

# Tm<sup>3+</sup>가 첨가된 광섬유 증폭기의 이득회복 특성

이재명 · 황대석 · 김규식 · 이영우

목원대학교 전자 및 컴퓨터 공학과

A Study of the Gain Recovery Properties at the Thulium-doped Fiber Amplifier

Jae-myung Lee · Dae-seok Hwang · Kyu-sik Kim · Young-woo Lee

Department of Electronics and Computer Engineering  
Mokwon University

E-mail : ywlee@mokwon.ac.kr

## 요 약

본 논문에서는 1.47 $\mu\text{m}$  대역에서 증폭 특성을 갖는 TDFA(Thulium-Doped Fiber Amplifier)의 WDM 적용 시 short pulse 열을 인가할 경우 발생할 수 있는 이득 포화 및 복구의 시간적 한계를 이론적으로 해석하였다. 펄스열의 간격과 펄프 파워, 그리고 펄스 간격에 따른 이득 포화 및 복구 시간이 광 펄스의 증폭에 미치는 영향을 예측할 수 있었다.

## ABSTRACT

In this paper, we studied the transient gain response in TDFA(Thulium-Doped Fiber Amplifier) theoretically. We also investigated the limitation of the gain saturation and recovery time when the short pulse trains are incident into the TDFA with the spectral gain band in 1.47 $\mu\text{m}$  for using at WDM. We can predict the interval between the pulse train, pump power, and the effect of the saturation and recovery time which is affected to the amplification of the optical pulse.

## 키워드

TDFA, gain recovery, fiber amplifier

## 1. 서 론

1.3 $\mu\text{m}$  대의 Pr-doped fiber amplifier(PDFA)와 1.55 $\mu\text{m}$  대의 Er-doped fiber amplifier(EDFA)는 수십 nm의 이득 대역폭을 갖고, 수십 dB 이상의 높은 신호 이득을 갖고 있으므로 광대역 WDM을 위한 중요한 증폭기로 사용되고 있다. 그러나 1.4 $\mu\text{m}$  대의 Tm-doped fiber amplifier(TDFA)[1]는 상대적으로 연구와 개발이 활발하지 못하였다. 지금까지 연구된 TDFA는 single signal과 WDM signal에서의 이득 특성에 관한 연구들과 이득을 shift 시켜서 밴드폭을 넓게 사용하는 연구들이 주로 소개되어지고 있다. 따라서 본 논문

에서는 TDFA가 WDM에서 사용되어질 경우의 이득 포화(gain saturation)와 이득 회복(gain recovery)시간에 따라 발생할 수 있는 crosstalk에 관한 과도현상을 알아보기 위해 transient gain dynamics를 시뮬레이션 하였다.

최근에는 1.3~1.6 $\mu\text{m}$ 에 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 보고 되어있지 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 TDFA의 증폭특성과 고밀도 펄스열 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.

## II. gain recovery 모델

과도현상의 분석을 위해  $1.4\mu\text{m}$  대에서 증폭특성을 갖는 TDFA의 증폭 모델을 개발하였다. 그림 1은 본 수치해석에 사용된  $\text{Tm}^{3+}$ 의 4준위 에너지 모델을 보인다. 그림에서 fluoride thulium ion( $\text{Tm}^{3+}$ )의 에너지 레벨 다이어그램을 보여준다.  $\text{Tm}^{3+}$ 은  $0.48\mu\text{m}$ ,  $0.8\mu\text{m}$ ,  $1.47\mu\text{m}$ ,  $1.9\mu\text{m}$  그리고  $2.3\mu\text{m}$ 에서의 여러 레이저 천이선을 갖는다[2]. 하지만, 이 논문에서는  $1.47\mu\text{m}$  천이( $3F_4 \rightarrow 3H_4$ )에 초점을 뒀다. 하지만,  $1.47\mu\text{m}$  천이( $3F_4 \rightarrow 3H_4$ )에서의 증폭은 윗준위( $3F_4$ )의 수명이 아래준위(terminating level,  $3H_4$ )의 수명보다 짧다는 문제점이 있다. 2000ppm의  $\text{Tm}^{3+}$ 이온 밀도에서 측정된  $3F_4$ 와  $3H_4$ 의 lifetime은 각각  $1.35\text{ms}$ 와  $9.0\text{ms}$ 이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해  $1.064\mu\text{m}$  upconversion 여기를 가정하였다. 본 논문에서 사용된 율 방정식은 이전의 연구와 동일하다.[3]

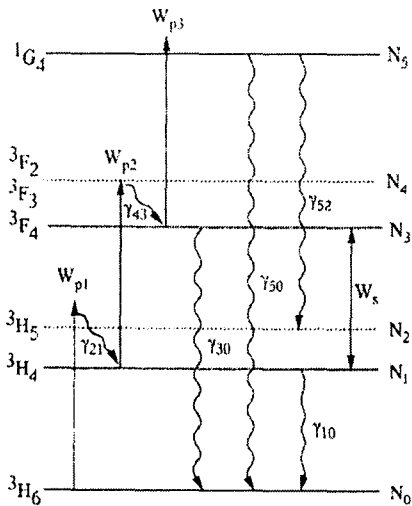


그림 1 Tm의 에너지 다이어그램

## III. 입력펄스에 따른 이득회복 특성

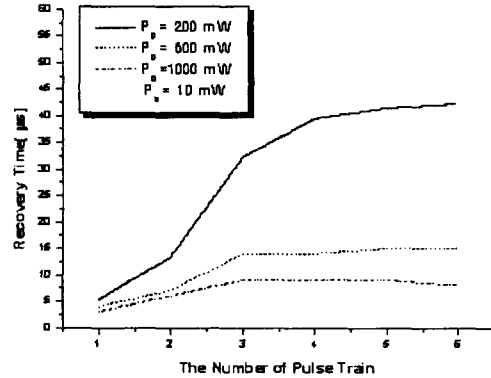


그림 2 펄스간의 간격에 따른 이득회복 특성

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

## IV. 결 론

본 연구로부터 TDFA에 입력되는 펄스열의 간격에 따른 gain saturation과 recovery 특성을 알 수가 있었다.

## 참고문헌

- [1] J. Y. Allian, M. Monerie, and H. Poignant, "Tunable cw lasing around 0.82, 1.48, 1.88 and  $2.35\mu\text{m}$  in thulium-doped fluorozirconate fiber," Electron. Lett., vol. 25, no. 24, pp. 1660-1662, 1989.
- [2] M. J. F. Digonnet, Ed., Rare Earth Doped Fiber Lasers and Amplifiers. New York: Marcel Dekker, 1993, ch. 2, pp. 19-133.
- [3] 이재명, 이영우, "Thulium이 도핑된 광섬유 증폭기의 과도현상에 관한 연구" 2001 해양정보통신학회 추계대회