

고정이득 L-band EDFA에서 발진 파장 및 방향에 따른 과도응답 특성

정회원 김익상*, 종신회원 김창봉**, 준회원 양흥*, 정회원 손영호***

The Characteristics of Transient Response vs. Lasing Wavelengths and Directions in Gain-Clamped L-band EDFA

Ik sang Kim*, Chang bong Kim**, Heng Yang*, Young ho Sohn*** *Regular Members*

요약

WDM(Wavelength Division Multiplexing) 광통신망의 노드에서 신호채널들이 분기 결합될 때 잔류채널들의 이득을 일정하게 제어해 주기 위해 고정이득 EDFA를 사용한다. 본 논문에서는 양방향 펌프에 의해 고이득을 가지는 L-band EDFA에서 발진광에 의해 입력변화를 보상해주는 방식으로 고정이득 EDFA를 구현하였다. 여기서 발진방향 및 파장에 따른 잔류채널의 과도응답 특성에 있어서 단파장 후방발진의 경우가 최적임을 확인할 수 있었다.

Key Words : L-band erbium doped fiber amplifier, automatic gain control, transient response

ABSTRACT

The gain-clamped EDFA has been developed to eliminate the output power change of WDM surviving channels to occur with added or dropped channels, which degrades the performance of WDM optical network. It maintains the constant gain of surviving channels when WDM channels are added or dropped in a network amplifying node. In this paper, the bi-directionally pumped gain-clamped EDFA is implemented to compensate the change of the input power by a lasing. The results show that the lasing of a short wavelength and backward propagation is the optimal condition to minimize the transient response of surviving channels in terms of the overshoot and gain saturation due to the inhomogeneous broadening effect.

1. 서론

광선로상에 신호광의 손실을 보상해 주는 EDFA(Erbium Doped Fiber Amplifier)는 초기에는 1530nm~1550nm의 파장영역(C-band)에서 WDM(Wavelength Division Multiplexing) 신호채널들을 증폭시킨 반면 최근 들어 1570nm~1610nm의 장파장 영역(L-band)까지 가용 WDM 채널들을 확장함으로써 전송속도를 급상승시켰다. 특히 WDM 광통신

망의 한 노드에 위치한 EDFA의 입력단에서 WDM 채널들이 분기 또는 결합될 때, 이득이 달라져 통과되는 신호채널들의 출력변화가 나타난다. 이러한 신호채널들의 출력변화는 수신단에서 통신성능의 저하를 초래하기 때문에 이를 억제할 필요가 있다. 이를 위해 이득을 일정하게 제어해 주는 고정이득 EDFA를 고안하게 되었는데 여기에는 WDM 신호채널들의 분기 및 결합에 따른 입력광의 변화를 보상해 주도록 개회로 EDFA에 공진기를 부착하여 발생하

* 배재대학교 정보통신공학과 (iskim@mail.pcu.ac.kr), (henry_kof@hotmail.com)

** 공주대학교 정보통신공학과 (aggie@kongju.ac.kr), *** 영남대학교 컴퓨터공학과 (ysohn@yu.ac.kr)

논문번호 : KICS2004-10-233, 접수일자 : 2004년 10월 13일

※ 본 연구는 한국과학재단 지역대학우수과학자 과제(R05-2002-000-01365-0) 지원으로 수행되었습니다.

는 발진광을 사용하는 방식과 펌프광을 제어해 주는 방식들이 있다. 이와 같이 고정이득 EDFA에 의해 신호채널들의 출력변화는 억제되지만 순간적으로 나타나는 미소한 출력 변동(과도 응답)이 통신 성능을 떨어뜨려 이를 억제하기 위한 연구가 이루어져 왔다.^{[1]-[4]} 또한 EDF(Erbium Doped Fiber)의 비균일 특성(inhomogeneity)으로 인해 특정 파장의 빛이 우세할 경우 전반적인 이득스펙트럼이 변화한다. 이로 부터 신호채널의 출력변화가 야기되어 역시 통신 성능에 저하를 초래하게 된다.^{[5]-[8]}

본 논문에서는 양방향 펌프 하이득 구조의 고정 이득 L-band EDFA에서 고리형 공진기 내를 순환하는 발진광의 파장 및 전파방향에 따라 신호채널들의 과도응답 특성 및 비균일 특성에 의한 이득 저하에 대한 결과를 보여 주고자 한다.

