

## 이중 주파수 변조를 이용한 시간 영역에서의 공간 선택적 브릴루앙 광섬유 센서의 구현

### Spatially-Selective Brillouin Fiber Sensor in Time Domain Using Two Frequency Modulation

윤승철, 현진영, 박희갑  
전북대학교 물리학과  
amunra@paran.com

광섬유 내에서 발생하는 비선형 광학 현상의 하나인 브릴루앙 산란에 의해 발생하는 브릴루앙 천이 주파수는 광섬유가 겪는 물리 변수(온도, 스트레인, 압력 등)의 변화에 대해 선형적으로 변하는 특성을 갖는다. 따라서 브릴루앙 천이 주파수의 변화를 측정하면 광섬유 내부의 물리 변수의 변화를 계측하는 것이 가능하다.<sup>(1)</sup> 이러한 브릴루앙 산란을 이용한 광섬유 센서에는 펄스 형태의 광원을 사용하는 BOTDR(Brillouin Optical Time Domain Reflectometry) 방식과 BOTDA(Brillouin Optical Time Domain Analysis) 방식이 있는데, 공간 분해능이 광원의 펄스폭에 의해 제한되는 단점을 가지고 있다.<sup>(2)</sup>

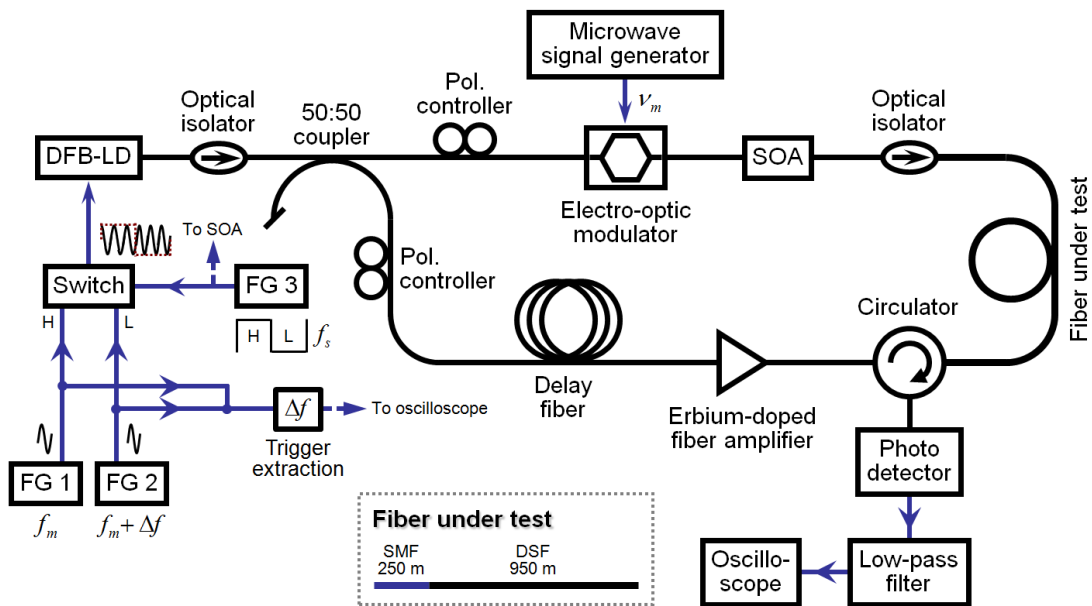


그림 1. 이중 주파수 변조된 광원을 이용한 브릴루앙 광섬유 센서 시스템 실험 구성도.

이러한 단점을 개선하고자 광주파수 변조된 연속 발진 형태의 광원을 사용하는 공간 선택적 브릴루앙 산란 방식이 제안되었다.<sup>(3-4)</sup> 공간 선택적 브릴루앙 산란 방식의 경우 광원의 광주파수를 정현파로 변조하여 광섬유의 특정 지점에서만 브릴루앙 이득 피크를 발생시킨 후, 브릴루앙 이득 피크에 의해 증폭된 프로브의 브릴루앙 천이 주파수를 측정하여 물리량 변화를 계측한다. 분포형 계측을 위해 브릴루앙 이득 피크를 스캔하는 방법으로는 광원의 변조 주파수를 조절하거나 펌프와 프로브 간의 광주파수 위상차를 조절하는 방법이 있다. 본 논문에서는 브릴루앙 이득 피크를 스캔하는 새로운 방법으로 이중 주파수 변조 방식을 제안하고, 이를 적용한 공간 선택적 브릴루앙 산란 방식의 광섬유 센서를 구성한 후 시간 영역에

서 분포형 계측 실험을 수행하였다.

