

장거리 광선로 감시용 1625 nm OTDR 신호 증폭을 위한 효율적인 Extended L-band Erbium-doped Fiber Amplifier

이한협 · 서대동 · 이동한[†]

충남대학교 자연과학대학 물리학과 양자점 융합 광소자 연구실
Ⓣ 305-764 대전광역시 유성구 궁동 220 번지

최현범

FON system

Ⓣ 500-460 광주광역시 북구 월출동 971-35 번지

전정우

KT 차세대통신망연구소

Ⓣ 305-811 대전광역시 유성구 전민동 463-1 번지

(2005년 7월 1일 받음, 2005년 9월 5일 수정본 받음)

Optical Time Domain Reflectometry를 이용하여 수백 km 이상의 장거리 광통신망을 감시하기 위해서는 감시광을 증폭시켜야한다. 본 논문에서는 1625 nm OTDR 감시광을 증폭시키기 위해 fiber Bragg grating과 band pass filter를 이용하여 이득과 잡음지수를 각각 5.1 dB 그리고 0.9 dB 향상시킨 2단 구조의 Extended L-band EDFA를 제안하였다. 제안된 Extended L-band EDFA의 1625 nm 대역의 신호 이득은 16.3 dB이고 잡음지수는 7.1 dB였다.

주제어 : Optical time domain reflectometry, Extended L-band EDFA, Fiber Bragg grating.

I. 서 론

Optical Time Domain Reflectometry(OTDR)는 안정적이고 지속적인 서비스를 위한 광통신망의 유지 보수에 꼭 필요한 장비이다. 최근의 광통신망의 연장 거리는 수백 km 이상이지만 상용 OTDR은 APD의 동작 범위와 광원의 세기 제한으로 160 km 이상의 광선로를 감시하지 못한다. 따라서 상용 OTDR을 사용해서 광선로를 감시하는 경우 빠른 문제 해결 및 예방을 위해 중앙에서 지속적이고 종합적인 감시를 할 수 없다. 상용 OTDR의 감시 거리 확장을 위해 광증폭기를 이용하여 OTDR 감시광을 증폭시키는 연구가 진행되어 왔다 [1,2,3,4].

OTDR 감시광 파장으로 여러 파장이 제안되고 있으나 신호 전송대역과 중복되지 않는 L+band 대역인 1625 nm-window와 1650 nm-window가 적합하다. 따라서 OTDR의 감시거리를 증가시키기 위해서는 1625 nm-window와 1650 nm-window 대역의 감시광을 증폭할 수 있는 광증폭기가 필요하다.

Erbium이 첨가된 광섬유 증폭기(Erbium-doped fiber amplifier: EDFA)는 신호 증폭 효율이 높고 잡음의 발생량이 적다. 또한, EDFA의 이득 대역은 파장분할 다중화 방식 광통신 시스템의 신호대역인 1530 nm ~ 1565 nm의 C-band,

1570 nm ~ 1610 nm의 L-band와 일치하여 현재의 대부분의 광통신 시스템에서는 EDFA를 광증폭기로 사용하고 있다. 그러나 1610 nm 이상대역에서는 excited state absorption(ESA)에 의해 EDFA의 신호 이득이 급격히 낮아져 1625 nm 대역의 OTDR 감시광 증폭용으로는 부적합하다.

최근 L-band의 이득대역을 약 20 %정도 확장시켜 1610 nm 이상 대역에서도 신호를 증폭시킬 수 있는 Extended L-band EDF가 개발되었다^[5]. 하지만 수십 m 이상의 긴 길이의 EDF를 사용하는 L-band EDFA에서는 Backward ASE가 크게 발생하여 신호 이득 효율이 낮아지고 또한, 1625 nm 대역에서 Extended L-band EDFA의 단위 m당 이득 계수가 매우 낮은 문제가 있다. 따라서 Extended L-band EDF로 EDFA를 구성하는 경우에는 1625 nm 파장의 OTDR 감시광을 증폭시켰을 때 충분한 이득을 얻을 수 없어 그 이득 효율의 개선이 필요하다^[5].