II. 실험 환경 및 분석 방법

2.1 실험 셋업

이득평화도가 좋은 38%의 평균밀도반전율에서 이득을 크게 하기 위해서 그림 1과 같이 50m 길이의 고밀도 EDF, 두 개의 양방향 WDM coupler, 두 개의 980nm 펌프 LD에 의한 양방향 펌핑을 사용하였다. 나중에 종종 참조할 전방 및 후방의 방향 기준, 초단 및 종단의 위치 기준이 그림 1에 명시되어 있다. 따라서 그림 1에서 왼편의 펌프 LD가 전방펌프, 오른편의 펌프 LD가 후방펌프가 된다. 전방펌프에는 480mA 주입시 약 190mW의 펌프광이 주입되고 후방펌프에는 180mA 주입시 약 110mW의 펌프광이 주입된다. 1582.4nm의 cooled DFB-LD를 변조함으로써 전방으로 입력된 분기결합(ADM) 채널로서 활용한다. 그림 1의 고리형 공진기에는 발진광의 방향성을 주기 위해 광고립기, 발진광 파장을 조절할 수 있도록 광여파기(OBPF), 공

진기의 손실을 조정함으로써 고정이득을 조절할 수 있도록 광감쇠기(ATT)를 두었다. 또한 전후방광 출력 스펙트럼을 보기 위해 광스펙트럼 분석기(OSA)를 사용하고 ADM채널 또는 발진광, 신호채널들의 과도응답 파형을 관측하기 위한 전후방관측단이 그림 1에 표시되어 있다.

2.2 고정 이득 특성

그림 2는 앞서의 양방향 펌프조건에서 그림 1 실험 셋업의 고리형 공진기를 제거한 개회로 EDFA에서 전방으로 가해진 1582nm 신호광의 이득특성을 보여 준다.

ADM채널을 만들기 위해 LD driver에 100Hz 0~1.2V의 구형파를 가하여 0mA~60mA의 변조 전류를 1582.4nm LD에 주입함으로써 0~4mW의 변조된 광출력을 낸다.(그림 2 참조) 그림 1 실험 셋업에서 이러한 1582nm ADM채널을 개회로 및 폐회로(고정이득) EDFA의 전방 입력으로 가했을 때 전방관측단의 oscilloscope에서 측정된 1582nm ADM채널의 각각의 출력파형은 그림 3과 같다. 공진기가 제거된 개회로 EDFA에서 ADM채널 광파워레벨이 큰 경우(즉 신호광이 결합되는 경우) 소신

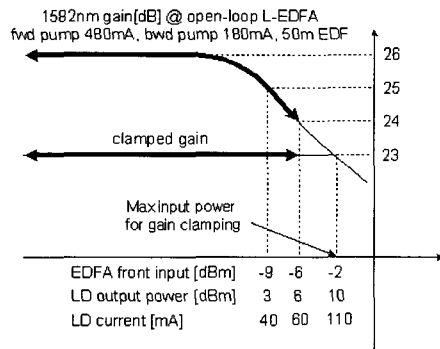


그림 2. 1582nm 신호광의 이득특성

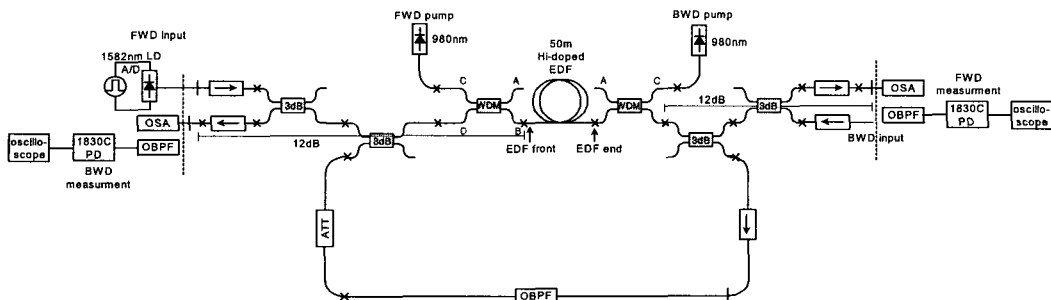


그림 1. 양방향 펌프 고정이득 L-band EDFA 실험 셋업

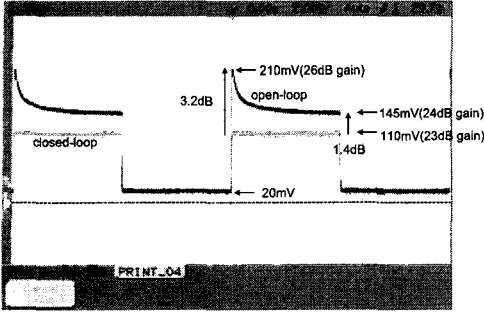


그림 3. 개회로 및 폐회로(고정이득)에서 1582.4nm ADM 채널 출력의 과도응답(20mV bias, 0.16V/mW 1830C PD 감도)

호 이득 26dB를 순간적으로 경험하게 되고 이후에는 점차적으로 포화되어 24dB 정도의 이득을 갖게 된다.(그림 2 참조) 이것은 ADM채널의 입력광파워 변화에 의해 이득이 변화함을 의미한다. 반면에 1582nm ADM채널이 23dB의 고정이득을 갖도록 고리형 공진기의 광감쇠기를 조정하여 특정 파장에서 발진시켰을 경우 개회로에서 보여지는 overshoot는 사라짐을 볼 수 있으며, 이것은 이득이 고정되어 이득의 변화가 없음을 의미한다.

