

광 귀환에 의한 erbium 첨가 광섬유 증폭기의 이득과 ASE 스펙트럼 안정화*

김호삼 · 박희갑

전북대학교 물리학과

(1994년 3월 10일 받음)

Erbium첨가 광섬유 증폭기에서 증폭된 자연방출광(ASE: amplified spontaneous emission) 출력의 일부를 대역투과 파장 필터를 거쳐 입력단으로 루프 귀환시켜 광증폭기를 특정 파장에서 발진시킴으로써 신호광에 대한 증폭 이득을 일정치에 고정시켰다. 증폭 이득과 ASE 출력 스펙트럼은 광증폭기가 발진하는한 입력광 power나 펌프광 power의 변화에 대하여 무관하였으며 귀환 루프의 손실에만 의존하였다. 또한 광증폭기에 저속으로 변조된 대신호가 입사하는 경우에도 이득포화에 의한 파형 왜곡없이 증폭이 가능하였다.

I. 서 론

회트류 첨가 광섬유를 이용한 광증폭기가 광통신과 센서분야에서 활용범위를 넓혀가고 있다.^[1-3] 특히 erbium 첨가 광섬유 증폭기(erbium-doped fiber amplifier: 이하 EDFA라 함)는 1.55 μm 의 광통신 파장대역에서 넓은 파장범위에 걸쳐 높은 이득과 고출력이 가능하며 여러 파장 채널의 광신호를 동시에 독립적으로 증폭할 수 있으므로 미래의 파장분할 다중화(wavelength division multiplex: WDM)된 광전송 시스템에서 핵심적인 요소로 기대되고 있다.^[4]

Erbium은 일반적으로 상온에서 homogeneous broadening의 경향을 가진 증폭매질로 알려져 있으며, 레이저 작용에 기여하는 $^4I_{13/2}$ 준위로부터의 평균 소멸시간이 약 10 ms 정도로서 다른 레이저 매질과 비교하여 매우 길다.^[5] 이 때문에 100 kbps 이상의 고속변조 신호가 EDFA에 입사하는 경우 (대부분의 광통신의 경우에 해당)에 증폭기의 이득이 신호에 따라 순간적으로 변화하지 않으며 평균적인 이득으로 나타난다. 이러한 독특한 특성에 힘입어서 WDM 시스템에 EDFA를 적용하는 경우에도 homogeneous broadening의 성질에도 불구하고, 모든 채널의 광 power의 평균합이 일정하게 유지되는 한, 채널간 이득의 상호포화(cross saturation)로 인한

채널간 누화(crosstalk)의 염려가 거의 없다.^[6] 그러나 가입자 시스템과 같이 여러 파장채널들이 임의로 켜지고 꺼지는 경우를 가정한다면 EDFA에의 입력광 power (모든 채널 신호의 합)의 크기가 fluctuation할 수 있다. 이 경우에는 어느 파장 채널을 켜고 끄에 따라 다른 채널의 이득이 영향을 받게 되며 이는 채널간의 누화로 나타난다.^[7] 이러한 문제점을 극복하기 위한 한 방법으로서 EDFA의 출력광의 일부를 입력단으로 귀환(feed-back)시켜 EDFA를 특정 파장에서 발진시키는 방법이 제안되었다.^[8] 이 방법은 EDFA가 일단 레이저처럼 발진하게 되면 homogeneous broadening의 속성에 따라 발진파장의 다른 파장에서도 이득이 고정되어 입력광 power의 변화에도 불구하고 일정한 이득값을 유지할 수 있다는 것이다. 또한 유사한 기법을 이용하여 광손실을 증폭기의 이득으로써 자동 보상하는 방법도 제안된 바 있다.^[9]

본 논문에서는 입력광 power나 펌프광 power가 상당한 범위에 걸쳐 변화하더라도 광증폭기의 이득이 안정적으로 유지될 수 있도록 loop 귀환형 EDFA를 구성하고 이득과 ASE 스펙트럼의 안정화 제어 실험을 한 결과를 보고한다. 이를 위하여 입력신호광 power와 펌프광 power 변화에 따른 ASE(amplified spontaneous emission) 출력 스펙트럼의 변화를 관찰하였으며 증폭기의 이득 변화를 측정하였다. 이때 귀환 파장으로서 EDFA의 이득이 최대를 이루는 1533 nm와 또 다른 극

* 본 연구는 한국전자통신연구소의 연구비 지원으로 이루어졌음.

