

후치 증폭기 손실을 갖는 광섬유 증폭기를 사용한 장거리 광통신 시스템의 성능평가

이무도 · 이호준 · 이화용
호서대학교 정보통신공학과

(1994년 4월 4일 받음)

광 증계기로 광섬유 증폭기를 사용한 장거리 솔리톤 전송 시스템의 성능을 이론적으로 평가하였다. 잡음을 감소시키기 위하여 이득을 크게 하고, 후치 증폭기 손실을 첨가한 광섬유 증폭기를 사용하였다. 펌프 파장이 1480 nm, 증폭기 이득이 7 dB, 증폭기의 압축이 1 dB인 경우를 고려하였으며, 펌프 파워를 3.71에서 11.53 mW로 증가시키고 후치 증폭기 손실을 0에서 10 dB로 증가시켰을 때 잡음 인자는 2.37에서 1.42로 감소되었다. 이때 power penalty는 8,000 km 전송시 4.09에서 1.20 dB로 감소하였으며, 최대 14,890 km 장거리 전송이 가능함을 알 수 있었다.

I. 서 론

최근에 증계기로 광섬유 증폭기를 사용한 광통신 시스템에 대한 연구와 개발이 장거리 광 전송 시스템의 구현 가능성 때문에 활발히 진행되고 있다. IM/DD(intensity modulation/direct detection) 시스템에서 EDFA(erbium doped fiber amplifier)와 DSF(dispersion shifted fiber)를 사용한 장거리 전송 실험^[1]이 성공적으로 이루어 졌으며 코히어런트 CPFSK 전송 실험이 성공적으로 진행되고 있다.^[2] IM/DD 시스템은 광 증폭기로부터 발생하는 자연방출(spontaneous emission)의 영향을 받기 쉬우므로 자연방출의 대역폭을 제한하기 위해 광 필터가 사용되나, 기존의 시스템을 그대로 이용할 수 있으며 시스템이 간단하다는 잇점이 있다. EDFA는 장거리 광 전송 시스템에 있어서 좋은 평가를 받고 있으며, 이것은 광섬유의 손실이 EDFA의 사용을 통하여 보상되기 때문이다.^[3] 광섬유 증폭기는 주로 광 전송 시스템에서 수신기 전단에 연결하여 전치 증폭기로 사용되며 선로내에 위치하여 in-line 증폭기로 사용되기도 한다. 다양한 시스템 적용 때문에 광섬유 증폭기를 사용한 시스템에 대한 성능 평가가 많이 이루어 졌다.^[4]

장거리 광 전송 시스템에서 EDFA의 이득이 1~3 dB의 포화상태에서 동작할 때 전체 이득은 자동적으로 안정된다. 그러나 ASE(amplified spontaneous emission)와 광섬유 비선형성에 기인하여 전형적인 EDFA 이득은

6~12 dB이며 전송 광섬유로 입사시키기 위한 파워 레벨을 솔리톤 전송시 100 μ W 정도로 제한된다. 이때 발생하는 ASE가 매우 크기 때문에 증폭기가 효과적으로 동작된다고 보기 어렵다. 최근에 광 증폭기를 사용한 시스템에서의 잡음 감소에 대한 연구가 이루어 졌으며, 이것은 증폭기 내부에 펌프 파워를 증가시키고 이득 감소를 위한 후치 증폭기 손실(post amplifier loss)을 첨가함에 의하여 이루어진다.^[5] 높은 펌프 파워로 높은 이득과 높은 출력 신호 파워가 얻어지고 파잉의 이득은 후치 증폭기 손실의 첨가로 제거함으로써 증폭기 잡음은 눈에 띄게 줄어든다. 그러나 Habbab의 논문^[5]에서는 단일 광섬유 증폭기를 사용한 시스템의 잡음 지수만을 제시하였으며 시스템 BER에 대한 평가가 없고, Olsson 등의 논문^[4]에서는 시스템의 BER(bit error rate)이나 power penalty에 중요한 관계가 있는 자연 방출 인수를 광섬유 증폭기의 입력 파워에 관계없이 상수로 취급하였다.

