

2.5Gb/s x 4채널 파장분할다중 광링크 실험모델 제작 및 전송 실험

正會員 이 현 재*, 이 상 수*, 이 동 호*, 박 창 수*

Development of 2.5Gb/s x 4channels WDM link prototype and its experiments

Hyunjae Lee*, S.S.Lee*, D.H.Lee*, C.S.Park* *Regular Members*

요 약

2.5Gb/s x 4채널 파장분할다중 광링크의 실험모델을 제작하였다. 무중계로 120km를 전송하였으며 광선로증폭기 2대를 연결하여 240km까지 전송거리를 연장하였다.

ABSTRACT

We developed the prototype of 4-channel WDM link with erbium-doped fiber amplifiers. Bit rate of each channel was 2.5Gb/s. The unrepeated transmission over 120km with DSF was achieved and the transmission length was extended to 240km using two EDFAs.

I. 서 론

시분할다중(time division multiplexing, TDM)을 이용하는 현재의 광전송시스템은 사용되는 전자소자의 대역폭 한계와 광섬유의 색분산에 의한 광펄스 왜곡에 의해 전송속도가 제한된다. 여러개의 시분할다중된 고속신호를 서로 다른 파장을 갖는 광파에 배열하

여 하나의 광섬유로 전송하는 파장분할다중(Wavelength Division Multiplexing: WDM) 방식은 전자소자에 제한받지 않고 대용량 광전송을 구현할 수 있다는 점에서 많은 연구개발이 진행되고 있다. 특히 에르븀 첨가 광섬유증폭기가 이득을 갖는 1,530~1,560nm 영역에서 적절한 파장간격으로 채널을 설정하는 경우 장거리 대용량 전송이 가능하다.

기존의 광전송시스템에서는 광섬유의 손실에 의해 전송거리가 제한되었으나, 전송속도가 증가함에 따라 색분산이 전송거리를 제한하는 주요인이 되었다. 반면 파장분할다중 전송시스템과 같은 다채널 시스템에서는 광섬유의 비선형 현상과 광선로증폭기를

*한국전자통신연구원
Electronics and Telecommunications Research Institute,
Lightwave Communications Section.
論文番號: 96336-1029
接受日字: 1996年 10月 29日

여러개 사용하는 경우 발생하는 이득 피킹 효과로 인해 채널간의 이득 차이가 발생하게 되어 전송거리가 제한된다. 따라서 파장분할다중 전송시스템에서는 비선형 현상을 최소화하는 것과 광선로증폭기의 출력을 이득등화(gain equalization) 하는 것이 중요하다.

파장분할다중 기술을 이용한 등간격 다채널 전송에서 분산천이광섬유를 사용하는 경우 4광파 혼합파가 낮은 광세기에서 쉽게 생성된다. 특히 신호광장들이 광섬유 영분산 파장에 가까울 때 낮은 광세기에서도 쉽게 생성된다[1-2].

최근 광선로증폭기 출력의 이득등화에 관한 연구 결과를 보면 광선로증폭기 출력의 이득등화를 위해 광섬유 회절격자 [3-4], 이득등화용 필터 [5-8], fluoride EDFA[9-10]를 사용하는 방법 등이 보고 되었다. 또한 광선로증폭기를 사용하지 않고 장거리 전송을 하기 위해 원격 펌프 광증폭기를 사용한 무중계 전송도 연구되고 있다[11-12]. 그렇지만 현재까지 국내에서 관련분야의 연구는 전무한 실정으로 이에 관한 연구가 요구된다.

이 논문에서는 2.5Gb/s x 4채널 파장분할다중 광링크의 실험모델에 관하여 기술하였다. 그리고 제작된 실험모델을 이용하여 수행한 무중계 전송실험결과와 광선로증폭기를 사용하여 전송거리를 연장시킨 실험결과에 대하여 기술하였다. 또한 송신기와 외부 변조기 입력단 사이의 편광상태 조절로 광선로증폭기 출력을 이득등화 하는 방법에 대하여서도 기술하였다.

