

분산보상 광섬유를 이용한 초고속 단일모드 광섬유 전송링크의 최적 설계 연구

정희원 김용범*, 이용원**, 이명문**, 유진태**,
이상록***, 주무정****, 박진우**

Optimum Design of High Speed Transmission SMF Link Using DCF

Yongbum Kim*, Yongwon Lee**, Myungmoon Lee**, Jintae Yu**,
Sangrok Lee***, Moojung Chu****, Jinwoo Park** *Regular Members*

요 약

본 논문은 기존 표준 단일모드 광섬유 링크를 통하여 초고속 광신호의 장거리 전송이 가능하도록 분산보상 광섬유를 이용한 최적 분산보상 기법에 기반을 둔 전송링크 설계 방법을 제안하였다. 제안한 방법에서는 광섬유의 비선형성에서 비롯되는 자기위상변조(Self-Phase Modulation: SPM)와 광증폭기에서 발생하는 증폭자연방출(Amplified Spontaneous Emission: ASE) 잡음에 대하여 증폭기간 거리와 증계기간 거리를 최적화함으로써 전송신호 속도에 따른 최대 전송거리를 제시하였다. 또한 주어진 증폭기간 거리와 증계기간 거리에 대하여 ASE 잡음과 SPM의 효과의 균형적 관계로부터 최적의 입력 신호전력의 범위가 있음을 제시하였다.

ABSTRACT

This paper proposes an optical transmission link design method based on an optimum compensation scheme using dispersion compensating fiber (DCF), so that high-speed long-distance optical transmission would be possible over the conventional standard single mode fiber (SMF) link. The proposed design method provides the maximized transmission distances according to the signal speeds, where the amplifier spacing and repeater spacing are optimized with respect to self-phase modulation (SPM) due to fiber nonlinearity and amplified spontaneous emission (ASE) noises caused by optical amplifiers. It is also shown that there exists an optimum input signal power range balancing the effects of ASE noise and SPM for the given amplifier spacing and repeater spacing.

I. 서 론

우리 나라를 비롯한 세계 각국은 기존 단일모드 광섬유(SMF)를 기반으로 한 광전송 링크가 육상과 해저에 광범위하게 설치되어 있으며, 현재에는 정보통신 서비스의 다양화와 광역화로 인하여 급증하는 정보 전송의 주역을 담당하고 있다. 그러나, 기존에 설치되어 운용중인 광통신 링크 시스템을 통하여 현재와 미래에 요구되는 정보 전송량을 감

당하기는 불가능하므로 광전송 링크의 전송능력을 향상시키려는 노력이 많이 전개되고 있다.

대표적인 광전송 링크의 전송능력 향상 방안으로는 광파장다중(wavelength division multiplexing; WDM) 전송이 부각되고 있으며, 한편으로는 이미 설치되어 운용중인 단일모드 광섬유 전송링크의 전송속도와 전송거리를 최대화하는 연구가 진행되고 있다. 본 논문은 SMF 전송링크의 전송성능을 향상시키기 위한 방안을 제시하기 위하여, 초고속 신호

* 고려대학교 통신시스템기술학과

** 고려대학교 전자공학과

*** (주) 텔리언(Tellion)

**** 한국전자통신연구원(ETRI)

논문번호: 00202-0612, 접수일자: 2000년 6월 12일

* 본 연구는 한국전자통신연구원의 지원하에 수행되었습니다.

의 전송에 따른 SMF의 성능 제한요소를 분석하고, 이들 성능제한 요소의 특성에 대하여 광전송 링크의 성능을 최적화함으로써 전송거리를 최대화하는 광섬유 링크 설계 방법을 제안하였다.

초고속 광신호의 전송거리를 증대시키는데 있어서 주요 장애물이 되었던 것으로는 광섬유의 손실과 광섬유의 색분산이 있다. 이 중 광섬유의 손실은 어븀 첨가 광섬유 증폭기(Erbium-Doped Fiber Amplifier: EDFA)와 같은 효과적인 광증폭기의 출현으로 주요 제한요소가 되지 못한다. 그러나 1.5 μ m 파장대역에서 SMF의 색분산은 매우 커서 초고속 신호의 inter-symbol interference를 일으키므로 장거리 전송이 어렵게 된다. 예를 들어, 10Gbit/s 신호를 색분산이 16ps/(km-nm)인 SMF로 전송할 경우 전송거리는 약 60km로 제한되고, 40Gbit/s 신호의 경우는 약 4km로 제한된다^[1].