따라서 본 논문에서는 광 증폭기 K개가 증계기로 사용된 장거리 광통신 시스템의 성능에 중대한 영향을 미치는 자연 방출 잡음을 감소시키기 위해 후치 증폭기 손실을 첨가하는 방법을 사용하였다. 이때 자연 방출 인수를 입력 광 파워의 함수로 하여 시스템 BER을 구하였으며 기존의 시스템과 비교하였다. 본 논문의 II 장에서는 광 증폭기를 모델링을 하였으며 III장에서는 광 증폭기를 사용한 장거리 전송 시스템의 BER을 평

가하였다. IV장에서는 시뮬레이션 결과가 논의되었고, V장에서는 결론이 서술되었다.

II. 광 증폭기의 모델링

신호 출력 파워, 이득과 압축이 결정되면 증폭기 길이와 펌프 파워는 단일하게 결정되나, 이 세 요소들이 잘못 선택된 경우에는 실현이 불가능할 수도 있다. 그러나 요구되는 신호 출력 파워, 이득과 압축이 결정되고 증폭기가 실현 가능하다더라도 잡음 성능을 변화시킬 수 없다. 이것을 해결하기 위하여 원하는 이득과 출력 파워어보다 큰 값을 얻기 위하여 증폭기의 펌프 파워어를 크게하고 후치 증폭기 손실을 첨가하여 파인의 이득을 제거하는 방법을 이용한다. 이러한 방법으로 증폭기 잡음을 감소시킬 수 있으며, 신호 출력 파워, 이득과 압축의 어떤 값을 갖는 증폭기의 실현도 가능하다.^[5]

본 논문에서 고려한 개별적 EDFA의 모델은 그림 1과 같다. P_s^{in} 은 입력 신호 파워어이며, $P_s^{out}=P_s^{in}/G$ 로 된다. P_s^{out} 은 출력 신호 파워어이며, G 는 이득 그리고 C 는 압축계수 (3 dB의 압축인 때 $C=2$)이며 높은 이득 $\bar{G} > G$ 으로 큰 출력 신호 파워어 $\bar{P}_s^{out} > P_s^{out}$ 을 얻을 수 있으며 이 출력 파워어에서 이득 압축은 요구된 값 C 와 같다.

증폭기 전체 이득은 증폭기 이득 \bar{G} 에 수동 광 손실 L_{pa} 를 곱하여 $\bar{G} \times L_{pa} = G$ 로 표시되며 L_{pa} 는 증폭기의 높은 이득과 높은 출력 파워어를 감소시키기 위한 후치 증폭기 손실이다. 본 논문에서 사용된 전형적인 시스템 파라미터는 표 1에 나타내었으며, 본 연구에서는 IM/DD 시스템 중에서 솔리톤 시스템에 대하여 고찰하였다. 솔리톤 장거리 시스템에서 EDFA는 약 100 μ W(전형적인 솔리톤 시스템)의 신호 출력 파워어를 갖는다. 증폭기는 또한 1 dB 포화 상태에서 동작된다고 가정한다.

주어진 출력 신호 파워, 이득과 압축 값으로부터 요구된 펌프 파워, 광 증폭기의 길이, 그리고 증폭기의 자연 방출 인수를 계산할 수 있다. 초당 광자수로 표현된 입력펌프 파워 Q_p^{in} 과 신호가 없을 때 초당 광자수로 표현된 펌프 출력 파워 $Q_{p,0}^{out}$ 사이의 관계는^[6-8]

$$\alpha_s \ln \left(\frac{Q_p^{in}}{Q_{p,0}^{out}} \right) + (Q_p^{in} - Q_{p,0}^{out}) \left(\frac{\alpha_s}{Q_p^{in}} - \frac{\alpha_p}{Q_s^{in}} \right) = -\alpha_p \ln G_s \quad (1)$$

과 같으며, 여기서 G_s 는 소신호 이득이고, α_s 는 EDFA 입력 신호의 흡수 상수, α_p 는 EDFA 입력 펌프의 흡수 상수, Q_s^{in} 와 Q_p^{in} 는 각각 신호와 펌프 고유 포화(intrinsic