본 논문에서는 1625 nm 신호 증폭용 Extended L-band EDFA의 낮은 증폭 효율을 향상시키기 위하여 fiber Bragg grating(FBG)를 입출력단에 삽입하는 구조를 제안하였다. 실험결과 1625 nm 신호의 세기가 -10 dBm 일 때 이득은 11.2 dB에서 13.7 dB로 2.5 dB 향상되었고 잡음지수는 8 dB에서 7.7 dB로 0.3 dB 개선되었다. 추가적으로 입출력단에 FBG를 사용하고 중간단에 1625 nm band pass filter를 사용한 2 단 구조의 경우 이득이 16.3 dB로 5.1 dB 향상되었고 잡음지수

[†] E-mail: dleee@cnu.ac.kr

도 7.1 dB로 0.9 dB 개선되었다.

II. 본 론

그림 1은 일반적인 EDF와 Extended L-band EDF를 이용하여 각각 L-band EDFA를 구성한 후 입력의 세기가 -10 dBm 일 때 파장에 따른 이득을 측정한 것이다. 1570 nm ~ 1610 nm 대역에서 Extended L-band EDFA의 이득은 12 dB 미만으로 이득이 16 dB 이상인 일반적인 L-band EDFA의 이득보다 약 4 dB 정도 낮았으며 이때 사용된 펌프 power는 L-band EDFA는 55 mW이고 Extended L-band EDFA는 87 mW였다. 따라서 L-band 에서는 Extended L-band EDFA보다 L-band EDFA가 신호의 증폭에 보다 효율적이다. 하지만 OTDR 감시광 파장인 1625 nm 대역에서는 기존의 L-band EDFA의 경우 1610 nm부터 이득이 급격히 감소하여 1625 nm에서 이득이 1.5 dB로 매우 낮지만 Extended L-band EDFA의 경우는 1625 nm에서 이득이 5.5 dB로 기존의 L-band EDFA의 이득에 비해 4 dB 이상 높다. 즉, 기존의 L-band EDFA는 EDF의 길이를 길게 하여도 1625 nm에서 이득이 매우 작아 감시광 증폭에 필요한 큰 이득을 얻을 수 없다. 1625 nm에서 Extended L-band EDFA의 신호 증폭 특성이 기존의 L-band EDFA의 신호 증폭 특성 보다 좋지만 증폭 효율이 낮아 이를 개선하기 위한 연구가 필요하다.

L-band 대역은 기존의 C-band 대역에 비해서 이득계수가 1/10로 작은 값이기 때문에 이득향상을 얻기 위한 많은 연구가 이루어 졌다. L-band의 이득향상을 위한 방법으로 크게 두 가지를 나누어 볼 수 있는데 첫 번째 방법은 EDFA의 중간에 isolator를 사용하여 역방향 C-band ASE가 크게 증폭되는 것을 방지하여 L-band 신호의 증폭 효율이 증가하도록 하는 것이다^[6]. 이 방법은 isolator의 삽입으로 신호 손실이 발생하고 증폭기의 구조가 복잡해진다는 단점이 있다. 또 다른 방법으로는 C-band ASE를 주입하여 mediating pumping 역할을 하도록 하는 방법이다. C-band ASE를 주입하는 방법으로

는 증폭단 앞에 짧은 길이의 pre-stage를 두는 방법과 C-band FBG를 두는 방법이 있으며 이와 같은 방법을 사용하여 L-band EDFA의 이득이 효과적으로 향상된 결과가 발표되었다^[7,8,9,10]

그림 2는 FBG를 이용한 L-band EDFA의 구성도이다. 그 구성은 pump LD, 전송 신호와 펌프 파장을 묶는 WDM, L-band 이득 대역을 갖도록 하는 긴 길이의 EDF, 역방향 ASE를 제거하는 isolator, 그리고 C-band 대역의 FBG로 간단히 구성이 되어 있다. Extended L-band EDFA에서도 FBG를 입력단에 사용한 구조로 이득효율을 향상 시킬 수 있을 것이다.

광선로를 감시하기 위한 OTDR의 신호를 증폭하기 위해서는 isolator를 사용할 수 없으므로 제거하고 L-band의 신호를 얻을 수 있도록 긴 길이의 Extended L-band EDF를 사용해야 한다. 또한 단순한 1단 구조로는 높은 이득을 얻을 수 없으므로 2단 구조를 구성하고 중간단에 band pass filter를 삽입하여 ASE를 제거하는 구조를 제안하였다.