그림 1은 이중 주파수 변조를 이용한 공간 선택적 브릴루앙 센서의 실험 구성도를 나타낸다. 광원의 주입 전류를  $f_m$  과  $f_m + \Delta f$ 의 주파수로 주기가  $1/f_s$ 가 되도록 교대로 변조한 후, 이를 둘로 나누어 펌프와 프로브로 이용하였다. 시험 광섬유에 서로 반대 입사된 펌프와 프로브에 의해 발생하는 브릴루앙 이득 피크는 변조 주파수 차  $\Delta f$ 에 의해 결정되는 속도로 일정하게 흘러간다. 프로브의 변조 주파수가 단일 성분만 존재하도록 반도체 광증폭기를 이용해 프로브 빛을 주기적으로 On/Off한 후 시험 광섬유에 입사시켰다. 시험 광섬유 내에 유도 브릴루앙 산란이 효율적이 발생하도록 편광 조절기를 이용하여 펌프와 프로브의 편광 상태를 일치시켰다. 유도 브릴루앙 산란에 의해 증폭된 프로브를 광검출기를 통해 검출하였다. 진폭 변조 효과를 제거하기 위해 저역 통과 필터를 제거한 후, 오실로스코프를 통해 관찰하였다.

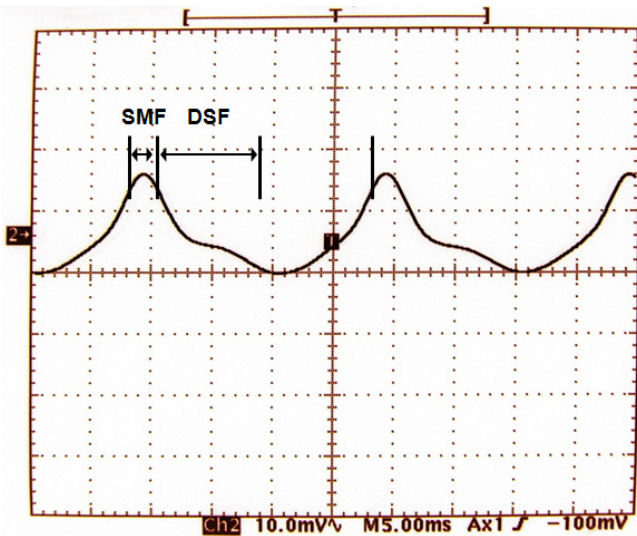


그림 2. 시험 광섬유의 분포형 계측 결과.

이 단일모드 광섬유 구간이며, 두 번째의 신호 크기를 갖는 구간이 분산천이 광섬유 구간이 된다. 단일모드 광섬유와 분산천이 광섬유의 경계점에서는 시스템의 공간 분해능의 한계로 인해 스텝 형태로 나타나지 않고 연속적으로 변하는 형태의 값을 갖게 된다.

이중 주파수 변조된 레이저 다이오드를 이용하여 시간 영역에서의 공간 선택적 브릴루앙 분포형 광섬유 센서를 구성하였다. 이중 주파수 변조를 통해 브릴루앙 이득 피크를 연속적으로 스캔할 수 있었다. 시험 광섬유를 브릴루앙 천이 주파수가 서로 다른 단일모드 광섬유와 분산천이 광섬유로 구성한 후, 이중 주파수 변조 방식을 통해 분포형 계측이 가능함을 실험적으로 확인하였다.

분포형 계측을 위해 브릴루앙 천이 주파수가 서로 다른 두 종류의 광섬유를 접속하여 시험 광섬유를 구성하였다. 시험 광섬유의 구성에 이용된 광섬유는 단일모드 광섬유와 분산천이 광섬유이며, 프로브의 입사 지점을 기준으로 단일모드 광섬유, 분산천이 광섬유 순으로 구성하였다. 단일모드 광섬유 구간에 브릴루앙 이득이 최대가 되도록 전기광학 변조기의 변조 주파수를 단일모드 광섬유의 브릴루앙 천이 주파수와 일치시킨 후, 분포형 계측을 수행하였다. 측정된 결과는 그림 2와 같다. 브릴루앙 이득 피크가 단일모드 광섬유를 지나가는 경우 브릴루앙 이득은 최대가 되며, 분산천이 천이 광섬유를 브릴루앙 이득은 감소하게 된다. 브릴루앙 이득 피크가 시험 광섬유를 벗어나게 되면, 브릴루앙 이득은 제일 작아진다. 그림 2에서 광검출기의 신호가 가장 큰 부분

1. G. P. Agrawal, "Nonlinear Fiber Optics, (Academic Press, USA), 370-384, (1995).
2. H. Naruse and M. Tadeta, "Trade-off between the spatial and the frequency resolutions in measuring the power spectrum of the Brillouin backscattered light in an optical fiber", Applied Optics, 38, 6516-6521, (1999).
3. K. Hotate and M. Tanaka, "Distributed fiber Brillouin strain sensing with 1-cm spatial resolution by correlation-based continuous-wave technique", IEEE Photon. Technol. Lett., 14, 179-181, (2002).
4. 서민성, 윤승철, 현진영, 박희갑, "공간 선택적 브릴루앙 산란을 이용한 분포형 광섬유 센서의 실험", 한국광학회지 17, 223-230, (2006).