2.3 과도 응답 특성 분석 방법

ADM채널들에 의해서 발생하는 과도응답은 ADM채널이나 잔류채널의 파형에 대한 시각적인 관측으로부터 추정하기는 매우 어렵다. 그러나 발진광의 요동은 매우 명확하며 이로부터 과도응답 특성을 추정하고자 한다. 먼저 과도응답의 특성은 평균밀도반전율의 요동을 의미하며 overshoot 폭(A), 이완주파수(relaxation oscillation frequency, Ω), 감쇠도(damping factor, D)의 세 가지로 인자로서 표현할 수 있다.

평균밀도반전율의 변화분 $\Delta \bar{n}_2(t)$ 는 과도상태와 정상상태 (고정이득 \bar{n}_2^{clamp})에서의 평균밀도반전율의 차이를 나타내며, 과도응답 특성인자(A, Ω , D)에 의해 평균밀도반전율의 과도응답을 식(1)과 같이 정의할 수 있다. ADM채널의 분기 또는 결합 전후의 발진출력광의 과도응답은 EDFA 이득의 순시변화와 고정된 공진기 손실의 시간 적분에 의해 식(2)와 같이 표시된다. 적분된 평균밀도반전율 차이는 식(3)과 같이 표시되며, 발진출력광의 변화율은 식(4)와 같이 정상상태 및 초기의 발진출력광의 비율로서 정의한다.

$$\bar{n}_2(t) = \bar{n}_2^{clamp} + \Delta \bar{n}_2(t),$$

$$\Delta \bar{n}_2(t) = \pm A e^{-t/D} \sin(\Omega t) \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \bar{i}_{out}(t) &= \exp[\alpha_i L \sum_i \Delta \bar{n}_2(t_i)] \bar{i}_{out}(0) \\ &\approx \exp[\alpha_i L \int_0^t \Delta \bar{n}_2(\xi) d\xi / \Delta t] \bar{i}_{out}(0) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \int_0^t \Delta \bar{n}_2(\xi) d\xi &= \int_0^t \pm A e^{-\xi/D} \sin(\Omega \xi) d\xi \\ &= \pm \frac{A}{\sqrt{(1/D)^2 + \Omega^2}} e^{-t/D} \sin(\Omega t + \theta) \\ &\quad \pm \frac{A\Omega}{(1/D)^2 + \Omega^2}, \tan \theta = \Omega D \end{aligned} \quad (3)$$

$$\bar{i}_{out}(\infty) / \bar{i}_{out}(0) \approx \exp \left[\pm \frac{A\Omega}{[(1/D)^2 + \Omega^2] \Delta t} \alpha_i L \right] \quad (4)$$

여기서 $\bar{i}_{out}(0)$, $\bar{i}_{out}(t)$,는 초기 및 시점 t에서의 발진출력광자 flux, α_i 은 발진광의 이득 및 흡수계수 합, L은 EDF의 길이, Δt 는 광섬유 고리를 발진광이 한 바퀴 도는데 걸리는 시간, \pm 에서 +는 분기될 경우, -는 결합될 경우이다. 결국 식(4)에서 보는 것처럼 정상상태에서의 발진출력광 $\bar{i}_{out}(\infty)$ 은 A, D가 클수록 초기 발진출력 $\bar{i}_{out}(0)$ 에 대해 큰 변화율을 보인다. 즉 overshoot가 심할수록(A가 클수록) 정상상태 돌입시간이 길수록(D가 클수록) 변화율은 크게 나타난다. 이를 통해 ADM채널의 분기 또는 결합 전후에서 발진출력광의 변화율을 통해 신호채널들의 과도응답 특성을 추정할 수 있다.

III. 과도응답 특성

3.1 전방 발진파장에 따른 과도응답 특성

두 발진 파장 1570.08nm, 1594.8nm에 대해서 각각 동일한 이득 스펙트럼(평균밀도반전율 36%, 1582nm에서 23dB 이득)을 갖도록 하기 위해 그림 1에서 공진기의 광감쇠기를 적절히 조정하여(1570nm 발진의 경우 약 21dB 공진기 손실, 1595nm 발진의 경우 약 23dB 공진기 손실) L-band 영역의 스펙트럼을 최대한 일치하게 하였다. 이것은 후방펌프가 약한 양방향 펌프 구조 EDFA의 L-band에서의 전방 자연방출광 출력스펙트럼이 이득 스펙트럼과 거의 같다는데 근거한 것이다. 그림 4 (a)는 1582nm ADM채널의 고정이득이 23dB가 되는 평균밀도반전율을 유지하도록 1570nm, 1595nm 파장에서 전방발진시켰을 경우와 1582nm 파장에서 고정이득이 분