SMF를 이용한 초고속 광신호 전송시 색분산에 의한 전송거리 제한을 극복하기 위하여 많은 보상 방법들이 연구되어 왔다. 광섬유 회절 격자가 색분산 보상을 위해 사용될 수 있다^[2]. 처핑된 광섬유 회절 격자는 손실이 작고 간단하며 편광에 민감하지 않은 특성 등의 장점이 있어 유망한 소자로 주목을 받고 있으나, 분산보상 값이 장력과 온도 변화에 매우 민감하기 때문에 격자 제작 시 정교하게 해야 한다는 어려움이 있고 보상할 수 있는 대역폭이 좁다는 단점이 있다. 또 다른 보상방법으로는 optical phase conjugation을 이용한 mid-span spectral inversion(MSSI) 방법이 있다^[3]. 이 방법은 색분산과 SPM의 효과를 보상할 수 있는 것으로 보고되었지만^[4], optical phase conjugator 전후 광섬유에서의 색분산과 전력 분포가 대칭적이어야 한다는 것과 에러가 없는 데이터의 검출이 중간의 증계기에서는 불가능하고 수신단에서만 가능하다는 제한점이 있다. 송신단에서 광 변조 시에 광섬유에서의 색분산과 반대되는 처핑을 갖도록 pre-chirping하는 방법이 있으나 장거리 전송에 어려움이 있다^[5]. Dispersion support transmission(DST) 방법은 인위적인 색분산 보상 대신 광섬유의 색분산 때문에 주파수 변조된 신호가 진폭 변조되는 것을 이용하여 전송하는 것인데, '1'과 '0'의 주파수 편차에 따라 최적 전송거리가 달라지고 수신단에서 수신감도가 떨어지는 문제가 있다^[6]. 분산보상 광섬유(DCF)는 SMF의 분산 값과 반대 부호의 분산을 갖는 광섬유로서 DCF를 SMF와 직렬 연결하여 색분산을 보상할 수 있다^[7]. DCF를 이용한 보상은 정확한 분산

값을 제어할 필요가 있지만 온도에 대한 안정성, 광대역의 분산보상 특성 등의 장점이 있어 가장 실제적인 보상방법으로 알려져 왔다^[8-9]. 이전의 DCF를 이용한 분산보상 연구는 DCF 보상기의 설치 위치 변화에 따른 최대 분산보상 효과를 얻고자 하는 방향으로 진행되어 왔다^[7, 10].

본 논문에서는 초고속 광신호의 최대전송거리를 확보하기 위하여, 분산보상기로 DCF를 이용하고 최적화된 증폭기간 거리와 증계기간 거리를 수용하는 다중링크 분산보상구조를 제안한다. 또한 전송거리가 광섬유의 비선형성에 의한 SPM과 광증폭기의 ASE 잡음의 영향을 받으므로 여기에 관계되는 증폭기간 거리, 증계기간 거리, 입력 신호전력의 최적화의 필요성을 보이고, 이들 파라미터들의 최적화가 초고속 신호의 전송에 어떤 영향을 주는가를 시뮬레이션을 통해 확인한다.

II. DCF를 이용한 분산보상 원리

광섬유의 분산 효과는 모드 전파상수 β 를, 중심 주파수 ω_0 에서 Taylor 급수로 전개함으로써 설명될 수 있다.

$$\beta(\omega) = \beta_0 + \beta_1(\omega - \omega_0) + \frac{1}{2}\beta_2(\omega - \omega_0)^2 + \frac{1}{6}\beta_3(\omega - \omega_0)^3 + \dots \quad (1)$$

여기서 β_m 은 식 (2)와 같다.

$$\beta_m = \left[\frac{d^m \beta}{d\omega^m} \right]_{\omega=\omega_0} \quad (m=0,1,2,\dots) \quad (2)$$

β_1 은 펄스 군속도 v_g 의 역수이며, β_2 와 β_3 는 각각 분산 파라미터 D , 분산기울기 파라미터 D' 과 파장 λ 에 다음과 같이 관계된다.

$$D = - \left(\frac{2\pi c}{\lambda^2} \right) \beta_2 \quad (3)$$

$$D' = \left(\frac{2\pi c}{\lambda^2} \right)^2 \beta_3 + \left(\frac{4\pi c}{\lambda^3} \right) \beta_2 \quad (4)$$

$D < 0$ ($\beta_2 > 0$)인 영역은 정상 분산영역(normal dispersion regime)이라 불리며 $D > 0$ ($\beta_2 < 0$)인 경우는 비정상 분산영역(anomalous dispersion regime)이라 불린다. SMF의 비정상 분산영역에서, 파장이

큰 성분은 파장이 작은 성분보다 더 천천히 진행된다. 이런 진행속도의 차이 때문에 펄스가 SMF내에서 전파되어감에 따라 점점 분산되게 된다. 1550nm 파장 대역에서 분산 값이 16ps/(km-nm)인 SMF로 고속의 광신호를 성공적으로 전송하려면 이러한 분산현상을 반드시 보상해 주어야 한다. 만일 그림 1의 (a)와 같이 SMF($D>0$)와 DCF($D<0$)를 이어서 연결하였을 때 다음 식에 보이는 SMF-DCF 링크의 분산을 0으로 할 수 있으면 분산은 보상될 수 있다.

$$D_{TOTAL} \times L_{TOTAL} = D_{SMF} \times L_{SMF} + D_{DCF} \times L_{DCF} \quad (5)$$

여기서 D_{TOTAL} , D_{SMF} 와 D_{DCF} 는 각각 SMF-DCF 링크의 분산, SMF의 분산, DCF의 분산을 나타내고, L_{TOTAL} , L_{SMF} 와 L_{DCF} 는 각각 SMF-DCF 링크의 길이, SMF의 길이, DCF의 길이를 나타낸다.

