

論文2002-39SD-10-6

## 광섬유 브래그 격자를 이용한 광 분기 결합기의 광신호 대 잡음비 측정방법

### (A Simple Optical Signal to Noise Ratio Monitoring Technique for OADM)

尹智郁\*, 朴 燦\*, 金光俊\*

(Jiwook Youn, Heuk Park, and Kwangjoon Kim)

#### 요 약

본 논문에서는 광섬유 브래그 격자를 이용하여 광 분기 결합기(Optical add/drop multiplexer)의 광 성능을 감지하기 위해서 다 채널 광신호의 채널별 광신호 대 잡음비를 실시간으로 측정하였다. 광 분기 결합기에 입력되는 다 채널 광신호의 채널별 세기가 -6 dBm에서 -23 dBm까지 변화할 경우 채널별 광신호 대 잡음비는 0.1 nm의 분해능을 가지는 광 스펙트럼 분석기(Optical spectrum analyzer)와 비교해서 0.8 dB 오차 이내로 측정되었다.

#### Abstract

A simple optical signal to noise ratio monitoring method using fiber Bragg grating is proposed for monitoring performance of OADM. OSNR of each channel is determined by monitoring the optical power transmitted and reflected from fiber Bragg gratings, simultaneously. We have obtained OSNR with accuracy better than 0.8 dB compared with OSA of 0.1 nm optical resolution in the wide input power range between -6 dBm and -23 dBm per channel.

**Key Words** : 파장분할 다중화, 광 분기 결합기, 광신호 대 잡음비, 광섬유 브래그 격자

#### I. 서 론

지금까지의 광 전송망은 파장분할 다중화(Wavelength division multiplexing) 기술과 광 증폭기(Erbium-doped fiber amplifier)를 이용하여 다 채널 광신호를 전기신호로 변화함이 없이 보다 멀리 보내는 것을 목적으로 하는 점대점 전송방식 이었다. 그러나 현재의 광 전송망은 망의 재구성의 용이성과 유연성을

위해서 광 분기 결합기와 광 라우팅 기술을 수용하는 점대다점 전송구조로 변화하고 있다. 이와 같은 구조의 광 전송망에서는 다 채널 광신호는 각 노드에서 채널별로 분기 결합이 이루어지며 이에 따라서 채널별로 각기 다른 광 경로와 다른 수의 광 증폭기를 거치게 된다. 따라서 다 채널 광신호의 채널별 광신호 대 잡음비(Optical signal to noise ratio)는 각기 다른 광 선로 손실과 다른 수의 광 증폭기에 의해서 더해지는 자연 증폭방출(Amplified spontaneous emission) 잡음의 차이에 의해서 달라지게 된다.<sup>[1]</sup> 따라서 광 전송망의 성능과 전송 신호의 품질을 보장해주기 위해서는 다 채널 광신호의 채널별 광신호 대 잡음비를 실시간으로 측정할 수 있어야 한다. 현재 다 채널 광신호의 채널별

\* 正會員, 韓國電子通信研究院 光通信研究部  
(Optical Communications Department, Electronics and Telecommunications Research Institute)  
接受日字:2001年10月22日, 수정완료일:2002年9月30日

광신호 대 잡음비를 측정하기 위한 방법으로는 음향광학 가변필터<sup>[2]</sup>(Acousto-optic tunable filter), 배열 도파로 격자<sup>[3]</sup>(Arrayed waveguide grating) 그리고 광섬유 브래그 격자<sup>[1]</sup>(Fiber Bragg grating)등을 이용하는 방법들이 제안되고 있다. 그러나 이러한 방법들은 스위칭 시간, 신뢰성, 크기 그리고 가격면에 있어서 많은 제약을 가지기 때문에 광 분기 결합기에 적용되기가 힘들다.

따라서 본 논문에서는 광 분기 결합기의 광 성능을 감시하기 위해서 광섬유 브래그 격자를 이용하는 단순한 구조로 다 채널 광신호의 채널별 광신호 대 잡음비를 실시간으로 측정할 수 있는 감시방법을 제안하였다.