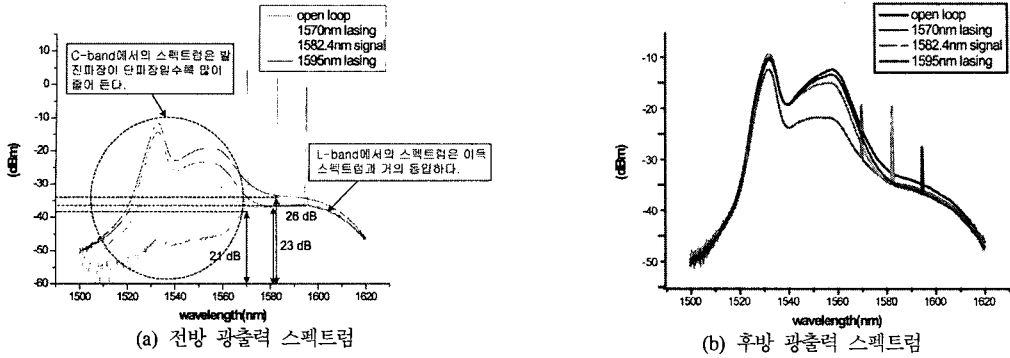


그림 4. 전방발진 고정이득 L-band EDFA의 전, 후방광출력 스펙트럼

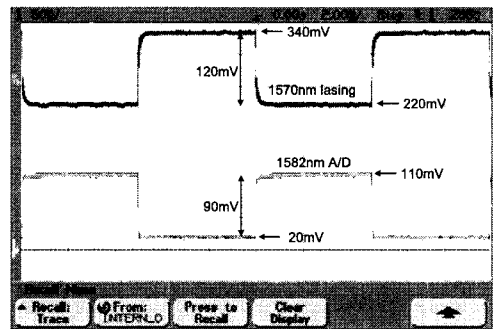
피되기 직전의 최대 허용 입력광파워 경우 (1582nm LD에 110mA 주입시, 9.7mW)의 전방광출력 스펙트럼이다. 이러한 세 가지의 경우에 대해 L-band에서의 전방광출력 스펙트럼이 일치함을 볼 수 있고 이것은 각각 동일한 평균밀도반전을 형성하였음을 의미한다. 또한 그림 4 (b)는 후방광출력 스펙트럼을 나타낸다.

여기서 특기할 만한 것은 장파장 발진에 비해 단파장 발진의 경우에 발진출력 광파워가 크고 C-band에서의 전후방 자연방출광이 많이 줄어든다는 점이다. 장파장 및 단파장 발진에서 동일한 고정 이득을 유지할 경우, 동일한 평균밀도반전이므로 다음 식(5)와 같이 EDFA의 광자 flux 보존성에 근거하여 소모되는 펌프광자 flux $\Delta \bar{q}$ 및 비도파 방출광자 flux \bar{u} 은 동일하다. 이러한 조건에서 장파장 및 단파장 발진에 상관없이 동일한 양으로 소모되

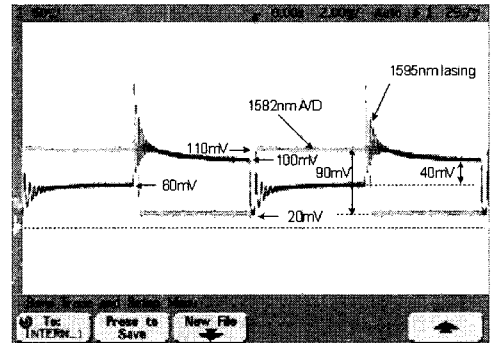
$$\begin{aligned} \Delta \bar{q} &= \Delta \bar{l} + \bar{p}^+ + \bar{p}^- + \bar{u} \approx \bar{l}_{out} + \bar{p}^+ + \bar{p}^- + \bar{u} \\ \Delta \bar{q}|_{long} &= \Delta \bar{q}|_{short}, \quad \bar{u}|_{long} = \bar{u}|_{short} \\ \bar{l}_{out}|_{long} < \bar{l}_{out}|_{short}, \quad \bar{p}^{\pm}|_{long} > \bar{p}^{\pm}|_{short} \end{aligned} \quad (5)$$

는 펌프광자 flux $\Delta \bar{q}$ 은 발진출력광자 flux \bar{l}_{out} 및 전후방 자연방출광자 flux \bar{p}^{\pm} , 비도파 방출광자 flux \bar{u} 로 변환된다. 따라서 식(5)와 같이 장파장 발진에 비해 단파장 발진의 경우에 발진출력 광파워가 크기 때문에 단파장 발진에서 전후방 자연방출광이 작게 된다. 이렇게 되는 이유는 단파장의 이득이 장파장에 비해 작기 때문에 큰 입력광파워가 EDF 종단에서 여기밀도를 크게 낮춤으로써 흡수율이 큰 C-band 파장의 전후방 자연방출광이 매우 크게 줄어들기 때문이다.