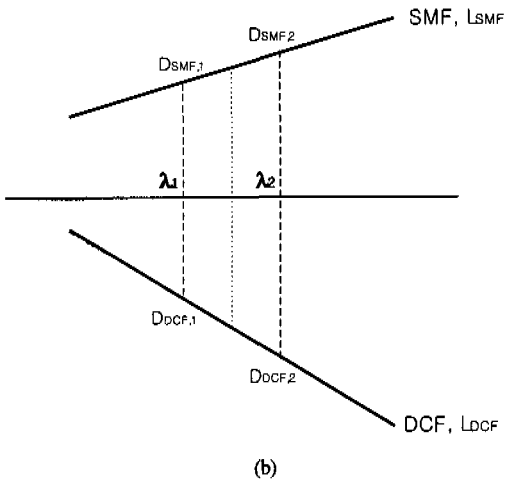
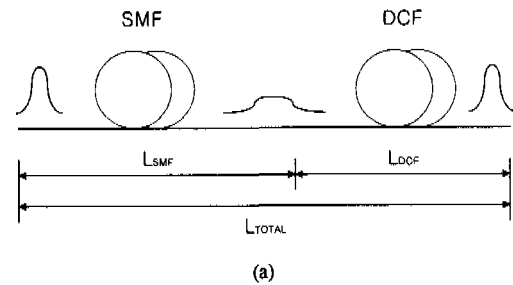


그림 1. (a) 분산보상 구조 (b) 분산보상의 개념

그림 1의 (b)에서 SMF와 DCF에서의 분산은 분산 기울기를 이용하여 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$D_{SMF,2} = D_{SMF,1} + D'_{SMF} \Delta\lambda \quad (6)$$

$$D_{DCF,2} = D_{DCF,1} + D'_{DCF} \Delta\lambda \quad (7)$$

여기서 D'_{SMF} 와 D'_{DCF} 는 각각 SMF와 DCF의 분산 기울기이고, $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ 이다. $D_{TOTAL}=0$ 일 때 식 (5)~(7)을 이용하여 풀면 식 (8)을 얻게 되는데, 이는 SMF-DCF 링크의 완전한 분산보상을 위하여 분산과 분산 기울기가 만족하여야 하는 관계를 나타낸다.

$$\frac{D_{SMF}}{D_{DCF}} = \frac{D'_{SMF}}{D'_{DCF}} = -\frac{L_{DCF}}{L_{SMF}} \quad (8)$$

III. 다중링크 분산보상 구조

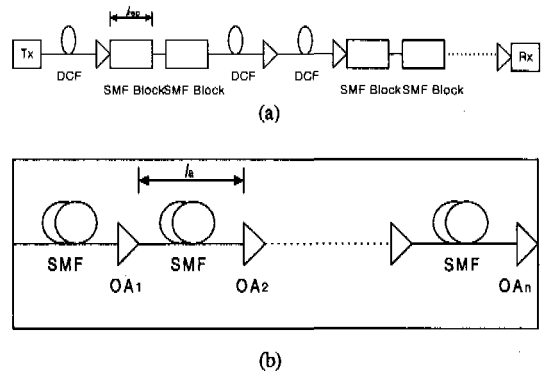


그림 2. 다중링크 분산보상 구조

- (a) 기본 구조 (l_{rep} : 증폭기간 거리)
- (b) SMF 블록 (l_a : 증폭기간 거리)

그림 2는 다중링크 분산보상 구조를 나타낸다. 여기에는 2가지 형태의 광섬유 링크가 결합되어 있는데 하나는 pre-compensation이라 불리는 DCF-SMF 링크이고 다른 하나는 post-compensation이라 불리는 SMF-DCF 링크이다. Pre-compensation의 경우, DCF에 들어간 펄스는 분산을 겪게 되고, 이 분산된 펄스가 양의 분산을 갖는 SMF에 들어가 진행하게 되면 초기의 모양으로 돌아와 왜곡된 펄스의 모양이 보상된다. 그러나 SMF에서 SPM에 의해 발생된 주파수 chirp은 군속도 분산(GVD)과의 상호작용으로 펄스의 부가적인 압축을 일으킨다. 따라서 pre-compensation 형태의 광섬유 링크를 반복하여