II. 2.5Gb/s x 4채널 파장분할다중 방식 전송시스템 실험모델 제작

2.5Gb/s x 4채널 파장분할다중 방식 전송시스템의 실험모델은 (그림 1)에 나타난 바와 같이 600x250x340mm (가로x세로x높이) 의 셀프에 4개의 송신기 보드와 2개의 수신기 보드 및 다중화부로 사용되는 4x4 방향성 결합기 보드가 실장되는 구조로 되어 있다. 또한 광섬유를 통한 전송실험을 하기 위해 광전력증폭기 보드 및 광전지증폭기 보드가 실장되는 구조로 되어있다. 각 보드의 크기는 340x240x2.4mm (가로x세로x두께) 이며, GND, DC -48V를 전원으로 사용한다.

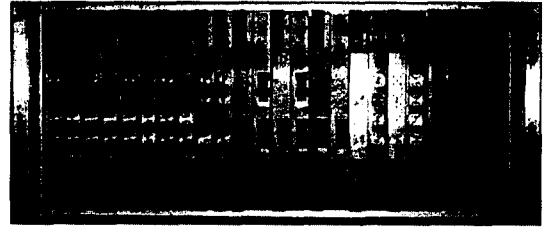


그림 1. 2.5Gb/s x 4채널 파장분할다중 전송시스템 실험모델

2-1 광송수신기 보드 제작

광송수신기는 처핑이 적은 LiNbO₃ Mach-Zehnder 간섭계형 외부변조기와 반도체 레이저 및 각각의 구동회로로 (그림 2)와 같이 구성되어 있다. [13] 외부변조기는 2.5Gb/s 펄스 패턴발생기의 출력인 SCFL (source coupled FET logic) 레벨(고/저준위 = 0/-0.9V)의 신호에 의해 구동되는 고속구동기(high speed driver)에 의해 직접 강도변조(intensity modulation) 된다. 사용되는 외부변조기와 고속 구동기의 주요 특성은 (표 1)과 (표 2)에 나타내었다. 외부변조기의 스위칭 전압 V_p가 4.0V로 비교적 낮기 때문에 하나의 RF 신호 입력단에 4.0V_{p-p}의 2.5Gb/s 신호를 인가하는 단일 전극 구동 방식을 사용하였다.

반도체 레이저의 파장은 기본적으로 상온(25℃)에서 1,542.4, 1,543.2, 1,544.0, 1,544.8nm를 가지며, 미세한 파장의 변화는 레이저의 온도를 조절하여 가능하도록 하였다.

표 1. LiNbO₃ Mach-Zehnder 외부 변조기(m2122c)의 특성

항목	주요 특성	비고
스위칭전압(V _π)	1* 4V 이하	ac@ 1kHz
소광비	30dB 이상	
변조대역폭	6.4GHz	-3dB
삽입손실	4.0dB 이하	optical input to output
전극길이	4cm	
입력임피던스	43Ω	
동작파장대역	1.55μm	
동작온도범위	0℃ -60℃	
pigtail fiber	입력단(PMF), 출력단(SMF)	

표 2 고속 구동기(high speed driver; A3HB2106)의 특성

항목	주요 특성	비고
전압이득	20dB	1GHz
변조대역폭	30k-10GHz	
상승/하강시간	50ps	
입력임피던스	50Ω	
gain flatness	+/-1dB	1MHz-5GHz
사용전원	+/-5V	

광수신기는 크게 전치증폭기를 포함한 광전변환기, 자동 이득 제어 증폭기, 클락 및 데이터 재생부 등으로 (그림 3)과 같이 구성되어 있다. 광전변환기로는 avalanche photodiode(APD)를 사용하며, GaAs IC transimpedance형 전치증폭기가 함께 집적화되어 있다. 광수신기의 주증폭기는 자동 이득 제어 증폭기로 이득조정증폭기, 고정이득증폭기, 자동이득조정회로 등으로 되어 있다. 클락 및 데이터 재생부는 리미팅 증폭기, phase lock loop(PLL), D-F/F(flip/flop)이 내장된 상용 CDR(clock and data regeneration)을 사용하였다. 제작된 광수신기의 수신감도는 전송용 광섬유를 사용하지 않을 경우 BER = 1×10^{-9} 에서 -34.5dBm이다. 광수신기 보드의 크기는 광송신기 보드 크기와 같다.