그림 5 (a), (b)는 각각 1570nm, 1595nm 전방 발



(a) 1570nm 전방발진



(b) 1595nm 전방발진

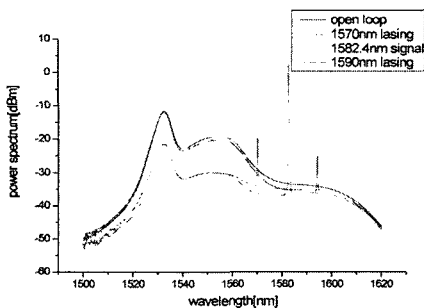
그림 5. 전방 발진출력광과 1582nm ADM채널출력광의 과도응답 (20mV bias, 0.16V/mW 1830C PD 감도)

진출력광과 1582nm ADM채널출력광의 과도응답을 보여준다. 먼저 두 발진파장에서 동일한 평균밀도반전율로서 이득이 고정되었음을 1582nm ADM채널 출력광 파형이 동일하다는 것으로부터 확증할 수 있다. 그림 5 (a), (b)에서 장파장에 비해 단파장의 발진출력광에서 overshoot가 작게 나타나고 이완주파수가 더 빠른 경향을 볼 수 있다. 또한 발진출력 광 변화율의 경우 단파장인 1570nm의 경우가 320mV/200mV=1.6으로서 장파장인 1595nm의 경우인 80mV/40mV=2에 비해 작음을 알 수 있다. 이

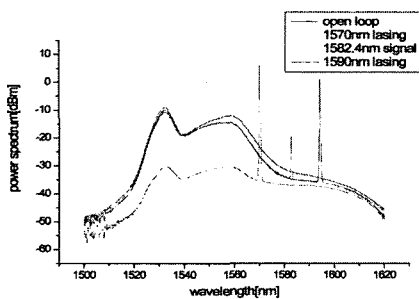
로부터 신호출력광의 과도응답 특성은 1570nm 전방발진인 경우가 더 나을 것으로 생각된다. 더군다나, 식(4)에서 발진광의 흡수 및 방출계수의 합이 1570nm의 경우가 1595nm 보다 더 크다는 것을 감안하면 과도응답 특성은 더욱 양호함을 알 수 있다. 이와 같이 되는 이유는 앞서 언급했던 것처럼 단파장 발진광일 수록 C-band에서의 자연방출광이 많이 줄게 되고 발진출력광은 크게 되어 발진출력광의 변화율이 작게 나타나기 때문이다.

3.2 후방 발진파장에 따른 과도응답 특성

그림 1의 실험 셋업에서 양방향 펌프 고정이득 L-band EDFA에서 고리형 공진기의 광고립기의 방향을 바꾸어 1570.08nm 및 1594.8nm 파장의 후방 발진광으로써 전방으로 가해진 1582nm ADM채널에서 동일한 고정이득(23dB)을 유지하도록 한다. 그림 6은 1570nm, 1595nm 파장의 두 후방 발진광, 110mA 주입된 1582nm 파장의 전방 신호입력광이 동일한 평균밀도반전율을 유지할 경우에 전후방관측단 OSA에서 본 전후방광출력 스펙트럼이다. 그림 4에서의 전방발진광의 경우와 비교해 볼 때, 전방 자연방출광은 늘어나고 반면에 후방 자연방출광은 줄어든다.



(a) 전방 광출력 스펙트럼



(b) 후방 광출력 스펙트럼

그림 6. 후방발진 고정이득 L-band EDFA의 전, 후방광출력 스펙트럼

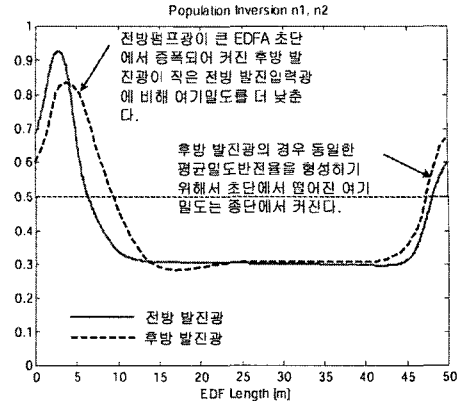
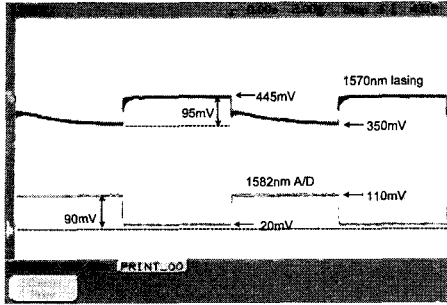


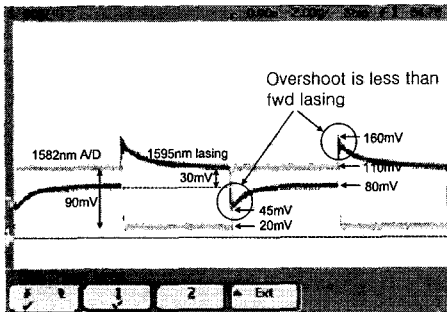
그림 7. 동일한 평균밀도반전율을 하에서 전후방 발진광에 따른 여기밀도 분포

그림 7은 모의 분석 결과 전방발진광과 후방발진광에 의해 동일한 평균밀도반전율을 유지하는 여기 밀도 분포를 보여 준다. 전방펌프파장이 큰 EDFA 초단에서 증폭되어 커진 후방 발진출력광이 작은 전방 발진입력광에 비해 여기밀도를 더 낮춘다. 반면 후방펌프파장이 작은 EDFA 종단에서는 증폭되어 커진 전방 발진출력광이 작은 후방 발진입력광에 비해 여기밀도를 더 낮춤으로써 전후방 발진광의 경우 동일한 평균밀도반전율을 형성하게 된다. 따라서 이러한 여기 밀도 분포에 따라 후방발진광의 경우 전방발진광에 비해 EDFA 초단에서의 후방 자연방출광은 줄어들고 반면에 종단에서는 전방 자연방출광이 커지는 양상을 갖게 된다.

