

향상된 되먹임 결합구조를 가진 브릴루앵/어븀 광섬유
레이저에서 연속된 고차 스토크스 신호의 발생

Cascaded high-order Stokes Generation in Brillouin/Erbium
Fiber laser with Enhanced Feedback Coupling

박갑동, 이재형, 장준성
레이저및양자광학실, 서울대학교 물리학과
jailee@phya.snu.ac.kr

최근 광통신 시스템에서는 파장분할다중화(WDM) 방식의 도입으로 인해, 한 개의 레이저 신호를 입사시켜 여러 개의 레이저 신호를 발생시켜 광원으로 사용하는 연구가 활발히 진행되어 왔다. Park et al.[1]은 Erbium Doped Fiber Laser(EDFL)에서 1.1nm 파장간격으로 24라인을 얻었고, Yamashita et al.[2]은 내부 에탈론 구조를 가진 EDFL에서 0.8nm 간격으로 17라인, D.Yu et al.[3]은 반사형 거울과 Circulator를 사용한 Brillouin/Erbium Fiber Laser(BEFL)에서 0.08nm 간격으로 30라인, G.J.Cowle et al.[4]은 Injection-Seed Locking을 이용한 BEFL에서 0.09nm 간격으로 12라인 그리고 N.S.Kim et al.[5]은 내부 되먹임을 이용한 BEFL에서 0.09nm 간격으로 4라인을 각각 발생시켰다. 여기서 중요한 요소로는 발생된 레이저 신호의 안정성, 각 신호들 간의 파장간격, 레이저 신호의 수 그리고 Peak Intensity 간의 차이 등이 있는데 각 연구방식에 따라 다양한 결과를 보여준다. 본 실험에서는 향상된 되먹임 구조를 가진 BEFL에서 다파장 발생에 관한 연구를 하였다.

BEFL은 유도 브릴루앵 산란(Stimulated Brillouin Scattering,SBS)에 의한 이득과 어븀이 첨가된 광섬유 증폭기(Erbium Doped Fiber Amplifier,EDFA)에 의한 이득을 링형 광섬유 공진기내에서 결합시켜 일차 스토크스 신호를 발생시킨다. 그림1에서 SMOC2/EDFA2/Circulator의 되먹임 구조를 제거한 경우, 입사하는 펌프빔인 Brillouin Pump(BP)가 Single Mode Optical Coupler(SMOC)1을 통해 공진기 안으로 결합되고, Single Mode Fiber(SMF)에서 유도 브릴루앵 산란에 의해 파장이 0.09nm 증가한 일차 스토크스 신호가 입사된 펌프빔과 반대인 반시계방향으로 발생하여 진행하면서 일부는 SMOC에서 손실로 빠져나가고 나머지는 주공진기내에서 Circulator를 지나 EDFA에 의해 증폭되어 Stokes Mode를 이룬다. SMF에서 산란되지 않고 진행한 펌프빔이 EDFA1에서 이득을 얻어 일차 스토크스 신호의 효율적 발생을 방해하지 않도록 Faraday Isolator를 사용하여 시계방향의 스토크스 신호만 발생하도록 했다.

이차 이상의 고차 스토크스를 연속적으로 발생시키기 위해서는 SMOC2/EDFA2/Circulator에 이르는 되먹임 구조가 필요하다. 주공진기에서 발생한 스토크스 신호의 일부를 SMOC2(90:10)를 통하여 뽑아내어 EDFA2에서 일정한 문턱세기 이상으로 증폭한 뒤, Circulator를 통해 다시 반시계방향으로 SMF에 입사시킨다. 그러면 일정한 파장간격을 가진 고차 스토크스가 연속적으로 발생한다. 이 때 Circulator는 되먹임된 신호를 높은 비율로 주공진기에 결합시킨다. 주어진 공진기 조건하에서 최대의 스토크스 개수를 주는 입사빔의 파장은, 입사빔을 켜지 않은 상태에서, EDFA1/2에 의한 Amplified Spontaneous Emission(ASE) 곡선에 의해 결정된다. EDFA1의 세기가 EDFA2에 비하여 상대적으로 큰 경우, 저차의 스토크스들이 안정된 동작을 보이는 반면 차수가 증가함에 따라 급격하게 신호의 세기가 문턱세기 아래

로 약해져 스토크스 신호의 개수는 줄어든다. 반대의 경우, 스토크스 신호들의 개수는 늘어나면서 신호들의 세기가 줄어드는 정도는 작지만 EDFA2의 세기가 일정한 값 이상이 되면 심한 불안정성을 보이게 된다. 이 값보다 작은 안정된 발생 영역에서 입사빔의 세기를 증가시키면 그림2,3에서와 같이 두 극한의 경우를 보이며, 두 입사세기 사이에서 최적화된 결과를 얻을 수 있었다. 이 경우 스토크스 신호들의 세기가 10dB 이상의 차이가 나는데, 두 개의 Polarization Controller(PC)를 사용하여 평탄화 시켰다. 그림4는 최종적으로 얻은 결과이다.

