

광섬유에서 유도되는 라만 신호를 이용한 온도 센서 특성

Characterization of fiber temperature sensor by using Raman signal

송임강*, 김덕현**, 정해두**, 백성훈***, 차형기***, 김용기*, 류지욱*

*공주대학교 물리학과, **한밭대학교 교양학부,

***한국원자력연구원 양자광학기술개발센터

dhkim7575@paran.com

광섬유를 이용하여 온도나 압력 혹은 변형을 측정하는 기술은 위험한 환경이나 접근이 불가능한 곳에서도 응용이 가능하고 광섬유는 가볍고, 화학적으로 안정하며, 그리고 쉽게 구부리거나 변형을 시킬 수 있기 때문에 많은 연구가 이루어지고 있다. 특히 광섬유를 이용하는 방법은 원격측정이 가능하고 1차원적이거나 거리에 따른 온도/변형의 공간적인 분포를 알 수 있기 때문에 기존의 포인트 측정 장치에 비하여 많은 장점이 있다. 이러한 장치는 발전소-도시간의 송전시설의 온도 측정용, 고전압변환기의 감시, 댐이나 다리의 변형감시 등과 같은 곳에 사용이 가능하다. 광섬유를 이용하여 온도나 변형을 측정하는 연구는 크게 일반 광섬유를 이용하는 방법과 광섬유회절판(fiber grating)을 이용하는 방법이 있는데, 본 연구에서는 일반 광섬유를 이용하는 방법을 택하였다. 일반적으로 광섬유회절판을 사용하면 온도나 변형에 매우 민감하나 고가이고 제작이 어렵다⁽¹⁾.

광섬유에서 산란된 신호 중에서 anti-stokes 산란은 온도에 의존하여 그 산란 특성이 변화하고 Brillouin 산란은 온도와 변형(strain)에 의존하기 때문에 변형을 측정하기 위하여 1차적으로 온도를 측정하여야한다⁽²⁻³⁾. 광섬유 내부에서 일어나는 라만 산란신호는 대기에서와 달리 레이저의 출력이 커지면 쉽게 유도라만 산란이 일어난다. 광섬유 내부에서 일어나는 신호의 특성은 아래 식과 같이 표현된다.

$$\frac{dP}{dz} = -\alpha P + \frac{\hat{g}_{II}}{A_{eff}} \left[\frac{P}{K} + h(\Omega, T) \frac{\hbar\omega}{2\pi} d\omega \right] P_0$$

여기서 z 는 거리, P 는 파장이 ω 산란광의 세기, ω 라만 산란 신호의 주파수, α 는 광섬유의 손실, \hat{g}_{II} 라만신호의 이득, A_{eff} 광섬유의 유효단면적, K 상수, $h(\Omega, T)$ 자연발광의(spontaneous emission) 온도의존 특성 그래프, $\Omega = \omega_0 - \omega$ 라만 이동, T 온도, \hbar 프랑크상수, P_0 레이저 세기 등을 나타낸다. 여기서 온도의존 특성 식은 다시 다음과 같이 표현된다. 레이저 출력이 너무 크면 유도라만 산란이 강하게 일어나서 온도에 대한 정보가 살아지므로 레이저의 첨두 출력을 제어하여 유도라만 산란이 일어나지 않도록 하여야 한다. 그림 1 은 레이저 파장 주위에서 일어나는 온도에 따른 라만 산란 스펙트럼을 보여준다. 계산에 사용된 레이저의 파장은 1064nm 이고 10 mW 평균출력, 10 KHz 그리고 10 nsec의 펄스폭을 지니고 있는 레이저에 대하여 계산한 것이다. 본 연구에서는 Anti-stokes 라만 신호를 이용하여 온도를 측정하기 위하여 온도변화에 따라 라만 신호의 후방산란 신호가 어떻게 변화하는지 레이저 출력, 광섬유의 온도, 그리고 레이저 빔의 분광학적 시간적 특성에 따라 그 특성을 이론적으로 연구하였다.