먼저 1단 구조의 Extended L-band EDFA를 구성하고 FBG에 의한 이득 향상 효과를 측정하였다. 그림 3은 Extended L-band EDFA의 backward ASE 스펙트럼이다. 기존의 EDFA와는 다른 스펙트럼의 모양을 보이고 20 mW의 작은 펌프파워에서도 비교적 큰 ASE를 방출하고 있으며 펌프파워가 증가해도 크게 차이가 나지 않는다.

C-band의 일부 대역을 반사시키는 FBG를 증폭단 앞에 삽입하면 방출된 backward ASE의 일부분이 FBG에 의해 반사

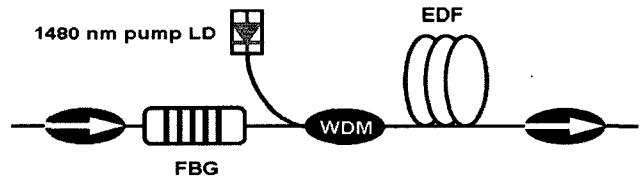


그림 2. FBG를 이용한 L-band EDFA의 구성.

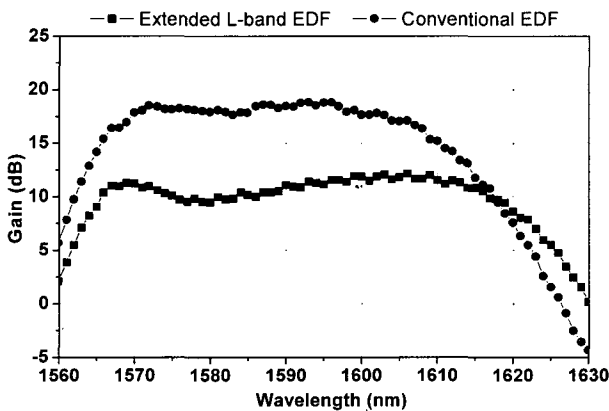


그림 1. Extended L-band EDF와 상용 EDF의 파장에 따른 이득 스펙트럼.

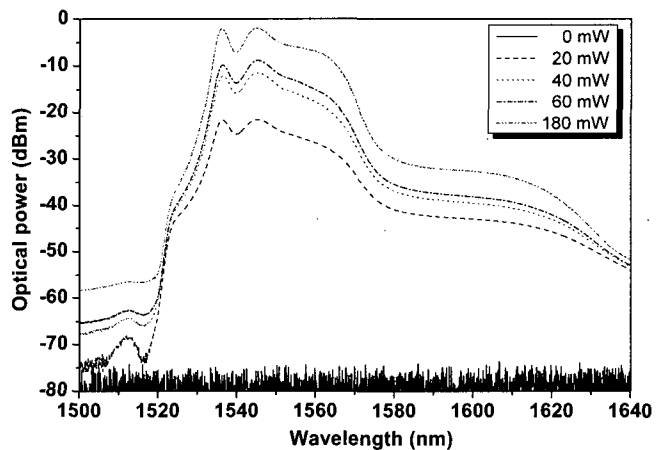


그림 3. Extended L-band EDFA의 역방향 ASE 스펙트럼.

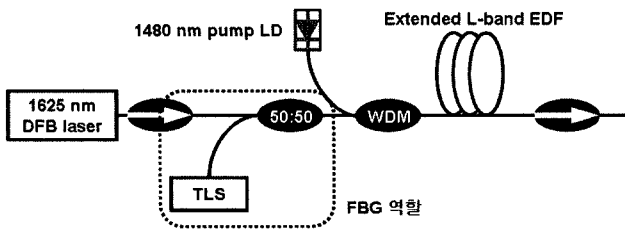


그림 4. 최적의 FBG 사용조건을 측정하기 위한 실험구성.

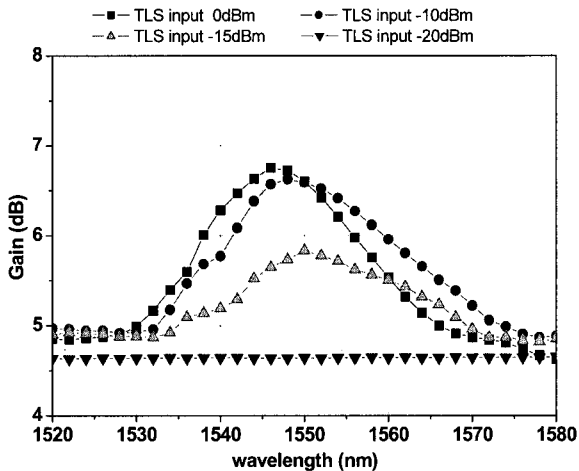


그림 5. TLS의 출력과 파장변화에 따른 1625 nm의 이득 변화.