전송로를 구성하면 신호 펄스에 압축효과가 누적되는 왜곡이 발생한다. Post-compensation의 경우, SMF에서 펄스는 비정상 분산영역에서 분산이 발생하고, 이 펄스가 정상 분산영역에 있는 DCF에 들어가 진행하면서 원형을 회복한다. 그러나, DCF에서 SPM에 의해 발생된 주파수 chirp은 군속도 분산(GVD)과의 상호작용을 통해 신호 펄스에 더 분산이 발생하도록 한다. 그러므로 SMF-DCF 링크를 기본 구조로 전송로를 구성하여 신호를 전송하면, 분산보상을 하였을지라도 SMF-DCF 링크의 수가 많아질수록 수신단에서의 신호는 입력시보다 더 분산된 형태가 된다^[10]. 다중링크 분산보상 구조는 pre-compensation 구조가 주는 신호 압축의 왜곡과 post-compensation 구조가 주는 신호 분산의 왜곡이 서로 상쇄효과를 주어 수신 신호가 pre- 또는 post-의 단독구조가 반복될 때 보다 더 입력신호의 모양에 가깝게 보상되도록 하는, pre+post의 결합구조를 갖는다. 따라서 이 구조를 사용하여 전송로를 구성하면 전송거리를 증대시킬 수 있게 된다. 그림 3은 선로 증폭기가 없는 경우 SMF 300km를 이용하여 전송한 결과들을 나타낸다. Pre-compensation과 post-compensation 구조 각각 2단을 이용하여 전송한 결과들은 위에서 기술한 것처럼 각각 신호의 압축과 분산을 보이는 반면, 다중링크 분산보상구조의 경우 입력신호와 거의 일치함을 알 수 있어 전송거리 증대에 더 유용한 구조임을 알 수 있다.

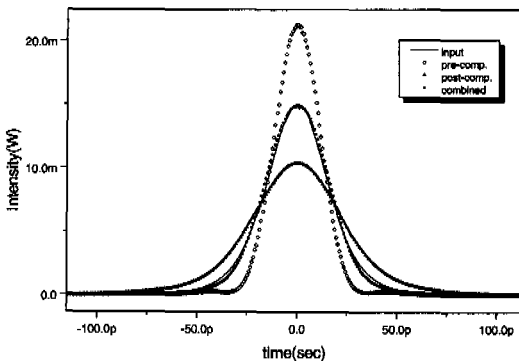


그림 3. 다중링크 분산보상 구조의 성능(선로증폭기가 없는 경우)
(전송거리: 300km, SMF블록 길이: 150km, 펄스 폭(T_0): 20ps)

다중링크 분산보상 구조에서 전송 광섬유 링크는 SMF 블록으로 되어 있는데, 이 블록은 여러 개의 SMF 스패와 광 증폭기들로 구성된다. SMF를 통한

전송 성능은 SMF 블록내에서 발생하는 SPM과 ASE 잡음, 군속도 분산에 의해 영향을 받는다. 그러므로 SPM과 ASE 잡음 발생에 관계되는 증폭기간 거리(l_a), 증계기간 거리(l_{rep})와 입력 전력을 최적화시키면 광신호의 전송거리를 극대화시킬 수 있다.

이상에서 알 수 있듯이, 최적화된 SMF 블록을 전송매체로 하고 pre-compensation과 post-compensation의 결합을 통하여 펄스 왜곡의 상쇄효과를 갖도록 한 다중링크 분산보상 구조를 이용하면 광신호의 분산을 보상하면서 전송거리를 최대로 할 수 있게 된다. 다음은 SPM과 ASE 잡음에 의한 성능 제한과 증폭기간 거리(l_a), 증계기간 거리(l_{rep}), 입력 전력과의 관계를 자세히 서술한다.

SPM에 의한 성능제한은 SPM에 의해 발생하는 신호의 위상변화와 군속도분산(GVD)의 상호작용을 통해 가해지게 된다. SPM에 의한 성능제한 정도를 분석하기 위하여 SPM을 통해 발생하는 광신호의 위상변화 Φ_{SPM} 을 구할 필요가 있는데, 이는 군속도분산(GVD)을 고려하지 않고 비선형 Schrödinger 방정식을 풀 때 다음과 같이 구해진다^[11].

$$\Phi_{SPM}(z, T) = \gamma P_0 \frac{1 - \exp(-\alpha z)}{\alpha} |U(0, T)|^2 \quad (9)$$

여기서 γ 는 비선형 계수, P_0 는 침투 전력, α 는 손실계수, z 는 전송거리, $U(0, T)$ 는 $z=0$ 에서 정규화된 진폭이다. Φ_{SPM} 의 시간 의존성은 침투 전력에 비례하는 주파수 chirp을 갖게 한다.

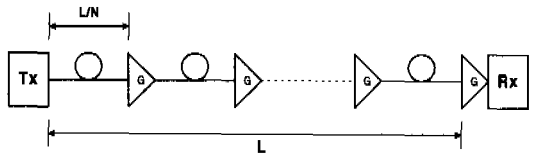


그림 4. 광증폭기가 직렬 접속된 전송선로($G=\exp(\alpha L/N)$)

그림 4와 같이 N 개의 증폭기가 직렬 접속된 전송 선로에서 SPM에 의한 전체 위상 변화 Φ_{TOTAL} 은 다음과 같다.