전방발진과 동일하게 변조된 1582nm ADM채널을 전방향으로 입력하고, 1570nm, 1595nm 파장으로 후방 발진시켜 1582nm의 ADM채널에 대해 23dB로 이득을 고정시킨다. 그림 8 (a), (b)에서 보는 것처럼 두 발진 파장에 의해서 이득이 고정된 1582nm ADM채널 출력광 파형이 전방관측단의 oscilloscope에서 110mV로서 관측되고 앞서의 전방발진의 경우와 동일한 이득으로 고정되었음을 알 수 있다. 후방관측단 oscilloscope에서 본 1570nm, 1595nm 발진출력광 파형이 그림 8 (a),(b)에 나와 있다. 앞서 전방발진의 경우와 마찬가지로 단파장의 발진출력광에서 overshoot가 작게 나타나고 이완주파수가 더 빠른 경향을 볼 수 있다. 또한 발진출력광 변화율의 경우 단파장인 1570nm의 경우가 425mV/330mV=1.29로서 1595nm의 경우 90mV/60mV=1.5에 비해 작음을 알 수 있다. 이로부터 신호채널의 과도응답 특성은 1595nm 후방발진에 비해 1570nm 후방발진인 경우가 더 나을 것으로 생각된다.



(a) 1570nm 후방발진



(b) 1595nm 후방발진

그림 8. 후방 발진출력광과 1582nm ADM채널출력광의 과도응답(20mV bias, 0.16V/mW 1830C PD 감도)

또한 앞서 전방발진의 경우와 비교하면 1570nm, 1595nm의 발진 파장에 대해 각각 발진출력광 변화율이 더 작게 나타난다. 따라서 신호채널의 과도응답 특성에 있어서, 후방발진인 경우가 발진출력광 변화율이 1.6→1.29, 2→1.5로서 전방발진인 경우보다 작고 1570nm가 1595nm 보다 낮다는 결론이다. 이는 그림 5(b)와 그림 7(b)의 1595nm 발진출력광 파형을 비교해 보면 분명하게 드러난다. 그런데 그림 1의 실험 셋업에서 전후방관측단의 손실이 거의 같다고 추정되는데 이로부터 그림 5과 그림 8의 발진출력광파형을 비교해 보면 후방발진인 경우가 크고 발진출력광 차이는 작아짐을 볼 수 있다.

그림 1의 실험 셋업에서 전방 펌프입력광파위가 후방 펌프입력광파위보다 커서 전방발진에 비해 후방발진에 의해 여기밀도가 떨어진 EDFA 초단에서 후방 자연방출광이 더 많이 작아져 총 전후방 자연방출광은 전방발진에 비해 많이 줄어들기 때문에 결국 발진출력광이 커지고 이로 인해 발진출력광의 변화율이 줄어들어 신호채널의 과도응답 특성이 향상된다고 볼 수 있다. 그러나, 전방 신호입력에 대해서 후방발진의 경우가 전방발진에 비해 과도응답 특성이 양호한 반면 잠습지수 측면에서는 전방 자연방출광이 커서 악화된다는 단점이 있다.

IV. 비균일 특성에 의한 이득 변화

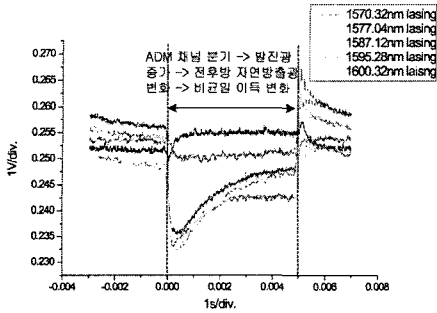
4.1 C-band 및 L-band EDFA에서 비균일성에 의한 이득 변화 양상

여러 파장의 포화광에 비해 그와 동일한 평균밀도반전율을 유지하면서 단일 파장의 포화광에 의해 나타나는 L-band EDFA의 비균일 특성(inhomogeneity)에 의한 이득저하의 양상은 포화광이 장파장으로 갈수록 또는 포화광파위가 작아 큰 평균밀도반전율로 올라갈수록 커지는 경향이 있고 또한 넓은 대역에 걸쳐서 이득 저하가 나타난다. 반면에 C-band EDFA의 경우에는 포화광이 단파장으로 갈수록 또는 포화광파위가 커서 작은 평균밀도반전율로 떨어질수록 커지는 경향이 있고 또한 포화광을 중심으로 매우 좁은 대역에 걸쳐서 이득 저하가 나타난다.^[8]