H/W 적인 측면에서는 라만 산란 신호를 측정하기 위한 라만 산란신호 측정용 수신광학계를 디자인하고 설계하여 그 특성을 알아보았다. 이를 위하여 두 개의 회절판으로 구성된 이중 monochrometer를 설계하였으며 그 투과 특성을 조사하였다. 그림 2는 본 연구에서 개발한 수신장치의 개념도를 나타낸 것이다. 레이저를 통하여 출력되는 신호는 먼저 1km의 광섬유로 입력되고 광섬유에서 후방산란된 신호는 1:2 광 coupler에 의하여 이중 monochrometer로 입력된다. 신호는 두 번의 회절판에서 그림과 같이 회절되고 원하는 anti-stokes 라만 산란 신호와 stokes 라만 신호 그리고 905 nm의 원래 레이저파장을 얻는다. 그림 3은 이러한 방법으로 얻은 라이다 신호의 전형적인 모양을 보여준다. 그림에서 알 수 있듯이 광섬유가 끝나는 곳에서 반사된 빛이 라만채널로 입사되는 것을 볼 수 있는데, 이러한 점으로 미루어 온도센서용 광섬유의 끝은 반사각을 달리해서 후방산란 방향으로 빛이 반사가 일어나지 않도록 설계해야한다는 것을 볼 수 있다.

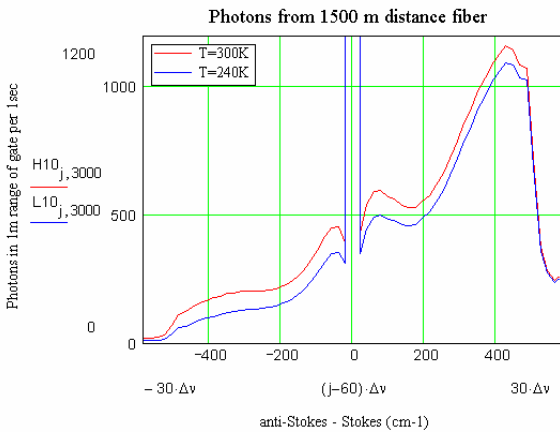


그림 1. 라만 산란 스펙트럼

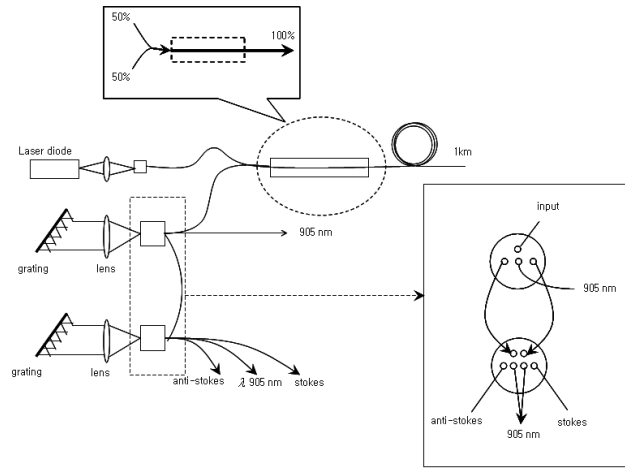


그림 2. 라만 신호를 얻기 위한 수신광학계의 개략도

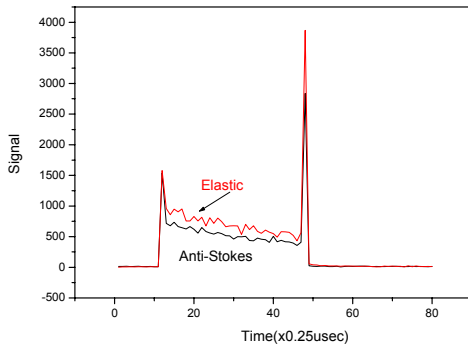


그림 3. 1 km 광섬유에서 얻은 Anti-stoke 라만 신호

1. Ju Han Lee, etc., optics express, Vol. 12, 3515(2004)
2. M. N. Alahbabi, etc., Optics Letters, Vol. 30, Issue 11, 1276-1278(2005)
3. Sanjay Kher, etc., CURRENT SCIENCE, VOL. 83, 1365(2002)