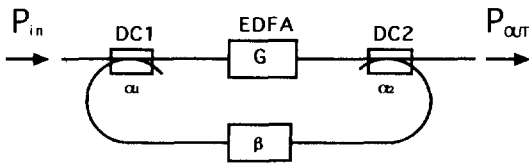


그림 1. 광귀환에 의한 광증폭기 이득제어 개념도.

대를 이루는 1555 nm의 2개 파장을 택하여 비교해 보았다. 또한 이 증폭기에 저속으로 변조된 대신호가 입사하는 경우의 출력신호 파형을 관찰하였다. 그리고 이러한 귀환형 광증폭기를 광통신 시스템과 광섬유 gyroscope에 응용하는 방식에 대하여 논의하였다.

II. 이 론

귀환형 광증폭기의 개념도를 그림 1에 나타내었다. EDFA 출력광의 일부를 뽑아내어 입력단으로 귀환시킨다. 이때 입력단 광결합기의 광 power 분배율을 각각 $\alpha_1:1-\alpha_1$ 와 $\alpha_2:1-\alpha_2$ 라 하자. G는 EDFA 자체 이득이며 β 는 귀환 loop 내에서의 손실을 나타낸다. 또한 P_{in} 과 P_{out} 은 각각 귀환형 광증폭기의 입출력 광 power를 나타낸다.

그림 1에서 EDFA 이득과 손실요인들을 고려하면 귀환형 광증폭기의 출력은

$$P_{out} = G(1-\alpha_1)(1-\alpha_2)P_{in} \quad (1)$$

으로 나타낼 수 있다. 한편 EDFA에 충분한 펌핑을 가하여 loop 내에서 레이저 발진이 일어나는 경우에 정상상태(steady state)에서의 이득은 loop의 전체 손실과 같다. 즉,

$$G \alpha_1 \alpha_2 (1-\beta) = 1 \quad (2)$$

(1)식과 (2)식으로부터 출력은

$$P_{out} = \frac{(1-\alpha_1)(1-\alpha_2)}{\alpha_1 \alpha_2 (1-\beta)} P_{in} \quad (3)$$

으로 표현할 수 있으며, 귀환형 광증폭기의 실제 이득은

$$G_f = \frac{(1-\alpha_1)(1-\alpha_2)}{\alpha_1 \alpha_2 (1-\beta)} \quad (4)$$

이 된다. (4) 식에서 보면 귀환형 광증폭기의 이득은 EDFA의 자체 이득과 무관한 뿐 아니라 입력광 power에도 무관하며, 오로지 광결합기의 결합비율 α_1, α_2 와

귀환 loop내 추가 손실 β 에 의해서만 결정됨을 알 수 있다. 따라서 α_1, α_2 가 고정된 경우에 귀환 파장에서 이 광증폭기의 이득은 β 에 의해 제어될 수 있으며 입력광 power나 펌핑광 power에 의해 영향을 받지 않는다.

한편 귀환형 광증폭기에 각기 다른 파장의 N개 채널의 광신호(파장 $\lambda_k, k=1, \dots, N$)가 입사하는 경우를 생각해 보자. EDFA 매질에서 선폭의 넓어짐이 'homogeneous'한 것으로 가정할때 정상상태에서 N개 채널의 입출력간 관계는 Saleh 등의 이론에 의해 다음과 같은 식으로 표현된다.^[10]

$$P_{k out} = P_{k in} \exp \left[-\eta_k L + \frac{1}{P_k^s} \sum_{j=1}^N (P_{j in} - P_{j out}) \right] \quad (5)$$

위 식에서 P_k^s 는 파장 λ_k 에서의 EDFA의 고유포화출력(intrinsic saturation power)이며 η_k 는 흡수계수, 그리고 L은 erbium 광섬유의 길이를 나타낸다. 귀환 파장의 채널을 나타내는 첨자를 f라 하면 $P_{f out} = G_f P_{f in}$ 이므로 (5)식과의 비교에 의해

$$G_f = \exp \left[-\eta_f L + \frac{1}{P_f^s} \sum_{j=1}^N (P_{j in} - P_{j out}) \right] \quad (6)$$

을 얻는다. (6)식을 이용하여 (5)식을 다시 쓰면 $P_{k out} = G_k P_{k in}$ 의 꼴로 쓸 수 있는데 여기서 G_k 는^[7]

$$G_k = \exp \left[-\eta_k L + \frac{P_f^s}{P_k^s} (\ln G_f + \eta_f L) \right] \quad (7)$$