표 1. 이론적인 계산에 사용된 변수

변수	변수의 값과 의미
P_s^{in}	각 증폭기의 입력 신호 파워어
P_s^{out}	각 증폭기의 출력 신호 파워어(= -10 dBm)
P_p^{in}	각 증폭기의 입력 펌프 파워어
P_s^{IS}	신호의 고유포화 파워어(=0.272 mW)
P_p^{IS}	펌프의 고유포화 파워어(=0.549 mW)
α_s	EDFA에서 입력 신호의 흡수상수(=0.876 m^{-1})
α_p	EDFA에서 입력 펌프의 흡수상수(=0.792 m^{-1})
P_s	수신기의 신호 파워어
$Q_s(z)$	z 위치에서 증폭기의 신호 파워어
$Q_p(z)$	z 위치에서 증폭기의 펌프 파워어
L_{pa}	후치 증폭기의 손실
G	각 증폭기의 이득
C	압축계수 (=1 dB)
n_{sp}	각 증폭기의 자연방출 인수
A	활성영역의 면적
τ	상위 레벨로 반전된 원자의 자연 수명
ρ_E	Erbium 원자의 밀도
B	기본대역의 대역폭(=1.2 GHz)
ν	신호의 주파수
λ	신호의 파장
Δf	주파수 영역에서 광필터의 대역폭
$\Delta \lambda$	파장 영역에서 광필터의 대역폭(=5 nm)
Γ_1	두개의 연속적인 증폭기 사이의 광섬유 손실 Γ_1 은 다음과 같이 표현된다. $\Gamma_1 = eap(-\alpha_s L)$. 여기서 α_s 는 광섬유의 손실(=0.2 dB/km). L 은 연속적인 두증폭기 사이의 거리를 표현
Γ	Γ_1 을 제외한 마지막 증폭기와 광 수신기 사이의 손실
i_c	등가 입력 잡음 전류(=10 pA/\sqrt{Hz})
i_d	광 검파기의 암 전류(=3 nA)
e	전하량
η	광 검파기의 양자 효율(=0.8)
R	$e\eta/h\nu$ 광-전 변환 계수
h	플랑크 상수

saturation) 파워어이다. 어떤 주파수 ν 에서 초당 광자수 Q 를 와트의 파워어 P 로 변환하기 위하여 $P = h\nu Q$ 관계식을 사용한다. 식 (1)에서 신호가 없을 때 펌프 출력 파워어 $P_{p,0}^{out}$ 는

$$Q_{p,0}^{out} = \frac{Q_s^{in} + Q_s^{IS} \ln C - Q_s^{out}}{1 - \exp \left[-\frac{\ln C Q_s^{IS}}{Q_p^{IS}} \right]} \quad (2)$$

와 같다. 증폭기의 길이 L 은^[5]

$$L = \frac{1}{\alpha_s} \left(\frac{Q_s^{in} - Q_{p,0}^{out}}{Q_s^{IS}} - \ln G_s \right) \quad (3)$$

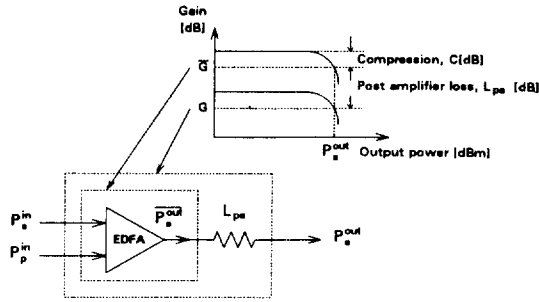


그림 1. 광 증폭기 모델.

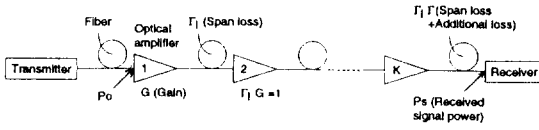


그림 2. 광 증폭기를 사용한 장거리 전송 시스템.

으로 표현된다.

광 증폭기의 n_{sp} 는 자연방출인자(spontaneous emission factor) 또는 밀도반전(population inversion)계수라고 하며 다음과 같이 식 (4)로 정의된다.^[7]

$$n_{sp} = \frac{\int_0^l \gamma_s n_2(z) G(z, l) dz}{(G-1)} \quad (4)$$

여기서, $\gamma_a = \frac{\xi}{Q_s^{IS}} - \alpha_a$ 는 신호이득계수이며, 여기서 $\gamma = \rho_e A / \tau$ 이며 그 값은 $4.22 \times 10^{-15} \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 이다. ρ_e 는 erbium 원자 밀도이고, A 는 증폭기 활성영역의 면적이고, τ 는 상부레벨로 반전된 자연 수명(spontaneous lifetime)이다. $G(z, l)$ 은 z 위치로부터 출력 위치 l 까지의 증폭기 이득이며, $n_2(z)$ 는 z 방향에서 정규화된 변환(normalized inversion)이며^[7]

$$n_2(z) = \frac{1}{\xi} \frac{\alpha_s Q_s(z) + \alpha_p Q_p(z)}{1 + \frac{Q_s(z)}{Q_s^{IS}} + \frac{Q_p(z)}{Q_p^{IS}}} \quad (5)$$