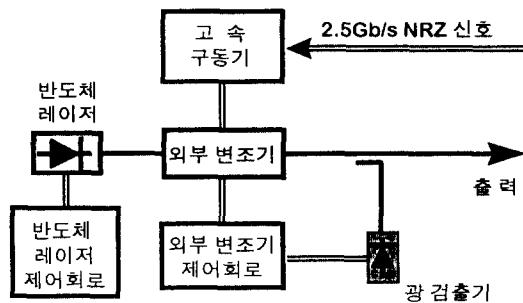


그림 2 광송신기보드 블록 구성도

2-2 광증폭기의 특성

이 실험에서는 2.5Gb/s x 4채널 파장분할다중 광링크에서 출력단의 손실을 보상하고 전송거리를 늘리기 위해 에르븀 첨가 광섬유증폭기를 사용하였으며,

광증폭기는 용도에 따라 광전력증폭기, 광선로증폭기와 광전치증폭기 등으로 구분된다.

광전력증폭기는 송신기의 출력을 증폭시켜 광링크의 마진을 증가시켜 주는 역할을 하는 것으로 고출력을 얻기 위해 1,480nm 펄프 레이저를 사용하는 역방향 펄프 방식을 사용하며, 최대출력은 +14dBm이다.

광선로증폭기는 광섬유를 통과하면서 감쇠된 신호를 증폭하여 보내는 역할을 하는 것으로 저잡음과 고이득을 얻기 위해 양방향 펄프 방식을 사용하였으며 하나의 1,480nm 펄프 레이저의 출력을 3dB 방향성 결합기를 사용하여 각 방향으로 공급하였다. 광선로증폭기의 최대 이득은 30dB 이상이고, 잡음지수는 7dB 이하이다.

광전치증폭기는 광섬유를 통과하면서 신호가 감쇠되어 미약해진 광신호를 증폭하여 광수신기의 수신감도를 높여주는 역할을 하는 것으로 저잡음과 고이득을 구현하기 위해 (그림 4)와 같이 구현하였다. 펄프 레이저의 파장은 1,480nm이며 입력단의 결합손실을 최소화하기 위해서 전단은 역방향 펄프구조를 가지며, 후단은 순방향 펄프구조를 가지고 있다. 또한 ASE(amplified spontaneous emission) 잡음제거를 위해 출력단에 투과대역의 폭이 1nm인 광섬유 파브리페로(Fabry-Perot) 필터를 내장하고 있으며 이를 제어하기 위한 제어회로부를 포함하고 있다.

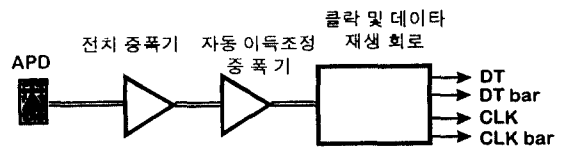


그림 3. 광수신기 블록구성도

III. 2.5Gb/s x 4채널 파장분할다중 무중계 전송 실험

3-1. 광링크의 구성

본 실험의 목적은 광전력증폭기와 광전치증폭기를 이용하여 2.5Gb/s x 4채널 파장분할다중 광링크의 전송거리를 확장시키는데 있다. 전송 실험을 위한 광링크는 (그림 5)와 같이 구성되어 있다. 광송신기에서

나온 광신호의 변조는 펄스 패턴발생기로 부터 출력되는 2,488Gb/s NRZ(non-return to zero) 신호(PRBS 223-1)가 고속구동기를 통해 외부변조기로 AC결합되어 이루어진다. 4채널의 광신호를 변조하기 위해 DFB LD 1(1,542.4nm), LD 2(1,544.0nm)의 출력광을 3dB 방향성 결합기를 사용하여 외부변조기 1로 입력시키고 펄스 패턴발생기의 data 출력을 이용하여 외부변조기 1를 구동하고, LD3(1,543.2nm)와 LD4(1,544.8nm)의 출력광을 동일한 방법으로 입력시키고 data bar출력을 이용하여 외부변조기 2를 구동하였다. 각 DFB LD의 출력단에 설치되어 있는 편광조절기는 외부변조기로 입력되는 광의 편광상태를 조절하기 위한 것이다. 외부변조기 출력단에는 광전력증폭기를 사용하여 채널결합시 결합기에서의 손실을 보상하고 채

널신호의 출력을 증폭하여 채널당 출력이 6dBm이 되도록 하였다.

