

Pr³⁺이 첨가된 광섬유 증폭기의 이득회복 특성

Characteristics of Gain Recovery Effect in Pr³⁺-Doped Fiber Amplifier

이재명, 이영우
 목원대학교 전자 및 컴퓨터 공학과
 ywlee@mokwon.ac.kr

1.3 μ m 대역에서 증폭특성을 갖는 광섬유 증폭기인 Praseodymium-doped fiber amplifier(PDFA)는 Ohishi 등에 의해서 처음으로 제안되었다⁽¹⁾. 수십 nm의 이득 대역폭을 갖고, 30dB 이상의 높은 신호 이득을 갖는 PDFA는 1.3~1.6 μ m에 이르는 광대역 WDM을 위한 중요한 증폭기로 사용되고 있다.

최근에는 1.3~1.6 μ m에 이르는 광대역 WDM을 위해 광섬유 증폭기의 이득을 shift시키고, 이득 평탄화를 위한 많은 연구가 진행되어지고 있으나, 광섬유 내에서 초고속의 광 신호를 증폭 시 발생할 수 있는 상호채널 간섭, 상호변조 왜곡, bit rate 높은 펄스열의 증폭 시 발생할 수 있는 이득소멸(gain depletion)과 이득회복(gain recovery) 등과 같은 과도응답 현상에 관한 연구는 충분히 보고되어있지 않다. 증폭 변조된 신호의 포화를 유발시키는 crosstalk에 의해 발생하는 상호채널 간섭은 광섬유 증폭기의 캐리어 강도 혹은 반전 분포를 감소시키는 영향을 미치며, 공간적으로 서로 인접한 주파수 변조된 채널들에 의해서 상호변조 왜곡도 발생할 수 있다.

본 논문에서는 PDFA의 증폭특성과 고밀도 펄스 열 증폭시의 이득소멸 및 이득회복에 대한 연구를 행하여, PDFA에서 펌프 파워와 펄스 간 간격에 따른 이득 포화와 복구시간을 예측할 수 있었고, 이로부터 광 펄스의 증폭에 미치는 영향을 알아보았다.

과도현상의 분석을 위해 1.3 μ m에서 증폭특성을 갖는 PDFA의 증폭 모델을 개발하였다. 그림 1은 본 수치해석에 사용된 Pr³⁺의 4준위 에너지 모델을 보인다.

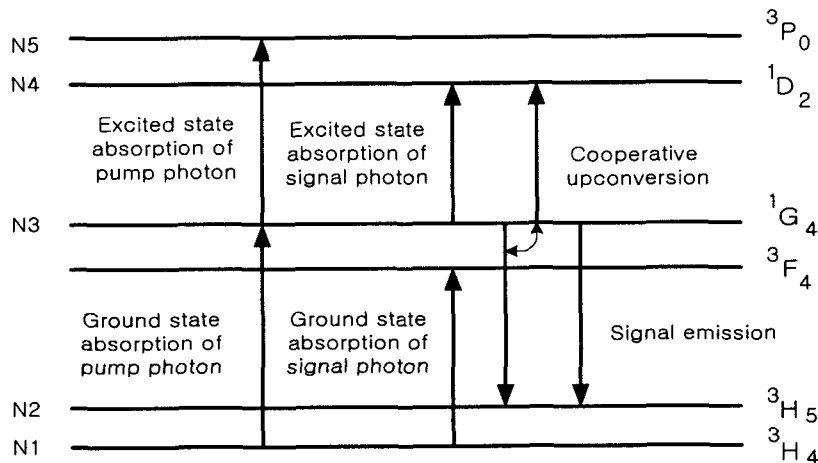


그림 1. Pr³⁺의 에너지 준위

본 수치해석 모델에서는 그림 1에서 보이는 바와 같이 PDFA에 영향을 미치는 ESA(Excited State Absorption)를 고려하였다. 광섬유 증폭기의 임의의 위치에서 시간과 입력 펄스에 따른 이득회복 시간에 관한 과도현상을 조사하였다. 수치해석에 사용된 주요 방정식은 다음과 같다.