과 같다. 여기서 $Q_s(z)$ 와 $Q_p(z)$ 는 각각 증폭기의 위치 z 에서 신호와 펌프 파워이고, n_{sp} 는 위에서 주어진 식 (5)를 식 (4)에 대입하여 얻을 수 있다.

III. 시스템의 BER

본 논문에서는 광섬유 증폭기를 사용한 장거리 광통신 시스템을 다루었으며 시스템 구성은 그림 2와 같다.

이 시스템의 개별적인 광 증폭기는 같은 이득을 갖고 같은 간격으로 K 개 연결되었고 각 광섬유의 손실은 각 증폭기의 이득으로 보상된다. 바꾸어 말하면 각 증폭기의 모든 입력 파워 레벨은 같다고 가정한다. 높은 파워 밀도에서 야기되는 광섬유의 비선형에 대한 영향은 본 모델에서는 무시하였다.

$$N_s = 2eRP_s B$$

N_s : 신호 광에 의한 산란잡음 (6)

$$N_{SP} = 2e^2 F_{SP} \Delta f B$$

N_{SP} : 자연방출에 의한 산란잡음 (7)

$$N_{S-SP} = 4eRP_s F_{SP} B$$

N_{S-SP} : 신호 광과 자연방출 사이의 beat 잡음 (8)

$$N_{SP-SP} = 2e^2 F_{SP}^2 \Delta f B$$

N_{SP-SP} : 자연방출 사이의 beat 잡음 (9)

$$N_c = i_c^2 B$$

N_c : 코히어런트 수신기의 회로잡음 (10)

$$N_D = 2ei_d B$$

N_D : 광 검파기의 암전류에 의한 산란잡음 (11)

여기서

$$F_{SP} = \eta F \Gamma_1 n_{sp} K (G-1) \quad (12)$$

광 검파기로서 PIN 광 다이오드를 사용하였다. 데이터가 "1" 일때와 "0" 일때 잡음 파워는 각각 σ_{D1}^2 과 σ_{D0}^2 로 표시되고 이것은 다음과 같다.

$$\sigma_{D1}^2 = N_s + N_{SP} + N_{S-SP} + N_{SP-SP} + N_c + N_D \quad (13)$$

$$\sigma_{D0}^2 = N_{SP} + N_{SP-SP} + N_c + N_D \quad (14)$$

신호 파워 S_D 는

$$S_D = R^2 P_s^2 \quad (15)$$

이다. 앞에서 언급한 잡음성분들과 신호 파워 S_D 로부터 시스템의 BER을 계산할 수 있다.

$$P_e = \frac{1}{2} \text{erfc} \left[\sqrt{\frac{S_D}{2}} \frac{1}{(\sigma_{D0} + \sigma_{D1})} \right] \quad (16)$$

여기서 erfc 는 complementary error 함수이며 그 정의는

$$\text{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^\infty \exp(-t^2) dt \quad (17)$$

이다.

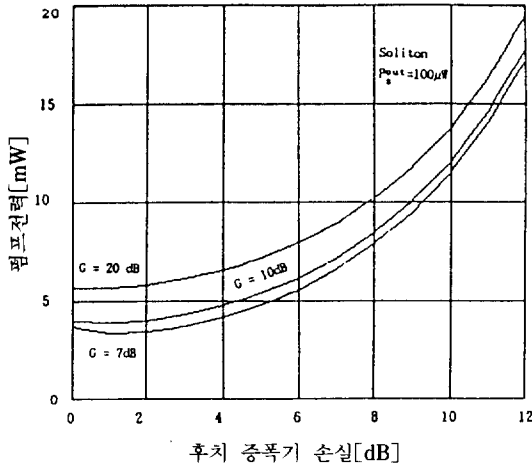


그림 3. 증폭기 이득에 대한 펌프 파워에 대 후치증폭기 손실.