되어 다시 증폭단으로 주입되고 이는 L-band 쪽으로 이득을 전하게 되는 펌프 역할을 하게 되어 이득향상에 기여하게 될 것이다. 즉 반사된 C-band ASE는 EDF내에서 펌프가 존재하는 EDF의 앞단에서는 밀도반전을 낮추어 backward ASE의 증폭을 억제시킨다. 그리고 펌프가 모두 흡수된 길이에서는 FBG에 의해 반사되어 EDF의 앞단에서 증폭된 C-band ASE가 EDF에 재 흡수된다. 따라서 FBG에 의해서 반사된 C-band ASE는 장파장 신호에 에너지를 전달하게 되고 원하는 신호증폭에 기여한다.

그림 4는 Extended L-band EDF의 길이가 60 m인 경우 가장 효과적인 FBG의 파장과 반사율을 결정하기 위한 구조이다. Tunable Laser Source(TLS), Extended L-band EDF 60 m, 1480 nm pump LD, 50:50 coupler, isolator 그리고 WDM coupler로 구성되었다. 실험에 사용된 신호는 기간망 감시를 위해 선정된 1625 nm이고 TLS는 backward ASE 중에서 FBG의 중심파장에 해당하는 신호의 역할을 한다. 그리고 1625 nm 신호와 TLS 신호는 50:50 coupler를 통과하여 EDF로 입력된다.

그림 5는 TLS 입력신호 변화에 따른 1625 nm 신호의 이득과 잡음지수 특성이다. Backward ASE의 반사율을 결정하기 위해 TLS 입력신호의 세기는 각각 0 dBm, -10 dBm 그리고 -15 dBm으로 변화시켰다. 입력신호 0 dBm일 때 1545 nm 파장에서 6.75 dB, -10 dBm일 때 1548 nm 파장에서 6.8

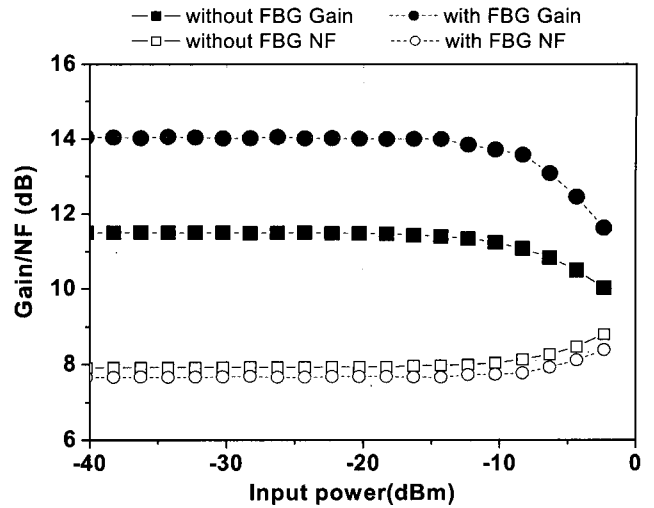


그림 6. 입력세기에 따른 이득과 잡음지수 특성.

dB, -15 dBm일 때 1550 nm에서 5.8 dB의 이득을 얻었다. 요약해보면, FBG의 반사파장이 1540 nm ~ 1550 nm이고 반사광의 파워는 -10 dBm ~ 0 dBm인 경우가 1625 nm에서 가장 큰 이득을 얻을 수 있다.

그림 6은 FBG의 사용으로 이득이 향상된 효과를 확인하기 위해 측정한 이득 및 잡음지수 특성이다. 사각형은 1단 구조의 Extended L-band EDFA의 이득 및 잡음지수이고 원형은 1단 구조의 Extended L-band EDFA에서 증폭기의 앞단에 FBG를 삽입한 경우이다.

그림 7은 사용된 FBG의 파장에 따른 반사 스펙트럼이며 1545 nm 파장대역에서 90 %의 반사율을 가지고 있다. 각 단의 FBG는 같은 기능을 한다. 입력이 -10 dBm 일때 FBG를 삽입함으로써 이득은 11.2 dB에서 13.7 dB로 2.5 dB 향상되었고 잡음지수도 8 dB에서 7.7 dB로 0.3 dB 개선되었다.