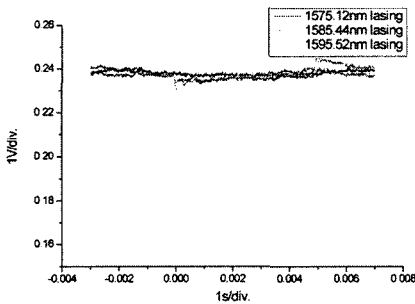
이 두 가지의 양상을 비교해 보면 이러한 이득저하의 원인이 C-band의 경우에는 포화광 자체의 광파위에 의해 직접적으로 이득저하를 야기시킨다고 볼 수 있고 반면에 L-band의 경우에는 넓은 대역에 걸쳐 존재하는 전후방 자연방출광파위에 의해 광대역으로 이득저하를 야기시키는 것으로 해석할 수 있다. 즉 L-band의 경우 장파장의 포화광에서 전후방 자연방출광파위가 크기 때문에 장파장으로 갈수록 이득저하가 크게 나타나는 것이고 또한 포화광파위가 작아 큰 평균밀도반전율의 조건에서 전후방 자연방출광파위가 크기 때문에 역시 큰 이득저하를 야기시키는 것으로 해석된다.

4.2 전방발진 파장에 따른 비균일 특성에 의한 이득저하 양상

그림 1의 실험 셋업에서 후방관측단 대신에 1591nm의 uncooled DFB LD를 부착하여 잔류채널로서 활용하고 1582nm의 ADM채널이 분기결합될 경우에 1591nm 잔류채널의 과도응답 특성을 확인하고자 한다. 1591nm 잔류채널(25mA) 주입 시 -8.44dBm출력에 10dB 감쇄기를 사용하여 -19dBm을 가한다. ADM채널은 0~7.5mW(90mA 주입) 및 0~4mW(60mA 주입)로서 100Hz 전류 변조를 가한다. 1582nm, 1591 nm에서 약 23dB의 동일한 고정이득을 유지하도록 1570.32nm, 1577.04nm, 1587.12nm, 1595.28nm, 1600.32nm의 5가지 파장에서 전방발진을 일으킨다. 각각 그림 9 (a), (b)와 같이 1591nm 잔류채널의 과도응답을 전방관측단의 oscilloscope에서 확인할 수 있다.



(a) 0~7.5mW ADM채널



(b) 0~4mW ADM채널

그림 9. 전방발전 파장에 따른 1591nm 잔류채널의 비균일 이득저하 특성(감도:1.6V/mW)

1582nm의 ADM채널이 7.5mW에서 0mW로 ADM 채널이 분기될 때 발전광이 이를 보상하여 커지면서 전후방 자연방출광이 변화한다. 그림 9(a)에서 보는 것처럼 변화된 전후방 자연방출광은 장파장 발전광일 수록 커져서 이로 인한 비균일 이득저하가 심하게 나타나 1591nm의 잔류채널의 광파워가 떨어짐을 볼 수 있다. 반면 1570nm의 경우에는 오히려 이득 상승이 나타나는데 이는 오히려 전후방 자연방출광이 줄어든 때문으로 보인다.

그림 9(b)는 1582nm ADM채널 분기 결합을 0~4mW로서 그림 9(a)의 0~7.5mW의 경우에 반 정도로 할 경우 1591nm 잔류채널의 이득저하 양상을 보여 준다. 그림 9(a)의 경우 0.24~0.26V의 변화를 보이는 반면 그림 9(b)의 경우에는 0.24V 근처에서 장파장 발전의 경우에 약간의 변화를 볼 수 있고 대체적으로 매우 작은 변화를 보인다. 이것은 ADM채널의 변화가 작아 역시 발전광의 변화도 작음을 의미하고 전후방 자연방출광파워의 변화가 미미한 이유이다.

4.3 후방발전 파장에 따른 비균일 특성에 의한 이득저하 양상

그림 1의 실험 셋업에서 공진기의 광고립기의 방

향을 반대로 하여 후방발전 시켰을 경우 동일한 고정 이득 조건하에서 발전파장에 따른 1591nm 잔류 채널의 과도응답 특성은 그림 10과 같고 잔류채널의 비균일 이득저하 양상은 그림 9(b)에 비해 작게 나타남을 볼 수 있다. 이것은 전체적인 전후방 자연방출광 파워가 전방발전에 비해 작기 때문에 비균일 이득저하 양상이 작게 나타나는데 기인한 것으로 보인다.

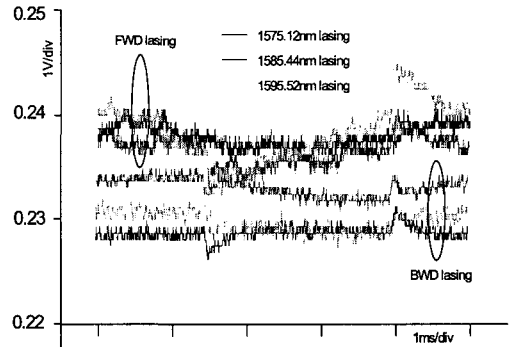


그림 10. 0~4mW ADM채널 입력 시에 전방 및 후방 발전 광에 따른 1591nm 잔류 채널의 비균일 이득저하 특성(감도:1.6V/mW)

V. 결론

양방향 펌프 구조 고정이득 L-band EDFA에서 발전방향 및 파장에 따른 신호채널의 과도응답 특성 및 비균일 이득저하 특성에 관해 살펴보았다.