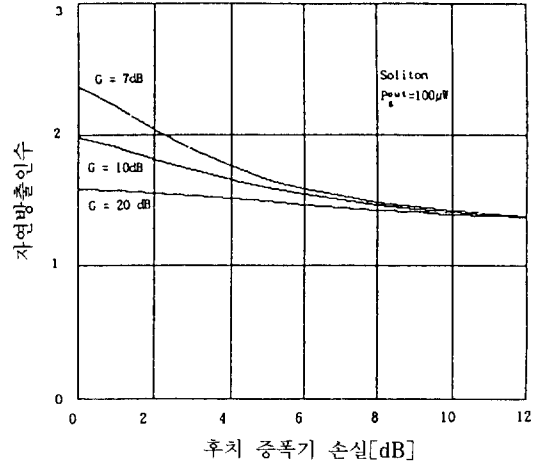


그림 5. 증폭기 이득에 대한 자연방출인수 대 후치 증폭기 손실.

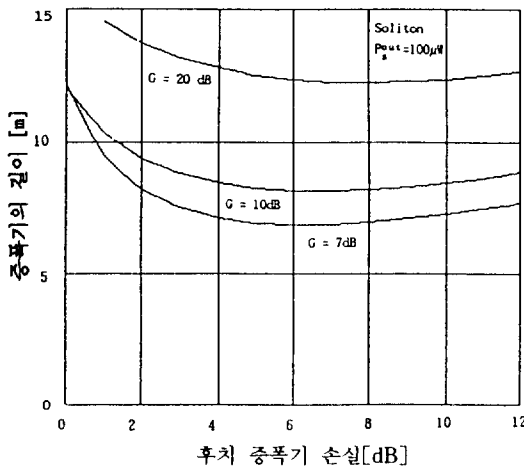


그림 4. 증폭기 이득에 대한 증폭기 길이 대 후치증폭기 손실.

경우에 각각 계산하였으며 이득과 후치 증폭기 손실의 증가에 따라 더 많은 펌프 파워가 필요하며 대략 3~15 mW의 값을 갖는다. 증폭기 길이는 7~15 m 정도의 값을 갖는다. 이 결과는 펌프 파장이 1480 nm이고, 압축계수 C가 1dB이며 광신호가 펌프 신호가 같은 방향으로 진행할 때 얻어졌다.

그림 3과 4에서 이득이 7 dB이고 후치증폭기 손실이 0에서 10 dB로 증가할 때 펌프 파워는 3.71에서 11.53 mW로 증가하였고 증폭기 길이는 12.11 m에서 7.26 m으로 감소함을 알 수 있다. 즉, 후치 증폭기 손실을 증가시키기 위해 증폭기 이득의 증가가 요구되며 따라서 펌프 파워가 증가되어야 한다. 그림 5는 후치증폭기 손실 L_{pa} 의 값이 증가할 때 자연방출인자 n_{sp} 의 변화를 나타내며 0에서 10 dB로 L_{pa} 가 증가할 때 n_{sp} 값은 2.37에서 1.42로 감소함을 나타낸다. 그림 5에서 n_{sp} 의 감소는 광 증폭기에서 발생하는 자연 방출 잡음의 감소를 의미하며 n_{sp} 의 최소값은 식 (18)과 같다.

IV. 시뮬레이션 결과와 검토

1. 광섬유 증폭기의 펌프 파워, 길이와 자연 방출 인자

광섬유 증폭기를 사용한 장거리 전송 시스템에 사용된 EDFA의 이득을 크게 하고 후치 증폭기 손실을 첨가하였다. 신호 출력 파워, 이득과 압축이 결정되면 증폭기 길이와 펌프 파워는 식 (1)~(3)엔 의하여 단일하게 결정된다. 그림 3과 4는 후치 증폭기 손실의 증가에 따른 펌프 파워와 증폭기 길이를 이득 G가 7, 10과 20 dB인

$$n_{sp} = \frac{\alpha_p \gamma_s}{\alpha_p \gamma_s - \alpha_s \gamma_p} \quad (18)$$