으로 표현된다. (7)식에서 $\eta_k, \eta_f, P_f^s, P_k^s$ 는 모두 입력광 power $P_{k in}$ 과 무관한 매질의 특성에 속하며 G_f 는 β 를 통해 제어할 수 있다. 따라서 각 채널의 실제 이득 G_k 는 입력광 power의 변화에 대하여 무관하며 오직 귀환 loop 내의 손실 β 에 의해서만 제어된다. 한편 (7)식에 의하면, $\eta_k \cong \eta_f$ 와 $P_k^s \cong P_f^s$ 로 근사할 수 있는 근접한 파장 영역에서는 $G_k \cong G_f$ 가 되어 각 채널의 이득은 귀환 파장에서의 이득과 근사한 값을 가지게 됨을 알 수 있다.

III. 실험 및 결과

본 실험에서 귀환형 광증폭기의 구성을 그림 2에 나타내었다. 실험에 사용된 erbium 첨가 광섬유에는 Al이 함께 첨가되었는데, 이 경우에 이득 스펙트럼이 넓은 파장 범위에 걸쳐 더욱 균일해지고 homogeneous broadening의 성질이 더욱 강하게 나타난다.^[5] Er 첨가 광섬유의 길이는 27.7m이며 LP₁₁ 모드의 차단 파장이 1.0

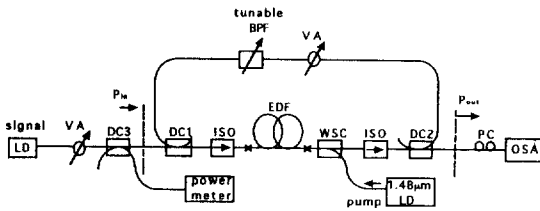


그림 2. 귀환형 광증폭기 실험 구성도 (BPF: bandpass filter, VA: variable attenuator, DC: directional coupler, ISO: isolator, EDF: erbium-doped fiber, WSC: wavelength-selective coupler, PC: polarization controller, OSA: optical spectrum analyzer)

μm , 코어와 클래딩간 굴절율차 $\Delta n = 0.023$, 그리고 $1.53 \mu\text{m}$ 과 $1.55 \mu\text{m}$ 파장에서의 흡수계수가 각각 3.7 dB/m 와 1.7 dB/m 이다.

펌프광원으로는 $1.48 \mu\text{m}$ 파장의 InGaAsP laser diode (LD)를 사용하였으며 펌프광은 파장선택성 결합기(wavelength-selective coupler)를 통해 신호광의 진행방향에 대하여 역방향으로 Er 광섬유내로 입사시켰다. Er 광섬유의 양단에는 불필요한 반사광의 역류를 막고 한 방향으로만 발진이 일어나도록 광 isolator를 두었다. 입출력단에 각각 DC1 ($\alpha = 0.5$), DC2 ($\alpha = 0.1$)의 방향성 광섬유 결합기를 두어 귀환 loop를 형성시켰다. 귀환 loop내에는 파장가변 필터와 가변형 광감쇄기를 두어 귀환 파장과 loop의 손실을 조절하였다. 그림 2에서 귀환형 광증폭기의 입출력 power를 각각 P_{in} , P_{out} 으로 나타내었는데, 입력광 power P_{in} 은 입력단에 별도의 방향성 결합기 DC3 ($\alpha = 0.5$)를 사용하여 광 power meter로 측정하였다. 신호광 LD로는 1548 nm 파장의 DFB-LD와 multimode LD를 필요에 따라 선택하여 사용하였다.

그림 3은 귀환 loop를 이어주지 않은 상태(open loop; loop 손실 ∞ 에 해당)에서 신호광이 입력되지 않은 경우와 신호광이 입력된 경우의 각각에 대한 광증폭기 출력 스펙트럼을 함께 나타낸 것이다. 이때 펌프 power는 25 mW 였으며 신호광원으로는 1548 nm 파장의 DFB-LD를 사용하였고 입력신호광 power $P_{in} = -13 \text{ dBm}$ ($50 \mu\text{W}$)였다. 그림 3에서 ASE 레벨의 변화를 관찰하면 신호광 파장위의 다른 파장에서의 이득의 변화를 어느정도 파악할 수 있다. 신호광이 존재하는 경우의 ASE 레벨은 신호광이 존재하지 않는 경우와 비교하여 최대 4 dB 가량 차이가 있음을 볼 수 있는데, 이는 입력신호가 비교적 대신호로서 증폭기의 이득을 포화시키기 때문이다.

