Fabry-Perot laser

윤기홍, 송재원, 김현덕
경북대학교 전자전기컴퓨터학부
e-mail: hyundkim@ee.knu.ac.kr

광섬유망의 포설과 효율적인 유지 관리를 위해서는 광섬유 길이의 정확한 측정이 중요하다. 기존에는 주로 OTDR(Optical Time Domain Reflectometer)을 사용하여 광섬유 길이를 측정하였는데,^(1, 2) OTDR을 이용한 측정법은 광섬유에 광펄스를 입력한 후 시간에 따른 반사 파워를 측정하고, 측정된 반사 패턴과 광섬유의 굴절률로부터 광섬유의 길이를 계산하도록 구현된다. 이를 위해 좁은 폭의 광펄스를 생성하기 위한 고속 펄스발생 장치를 필요로 할 뿐 아니라 반사되는 광펄스를 감지하기 위한 고속 광수신기도 필요로 한다. 따라서 기존의 OTDR은 구조가 복잡하고, 가격이 비싼 단점이 있어 왔다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 패브리 페롯 레이저(FP-LD : Fabry-Perot laser diode)의 자기궤환 레이저 발진 현상⁽³⁾을 이용하여 구조가 간단하고 경제적인 광섬유 길이 측정법을 제안한다.

제안된 광섬유 길이 측정 장치의 구성은 그림 1과 같다. FP-LD에 적절한 직류 바이어스 전류를 인가한 상태에서 신호 발생기에서 출력된 주기적인 변조 신호를 인가하면 FP-LD는 여러 파장(다중 모드)의 펄스열을 출력한다. 이 펄스들은 광싸클레이터(Optical circulator)를 거쳐 피측정 광섬유(FUT : Fiber under test)의 한 단자로 입력되고, 피측정 광섬유를 통과한 후 다시 FP-LD로 재입사(궤환) 된다. 이 경우 궤환되는 광펄스들의 편광을 조절하기 위해 편광 제어기를 첨가할 수 있으며, 광과워분할기(Tap coupler)와 광스펙트럼 분석기(Optical spectrum analyzer)를 통해 광스펙트럼을 관찰할 수 있다.

제안된 측정 장치에서 궤환 되는 서로 다른 파장의 펄스들은 피측정 광섬유의 색분산 때문에 서로 다른 순간에 FP-LD로 재입사 된다. 여러 파장의 펄스들이 시간 편차를 두고 FP-LD에 입력될 때, FP-LD로 인가되는 총전류(직류 바이어스 전류와 변조전류 합)가 문턱전류(Threshold current)보다 큰 순간에 특정 파장의 펄스가 재입사되면, FP-LD는 그 파장에서만 발진하게 된다.⁽⁴⁾ 이와 같이 특정 파장에서만 레이저 발진이 일어나기 위한 조건은 그 모드의 궤환시간이 변조 전류 주기(주파수의 역수)의 정수배가 되어 그 파장의 광펄스가 항상 레이저에 인가되는 총전류가 문턱전류보다 큰 순간에 재입사되어야 한다. 따라서 특정 파장에서 레이저가 발진하기 위해서는 다음의 조건이 만족되어야 한다.

$$nL/c = N/ \quad (1)$$

여기서 n 은 피측정 광섬유의 굴절률, L 은 광섬유의 길이, c 는 자유공간에서 빛의 전파속도, F 는 FP-LD에 인가되는 변조 전류 주파수, N 은 임의의 정수이다. 식 (1)을 만족하는 상태에서는 광신호가 궤환 되는 경로(L)에 공간적으로 N 개의 광펄스가 분포하게 된다.

특정 파장이 발진하는 조건에서 FP-LD에 인가되는 변조 전류의 주파수를 변경하면 특정 파장 광펄스의 궤환 순간과 인가되는 총전류가 문턱값 이상인 순간 사이에 상대적인 시간편차(ΔT)가 발생한다. 변조주파수를 F 에서 미소량 ΔF 만큼 변경하면 상대적인 시간편차는 다음과 같다.