$$\Phi_{TOTAL} = N \gamma P_0 \frac{1 - \exp(-\alpha L)}{\alpha} |U(0, T)|^2 \quad (10)$$

$$= \gamma P_0 \frac{F_{SPM}}{\alpha} |U(0, T)|^2 \quad (11)$$

여기서 F_{SPM} 은 식 (12)와 같다.

$$F_{SPM} = N \left[1 - \exp\left(-\frac{\alpha L}{N}\right) \right] \quad (12)$$

F_{SPM} 은 SPM에 의한 성능열화와 주어진 거리 내의 증폭기 수와의 관계를 나타내며, 그 특성을 그림 5에 나타내었다. 증폭기의 수가 증가할수록 광섬유 내의 광전력은 증가하고 SPM 효과도 증가하게 된다. 그림 6은 높은 전력에서 성능이 열화되는 것을 보이고 있다. 이상의 사실에서 SPM 효과를 조절하기 위하여 입력 전력, 증폭기간 거리 그리고 증계기 간 거리에 대하여 최적의 값을 취하여야 함을 알 수 있다.

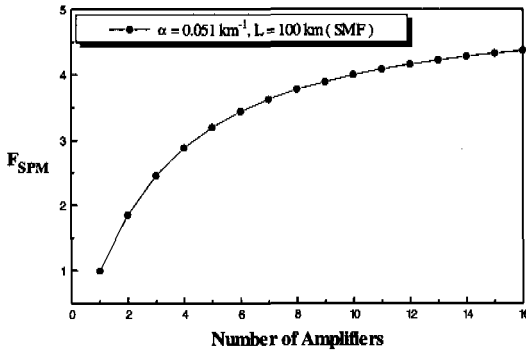


그림 5. SPM 효과에 대한 증폭기간 거리의 영향

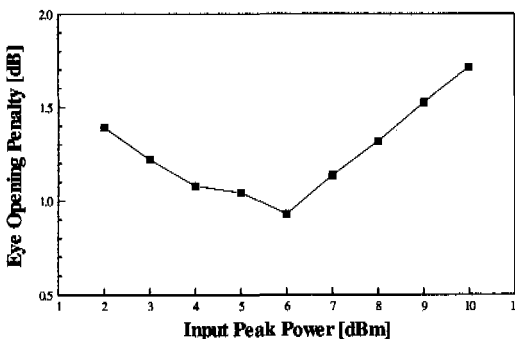


그림 6. 입력 전력에 대한 eye opening penalty(시스템 길이: 240km, $l_a = l_{op} = 80$ km)

EDFA 같은 증폭기를 갖는 장거리 전송시스템의 경우, ASE 잡음은 시스템 성능에 대한 또 하나의 제한요소가 된다. ASE 잡음은 각 증폭기에서 발생하여 증폭기를 연속적으로 거치면서 누적된다. 이

누적된 ASE 잡음은 SNR(signal-to-noise ratio)을 열화시키는데, 낮은 전력에서의 시스템 성능은 주로 이 ASE 잡음에 의해 영향을 받게 된다.

각 증폭기에서 발생하는 ASE 잡음 전력은 다음과 같다^[12].

$$P_n = n_{sp} h\nu(G-1)B_0 \quad (13)$$

여기서 n_{sp} 는 자연방출 요소이고, $h\nu$ 는 광자 에너지, G 는 증폭기의 이득, B_0 는 광필터의 대역폭이다. 전송선로에 N 개의 증폭기가 있고 각 증폭기의 이득이 $\exp(\alpha L/N)$ 이라면, 전체 ASE 잡음은 다음과 같다.

$$P_{n, tot} = N n_{sp} h\nu(e^{\alpha L/N} - 1)B_0 \quad (14)$$

$$= n_{sp} h\nu B_0 F_{ASE} \quad (15)$$

이 때 $F_{ASE} = N(e^{\alpha L/N} - 1)$ 이다. 시스템 길이가 일정한 경우 증폭기의 수가 증가함에 따라 전체 ASE 잡음이 감소함을 그림 7에서 볼 수 있다. ASE 잡음의 시스템 성능에 대한 영향을 고려할 때, 가장 좋은 성능을 얻기 위하여 증폭기간 거리, 증계기간 거리의 선택이 중요함을 또한 알 수 있다.