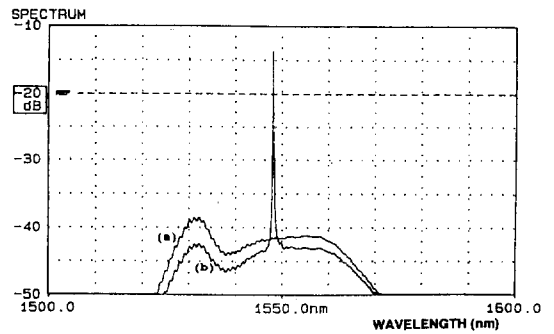


그림 3. 귀환 loop를 이어주지 않은 경우에 입력광신호 유무에 따른 출력 스펙트럼의 변화: 펌프 power $P_p = 25 \text{ mW}$ (a) 입력광신호가 존재하지 않는 경우 (b) 입력광신호가 존재하는 경우: $\lambda_s = 1548 \text{ nm}$, $P_{in} = -13 \text{ dBm}$.

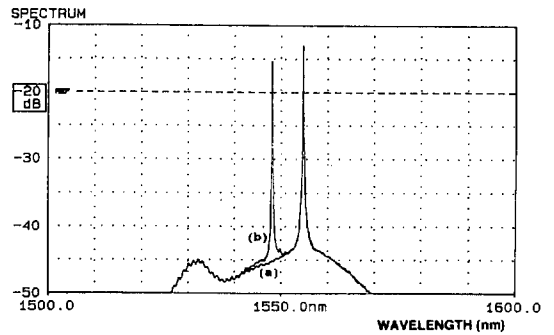


그림 4. 귀환 loop를 이루어 발진시킨 경우에 입력광신호 유무에 따른 출력 스펙트럼의 변화: 펌프 power $P_p = 25 \text{ mW}$, 귀환 파장 $\lambda_r = 1555 \text{ nm}$, loop 총손실 = 23.3 dB (a) 입력광신호가 존재하지 않는 경우 (b) 입력광신호가 존재하는 경우, $\lambda_s = 1548 \text{ nm}$, $P_{in} = -13 \text{ dBm}$.

그림 4는 그림 3과 같은 조건에서 귀환 loop를 이어준 상태의 출력 스펙트럼인데 역시 입력신호광이 존재하는 경우와 존재하지 않는 경우를 겹쳐 나타낸 것이다. 귀환 loop에서 가변파장 필터의 투과중심 파장을 1555 nm 에 맞추어 이 파장에서 발진이 이루어지도록 하였다. 이때 귀환 loop내의 가변파장 필터와 광감쇄기에서의 광손실은 4.5 dB 이며 신호광 경로까지 포함하는 loop 전체의 손실은 23.3 dB 였다. 그림 4에서 신호광 파장 ($\lambda_s = 1548 \text{ nm}$)과 발진파장 ($\lambda_r = 1555 \text{ nm}$) 외의 다른 파장 영역에서 두 ASE 스펙트럼이 완전히 겹쳐짐을 볼 수 있다. (신호광 파장의 주변에서 약간의 차이가 있는 것처럼 보이나 이는 신호광 LD 스펙트럼의 원래 형태가 그러하기 때문이다.) 즉, 귀환형 광증폭기가 발진하는 경우에 ASE 스펙트럼이

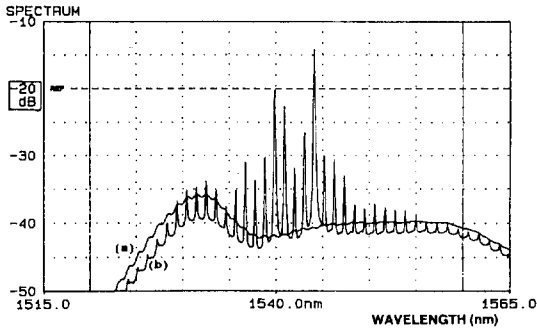


그림 5. 귀환 loop를 이어주지 않은 경우에 multimode LD 광신호 입력 유무에 따른 출력 스펙트럼의 변화: $P_p=40\text{ mW}$ (a) 입력광신호가 존재하지 않는 경우 (b) 입력광신호가 존재하는 경우, $P_m = -13\text{ dBm}$.