$$\Delta T = N(1/F - 1/(F + \Delta F)) \quad (2)$$

미소 주파수 변화량을 적절히 조절하여 레이저 다이오드가 동일한 특정 모드-변조 주파수가 F 인 경우 발진하는 모드-에서 발진하도록 제어할 수 있다. 즉 광신호의 궤환 경로(L)를 따라 공간적으로 $N+1$ 개의 광펄스가 분포하도록 미소 주파수 변화량을 설정하면 동일한 특정 모드에서 발진하고, 이 경우 $\Delta T=1/F$ 의 조건을 만족한다. 이러한 특성을 이용하여 피측정 광섬유의 길이를 계산할 수 있는데, FP-LD가 특정 파장에서만 발진하도록 설정한 후 변조 주파수를 연속적으로 변경하여 다시 동일한 모드에서 발진이 일어나기 위해 필요한 주파수 변화량을 ΔF 를 측정하면 광섬유 길이는 다음과 같다.

$$L = c/(n\Delta F) \quad (3)$$

제안된 측정법의 구현 가능성을 검증하기 위해 문턱전류가 5mA인 일반적인 Uncooled FP-LD를 사용하여 그림 1과 같이 장치하고, 여러 종류의 광섬유에 대한 길이를 측정하였다. 또 측정 결과를 거리해상도(spatial resolution)가 15m인 상용 OTDR(모델명:Anritsu MW9060A)을 사용하여 측정한 결과와 비교 검증하였다. 그림 2(a)는 궤환이 없을 때 FP-LD의 출력 스펙트럼이고, 그림 2(b)는 폐경로를 통한 자기궤환 레이저 발진이 일어났을 때 출력 스펙트럼인데, 폐경로를 통한 단일모드 발진을 쉽게 관찰할 수 있어 광섬유의 길이 측정에 이용할 수 있었다. 이 때 피측정 광섬유의 길이는 약 1 km 였다. 표 1은 LG전선에서 생산된 길이가 다른 여러 광섬유의 측정 결과이다. 제안된 장치를 사용한 결과는 상용 OTDR로 측정한 결과와 잘 일치 하였으며, 상용 OTDR을 사용한 결과와 오차는 1%이내였다.

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(20030386)지원으로 수행되었습니다.

REFERENCE

1. M.K. Barnoski et al, *Appl. Opt.* 16, 2375-2379 (1977).
2. Y. Horiuchi et al, *IEEE Photon. Technol. Lett.* 2, 291-293 (1990).
3. D. Huhse et al, *Electron. Lett.* 30, 157-158 (1994).
4. Ki-Hong Yoon, Jae-Won Song, Hyun Deok Kim, accepted for presentation at OFC2004, ThP5.

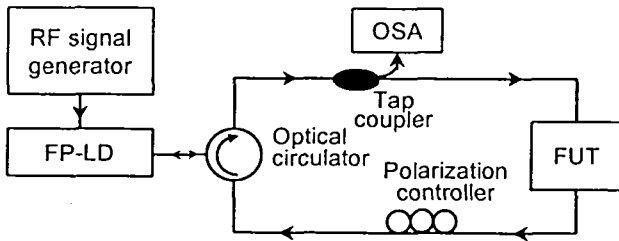
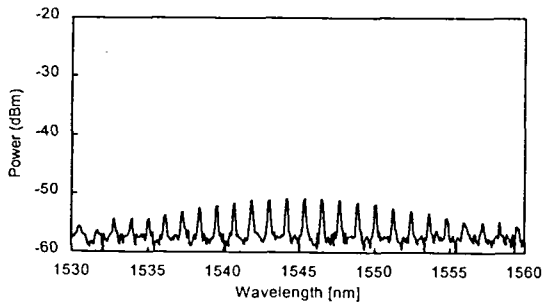


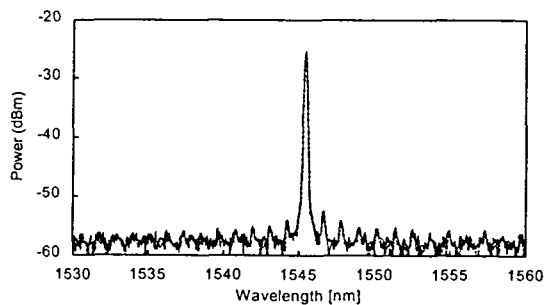
그림 1. 제안된 광섬유 길이 측정 장치의 구성도

표 1. 측정된 광섬유의 길이

제안된 방법[km]	상용 OTDR[km]
1.062	1.057
1.982	1.968
23.479	23.437



(a) 궤환이 없을 때



(b) 자기궤환 레이저 발진이 일어났을 때

그림 2. 측정된 광 스펙트럼