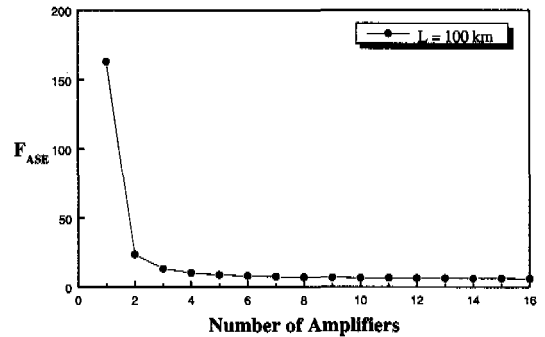


그림 7. ASE 잡음에 대한 증폭기간 거리의 영향

IV. 성능 분석

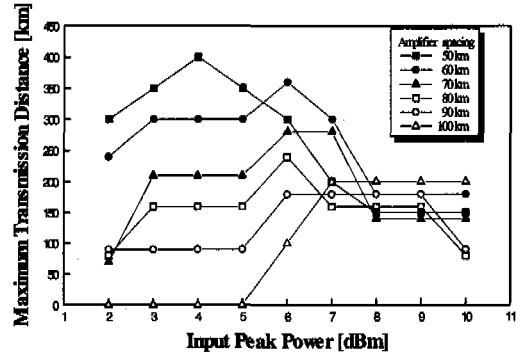
본 장에서는 제안된 구조를 이용해 100Gbit/s 신호를 전송한 결과를 시뮬레이션을 통해 보이며, III장에서 본 바와 같이 증폭기간 거리, 증계기간 거리 및 입력 전력의 선택을 통한 SMF 블록의 최적화가 전송거리에 큰 영향을 미침을 확인한다.

광신호가 광섬유를 통하여 전송될 때 그 성능을 분석하기 위해서는 광섬유의 손실, 색분산 및 광섬유의 비선형성 등의 효과를 포함하여 광신호의 전파상태를 기술하는 기본 방정식인 비선형 Schrödinger 방정식을 풀어야 한다^[11]. 이를 위하여 split-step Fourier method(SSFM)^[11]를 사용하여 수치해석적 분석을 하였다. SMF에서는 손실계수 0.22dB/km, 분산 16ps/(km-nm), 분산 기울기 0.05ps/(km-nm²), 비선형계수 2W⁻¹km⁻¹를 사용하고, DCF에서는 손실계수 0.5dB/km, 분산 -80ps/(km-nm), 분산 기울기 -0.25ps/(km-nm²), 비선형계수 10W⁻¹km⁻¹를 사용하였다. 펄스 폭(T₀) 3ps의 hyperbolic secant 펄스 (2⁷-1 PRBS)를 사용하였고, 신호 파장은 1555nm로 하였다. 광필터의 대역폭은 2nm, 광증폭기의 noise figure는 4dB로 하였다.

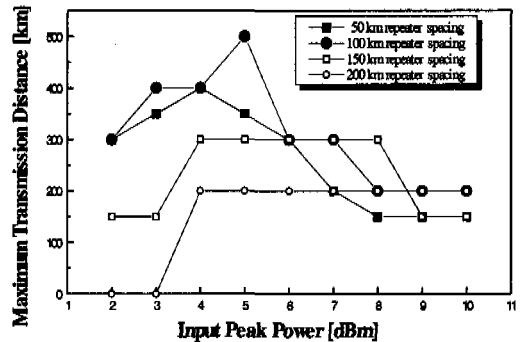
그림 8의 (a)는 증폭기 구간에 선로 증폭기가 없을 때 제한된 구조가 입력 전력에 따라 지원할 수 있는 최대 전송거리(SMF 선로길이)를 나타낸다. 전송거리는 1dB의 EOP(Eye Opening Penalty)를 기준으로 선택하였다. 동일 전력에서도 증폭기 간 거리에 따라 전송 거리에 큰 차이가 남을 알 수 있고, 동일 증폭기 간 거리에서도 입력 전력에 따라 다른 성능을 보임을 알 수 있다. 그림 8의 (b)는 증폭기 간 거리가 50km로 고정된 상태에서 증폭기 간 거리에 따른 전송 성능을 나타낸다. 증폭기 간 거리를 100km, 입력 전력을 5dBm으로 할 때 500km의 최대 전송거리를 보이는데, 이는 (a)에서 동일 증폭기 간 거리 100km를 가지지만 선로증폭기가 없어 증폭기 간 거리가 100km인 경우의 최대 전송거리 200km와 비교해 볼 때 증폭기 간 거리의 선택이 중요함을 나타낸다. 또한 이 결과는 ASE 잡음을 고려하지 않고 증폭기 간 거리와 증폭기 간 거리를 150km로 한 이전의 전송거리 450km 보다 개선된 것이다^[13]. 그리고 Kawanishi 등이 normal DSF와 anomalous DSF를 이용하여 100Gbit/s 신호를 560km 전송한 결과^[14], Feiste 등이 optical phase conjugation 분산보상 방법을 이용하여 SMF로 80Gbit/s 신호를 106km 전송한 결과^[15], Feiste 등이 DCF로 분산보상을 하여 SMF로 80Gbit/s 신호를 160km 전송한 결과^[9] 등과 비교해 볼 때, 본 결과는 DSF보다 분산 값이 큰 SMF 전송로에서 80Gbit/s보다 높은 속도인 100Gbit/s 신호의 500km 전송이 가능함을 보이는 것으로 SMF를 이용한 100Gbit/s 신호의 장거리 전송 가능성을 확인시켜 주는 것이다. 그리고 같은 증폭기 간 거리에서도 최

대 전송거리와 해당 칩두 전력은 증폭기 간 거리에 의존함을 알 수 있다.