2. 시스템의 BER

광섬유 증폭기를 사용한 장거리 광통신 시스템의 BER을 구하기 위하여 식 (16)을 이용하고 전체 시스템 거리에 대한 함수로 수신기 파워에 대한 BER의 계산 결과를 얻었다. 그림 6, 7, 8은 증폭기의 이득이 7 dB이고 후치증폭기 손실이 0 dB, 5 dB, 10 dB일 때 수신기 신호 파워와 BER에 대한 관계를 나타낸 그래프이다. 후치

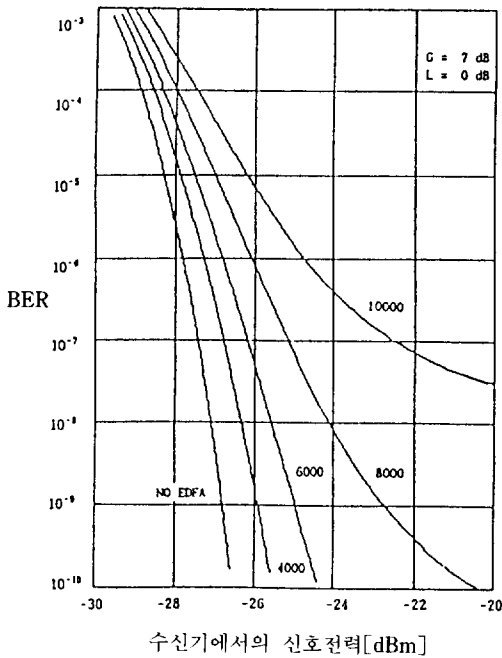


그림 6. 후치 증폭기 손실이 0 dB일때 시스템 전송 거리에 대한 BER 대 신호 파워.

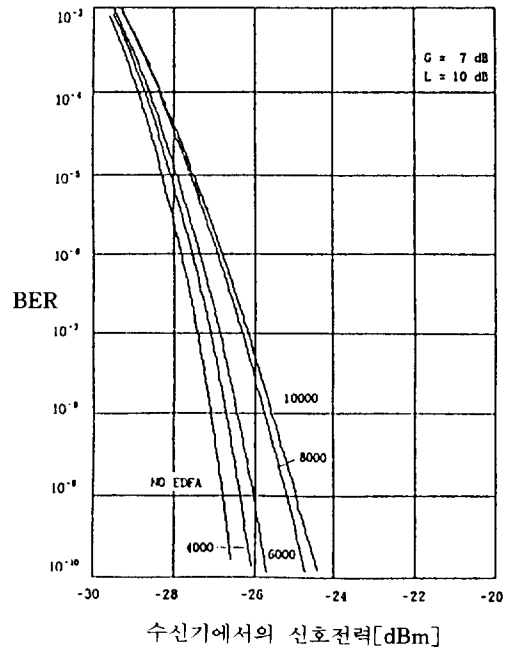


그림 8. 후치증폭기 손실이 10 dB일때 시스템 전송 거리에 대한 BER 대 신호 파워.

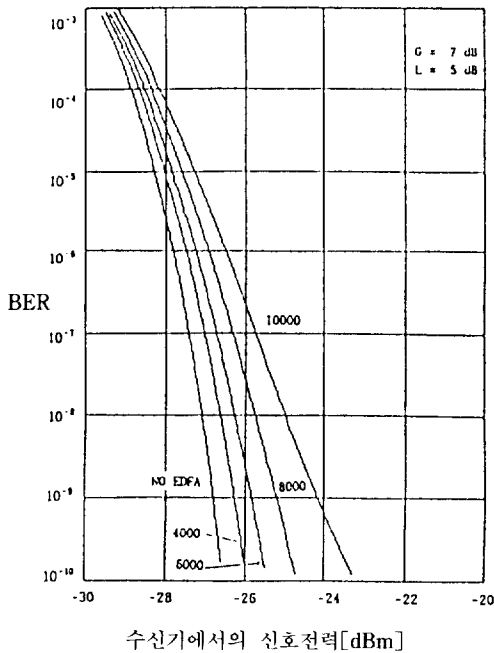


그림 7. 후치증폭기 손실이 5 dB일때 시스템 전송 거리에 대한 BER 대 신호 파워.