## II. 구성 및 동작원리

N개의 채널로 구성된 다 채널 광신호의 채널별 광신호 대 잡음비 측정 기능을 포함하는 광 분기 결합기의 구조는 그림 1과 같다. 광 분기 결합기는 광 역 다중화기(DMUX)와 광 다중화기(MUX) 그리고 광 스위치로 구성되며, 다중화되는 광신호의 채널별 세기를 조정하기 위해서 가변 광 감쇄기(VOA)가 각 채널별로 삽입된다. 다채널 광신호의 채널별 광신호 대 잡음비 측정은 광 역 다중화기에 의해서 채널별로 분리된 광신호의 일부를 분기하여 수행된다. 분기된 광신호는 광 순환기(Optical circulator)를 통해서 광섬유 브래그 격자에 입력된다. 광섬유 브래그 격자의 브래그 파장은 광 역 다중화기에 의해서 분리된 광신호의 채널별 중심파장과 일치한다. 따라서 그림 1에서 광 순환기의 2번째 포트에 출력된 광신호는 광섬유 브래그 격자에 의해서 반사된 후 광 순환기의 3번째 포트에 출력된다.

본 논문에서는 광섬유 브래그 격자에서 반사된 신호의 세기와 광섬유 브래그 격자를 투과한 신호의 세기를 측정하여 다 채널 광신호의 채널별 광신호 대 잡음비를 측정하였다. 광섬유 브래그 격자의 브래그 파장은 각 채널 파장과 동일하기 때문에 채널별 광 세기는 광섬유 브래그 격자에서 반사된 신호의 세기를 측정함으로써 쉽게 알 수 있다. 채널별 자연증폭방출 잡음을 측정하기 위해서는 먼저 광섬유 브래그 격자의 브래그 파장과 동일한 중심파장을 가지는 광신호가 입력될 경우 광섬유 브래그 격자의 투과 및 반사 스펙트럼을 측정하여 투과신호에 포함되어 있는 채널 신호성분의 세기를 측정하였다. 그림 2는 1554.94 nm의 브래그 파장

을 가지는 광섬유 브래그 격자의 투과 스펙트럼을 나타낸다. 다음으로 각 채널 신호를 하나씩 입력시키면서 투과신호에 포함되는 채널 신호의 누화(crosstalk)를 측정하였다. 다 채널 광신호가 입력될 경우 채널별 자연증폭방출 잡음은 광섬유 브래그 격자의 투과신호에서 위에서 측정된 잔여 채널 신호와 채널 누화에 의한 신호성분을 제거한 후 이 값을 광섬유 브래그 격자의 유효 선폭으로 나누어줌으로써 계산된다.

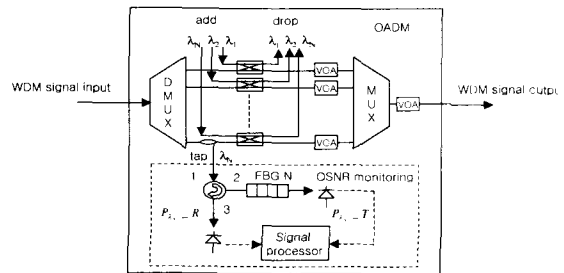


그림 1. 광신호 대 잡음비 측정기능을 포함하는 광 분기 결합기의 구성도

Fig. 1. Block diagram of OADM including OSNR measurement function

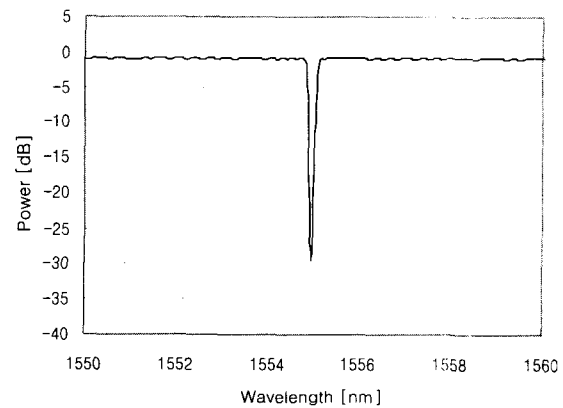


그림 2. 광 섬유 브래그 격자의 투과특성

Fig. 2. Transmission characteristics of the fiber Bragg grating.