400km의 전송거리는 증폭기 간 거리 50km와 100km를 이용하여 얻을 수 있는데, 100km의 경우가 50km의 경우보다 더 적은 수의 증폭기로 구현이 가능하므로 최대 전송거리를 더 경제적으로 얻을 수 있는데 있어서 증폭기 간 거리의 선택이 중요함을 또한 알 수 있다.



(a)



(b)

그림 8. 증폭기 간 거리에 따른 최대 전송거리와 입력 전력의 관계

- (a) 선로증폭기가 없는 경우
- (b) 선로증폭기가 있는 경우 (l_a=50km)

그림 9는 각 입력전력에서 최대 전송거리를 제공하는 증폭기 간 거리와 증폭기 간 거리의 여러 조합을 나타낸다. 이는 최적 시스템 설계의 실마리를 제공하며, 또한 같은 증폭기 간 거리 및 증폭기 간 거리에서도 입력 전력에 따라 아주 다른 전송거리를 얻을 수 있다는 점에서 입력 전력의 중요성을 나타내고 있다.

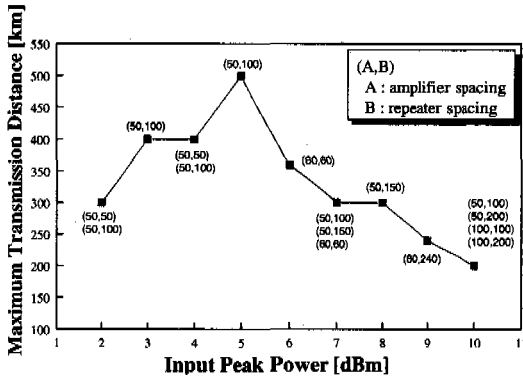


그림 9. 증폭기간 거리와 증계기간 거리의 조합에 따른 최대 전송거리

V. 결론

SMF를 통한 초고속 광신호의 전송에 있어서 최대의 전송거리를 확보하기 위하여, DCF를 분산보상기로 이용하고 SMF 블록을 전송매체로 하여 구성된 다중링크 분산보상 구조를 제안하였다. 증폭기간 거리, 증계기간 거리와 입력 전력을 SPM과 ASE 잡음에 대하여 최적화 하였다.

입력 침투 전력 5dBm, 증폭기간 거리 50km, 증계기간 거리 100km에서 SMF를 이용하여 100Gbit/s 신호의 500km 전송이 가능함을 보였다. 특히, 원하는 거리의 전송을 위한 시스템 설계시 고려해야 할 입력 전력, 증폭기간 거리 그리고 증계기간 거리의 최적 조건들을 제시하였다. 본 연구결과는 SMF를 통한 초고속 광신호의 단일채널 전송가능성을 확인한 것으로서, 적절한 보상방법이 적용되는 경우에 SMF를 기반으로 한 광링크의 전송능력이 크게 증대될 수 있음을 입증하였다.

참고 문헌

[1] P. A. Andrekson, "Ultrahigh speed transmission and multiplexing," *ECOC94*, pp.109-116, Sep. 1994.
 [2] W. H. Loh, R. I. Laming, A. D. Ellis and D. Atkinson, "10Gbit/s transmission over 700km of standard single-mode fiber with 10-cm chirped fiber grating compensator and duobinary transmitter," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol.8, no.9, pp. 1258-1260, Sep. 1996.
 [3] A.D. Ellis, M.C. Tatham, D.A.O. Davies, D.

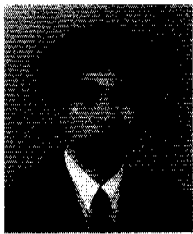
Nessett, D.G. Moodie, and G. Sherlock, "40 Gbit/s transmission over 202km of standard fibre using midspan spectral inversion," *Electron. Lett.*, vol.31, no.4, pp. 299-301, 1995.

[4] Akihide Sano, "Recent Progress of Optical Equalization Techniques for High-Speed Optical Networks," *OECC'97*, Technical Digest 10A3-1, July 1997.
 [5] J. A. J. Fells, M. A. Gibbon, I. H. White, G. H. B. Thompson, R. V. Penty, C. J. Armistead, E. M. Kimber, D. J. Moule and E. J. Thrush, "Transmission beyond the dispersion limit using a negative chirp electroabsorption modulator," *Electron. Lett.*, vol. 30, no. 14, pp. 1168-1169, July 1994.
 [6] B. Wedding and B. Franz, "Unregenerated optical transmission at 10Gbps via 204km of standard single mode fiber using a directly modulated laser diode," *Electron. Lett.*, vol. 20, no. 4, pp. 402-404, 1993.
 [7] R. Ludwig, W. Pieper, H.G. Weber, D. Breuer, K. Petermann, F. Kuppers, and A. Mattheus, "Unrepeated 40Gbit/s RZ single channel transmission over 150km of standard single mode fibre at 1.55um," *Electron. Lett.*, vol.33, no.1, pp. 76-77, January 1997.
 [8] R. J. Nuyts, Y. Park and P. Gallion, "Dispersion equalization of a 10Gb/s repeatered transmission system using dispersion compensating fibers," *IEEE J. Lightwave Technol.*, vol. 15, no. 1, pp. 31-42, Jan. 1997.
 [9] U. Feiste, R. Ludwig, S. Diez, C. Schmidt, H. J. Ehrke, H. G. Weber, "Unrepeated 80Gbit/s RZ single channel transmission over 160km of standard fiber at 1.55um with a large wavelength tolerance," *OFC2000*, TuD5, March 2000.
 [10] P. Palai and K. Thyagarajan, "Effect of self-phase modulation on a dispersion compensated link employing a dispersion-compensating fiber," *Optics Communications* 143, pp. 203-208, Nov. 1997.
 [11] G. P. Agrawal, *Nonlinear Fiber Optics*, 2nd Ed., Academic Press, 1995.
 [12] N. A. Olsson, "Lightwave systems with optical