전송용 광섬유로는 120km의 분산천이광섬유가 사용되었다. 사용된 광섬유의 1550nm영역에서의 손실은 약 0.22dB/km이고, 영분산 파장은 1555nm(평균)였다.

광수신부는 채널 분리용 필터, 광전치증폭기 및 2.5Gb/s 광수신기 등으로 구성되어 있다. 채널 분리용 필터는 -3dB 대역폭이 약 0.5nm이고 삽입손실이 약 3.5dB인 파장가변필터로서 각 채널별로 신호를 분리할 수 있도록 하였다.

3-2. 전송실험 결과

가. 광섬유를 사용하지 않은 경우의 실험 결과
(그림 6)은 광섬유를 사용하지 않은 경우 2.5Gb/s x 4채널 파장분할다중 전송시스템의 수신감도이다.

채널 분리용 필터를 통과하였을 때 신호와 인접채널간의 세기차이 즉, 혼신의 18dB였고, BER = 1×10^{-9} 에서의 광전치증폭기가 포함된 광수신기의 수신감도는 -39.5 ± 0.2 dBm이었다.

나. 광전력증폭기 및 광전치증폭기를 이용한 분산천이광섬유 120km 전송실험 결과

(그림 7)는 2.5Gb/s x 4채널 파장분할다중 전송시스템의 송신부에서 출력된 4채널의 광신호를 광전력증폭기로 증폭하여 분산천이광섬유 120km를 사용해 전송했을 때 측정된 수신감도이다. 분산천이광섬유에 입사되는 광세기는 채널당 0dBm이었으며, 분산