우리는 입사빔의 세기, 입사빔의 파장, EDFA1/2용 980nm 펌프의 세기 그리고 되먹임 결합비율 들과 스토크스 신호들의 관계를 연구하여 55개의 스토크스 신호를 얻을 수 있었고, Polarization 상태를 조절하여 49차까지 3dBm이내로 신호들의 세기를 평탄화 시킬 수 있었다.

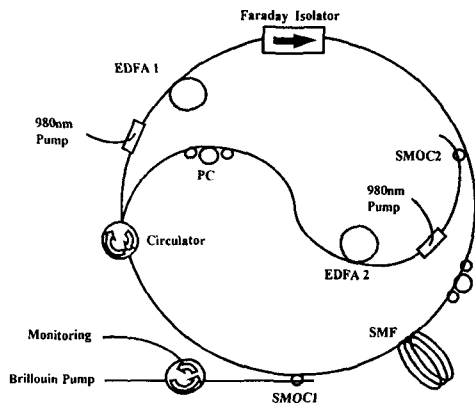


그림1. 실험구성도

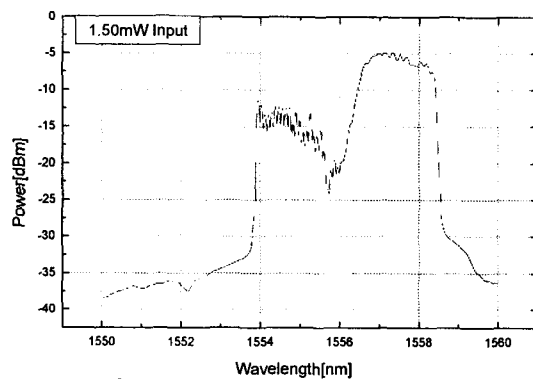


그림2. 스토크스 스펙트럼 (1.5mW BP)

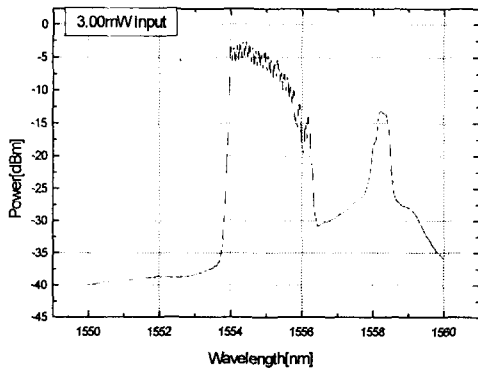


그림3. 스토크스 스펙트럼 (3.0mW BP)

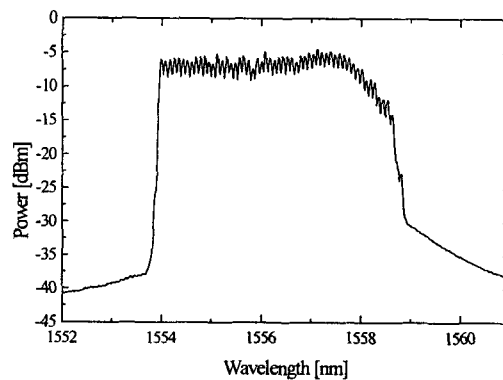


그림4. 최적화된 스토크스 스펙트럼 (2.15mW BP)

참고문헌

- [1] N.Park, 24-line Multiwavelength operation of EDFL, IEEE PTL, 1996, 8, pp.1459-1461
- [2] S.Yamashita, Multiwavelength EDFL using intracavity etalon, Electron. Lett., 1996, 32, pp.1298-1299
- [3] D.Yu et al., CLEO97, Baltimore, paper CtuG6
- [4] G.J.Cowle, Multiwavelength Operation of BEFL with injection-locked Seeding, OFC97, Dallas, paper TuH7.
- [5] N.S.Kim, Multi-Wavelength Operation of EDFA-Enhanced BEFL, Elect. Lett., 1998, 34, pp.673-675[1]