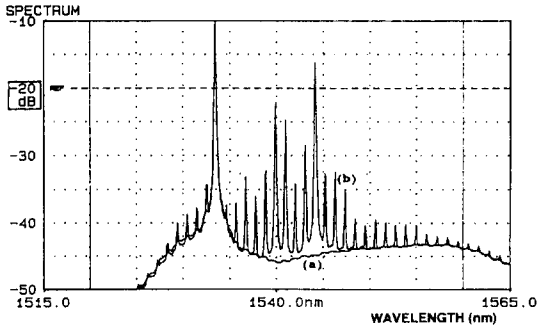


그림 6. 귀환 loop를 이루어 발진시킨 경우에 multimode LD 광신호 입력 유무에 따른 출력 스펙트럼의 변화: $P_p=40\text{ mW}$, $\lambda_l=1533\text{ nm}$, loop 손실 = 23.3 dB (a) 입력광신호가 존재하지 않는 경우 (b) 입력광신호가 존재하는 경우, $P_m = -13\text{ dBm}$.

신호광 입력 여부와 무관함을 알 수 있으며 이로써 이득 스펙트럼이 입력신호광을 ON-OFF 하더라도 일정하게 유지되고 있음을 알 수 있다.

파장분할 다중화된 광신호에 대한 광증폭을 시능하기 위해 신호광원으로 multimode LD를 사용하여 신호광의 입력 여부에 따른 광증폭기 출력 스펙트럼의 변화를 관찰하였다. 그림 5는 귀환 loop를 형성하지 않은 상태에서 신호광 입력 power $P_m = -13\text{ dBm}$ 의 신호광 LD를 끈 경우와 켜진 경우에 대한 광증폭기 출력 스펙트럼을 겹쳐 나타낸 것이다. 신호광 입력이 존재하지 않는 경우의 ASE 레벨과 여러 파장의 신호광 입력이 존재하는 경우의 base line간에 역시 약 4 dB 가량 차이가 남을 볼 수 있다. 그러나 그림 6에서와 같이 귀환파장을 광

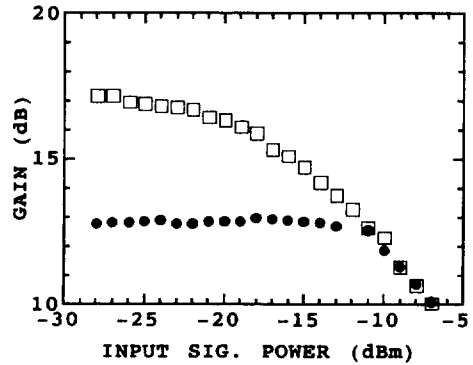


그림 7. 입력 신호광 power 변화에 따른 이득 변화: $\lambda_l=1555\text{ nm}$, $P_p=25\text{ mW}$, $\lambda_s=1548\text{ nm}$ □: loop를 이루지 않은 경우 ●: loop를 이룬 경우 (loop 손실 = 23.3 dB).

증폭기의 최대이득 파장인 1533 nm 에 맞추어 귀환 loop를 형성한 경우 (귀환 loop의 손실은 그림 4의 경우와 동일) 신호광 출력의 base line과 신호광이 없는 경우의 ASE 출력이 약간의 차이가 있으나 측정오차 범위(약 0.5 dB) 내에서 거의 일치하고 있음을 보여주고 있다.

이러한 결과를 좀더 정량적으로 분석하기 위하여 귀환 loop가 없는 경우와 있는 경우의 각각에 대하여 입력신호광 power를 변화시키며 광증폭기의 이득을 측정하였다. 그림 7은 귀환 파장이 1555 nm 이고 신호광 파장은 1548 nm , loop 전체 손실이 23.3 dB , 그리고 펌프 power 25 mW 에 대하여 입력신호광 power를 변화시키며 측정 한 결과인데, 비교를 위하여 귀환 loop를 이루지 않은 경우에 대한 결과와 함께 나타내었다. 귀환 loop를 이어주지 않은 경우에 -30 dBm 의 입력신호광 power에 대하여 약 17 dB의 이득을 가지나 입력 power가 증가함에 따라 이득이 감소하는 결과를 얻었다. 그 반면에 귀환 loop를 이루어 발진시킨 경우에는 -11 dBm 까지의 입력 power 범위에 대하여 이득이 약 13 dB 수준에서 일정하게 유지되고 있음을 볼 수 있다. -11 dBm 이상의 신호광 power가 임사하는 경우에는 loop에서의 발진이 일어나지 않으며 이득은 open loop의 경우와 거의 일치하게 된다. 넓은 입력 power 범위에 걸쳐 일정한 이득을 얻기 위해서는 귀환 loop의 손실을 줄여야 하며 이에 따라 이득은 감소한다. 반대로 높은 이득을 얻기 위해서는 귀환 loop의 손실을 증가시키면 되나 이득제어가 가능한 입력 power 범위가 줄어든다.