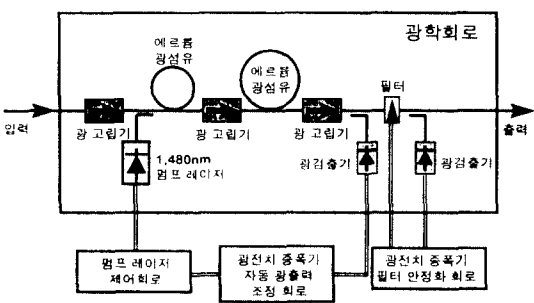


그림 4. 광전치증폭기 블럭구성도

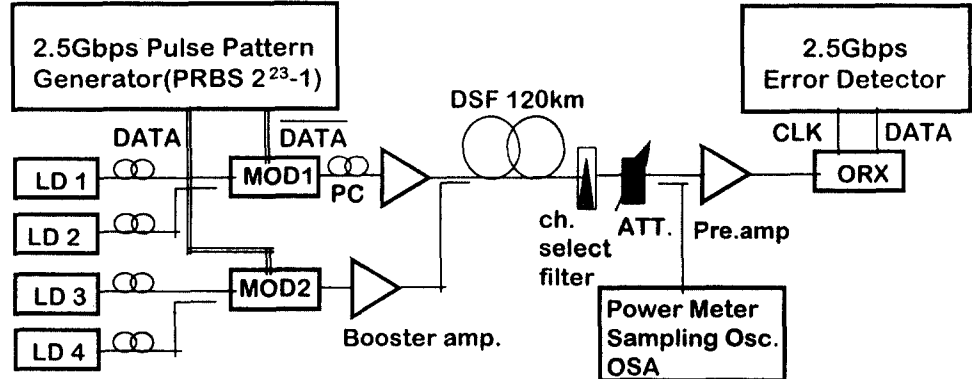


그림 5. 2.5Gb/s x 4채널 파장분할다중 무중계 전송실험 장치

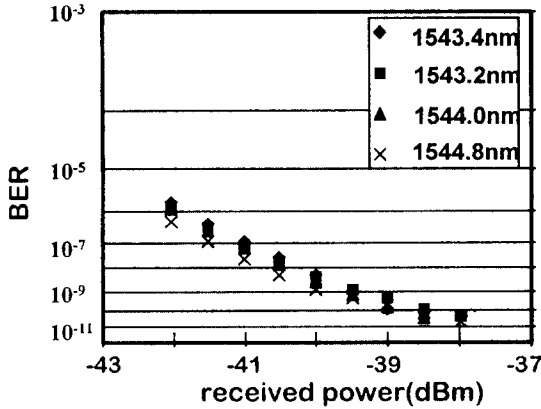


그림 6. 광섬유를 사용하지 않은 경우 2.5Gb/s x 4채널 파장분할다중 전송시스템의 수신감도대 BER 특성

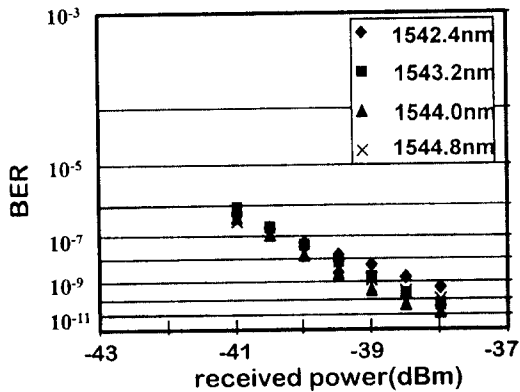


그림 7. 분산천이광섬유 80km 전송에서 2.5Gb/s x 4채널 파장분할다중 전송시스템의 수신감도대 BER 특성

천이광섬유의 영분산파장은 1555nm(평균)이었다. 이때 얻어진 수신감도는 BER = 1×10^{-9} 에서 -39.0 + 0.2dBm 이었다. 이는 광전치증폭기를 사용하지 않은 경우와 비교하여 약 5dB의 미진을 확보한 것으로서 전송거리로 환산하면 약 20km 이상이 된다.

IV. 2.5Gb/s x 4채널 파장분할다중 중계 전송실험

4-1. 광링크 구성

전송실험을 위한 광링크는 (그림 8)과 같이 구성되어 있다. 무중계 전송실험과 거의 유사하며 광선로 증폭기가 사용된 대신 수신부에서 광전치증폭기를 사용하지 않았다. 광선로증폭기 간의 거리는 80km이며 광선로증폭기 입력세기는 채널당 -19dBm, 출력세기는 채널당 +3dBm이다.

4-2. 전송실험 결과

가. 편광조절기를 이용한 이득동화

일반적으로 에르븀첨가 광섬유증폭기는 이득이 파장에 따라 균일하지 않다. 광선로증폭기를 여러개 사용하는 다채널 광링크에서는 광증폭기의 불균일한 이득이 누적되어 채널간 이득차이가 매우크게 된다. (그림 9)는 광세기가 일정하게 조절된 다채널 광원의 스펙트럼이며, (그림 10)은 광선로증폭기를 두개 거친후의 스펙트럼으로 누적된 이득 불균일 특성을 보여준다. 이러한 채널 간의 이득차이는 신호대 잡음비의 차이를 유발하여 광링크의 마진을 감소시킨다. 따

