

라만 광섬유 증폭기에서 OTDR을 이용한 이득 예측에 관한 연구

Prediction of Gain in Raman Amplifier using OTDR

박재형, 김필한, 박중환, 박남규

서울대학교 공과대학 전기컴퓨터공학부, 광통신 시스템 연구실

jhpark@stargate.snu.ac.kr

1. 서론

필요한 대역폭이 점점 증가함에 따라서 넓은 대역의 증폭기가 필요하게 되고, 이에 대한 필요로 라만 증폭기에 대한 연구가 많이 진행되고 있다^[1]. 이러한 라만 증폭기를 디자인하는 데에 있어, 필요한 이득에 대한 매질의 특성 및 펌프의 파장과 파워를 구하는 것이 필요하다^[2]. 기존에 이러한 연구들이 시뮬레이션 등을 통한 방법^[3]으로 많이 진행되어 왔으나, 그 디자인의 정확성이나 복잡성에서 다소 문제점들을 가지고 있었다. 여기서는 OTDR을 이용해서 광섬유를 따라 진행하는 펌프의 변화추이를 볼 수 있다는 것을 이용해서 최소의 측정 데이터만을 가지고, 라만 증폭기의 성능을 예측함으로써 좀 더 간단하고, 정확하게 라만 증폭기를 디자인할 수 있는 방법에 대해 살펴보겠다.

2. 실험

라만 증폭기의 펌프가 광선로를 지나가면서 생기는 파워의 변화추이를 살펴보기 위한 실험 구성도가 그림 1에 나타나 있다. 1420nm, 1435nm, 1450nm의 출력 파장을 가지는 펌프 LD(Laser Diode)를 사용하였다. 이 때 OTDR의 Tx 회로부를 새로이 디자인하여, 각각의 LD는 OTDR의 Tx로도 사용할 수 있게 하였다^[4]. 라만 증폭 매질은 40km의 분산천이광섬유(DSF)를 사용하였고, OTDR의 Rx로 다른 펌프가 들어오는 것을 막기 위해 파장가변 필터를 사용하였다. 이와 같은 구성으로 후방 입력 펌프 라만 증폭기 구조에 대해 실험하였다.

3. 결과

라만 증폭기의 이득은 다음과 같이 간단하게 표현할 수 있다^[5].

$$G_{on/off} = P_s(L)/P_s(0) / \exp(-\alpha_s L) = \exp(g_0 P_p(L) L_{eff} / 2A_{eff}) \tag{1}$$

여기에서 $P_s(z)$ 는 z-방향에 대한 신호의 파워이고, α_s 는 신호 파장에서 광섬유 감쇄 계수, g_0 는 라만 이득 계수, L_{eff} 는 광섬유의 유효 거리, A_{eff} 는 광섬유의 유효면적을 의미한다. 이 때, 광섬유의 유효거리 L_{eff} 는 OTDR을 이용해 펌프의 변화추이를 적분함으로써 계산할 수 있고, 파장 의존 상수인 $g_0/2A_{eff}$ 는 아래 식(2)와 같이 입력 라만 펌프 파워와 그 때, 계산된 유효거리와 이득으로 계산될 수 있다.