## III. 측정 결과

그림 3은 광 분기 결합기에서의 다 채널 광신호의 채널별 광신호 대 잡음비를 측정하기 위한 실험구성을 나타낸다. 다 채널 광신호는 100 GHz의 채널 간격을 가지는 총 16개의 광신호(1545.32 nm~1557.36 nm, ITU grid)로 구성되며 그림 4와 같다. 각 채널 신호들

은 외부 변조기를 이용하여 10 Gb/s로 변조되어졌다. 채널별 광신호 대 잡음비를 측정하기 위해서 1554.94 nm의 중심파장을 가지는 13번째 레이저 다이오드의 출력에 가변 광 감쇄기를 연결하였다. 다 채널 광신호는 광 다중화기(1x16 AWG)에서 다중화된 후 광 증폭기에 입력된다. 이때 광 증폭기 입력에 가변 광 감쇄기를 연결하여 광 증폭기에 입력되는 다 채널 광신호의 총 입력 세기를 -3.5 dBm으로 조절하였으며, 광 분기 결합기에 입력되는 자연증폭방출 잡음을 변화시키기 위해서 3 dB 결합기를 사용하여 별도의 광 증폭기로 구성된 자연증폭방출 잡음원을 광 증폭기의 출력에 연결하였다. 광 분기 결합기에 입력되는 채널별 자연증폭방출 잡음은 자연증폭방출 잡음원의 출력에 연결되어있는 가변 광 감쇄기의 감쇄 정도(0 dB~10 dB)를 변화시킴으로써 조절하였다. 광 분기 결합기에 입력된 다 채널 광신호는 광 역 다중화기에 의해서 채널별로 분리된다. 본 실험에서는 광 역 다중화기의 각 출력에서의 광신호의 역 반사를 막기 위해서 모든 출력을 종단(termination)시켰으며, 채널별로 분리된 다 채널 광신호 중 1554.94 nm의 중심파장을 가지는 13번째 채널신호( $\lambda_{13}$ )에 대해서 광신호 대 잡음비를 측정하였다. 광섬유 브래그 격자는 약 0.9 dB의 삽입손실과 30 dB의 isolation, 99.5 %의 반사율 그리고 0.22 nm의 FWHM을 가진다. 그림 5는 자연증폭방출 잡음원의 출력에 연결되어 있는 가변 광 감쇄기의 감쇄 정도를 조절하여 광 분기 결합기에 입력되는 자연증폭방출 잡음의 세기를 변화시키면서  $\lambda_{13}$  신호 채널에서의 자연증폭방출 잡음을 각각 제안된 구조와 0.1 nm의 분해능을 가지는 광 스펙트럼 분석기로 측정된 결과를 나타낸다. 광 스펙트럼 분석기에 의한  $\lambda_{13}$  신호 채널에서의 자연증폭방출 잡음은 식 1을 이용하여 측정하였다.

$$P_{\lambda_{13\_ASE}} = \frac{P_{\lambda_{13+0.4}} + P_{\lambda_{13-0.4}}}{2} \quad (식 1)$$

(  $P_{\lambda_{13\_ASE}}$  :  $\lambda_{13}$  신호 채널에서의 자연증폭방출 잡음 세기,  $P_{\lambda_{13+0.4}}$  :  $\lambda_{13}$  신호 채널보다 0.4 nm 긴 파장에서의 광 세기,  $P_{\lambda_{13-0.4}}$  :  $\lambda_{13}$  신호 채널보다 0.4 nm 짧은 파장에서의 광 세기)

측정된  $\lambda_{13}$  신호 채널에서의 자연증폭방출 잡음은 광 스펙트럼 분석기의 측정결과와 비교해서 최대 2 dB(att=0)의 오차를 가진다. 그러나 자연증폭방출 잡음