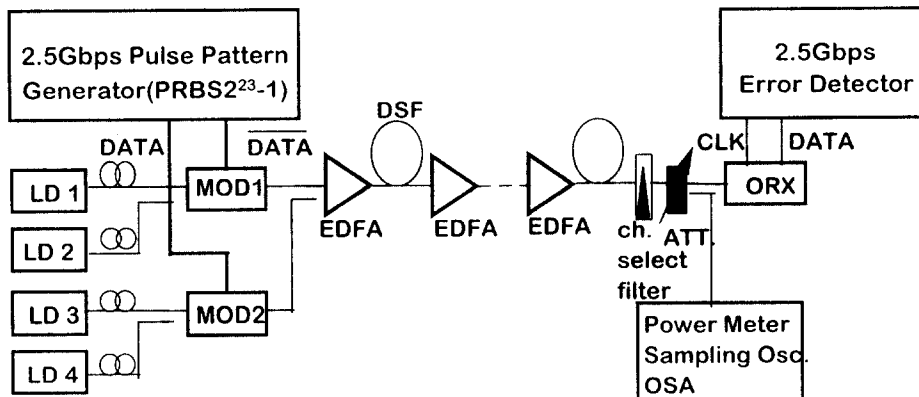


그림 8. 2.5Gb/s x 4채널 파장분할다중 중계 전송실험 장치

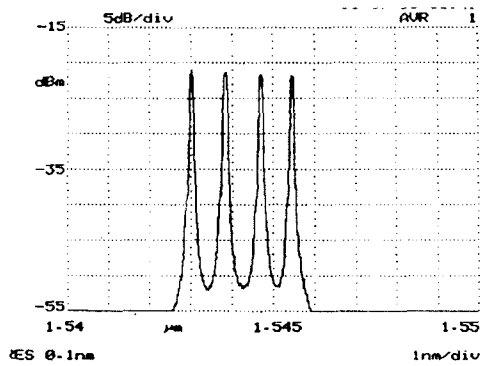


그림 9. 2.5Gb/s x 4 채널 광송신기의 광세기가 조절된 스펙트럼

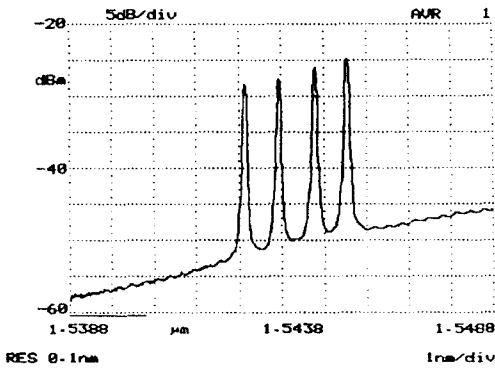


그림 10. 광선로증폭기를 두개 거친 후의 누적된 이득 불균일 스펙트럼

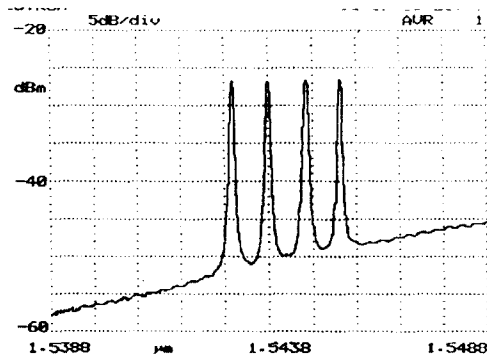


그림 11. 외부변조기 앞의 편광조절기를 사용하여 광신호 크기를 조절하고 난 후의 광선로증폭기 출력 스펙트럼

라서 다채널 전송시스템에서는 각 채널의 출력이 일정하도록 해 주는 것이 매우 중요하다.

광섬유증폭기의 이득동화를 위한 간단한 방법은 각 채널별로 외부 변조기의 출력을 조절하여 수신단에서 채널간의 균일한 이득을 얻는 것이다. 그렇지만 광증폭기를 여러개 사용할 경우 채널에 따라 신호대 잡음의 차이가 적어져 그 효과가 미약해 진다는 단점이 있다. 그러나 광선로증폭기의 수가 많지 않을 경우에는 효과적이다. 이 논문에서는 외부변조기 출력을 조절하기 위한 방법으로 외부변조기의 편광 의존성을 이용하였다. 편광조절기를 사용하여 외부변조기 입력 광의 편광상태를 조절하면 외부변조기의 출력광 세기가 조절되기 때문에 이를 적절히 이용하면 최종단 광선로증폭기 출력의 각 채널 세기를 (그림 11)과 같이 일정하게 조절할 수 있다.

나. 분산천이광섬유(160km, 240km)를 사용한 전송 실험

(그림 12)은 광전력증폭기와 한개의 광선로증폭기를 이용하여 분산천이광섬유 160km를 전송한후 수신단에서 측정된 수신감도를 나타내었다. 분산천이광섬유에 입사되는 광세기는 각채널당 0dBm 이었으며 분산천이광섬유 160km를 통과한 후 BER = 1×10^{-9} 에서 광수신기의 수신감도는 $-34.0 \pm 0.5\text{dBm}$ 이었다.