증폭기 손실이 증가함에 따라 그리고 전송 거리가 감소함에 따라 그리고 전송 거리가 감소함에 따라 BER이 감소함을 보여준다. 그림 9는 증폭기의 이득이 7 dB일 때 power penalty와 전송 거리의 관계를 나타낸 그래프로서 모두 표 1과 동일한 파라미터를 사용하였다. 그래프에서 10^{-9} 의 BER에서 후치증폭기 손실이 0 dB, 5 dB, 10 dB일 때 시스템 거리가 4,000 km에서는 각각 0.89 dB, 0.53 dB, 0.43 dB의 power penalty를 얻을 수 있으며 6,000 km일때 1.84 dB, 0.96 dB, 0.76 dB이며, 8,000 km일때 4.09 dB, 1.59 dB, 1.20 dB를 각각 얻을 수 있다. 즉 L_{pa} 의 증가는 n_{sp} 의 감소를 야기하며, n_{sp} 의 감소로 인하여 전송 거리가 증가하고 BER이 감소하며 power penalty가 감소되는 것을 알 수 있다.

그림 10은 증폭기의 이득이 20 dB일때 power penalty와 전송 거리의 관계를 나타낸 그래프로서 표 1과 같은 파라미터를 사용하였다. 이때 그래프에서 10^{-9} 의 BER에서 후치증폭기 손실이 0 dB, 5 dB, 10 dB일때 시스템 거리가 1,000 km에서는 각각 1.60 dB, 1.42 dB, 1.24 dB의 power penalty를 얻을 수 있으며 2,000 km 이상에서는 10^{-9} 의 BER을 얻을 수 없다. 즉 증폭기의 이득을 증가 시킴에 의하여 증폭기 사이의 거리는 증가시킬 수 있지만

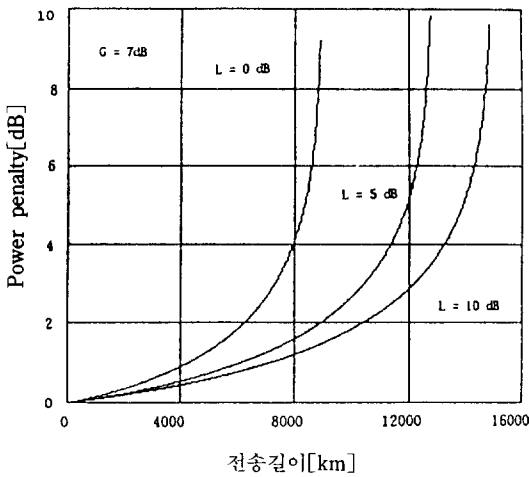


그림 9. 증폭기 이득이 7 dB일 때 후치증폭기 손실에 대한 power penalty 대 전송 거리.

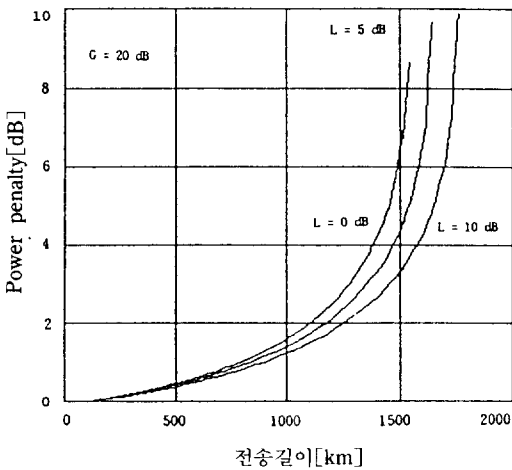


그림 10. 증폭기 이득이 20 dB일 때 후치 증폭기 손실에 대한 power penalty 대 전송 거리.

전체 시스템의 전송 거리는 감소함을 알 수 있다.

표 2에서는 증폭기 이득과 후치 증폭기 손실에 따른 펄프 파워어의 관계를 보여주고 있으며, 증폭기의 이득이 증가할수록 그리고 후치 증폭기 손실이 커질수록 펄프 파워어도 증가함을 알 수 있다. 후치 증폭기 손실이 0 dB이고 증폭기 이득이 7 dB일 때 펄프 파워어는 3.71 mW이고, 후치 증폭기 손실이 10 dB이고 증폭기 이득이 20 dB일 때 펄프 파워어는 13.82 mW이다. 표 3은 증폭기 이득에 따른 증계기 간격과 후치 증폭기의 손실에 따른 최대 전송 거리를 구하여 비교한 것으로, 증폭기 이득이

표 2. 증폭기 이득과 후치증폭기 손실에 따른 펄프 파워어[단위: mW]

