

## 광섬유 특성에 따른 라만 이득 변화

### Variation of Raman Gain in fiber characteristics

\*\*\*김준희, \*\*\*배준기, \*\*\*최선민, \*\*정제명, \*김상혁, \*이상배

\*한국과학기술연구원 광기술연구센터, \*\*한양대학교 전자통신전파공학과

e-mail : [nullstate@kist.re.kr](mailto:nullstate@kist.re.kr)

**Abstract.** 광섬유의 길이 변화 및 다양한 광섬유 종류에 따른 라만 이득 특성을 비교 분석해 보았다. 사용된 광섬유의 종류로는 SMF 와 DSF, 그리고 NA값에 따른 라만 이득을 관찰하기 위하여 높은 NA 특성을 가지는 광섬유를 제작하여 사용하였다.

최근 대용량의 장거리 전송을 위해서 넓고 평탄한 이득 대역폭을 가지는 WDM 시스템용 광증폭기가 요구되고 있다. 이를 위해서 C-L Band EDFA 보다도 더 넓은 대역폭을 얻기 위한 방법들이 많이 연구되어 왔다.<sup>(1,2)</sup> 이런 연구들 중에서 라만 광섬유 증폭기가 가지고 있는 장점은 다른 광대역 증폭기들에 비해 넓고 유연성 있는 이득 대역폭을 가지고, 시스템 SNR에 영향을 미치는 잡음지수가 낮다는 것이다.<sup>(3)</sup> 이러한 라만 광섬유증폭기를 이용해서 높은 효율과 넓은 이득 대역폭을 얻기 위해서는 충분한 파워의 펌프 광원의 선택과 더불어 적절한 광섬유의 선택이 중요하다. 라만 광섬유 증폭기에서 광학적인 이득  $g$ 는 펌프 세기에 비례하기 때문에, 증폭기의 이득은 다음 식과 같이 얻을 수 있다.

$$g(w) = g_R(w)(P_p/a_p) \quad (1)$$

여기서,  $g_R$ 은 라만 이득 상수,  $P_p$ 는 펌프 파워 이고,  $a_p$ 는 광섬유 내에서 펌프 빔의 유효 면적이다. 라만 증폭은 높은 세기의 빛을 필요로 하는 비선형 현상이기 때문에, 식 (1) 에서와 같이 작은 유효면적을 갖는 광섬유가 펌프의 효율 면에서 좋다는 것을 쉽게 생각할 수 있다. 그러므로 코어 반지름이 줄어들거나 인덱스 차이(NA)가 커질수록 라만 광섬유증폭기는 낮은 문턱값에서 동작하고, 주어진 펌프 파워에 대해서도 더 큰 이득을 얻을 수 있다.<sup>(4)</sup> 본 논문에서는 라만 이득의 효율을 높임으로써 라만 증폭기의 성능을 향상시키기 위한 실험을 하였다. 실험내용으로는 광섬유 종류 및 길이에 따른 라만 이득의 특성을 비교분석하였으며, 특히 종전에 제시 되지 않았던 광섬유 NA 값에 따른 라만 이득의 변화를 관찰하였다.

그림 1은 실험 구성도를 나타낸 그림이다. 사용된 라만 펌프 레이저는 총 4개로써 1425, 1435, 1455, 1465nm 의 파장대역을 가졌으며, 각각 최고 300mW 의 파워를 가지는 LD를 연결하여 사용하였다. 4개의 LD 는 combiner 로 연결하여 backward 펌핑을 시켰으며, 4개의 LD가 커플링 되어 출력되는 총 파워는 1W 이다. 신호 입력단에 사용된 Isolator는 backward 펌핑시 1W 의 높은 파워가 신호 소스인 가변 레이저로 입사됨으로써 가해지는 레이저 손상을 막기 위해 사용되어졌다. 일반적으로 라만 펌프는 파장 및 파워를 적절히 조절함으로써 라만 이득 대역 및 리플을 조정 할 수 있으며, 본 실험에서는 4개의 LD 파워를 각각 300mW를 사용함으로써, C-band에서 0.8dB 의 이득 리플을 얻을 수 있었다.