원의 출력을 가변 광 감쇄기를 이용하여 4 dB이상 감쇄 시킬 경우에는 최대 오차가 0.7 dB이내로 감소되었다. 이는 광 분기 결합기에 입력되는 자연증폭방출 잡음이 클 경우 자연증폭방출 잡음에 의한 누화(cross talk)가 채널 신호에 의한 누화와 비교해서 무시할 수 없을 정도로 크기 때문에 발생한 오차이며, 실제의 전송 시스템의 경우 자연증폭방출 잡음에 의한 누화는 채널 신호에 의한 누화와 비교해서 무시할 정도이다. 또한 자연증폭방출 잡음에 의한 누화는 측정 신호 채널의 자연증폭방출 잡음뿐 아니라 광섬유 브래그 격자에 의해서 반사되는 신호 즉 채널별 광신호의 세기도 영향을 미치기 때문에 광신호 대 잡음비의 측정에 있어서의 영향은 더욱 작아진다. 그림 6은 채널별 자연증폭방출 잡음의 세기를 변화시켜 가면서 각 경우에 있어서  $\lambda_{13}$  신호의 광신호 대 잡음비를 측정된 결과이다. 그림 7(a)는 자연증폭방출 잡음원의 출력에 연결된 가변 광 감쇄기에 의한 감쇄가 0 dB인 경우이며, 그림 7(b)는 10 dB의 감쇄를 가질 경우이다. 각 경우에 있어

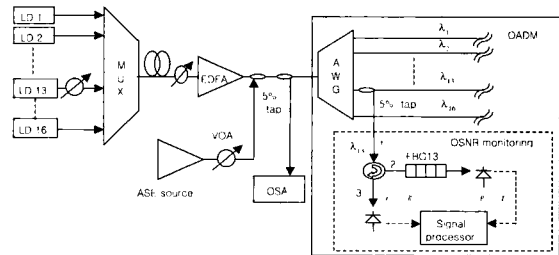


그림 3. 광신호 대 잡음비 측정을 위한 실험 구성  
Fig. 3. Experimental setup for OSNR monitoring.

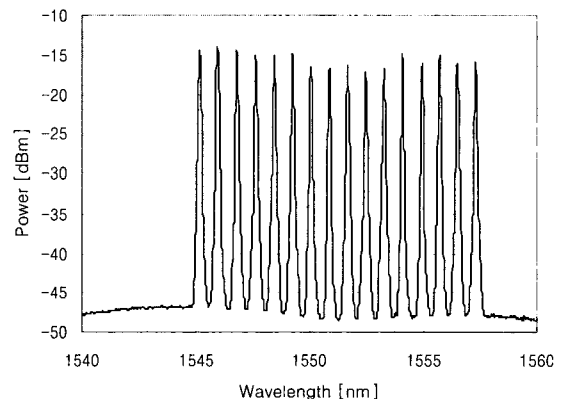


그림 4. 다 채널 입력 광신호의 스펙트럼  
Fig. 4. WDM spectrum with 100 GHz channel spacing.

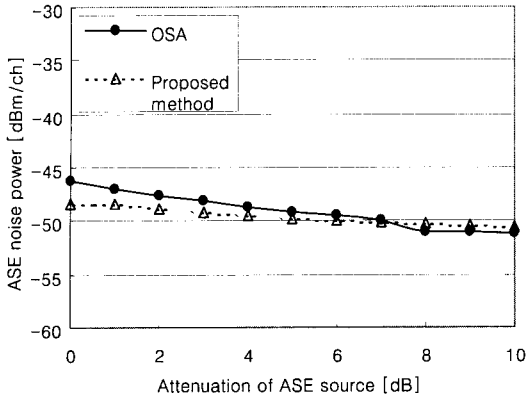
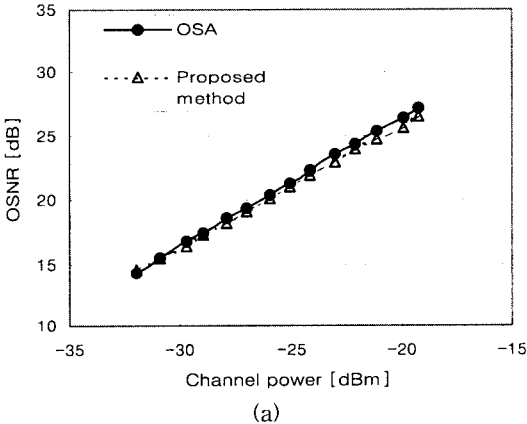
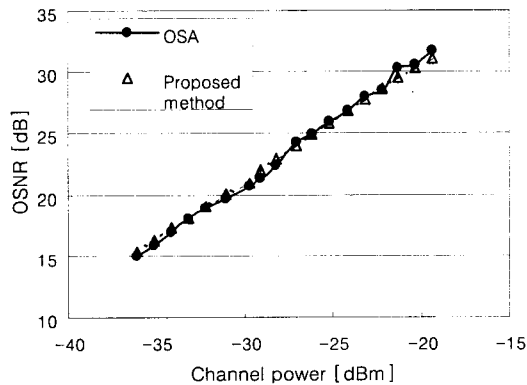


그림 5. 자연증폭방출 잡음 측정 그래프 (●: OSA 측정, △: 제안된 구조로 측정)

Fig. 5. Measured ASE noise against attenuation of the ASE noise source (●: OSA, △: proposed method).