(그림 13)은 광선로증폭기를 하나 더 사용하여 240km

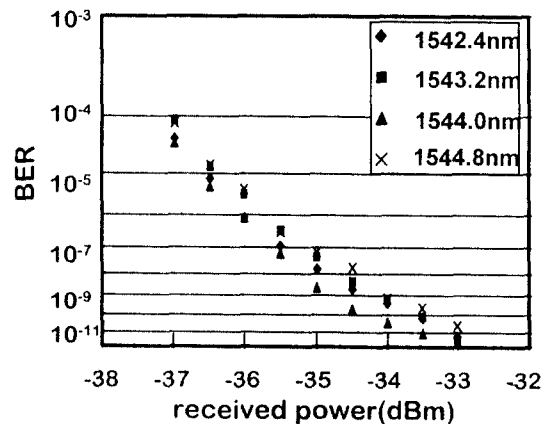


그림 12. 분산천이광섬유 160km 전송에서의 수신감도대 BER 특성

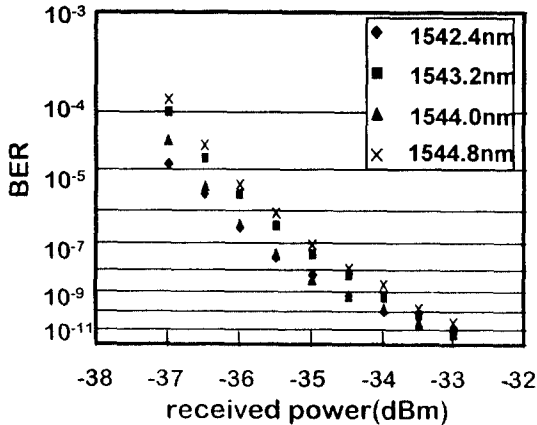


그림 13. 분산천이광섬유 240km 전송에서의 수신감도대 BER 특성

를 전송한 후에 수신단에서 측정된 BER 특성이다. 분산천이광섬유 240km를 통과한 후 BER = 1 × 10⁻⁹에서 광수신기의 수신감도는 -34.0 ± 0.5dBm이었다. 전송거리가 240km까지 증가하여도 페널티는 거의 없었다.

V. 결 론

5Gb/s x 4채널 파장분할다중 광링크 실험모델을 제작하였고 이를 이용하여 전송실험을 수행하였다. 실험모델은 광송신기, 광수신기, 광전력증폭기, 광선로증폭기, 광전치증폭기 등으로 구성되어 있으며 600 x 250 x 340mm (가로x세로x높이) 크기의 셀프에 실장시켰다.

전송실험은 광전력증폭기와 광전치증폭기를 사용한 분산천이 광섬유 120km의 무중계 전송실험과 광전력증폭기, 광선로증폭기 및 송신기와 외부변조기 입력단 사이의 편광상태 조절로 광선로증폭기 출력의 이득동화를 하는 방법에 의한 분산천이광섬유 160km, 240km 전송실험을 하였다. 두 경우 모두 무에러 전송이 가능하였고 전송 페널티는 거의 무시 할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 HAN-BISDN 과제의 일환으로 수행된 것입니다. 연구수행을 위해 지원과 도움을 주신 이만섭부장께 감

사드립니다.