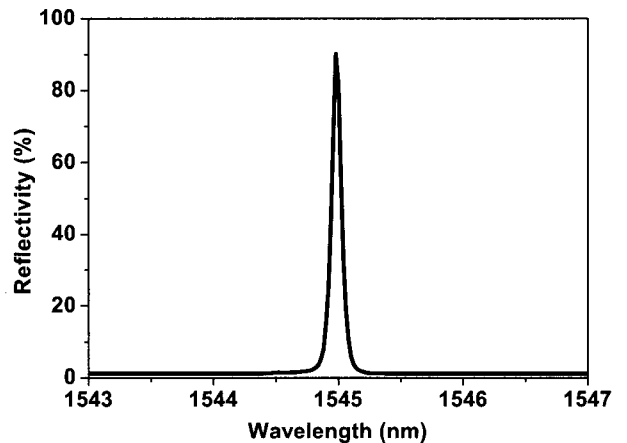


그림 7. 사용된 FBG의 파장에 따른 반사 스펙트럼.

Extended L-band EDFA를 양방향 펌프 구조의 2단으로 구성한다면 이득을 보다 효과적으로 증가시킬 수 있다. 2단 구조의 증폭기를 구성하는 경우 2단에서 발생한 역방향 ASE가 1단으로 입력되어 증폭 효율을 나쁘게 하는 것을 방지하기 위하여 1단과 2단 사이에 필수적으로 isolator를 사용해야 한다. OTDR 감시광용 증폭기는 양방향 증폭이 가능해야하므로 isolator를 사용할 수 없다. 따라서 1625 nm의 감시광 이외의 ASE는 모두 제거할 수 있는 band pass filter를 증폭기의 1단과 2단 사이에 사용하여 isolator를 사용한 효과를 얻고자 한다.

band pass filter의 역할을 알아보기 위해서 그림 8과 같이 구성하였다. 출력된 광 신호는 WDM 커플러를 통과하면서 펌프광, FBG에 의해서 반사된 C-band ASE와 함께 Extended L-band EDF로 입력되어 증폭이 일어난다. 첫 번째 단에서 증폭된 1625 nm 신호광은 band pass filter를 통과하고 다른 ASE는 모두 제거된다. 1625 nm 신호광은 다시 두 번째 단으로 입력되어 증폭된다. 이때 사용된 band pass filter는 그림 9에서 처럼 1625 nm에서 2.5 nm의 투과 대역폭을 가진다.

그림 10은 band pass filter를 사용했을 때와 사용하지 않았을 때의 1단에서의 출력 스펙트럼이다. 그림 10에서 실선은 band pass filter를 통과하기 전의 1단의 출력 스펙트럼이다. 그리고 점선은 band pass filter를 통과한 후의 출력 스펙트럼이다. 이때 band pass filter는 1625 nm 신호를 제외한 ASE를 전부 제거하고 신호주위의 2.5 nm 정도의 ASE만 투과시키는 것을 알 수 있다. 따라서 그림 8의 첫 번째 단에서 발생한 ASE는 band pass filter에 의해서 대부분 제거되고 투과된 1625

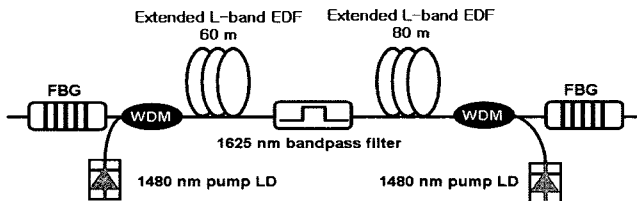


그림 8. FBG와 band pass filter를 사용한 2단 구조 extended L-band EDFA.

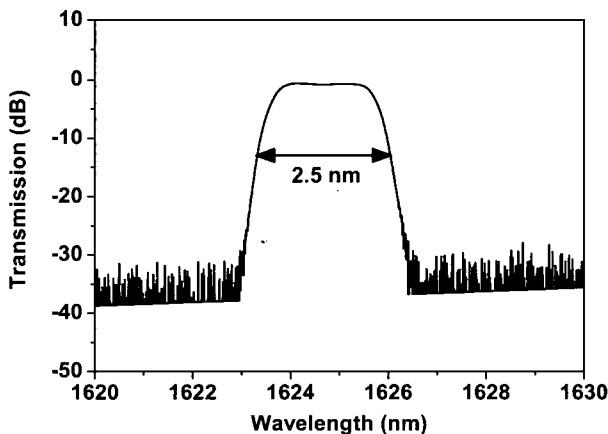


그림 9. 사용된 band pass filter의 파장에 따른 투과 스펙트럼.