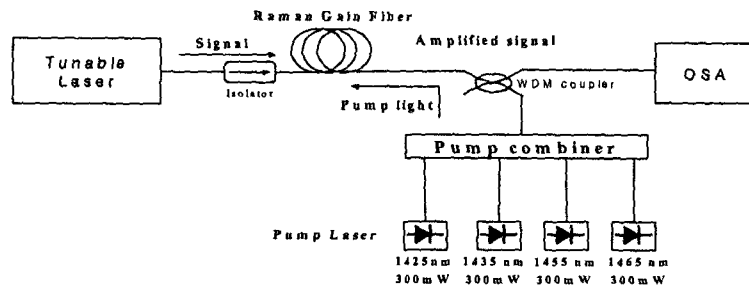
그림 2는 NA=0.12 인 SMF (Single Mode Fiber) 에서 길이에 따른 라만 이득 특성을 나타낸 결과이다. 25km, 50km, 75km 에서의 라만이득은 각각 광섬유 25km 증가시 약 5dB 이득 증가를 보였으며, 라

만이득이 광섬유 길이에 비례한다는 이론치와 같은 결과를 보였다.

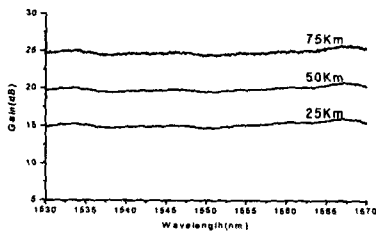
그림 3은 SMF 와 DSF 의 라만 이득 비교를 나타낸 결과이다. 사용된 두 광섬유의 특성은 SMF 와 DSF 각각 코어 유효 단면적  $80\mu m^2$ ,  $50\mu m^2$ , 길이 25Km, 15Km를 사용하였다. 실험 결과 SMF = 15dB, DSF = 18dB 의 이득 결과를 보였으며, 이 결과는 SMF 보다 오히려 길이가 10Km 나 더 적은 DSF에서 더 큰 라만 이득을 보였다. 그 이유는 라만이득을 높이는 요소로써, 광섬유 길이는 선형적으로 비례하는 반면, 광섬유 코어 유효단면적에 따른 라만 이득은 e 지수함수에 반비례하기 때문이다.

그림 4는 NA 값에 따른 라만 이득의 비교 실험 결과이다. NA=0.25 인 광섬유는 본 실험실에서 MCVD 공정을 거쳐서 직접 제작하였으며, NA=0.12는 그림 2의 결과에서 사용된 SMF를 사용하였다. 사용된 길이는 NA 0.25 과 0.12에서 각각 70m 와 100m를 사용하였다. 그 결과로써 길이가 상대적으로 작은 NA 0.25인 광섬유에서 더 큰 라만 이득을 얻었다. 이것은 인덱스 차이가 커질수록 코어쪽에 더 큰 펌핑 파워를 응집 시킴으로써 라만 이득의 효율을 높였기 때문이다.

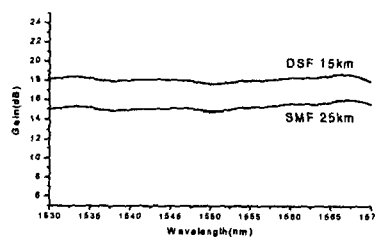
지금까지 우리는 광섬유 종류에 따른 라만 이득 특성에 대해 살펴보았다. 본 실험 결과에서 나타난 것처럼 라만 이득을 높일 수 있는 방법으로는 일반적으로 광섬유의 길이에 따른 이득 특성보다는 광섬유의 특성 자체를 바꾸는 것이 더욱 효율적임을 알 수 있다. 그림 3과 4에서 알 수 있듯이 광섬유의 길이가 상대적으로 작음에도 불구하고 특성이 다른 광섬유가 더 큰 라만 이득을 얻을 수 있었다. 그 특성으로는 코어의 유효단면적과 광섬유의 NA 값에 따른 변화가 있었는데, 특히 NA 값에 따른 라만 이득의 특성은 NA가 높아짐에 따라 현저하게 높은 라만 이득을 얻을 수 있었다.



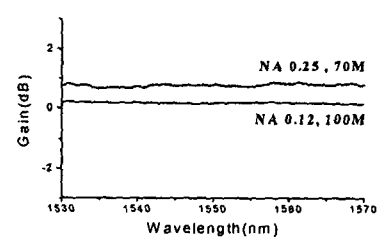
[그림 1] 실험 구성도



[그림 2] SMF길이에 따른 이득 비교



[그림 3] SMF & DSF 이득 비교



[그림 4] NA에 따른 이득 비교

참고 문헌

[1] B. Min, H. Yoon, W. J. Lee, and N. Park, IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 12, p. 480, 2000.  
 [2] H. Masuda, Optical Fiber Communication Conference 2000 (Optical Society of America, USA 2000), Paper TuA1, March 2000.  
 [3] V. Curri, "System advantages of Raman amplifiers," NFOEC 2000, pp. 35-46, October 2000.  
 [4] Z. Gills and A. Judy, "New requirements for long haul optical transmission fiber," NFOEC 2000, pp. 20-26, October 2000.