(a)



(b)

그림 6. 광 신호 대 잡음비 측정 그래프 (a) 가변 광 감쇄기에 의한 감쇄가 0 dB, (b) 가변 광 감쇄기에 의한 감쇄가 10 dB (●: OSA 측정, △: 제안된 구조로 측정)

Fig. 6. Measured OSNR against attenuation of the ASE noise source (a) 0 dB attenuation, (b) 10 dB attenuation (●: OSA, △: proposed method)

서 광신호 대 잡음비의 측정 오차는 0.1 nm의 분해능을 가지는 광 스펙트럼 분석기와 비교해서 각각 0.7 dB와 0.8 dB이내로 측정되었다.

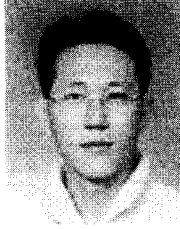
#### IV. 결 론

본 논문에서는 광 분기 결합기의 광 성능을 감시하기 위해서 다 채널 광신호의 채널별 광신호 대 잡음비를 측정할 수 있는 단순한 구조의 광 성능 감시방법을 제안하였다. 제안된 구조는 광 순환기와 광섬유 브래그 격자만으로 구성되는 단순한 구조로 채널별 입력과위가 -6 dBm에서 -23 dBm까지 변화할 경우 0.1 nm의 분해능을 가지는 광 스펙트럼 분석기와 비교해서 0.8 dB 오차 이내로 채널별 광신호 대 잡음비의 측정이 가능하다.

#### 참 고 문 헌

- [1] N. Antoniadis, I. Roudas, R. E. Wagner and S. F. Habiby, "Simulation of ASE noise accumulation in a wavelength add-drop multiplexer cascade," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, Vol. 9, No.9, pp. 1274~1276, 1997.
- [2] K. Asahi, M. Yamashita, K. Nakaya, C. Konish and S. Fujita, "Optical performance monitor built into EDFA repeaters for WDM networks," in *Optical Fiber Communication Conference '98*, pp. 318~319, 1998.
- [3] H. Suzuki and N. Takachio, "Optical signal quality monitor built into WDM linear repeaters using semiconductor arrayed waveguide grating filter monolithically integrated with eight photodiodes," *Electron. Lett.*, Vol. 35, No. 10, pp. 836~837, 1999.
- [4] C. R. Giles, Tom Strasser, Kevin Dryer and Chris Doerr, "Concatenated fiber grating optical monitor," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, Vol. 10, No. 10, pp. 1452~1454, 1998.

저 자 소 개



尹 智 郁(正會員)

1970년 7월 7일생, 1997년 경희대학교 전자공학과(공학사), 1999년 경희대학교 전자공학과(공학석사), 1999년~현재 : 한국전자통신연구원 네트워크연구소 광통신연구부 재직 중, <주관심분야 : WDM시스템, 광

채널 성능감시>



金 光 俊(正會員)

1958년 7월 30일생, 1981년 서울대학교 물리학과(이학사), 1983년 서울대학교 물리학과(이학석사), 1993년 미국 OHIO STATE UNIV.(박사), 1984년~현재 : 한국전자통신연구

구원 네트워크연구소 광통신연구부 책임연구원 재직 중, <주관심분야 : 광전송, 광스위칭>



朴 熾(正會員)

1962년 11월 17일생, 1986년 서울대학교 물리학과(이학사), 1990년 서울대학교 물리학과(이학석사), 1995년 서울대학교 물리학과(이학박사), 1995년~1996년 : 한국전자통신연구원 연수연구원으로 재직, 1997년~

현재 : 한국전자통신연구원 네트워크연구소 광통신연구부 선임연구원 재직 중, <주관심분야 : OXC시스템>