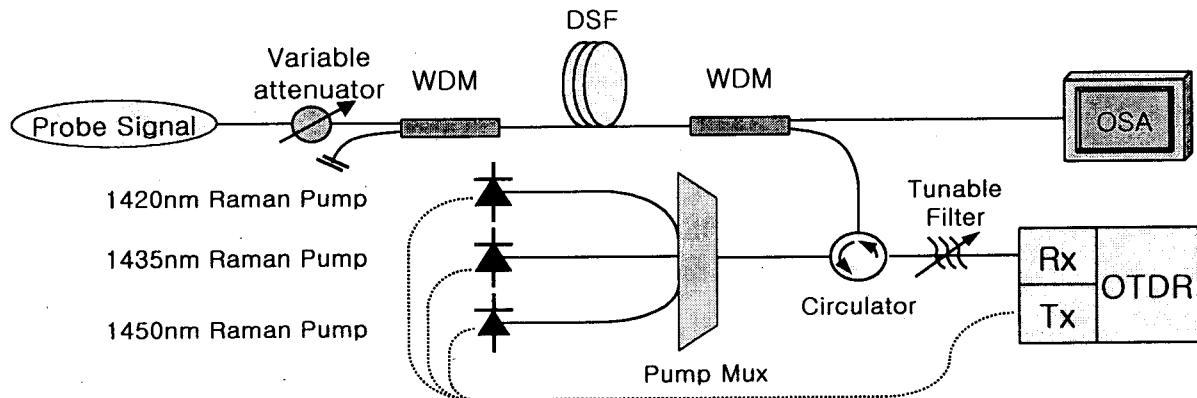


그림 1. 실험 구성도

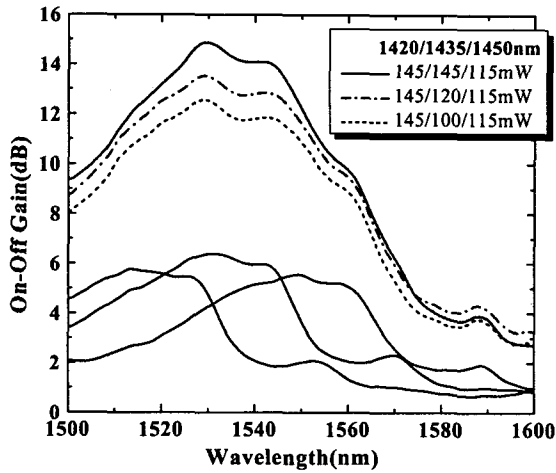


그림 2. 측정된 단일/다중 펌프 라만 이득 파형

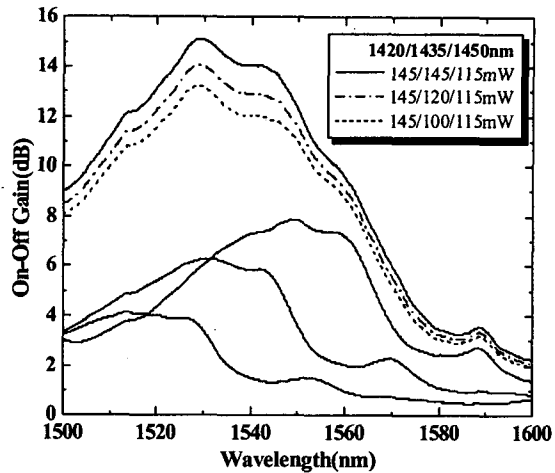


그림 3. 계산된 다중 펌프 라만 이득 파형과 각 펌프의 기여도

$$L_{eff} = \int_0^L P_P(z)/P_P(L) dz, \quad \frac{g_0}{2A_{eff}} = \frac{\ln G_{on/off-R}}{L_{eff-R} P_{P-R}(L)} \quad (2)$$

여기에서 $P_{P-R}(L)$ 은 기준이 되는 입력 펌프의 파워이고, L_{eff-R} 은 이로부터 계산된 유효거리, $G_{on/off-R}$ 은 이 때의 측정된 이득이다. 이 식을 정리해 보면 식(3)과 같이 증폭기의 매질이 되는 광섬유의 내부 상수들(이득 계수, 유효 면적 등)을 모르더라도, 광섬유 내에서 진행되는 펌프의 변화 추이를 적분하는 것만으로, 다른 펌프 파워에서의 이득을 계산해 낼 수 있다.

$$G_{on/off} = G_{on/off-R} \cdot \frac{\int_0^L P_P(z) dz}{\int_0^L P_{P-R}(z) dz} \quad (3)$$

이 때, 여러 파장의 펌프가 들어갔을 경우에 위에서 설명한 실험 구성을 통해 다른 펌프에 의해 영향을 받은 펌프의 변화추이를 OTDR을 통해 측정해 내면, 다중 펌프 조건에서 한 펌프가 라만 증폭기에 기여하는 이득을 계산할 수 있다. 또, 라만 증폭기의 이득은 Inhomogeneous한 특성을 가지기 때문에, 다중 펌프 조건에서도 이득을 계산해 낼 수 있게 된다.

그림 2는 세 가지 조합으로 세 파장의 펌프를 넣었을 때의 라만 증폭기의 이득 스펙트럼과, 위의 식에서 언급한 각각 기준이 되는 펌프 한 개씩을 넣었을 때의 이득 그림이다. 또, 위에서 제안한 알고리즘에 의한 방법으로 계산된 라만 이득 파형과, 다른 펌프에 의해 영향을 받은 단일 펌프가 기여하는 이득을 그림 3에서 볼 수 있다. 두 그림 모두 단일 펌프의 경우는 실선으로 표시된, 1420/1435/1450nm의 펌프에 대해 각각 145/145/115mW의 파워를 넣은 경우의 이득 그림이다. 그림 2에서의 단일 펌프들에 의한 이득이 그림 3에서처럼 다른 두 펌프에 의해 영향을 받아 기여하는 이득 정도가 변한 것을 볼 수 있다. 또한, 실험적으로 측정된 라만 증폭 이득과 본 논문에 제안된 방법으로 계산된 이득 사이의 오차가 0.5dB 이하로 나타남을 볼 수 있었다.

4. 결론

본 논문에서 OTDR을 이용해서 라만 광섬유 증폭기 내에서 펌프의 변화추이를 살펴보는 방법에 대해 제안하고, 실험적으로 검증하였다. 단지, 하나씩의 측정된 펌프 변화추이 기준 데이터만으로 어떠한 크기의 펌프 조합에 대해서도 라만 증폭기의 이득을 계산해 낼 수 있었다. 이로부터, 라만 광섬유 증폭기의 증폭 매질인 광섬유의 특성을 모르더라도 간단한 측정만으로 다중 파장의 다양한 파워의 증폭기의 이득을 예측함으로써 라만 증폭기 설계에 있어서 효율적인 방법을 제시하였다.

5. 참고 문헌

- [1] Howard Kidorf et. al., IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 11, no. 5, pp. 530-532, (1999)
- [2] D. Mahgerefteh et. al., OFC'97, WL27, (1997)
- [3] B. K. Min et. al., IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 12, no. 10, pp. 1486-1488, (2000).
- [4] P. H. Kim et. al., IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 13, no. 10, pp. 1136-1138, (2001).
- [5] T. Hoshida et al., OFC'01, MI3, (2001).