먼저 신호채널의 명확한 과도응답을 관측하기가 곤란하여 발전출력파 변화율에 근거하여 추정할 수 있다는 타당한 근거를 제시하였다. 이를 근거로 해서 발전방향에 있어서는 후방발전이 가장 좋고, 그 다음이 전후방발전, 전방발전이 가장 좋지 않은 것으로 판단된다.

또한 단파장 발전이 장파장에서의 발전보다 잔류 채널의 과도응답 특성이 더 양호하다고 생각된다. 이와 같이 되는 이유는 동일한 고정이득 조건에서 단파장 후방발전에 의해 이득이 고정될 때 전후방 자연방출광이 가장 많이 줄어들어 발전출력파가 가장 커서 발전출력파 변화율이 작은데 기인한 것이다.

또한 L-band EDFA에서의 비균일 특성은 전후방 자연방출광에 의해 넓은 L-band에 걸쳐서 이득저하를 야기시키는 경향을 가지고 있다. 따라서 단파장 후방발전의 경우에 전후방 자연방출광이 가장 작아 이러한 이득저하의 양상이 가장 작게 나타남을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] S. Yamachida and M. Nishihara "L-band Erbium-Doped Fiber Amplifier Incorporating an Inline Fiber Grating Laser", *IEEE J. of Selected Topics in Quantum Electronics*, vol. 07, No. 1, pp.44-48, 2001.
- [2] D. H. Ricards, J. L. Jackel, and M. A. Ali, "A Theoretical Investigation of Dynamic All-Optical Automatic Gain Control in Multichannel EDFA's and EDFA Cascades", *IEEE J. of Selected Topics in Quantum Electronics*, vol. 3, No. 4, pp.1027-1036, 1997.
- [3] J. C. Lee, H. S. Chung, W. Y. Oh, and M. J. Chu, "The wavelength dependent transient effect in surviving channels in L-band EDFA", *OFC 2002*, pp. 646-647, 2002.
- [4] D. Gurkan, M. I. Hayee, and A. E. Willner, "Transient behavior of L-band and C-band EDFAs in an add/drop multiplexed 40-channel WDM network", *CLEO 2001*, pp. 415-416, 2001.
- [5] A. R. Bahrapour and M. Mahjoei, "Theoretical analysis of spectral hole burning and relaxation oscillation in all-optical gain stabilized multichannel erbium-doped fiber amplifier(EDFA)", *IEEE J. Lightwave Technol.*, vol. 19, pp. 1130-1139, 2001.
- [6] F. A. Flood, "Gain saturation behavior in L-band EDFAs", *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 12, pp. 1156-1158, Sep. 2000.
- [7] E. Rudkevich, D. M. Baney, J. Stimple, D. Derickson, and G. Wang, "Nonresonant spectral-hole burning in erbium-doped fiber amplifiers", *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 11, pp. 542-544, May. 1999.
- [8] F. A. Flood, "Impact of inhomogeneous broadening on L-band EDFA gain spectra", *ECOC'99*, pp. 148-149, 1999.

김익상(Ik sang Kim)

정회원



1984년 2월 한양대학교 전자통신공학과 졸업
1986년 2월 한양대학교 전자통신공학과 석사
1995년 8월 Texas A&M University Electrical Eng. 공학박사

1987년 5월~1990년 6월 금성반도체 주임연구원
1995년 4월~1997년 3월 한국통신 전송기술연구소 선임연구원
1997년 3월~현재 배재대학교 IT공학부 부교수
<관심분야> 광섬유증폭기, 광섬유레이저, 광섬유센서

김창봉(Chang bong Kim)

중신회원



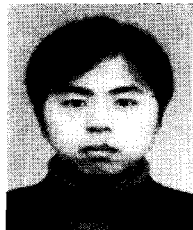
1983년 2월 고려대학교 전자공학과 졸업
1988년 Florida Tech. 전자공학과 석사
1992년 Texas A&M University Electrical Eng. 공학박사
2000년 9월~현재 IEEE Senior

Member

1992년~현재 공주대학교 정보통신공학부 정교수
<관심분야> 반도체레이저, 광섬유레이저, 양방향광전송

양흥(Heng Yang)

준회원



2003년 7월 Shen Yang Technical University in China, Electronic Information Eng. B.S.

2004년 6월~현재 배재대학교 IT공학부 정보통신공학과 석사과정

<관심분야> 광섬유증폭기, 광섬유센서, 광네트워크

손영호(Young ho Sohn)

정회원



1989년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업
2002년 5월 Texas A&M University, Electrical Eng. 공학박사

2002년 9월~2005년 2월 영남대학교 전자정보공학부 객원교수

2005년 3월~현재 영남대학교 컴퓨터공학과 전임강사
<관심분야> 광통신망, 양자 컴퓨터, 광전파 해석