$$dN_3/dt = W_{13}N_1 - (W_{35} + W_{34} + W_{32} + W_{31} + 1/\tau_3 + CN_3)N_3 + B_{43}N_4/\tau_4 + B_{53}N_5/\tau_5 \quad (1)$$

$$dN_4/dt = (W_{35} + CN_3/2)N_3 - N_4/\tau_4 \quad (2)$$

$$dN_5/dt = W_{35}N_3 - N_5/\tau_5 \quad (3)$$

C 는 1G_4 준위에서 1D_2 준위로의 cooperative upconversion 계수이고, W_{ij} 는 i 와 j 준위 사이의 천이율이다. W_{13} , W_{31} , W_{32} , W_{34} , W_{35} 는 $P\sigma_{13}\eta_p / Ahv_p$, $P\sigma_{31}\eta_p / Ahv_p$, $P_s\sigma_{32}\eta_s / Ahv_s$, $P_s\sigma_{34}\eta_s / Ahv_s$ 와 $P_s\sigma_{35}\eta_s / Ahv_s$ 로 각각 주어진다. 여기서 P 는 펌프파워이고 σ_{ij} 는 i 와 j 준위 사이의 유도방출 단면적, $\eta_{p,s}$ 는 코어에서의 펌프파와 신호파의 파워이다. A 는 코어직경, h 는 플랑크 상수, $v_{p,s}$ 는 펌프와 신호파의 주파수이고, P_s 는 신호파워이다. 2준위의 밀도 N_2 는 존재하는 즉시 기저 준위로 떨어지므로 2준위에 대한 밀도는 무시하였다. 그러므로 총 밀도는 $N_t = N_1 + N_3 + N_4 + N_5$ 로 계산하였다.

M
C

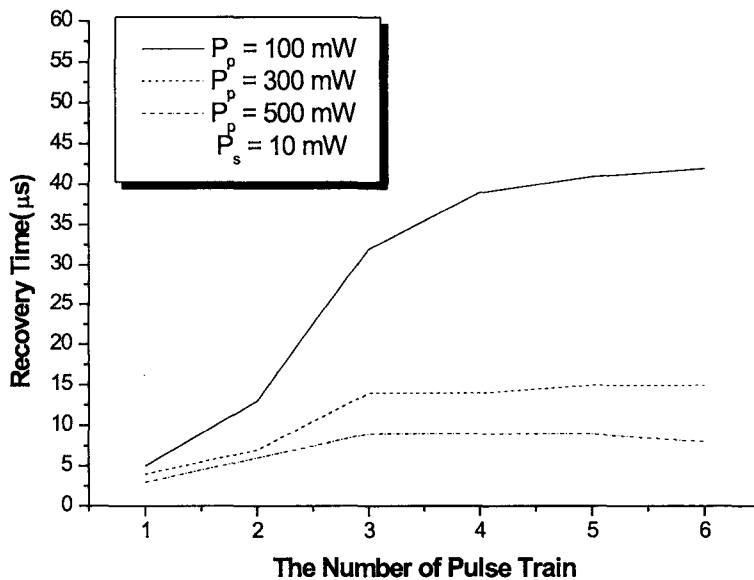


그림 2. 펄스간의 간격에 따른 recovery 시간과 펌프 파워

그림 2는 펄스 열과 펌프 파워에 따른 이득회복 특성의 관계를 보인다. PDFA의 경우 충분한 펌프가 이루어지지 않은 경우 펄스열의 증가에 따라 이득회복 시간이 급격히 증가함을 알 수 있었다. 본 이론 해석을 통해 펄스 폭, 펄스 파형, 펄스와 펄스 간 간격 등에 따른 이득소멸 및 이득회복 특성을 예측할 수 있었다.

1. Y. OHishi, T. Kannamori, T. Kitagawa, S. Takahashi, E. Snitzer and G. H. Sigel, Jr., "Pr3+-doped fluoride fiber amplifier operating at 1.3μm", Tech. Dig. of Optical Fiber Communication Conf., (1991)