한편 귀환파장을 1533 nm 로 하고 40 mW 로 펌핑한 경우에 대한 측정결과를 그림 8에 나타내었다. 그림 7의 경우와 동일한 loop 손실에 대해 -10 dBm 이하의 입

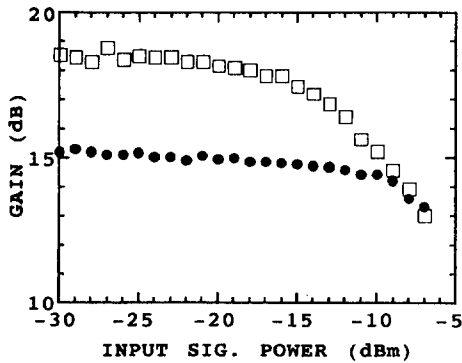


그림 8. 입력 신호광 power 변화에 따른 이득 변화: $\lambda_f=1533\text{ nm}$, $P_p=40\text{ mW}$, $\lambda_s=1548\text{ nm}$ □: loop를 이루지 않은 경우 ●: loop를 이룬 경우 (loop 손실=23.3 dB).

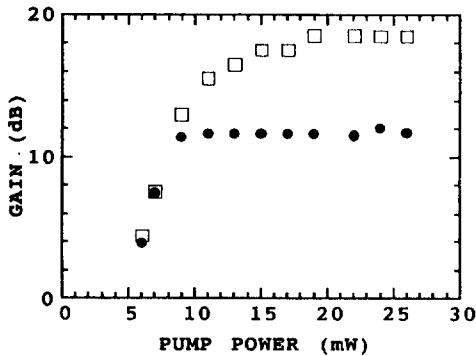


그림 9. 펌프 power에 따른 이득 변화: $\lambda_f=1560\text{ nm}$, $\lambda_s=1548\text{ nm}$ □: loop를 이루지 않은 경우 ●: loop를 이룬 경우 (loop 손실=20.3 dB).

력광 power 범위에서 약 15 dB로 제어된 이득을 얻을 수 있었다. 그러나 제어범위내에서도 입력 power가 증가함에 따라 이득이 약간 감소하는 것을 볼 수 있다.

실험치를 앞의 이론과 비교하기 위하여 본 실험에서의 귀환 조건을 (4)식에 대입하여 귀환과장에서의 이득을 계산해 보았다. 귀환 loop내의 파장가변 필터와 광감쇄기에서의 손실을 합하면 4.5 dB인데 이는 $\beta \approx 0.64$ 에 해당하며, $\alpha_1=0.5$, $\alpha_2=0.1$ 과 함께 (4)식에 대입하면 $G_f=25$, 즉 14 dB를 얻는다. 이는 그림 7과 그림 8의 실험 결과와 근사한 값이다. 그러나 위의 두 경우가 귀환 손실이 같음에도 불구하고 제어된 이득이 2 dB 가량 차이가 나는 것은 파장에 따라 흡수계수 (η)와 고유포화출력 (P_f)이 약간의 차이가 있어서 귀환 파장이 달라지면 (7)식에서의 신호광 이득도 변화하기 때문인 것으로 보인다.