참 고 문 헌

1. N. Shibata, Y. Azuma, M. Tateda, and Y. Nakano, Experimental verification of efficiency of wave generation through four-wave mixing in low-loss dispersion-shifted single-mode optical fiber, *Electron. Lett.*, vol. 24, 1528-1529(1988)
2. Kyo Inoue, Four-wave mixing in an optical fiber in the zero-dispersion wavelength region, *J. Lightwave Technol.*, vol. 10, 1553-1560(1992)
3. M. Wilkinson, A. Bebbington, S. A Cassidy, and P. McKee, D-Fiber filter for erbium gain spectrum flattening, *Electron. Lett.*, vol. 28, 131-132(1992)
4. R. Kashipa, R. Waytt and R.J. Campbell, Wideband gain flattened erbium fiber amplifier using a photosensitive fibre blazed grating, *Electron. Lett.*, vol. 29, 154-156(1993)
5. Kyo Inoue, Toshimi Kominato, and Hiromu Toba, Tunable gain equalization using a Mach-Zehnder optical filter in multistage fiber amplifiers, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol 3, 718-720(1991)
6. Norio Takato, Kaname Jinguji, Mitsuho Yasu, Hiromu Toba, and Masao Kawachi, Silica-based single mode waveguides on silicon and their application to guided-wave optical interferometers, *J. Lightwave Technol.*, vol. 6, 1003-1010(1988)
7. Norio Takato, Toshimi Kominato, Akio Sugita, Kaname Jinguji, Mitsuho Yasu, Hiromu Toba, and Masao Kawachi, Silica-based integrated optic Mach-Zehnder multi/demultiplexer family with channel spacing of 0. 01-250nm, *IEEE J. Select Areas Commun.*, vol. 8, 1121-1127(1990)
8. R.A. Betts, S.J. Frisken, and D. Wong, Split-beam Fourier filter and its application in a gain-flattened EDFA, *OFC95 Tech. Digest, TuP4.* (1995)
9. D. Bayart, B. Clesca, L. Hamon, and J.L. Bayat, Experimental investigation of the gain flayness Characteristics for 1.55um erbium doped fluoride fiber amplifiers, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol.

6, 613-615(1994)

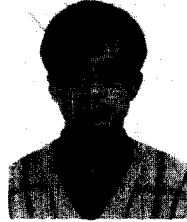
10. D. Bayart, J. Hervo, and F. Chiquet, Impact of fluoride-based EDFAs gain flatness on the design of a WDM amplifier cascade, OFC 95 Tech. Digest, TuP2(1995)
11. O. Gautherton, S.S. Sian, G. Grandpierre, M. S. Chaudhry, J.L. Pamart, T. Barbiet, E. Bertin, P. Bonno, E. Brandon, M. Genot, P.Marmier, M. Mesic, P. M. Gabla, and P. Bousselet, 421km 2.5Gbit/s, and 501km, 622Mbit/s unrepeated transmission using forward error correction and remotely pumped postamplifier and preamplifiers, Electron. Lett., vol. 31, 378-379(1995)
12. S. Sian, S.M. Wabb, K.M. Guild, and D.R. Terrence, 40Gb/s(16 x 2.5Gbit/s) unrepeated transmission over 427km, Electron. Lett., vol. 32 50 (1996)
13. 한정희, 이창희, 심창섭, LiNbO3 외부광변조기의 바이어스 제어회로 설계 및 제작, 대한전자공학회 추계종합학술대회 논문집 제17권, 제2호, 683-686 (1994)



이 헌 재 (Hyunjae) 정회원
 1983년 2월: 서강대학교 물리학과 이학사
 1985년 2월: 서강대학교 물리학과 이학석사
 1990년 2월: 서강대학교 물리학과 이학박사
 1990년 5월~1992년 5월: 한국표

준과학연구원 박사후 연수연구원
 1992년 6월~현재: 한국전자통신연구원 광파통신연구실 선임연구원

※주관심 분야: 광주파수분할 다중통신, 광소자 등



이 상 수(Sang Soo Lee) 정회원
 1988년 2월: 인하대학교 응용물리학과 공학사
 1990년 2월: 인하대학교 응용물리학과 공학석사
 1990년 7월~현재: 한국전자통신연구원 광파통신연구실 선임연구원

※주관심분야: 광전송시스템, 광증폭기술, 다채널 광링크 기술 등



이 동 호(Dong Ho Lee) 정회원
 1981년 2월: 서강대학교 물리학과 이학사
 1984년 2월: 서강대학교 물리학과 이학석사
 1984년 3월~현재: 한국전자통신연구원 광파통신연구실 선임연구원

※주관심분야: 광주파수분할 다중통신, 광소자 등



박 창 수(C.S. Park) 정회원
 1979년 2월: 한양대학교 전자공학과 공학사
 1981년 2월: 서울대학교 대학원 전자공학과 공학석사
 1990년 12월: Texas A&M Univ. (Texas) 전기전자공학공학박사

1982년 7월~현재: 한국전자통신연구원 전송방식 연구실장, 책임연구원

※주관심분야: 레이저다이오드 응용, 광통신시스템 설계, 마이크로파 응용 등을 위한 광전 변환 등임.