증폭기 이득 G [dB]	후치증폭기 손실 L_{ps} [dB]		
	0	5	10
7	3.71	4.75	11.53
10	3.98	5.37	12.11
20	5.65	7.18	13.82

표 3. 증폭기 이득과 후치증폭기 손실에 따른 증계기 간격과 최대 전송 거리

증폭기이득 G [dB]	증계기간격 [km]	후치증폭기손실 [dB]	최대전송거리 [km]
7	35	0	8,960
		5	12,760
		10	14,890
10	50	0	6,830
		5	8,490
		10	9,590
20	100	0	1,560
		5	1,650
		10	1,790

7 dB, 후치 증폭기의 손실이 10 dB에서 증계기 간격이 35 km, 최대 전송 거리는 14,890 km임을 보여주고 있으며, 증계기 사이의 거리가 멀수록 최대 전송 거리가 감소함을 보여준다.

V. 결 론

본 논문에서는 EDFA를 증계기로 사용한 솔리톤 장거리 광통신 시스템의 성능을 평가하였으며, 잡음을 감소시키기 위하여 높은 이득과 후치 증폭기 손실을 첨가한 증계기 모델을 사용하여 시스템 성능을 평가하였다. 증폭기의 이득이 7 dB인 시스템에서 전송 거리가 8,000 km일 때 후치증폭기의 손실이 없는 경우와 10 dB일 때 펄프 파워어는 각각 3.71 mW, 11.53 mW이며 증폭기의 길이는 12.11 m에서 7.26 m로 감소된다. 자연 방출 인자의 값도 2.37에서 1.42로 감소시킬 수 있으며 power penalty는 4.09 dB에서 1.20 dB로 감소됨을 알 수 있었다. EDFA를 사용한 장거리 솔리톤 전송 시스템에서 펄프 파워어의 증가와 후치 증폭기 손실을 통하여 n_{sp} 를 감

소시킬 수 있고 이것은 BER을 감소시키고, power penalty를 감소시킬 수 있으며, 전송 거리를 증가시킬 수 있음을 보였다. 본 연구 결과 광섬유 증폭기를 중계기로 사용하는 시스템 설계에 이용함으로써 전송 특성을 개선할 수 있으리라 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] N. Edagawa et al., ECOC'89(Gothenburg, Sweden) post deadline paper, pap. PDA-8.
- [2] S. Saito et al., OFC'90(San Fransisco, U.S.) post deadline paper, pap. PD2-1.
- [3] C. R. Giles, C. A. Burrus, D. J. DiGiovanni, N. K. Dutta and G. Raybon, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, **3**, 363(1991).
- [4] N. A. Olsson, *J. Lightwave Technol.* **7**, 1071(1989).
- [5] Isam, M. I Habbab, Adel. A. M. Saleh, Nichoas J. Frigoo, George E. Bodeep, *J. Lightwave Technol.*, **10**, 1281(1992).
- [6] A. A. M. Saleh, R. M. Jopson, J. D. Evankow and J. Aspell, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, **2**, 714(1990).
- [7] A. A. M. Saleh, R. M. Jopson, *Proc. SPIE Conf.*, 1581: Fiber Laser Sources and Amplifiers III(Boston) 1991, paper 1581-12.
- [8] C. R. Giles and E. Desurvire, *J. Lightwave Technol.*, **9**, 271(1991).

Performance of Long-haul Optical Fiber Communication System Using Optical Amplifiers with Post Amplifier Loss

Moo Do Lee, Ho Joon Lee and Hwa Yong Lee

Department of Information Engineering, Hoseo University, Asan 337-795, Korea

(Received: April 4, 1994)

Performance of soliton based long-haul optical communication system with in-line optical amplifier repeaters are evaluated numerically. To reduce the optical amplifier noise, the amplifier gain is increased and the post amplifier loss is included. By theoretical calculation with 1480 nm copropagating pump, 7 dB amplifier gain and operating the amplifier 1 dB in compression, the spontaneous emission factor can be reduced from 2.37 to 1.45 by increasing the pump power from 3.71 to 11.53 mW and increasing the post amplifier loss from 0 to 10 dB. Then, power penalty can be reduced from 4.09 to 1.20 dB for 8,000 km transmission and the maximum transmission distance is 14,890 km.