펌프 power의 변화에 따른 귀환형 광증폭기 이득의

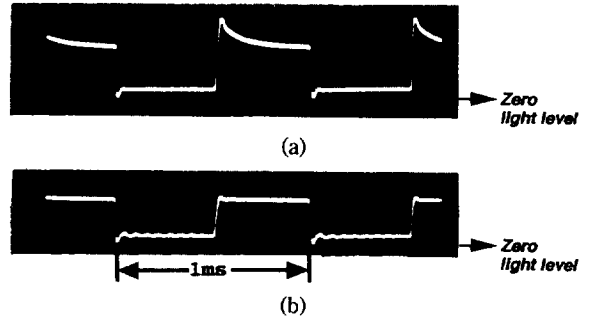


그림 10. 1 kHz로 변조된 구형파 (square wave) 입력 신호에 대한 광증폭기 출력파형: 입력신호광 평균 power = -13 dBm, 펌프 power = 25 mW (a) loop를 이루지 않은 경우 (b) loop를 이룬 경우 (loop 손실=23.3 dB)

변화를 보기 위해 펌프 power를 변화시키며 신호광 파장에 대한 이득을 측정하였으며, 귀환 loop를 이루지 않은 경우의 이득과 함께 그림 9에 나타내었다. Loop 전체의 손실이 20.3 dB인 경우에 10 mW 정도의 펌프 power에 대하여 loop 내에서 레이저 발진이 일어나기 시작하였으며, 그 이상의 펌프 power에 대해 이득이 일정한 크기로 유지되었다.

한편 입력신호가 저속으로 변조되었거나 fluctuation 하는 경우의 광증폭기 출력의 동작 특성을 조사하기 위하여 1 kHz의 구형파 (square wave)로 변조된 신호광을 광증폭기에 입사시키고 증폭된 출력파형을 관찰하였다. 그림 10의 (a)는 귀환 loop를 이루지 않은 상태에서 구형파 입력신호광의 평균 power가 -13 dBm인 비교적 대신호가 입사한 경우의 증폭된 출력파형이다. 구형파 신호가 ON된 초기 순간에는 충분한 밀도반전(population inversion)에 의해 광증폭기가 큰 이득을 가지지만 ON의 상태가 유지된 채 시간이 경과하면 유도방출에 의해 반전밀도가 감소하여 이득도 감소한다. 따라서 그림 10 (a)와 같은 왜곡된 형태의 출력을 얻게 된다.

그러나 귀환 loop를 이루어 발진시킨 경우에 같은 구형파 입력신호에 대한 출력파형은 그림 10(b)와 같이 나타났다. (a)의 경우에 비하여 이득은 다소 감소하였으나 구형파의 형태가 그대로 유지됨을 볼 수 있다. 즉 신호의 순간 상태에 관계없이 loop내의 발진에 의해 이득이 일정한 값으로 제어되어 신호파형에 왜곡이 생기지 않음을 알 수 있다. 그러나 (b)에서 신호광 출력에 약간의 ripple이 존재함을 관찰할 수 있는데 이는 입력신호 레벨이 변화하는 순간의 반전밀도상의 perturbation에 의해 loop내 레이저 광의 relaxation oscillation이 발생하기

때문인 것으로 추정된다. 이 relaxation oscillation의 주파수는 약 18 kHz로 측정되었다.

이러한 귀환형 광증폭기 방식은 WDM 방식을 사용하는 가입자 시스템이나 packet switching 시스템에서 광증폭기에 입사되는 가입자 채널 또는 packet이 무작위적으로 on-off 됨에 따라 발생하는 이득의 불안정성을 제어하고 보상하는 방법이 될 수 있을 것이다. 그리고 이득뿐 아니라 ASE 스펙트럼이 입력광에 무관한 점을 이용하여 귀환형 광증폭기를 광섬유 gyroscope에 광증폭기 및 광원 겸용으로 활용할 수 있을 것으로 생각된다. 즉, 그림 2에서의 신호광 LD의 위치에 Sagnac loop를 두고 신호광 경로상의 isolator들을 제거하며, 귀환 loop내에 isolator를 넣어 귀환에 의한 레이저 발진광이 gyroscope의 출력과 같은 방향으로 나오도록 하면 넓은 스펙트럼 폭을 가진 ASE 광을 gyroscope의 광원으로 사용할 수 있다. 아울러 동시에 Sagnac loop로부터의 반사신호광 (gyroscope 출력)을 증폭해 낼 수 있다. 이 경우에 광증폭기의 출력단에서 광섬유격자 필터와 같은 notch형 필터를 사용하면 발진광 성분을 제거할 수 있다. 이와 같은 방식의 장점은 gyroscope가 회전함에 따라 Sagnac loop로부터의 반사율이 변화하더라도 광원(ASE)의 스펙트럼과 증폭기 이득이 변화하지 않으므로 scale factor가 매우 안정된다는데 있다. 그러나 반사 신호광 power가 변화할때 발생하는 loop내 레이저광의 relaxation oscillation이 ASE 출력특성과 증폭특성을 교란할 수도 있으므로 이에 관한 연구가 필요하다.