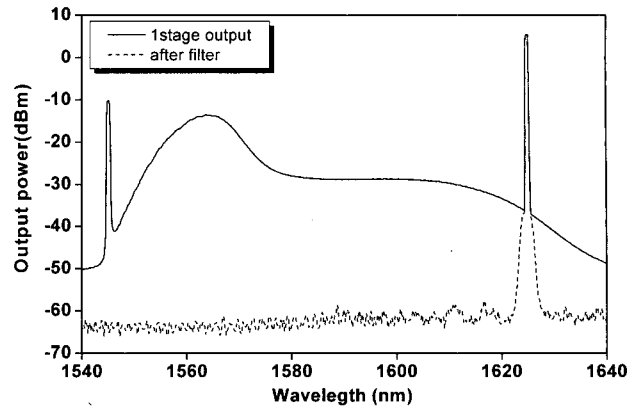


그림 10. 1단에서의 band pass filter의 유무에 따른 출력 스펙트럼.

nm 대역의 신호만 두 번째 단으로 입력되기 때문에 두 번째 단의 펌프파워가 신호증폭에만 사용되어 이득이 향상된다.

그림 11은 Extended L-band EDFA의 중간 단계에 사용된 band pass filter에 의한 이득과 잡음지수의 향상을 나타낸다. band pass filter의 역할을 살펴보기 위해 EDF 앞단과 뒷단에 FBG를 삽입한 1-stage Extended L-band EDFA 구조에서 EDF 중간 단계에 band pass filter의 삽입 유무에 따른 이득과 잡음지수 특성을 측정하였다. 그림에서 사각형은 band pass filter를 사용하지 않은 구조의 이득 곡선이고 원은 band pass filter를 삽입한 2단 구조의 이득 곡선이다. band pass filter의 사용으로 입력이 -10 dBm일 때 이득은 13.7 dB에서 16.3 dB로 2.5 dB가 향상되었고 잡음지수는 7.7 dB에서 7.1 dB로 0.6 dB가 개선되었다. 사용된 펌프의 세기는 각각 140 mW이다.

III. 결 론

본 논문에서는 장거리 광통신망을 감시를 위해 필요한 OTDR 감시광용 증폭기로 Extended L-band EDFA를 제안 하였으며 Extended L-band EDFA의 낮은 증폭 효율을 증가

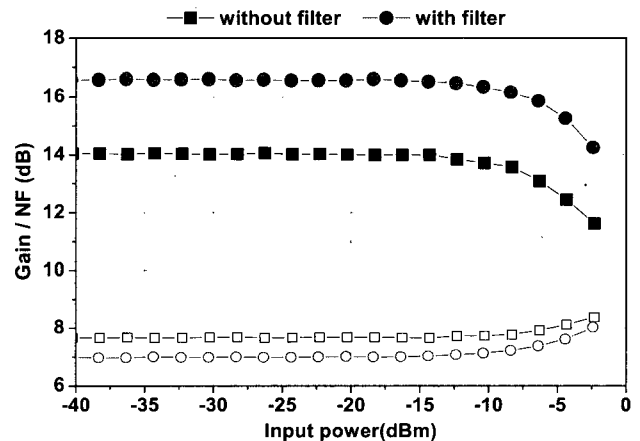


그림 11. 입력세기에 따른 이득과 잡음지수 특성.

시킴을 위한 방법으로 입출력단에 FBG를 사용하고 중간 단에 1625 nm band pass filter를 사용하였다. 실험결과, FBG와 band pass filter를 사용했을 때 이득은 16.3 dB로 5.5 dB 향상되었고 잡음지수도 7.1 dB로 0.9 dB 개선되었다.