amplifiers," IEEE J. Lightwave Technol. vol. 7, no. 7, pp.1071-1082, July 1989.

- [13] Y. Kim, Y. Lee and J. Park, "Dispersion compensation for a 100Gbit/s OTDM transmission system using dispersion compensating fibers," Proc. of ITC-CSCC '98, vol. 1, pp.759-761, July 1998.
- [14] S. Kawanishi, H. Takara, O. Kamatani, T. Morioka and M. Saruwatari, "100Gbit/s, 560km optical transmission experiment with 80km amplifier spacing employing dispersion management," Electron. Lett., vol. 32, no. 5, pp. 470-471, Feb. 1996.
- [15] U. Feiste, R. Ludwig, C. Schmidt, E. Dietrich, S. Diez, H. J. Ehrke, E. Patzak, H. G. Weber, and T. Merker, "80-Gb/s Transmission over 106-km Standard-Fiber Using Optical Phase Conjugation in a Sagnac-Interferometer," IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 11, no. 8, pp. 1063-1065, August 1999.

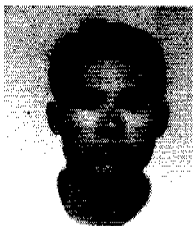
김 용 범(Yong-Bum Kim) 정회원



1985년 2월 : 고려대학교
전자공학과, 학사
1987년 2월 : 서울대학교
전자공학과, 석사
1997년 3월 ~현재 : 고려대학교
통신시스템기술학과
박사과정

1987년 7월 ~현재 : 한국통신 선임연구원
<주관심 분야> 초고속 광전송시스템, 광섬유 분산 보상, 광통신망

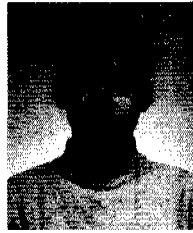
이 용 원(Yong-Won Lee) 정회원



1997년 2월 : 고려대학교
전자공학과, 학사
1999년 8월 : 고려대학교
전자공학과, 석사
1999년 9월 ~현재 : 고려대학교
전자공학과 박사과정

<주관심 분야> 초고속 광전송에서 비선형 현상의 분석 및 보상

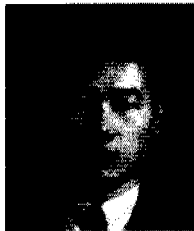
이 명 문(Myung-Moon Lee) 정회원



1991년 2월 : 고려대학교
전자공학과, 학사
1993년 2월 : 고려대학교
전자공학과, 석사
1997년 3월 ~현재 : 고려대학교
전자공학과 박사과정

1993년 2월 ~1996년 10월 : LG전자 멀티미디어 연구소
주임연구원
<주관심 분야> 광통신망 설계, 광통신망 관리

유 진 태(Jin-Tae Yu) 정회원



1996년 2월 : 고려대학교
전자공학과, 학사
1998년 2월 : 고려대학교
전자공학과, 석사
1998년 3월 ~현재 : 고려대학교
전자공학과 박사과정

<주관심 분야> 광전송시스템, 광/무선 통신망 설계

이 상 록(Sang-Rok Lee) 정회원

1991년 2월 : 고려대학교 전자공학과, 학사
1993년 2월 : 고려대학교 전자공학과, 석사
1997년 8월 : 고려대학교 전자공학과, 박사
현재 : (주)텔리언 선임연구원

<주관심 분야> 광전송망, 광통신망 다중접속 프로토콜

주 무 정(Moo-Jung Chu) 정회원

1980년 : 연세대학교 물리학과, 학사
1982년 : 한국과학기술원 물리학과, 석사
1985년 : 한국과학기술원 물리학과, 박사
1985년 ~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원
1989년 : HEINRICH-HERTZ-INSTITUT(독일베를린)
방문연구원

<주관심 분야> 광증폭기, 광전송

박진우(Jin-Woo Park)

정회원



1979년 3월 : 고려대학교

전자공학과, 학사

1983년 8월 : 클렘슨대학교

전기공학과, 석사

1987년 11월 : 버지니아 주립

대학교, 박사

1989년 3월 ~ 현재 : 고려대학교 전자공학과 교수
<주관심 분야> 광전송시스템, 광교환시스템, 광통신
망