V. 결 론

Erbium첨가 광섬유 증폭기에서 ASE 출력의 일부를 대역투과 파장 필터를 거쳐 증폭기의 입력단으로 loop 귀환시켜 광증폭기를 특정 파장에서 발진시킴으로써 신호광에 대한 증폭이득을 일정치에 고정시킬 수 있었다. 광증폭기가 발진하는 한 증폭기 이득과 ASE 출력 스펙트럼은 입력광 power나 펌프광 power의 변화에 대하여 무관하였으며 귀환 loop의 손실에만 의존하였다. 따라서 귀환 loop의 손실을 조절함으로써 광증폭기의 이득과 ASE 스펙트럼의 안정적 제어가 가능함을 알 수 있었다. 그리고 귀환 파장이 1533 nm인 경우보다 1555 nm인 경우에 더욱 안정된 제어특성을 얻을 수 있었다. 또한 저속으로 변조된 대신호가 입사하는 경우에도 출

력파형의 왜곡없이 증폭되었다. 본 실험에서 사용된 erbium 첨가 광섬유의 길이가 최적 길이에 미달하여 광증폭기의 이득이 그리 높지 않은 수준에서 실험을 하였으나 길이를 최적화한다면 보다 높은 안정화된 이득과 함께 넓은 입력 power 범위를 얻을 수 있을 것이다.

이처럼 이득 안정화된 귀환형 광증폭기는 WDM 방식을 사용하는 가입자 시스템이나 packet switching 시스템에서의 이득의 불안정성을 제거하는데 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 또한 ASE 스펙트럼이 입력광에 대해 무관한 점을 이용하여 광섬유 gyroscope에 광원 겸 광증폭기로서의 활용도 고려될 수 있다. 다만 귀환형 광증폭기가 실용성을 확보하기 위해서는 loop내의 relaxation oscillation이 신호광의 증폭특성에 미치는 영향이 조사되어야 할 것으로 생각된다.

감사의 글

실험과정에서 도움을 주신 김택중씨와 한국전자통신연구소의 이상수씨, 심창섭 박사, 이창희 박사, 주무정 박사, 류갑열 박사, 그리고 erbium광섬유를 제공해 주신 충남대의 이동한 교수께 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] E. Desurvire, J. R. Simpson, and P. C. Becker, *Opt. Lett.* **12**, 888(1987).
- [2] K. Nakagawa, S. Nishi, K. Aida, and E. Yoneda, *IEEE J. Lightwave Technol.* **7**, 198(1991).
- [3] K. A. Fesler, M. J. F. Digonnet, B. Y. Kim, and H. J. Shaw, *Opt. Lett.* **15**, 1321(1990).
- [4] K. Inoue, H. Toba, and K. Nosu, *IEEE J. Lightwave Technol.* **9**, 368(1991).
- [5] E. Desurvire, C. R. Giles, and J. R. Simpson, *IEEE J. Lightwave Technol.* **7**, 2095(1989).
- [6] M. J. Pettitt, A. Hadjifotiou, and R. A. Baker, *Electron. Lett.* **25**, 416(1989).
- [7] R. I. Laming, L. Reekie, P. R. Mortel, and D. N. Payne, *Electron. Lett.* **25**, 455 (1989).
- [8] M. Zirngibl, *Electron. Lett.* **27**, 560(1991).
- [9] H. Okamura, *Electron. Lett.* **27**, 2155(1991).
- [10] A. A. Saleh, R. M. Jopson, J. D. Evankow, and J. Aspell, *IEEE Photonic Technol. Lett.* **2**, 714 (1990).

Gain and ASE Spectra Stabilization in Erbium-Doped Fiber Amplifier with Optical Feedback

Ho Sam Kim and Hee Gap Park

Department of Physics, Chonbuk National University, Chonju 560-756, Korea

(Received: March 10, 1994)

A feedback loop with bandpass filter is introduced in erbium-doped fiber amplifier to clamp the amplifier gain by lasing the amplifier at a selected wavelength. The gain and the ASE (amplified spontaneous emission) output spectra are found to be independent of input signal power and pump power variation so long as the amplifier is lasing. Also they are found to be dependent only on the overall loss of the feedback loop. Even in the case of slowly modulated large signal input, signal distortion due to gain saturation is not observed.