본 논문에서 제안한 Extended L-band EDFA를 감시광 증폭용 증폭기로 사용한다면 감시거리를 82.5 km 증가 시킬 수 있을 것이다. 즉, 광섬유의 손실은 km 당 약 0.2 dB이므로 감시광 신호가 16.5 dB 이득을 얻는다면 이에 해당되는 거리만큼 추가 감시가 가능 할 것이다. 또한 여러 대의 Extended L-band EDFA를 사용한다면 한 대의 OTDR을 이용하여 수백 km의 장거리 광통신망을 감시할 수 있을 것이므로 중앙에서의 효율적이고 빠른 문제해결이 가능한 광통신망 감시체계를 구축할 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 2004년도 충남대학교 학술연구비의 지원에 의하여 연구되었습니다.

참고문헌

- [1] L. C. Blank and J. D. Cox, (1989) "Optical time domain reflectometry on optical amplifier systems", *J. Lightwave Technol.*, Vol. 7, no. 10, pp. 1549-1555.
- [2] Y. Sato and K. Aoyama, (1991) "Optical time domain reflectometry in optical transmission lines containing in-line Er-doped fiber amplifiers", *J. Lightwave Technol.*, Vol. 10, no. 1, pp. 78-83.
- [3] P. Kim, H. Yoon, J. E. Seo, K. Jeong, K.W. Ryoo, K. H. Lee and N. Park, (2001) "Novel in-service supervisory system using OTDR for long-haul WDM transmission link including cascaded in-line EDFAs", *IEEE Photon. Technol. Lett.*, Vol. 13, no. 10, pp. 1136-1138.
- [4] H. Kawakami, H. Masuda and Y. Miyamoto, (2004) "Directional bypass configuration in remotely-pumped EDF/distributed Raman hybrid amplifier scheme for online OTDR monitoring", *Electron. Lett.*, Vol. 40, no. 4, pp. 259-260.
- [5] I. P. Byriel, B. Palsdottir, M. Andrejco, and C.C. Larsen, (2001) "Silica based erbium doped fiber extending the L-band to 1620+ nm", in *European Conference on Optical Communication'2001*, Amsterdam, Netherlands, pp. 232- 234.
- [6] R. di Muro, P.N. Kean, S.J. Wilson, and J. Mun, (2000) "Dependence of L-band amplifier efficiency on pump wavelength and amplifier design", in *Optical Fiber Communication Conference'2000*, Optical Society of America, Baltimore, USA, Vol. 2, pp. 120-122.
- [7] H. Ono, M. Yamada, T. Kanamori, S. Sudo, and Y. Ohishi, (1999) "1.58um band gain-flattened erbium-doped fiber amplifiers for WDM transmission systems", *J. Lightwave Technol.*, Vol. 17, no. 3, pp. 490-496.
- [8] H. S. Chung, M. S. Lee, D. Lee, N. K. Park, and D. J. DiGiovanni, (1999) "Low noise, high efficiency L-band EDFA with 980nm pumping", *Electron. Lett.*, Vol. 35, no. 13, pp. 1099-1100.
- [9] J. M. Oh, H. B. Choi, D. Lee, S. J. Ahn, S. J. Jung, and S. B. Lee, (2002) "Demonstration of a low-cost flat-gain L-band erbium-doped fiber amplifier by incorporating a fiber Bragg grating", *IEEE Photon. Technol. Lett.*, Vol. 14, no. 9, pp. 1258-1260.
- [10] Han Hyub Lee, Byung Jun Kim, Jung Mi Oh and Donghan Lee, (2003) "Investigation of amplifying mechanism in an L-band erbium-doped fiber amplifier pumped by a 980 nm pump", *Journal of Optical Society of Korea*, Vol. 7, No. 2, pp. 67-71.

An Extended L-band Erbium-doped Fiber Amplifier to Amplify 1625 nm OTDR Signal for a Long Distance Monitoring System

Han Hyub Lee, Dae Dong Seo and Donghan Lee[†]

Department of Physics, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

[†]*E-mail: dlee@cnu.ac.kr*

Hyun Beom Choi

FON system, Gwangju 500-460, Korea

Jeongu Jeon

Next generation network lab., KT, Daejeon 305-811, Korea

(Received July 1, 2005, Revised manuscript September 5, 2005)

We have designed an extended L-band Erbium-doped fiber amplifier to amplify 1625 nm optical time domain reflectometry signal for a long distance monitoring system. The proposed amplifier has a dual-stage structure without an isolator. Gain improvement of 5.1 dB has been achieved by adding a fiber Bragg grating and a narrow band pass filter. As a result, the 16.3 dB gain and 7.1 dB noise figure has been successfully accomplished.

OCIS Codes : 060.2320, 060.2330, 060.2410.