

論文2001-38TC-2-1

배열 도파로 격자를 이용한 WDM 광 전송시스템의 성능감시 (Optical Performance Monitoring for WDM Optical Transmission Systems using Arrayed Waveguide Grating)

尹智郁*, 李聖恩*, 金光俊*, 李鍾弦*
(Ji-Wook Youn, Sung-Un Lee, Kwang-Joon Kim, and Jong-Hyun Lee)

要 約

본 논문에서는 배열 도파로 격자(Arrayed Waveguide Grating : AWG)를 이용하여 파장분할 다중화(Wavelength-Division Multiplexing : WDM)광 신호의 채널별 파장과 광학적 신호대 잡음비(Optical Signal-to-Noise Ratio : OSNR)를 실시간으로 측정하였다. 입력신호의 채널별 파장변화에 따른 AWG의 인접한 두 출력포트의 출력 값의 비율변화는 $\sim 1\text{dB}/0.026\text{nm}$ 로 측정되었으며 채널별 OSNR의 측정에 있어서는 0.7dB 이내의 오차를 가진다.

Abstract

We propose an optical performance monitoring method for WDM optical transmission systems. By assigning a pair of AWG ports to each optical signal channel, the optical power, optical signal-to-noise ratio (OSNR), and wavelength of all the signal channels are observed simultaneously. The output power ratio of the AWG port pair depended on the wavelength variation of the channel with sensitivity of $1\text{dB}/0.026\text{nm}$. The OSNR results were deviated no more than 0.7dB from the results measured by optical signal analyzer (OSA).

I. 서 론

파장분할 다중화 기술과 광 증폭기(Erbium-Doped Fiber Amplifiers : EDFA)의 사용은 광 전송 용량의 증가뿐 아니라 광 전송망의 설계에 있어서도 다양한 융통성을 제공해 준다.^[1] 그러나 광 증폭기를 사용하여 WDM 광 신호를 증폭할 경우 증폭되는 광 신호에 ASE 잡음이 더해지기 때문에 결국 증폭된 광 신호의 광 신호대 잡음비가 감소하게 된다. 또한 WDM 광 신호의 채널별 파장이 변동할 경우 인접 채널과의 누화 현상(crosstalk)에 의해서 신호의 품질이 저하되며 채널 누화 현상을 줍은 채널간격을 가지는 WDM 시스

템일수록 더 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 광 증폭기를 포함하는 WDM 광 전송시스템의 경우 전송 신호의 품질을 보장해주기 위해서는 증폭된 WDM 광 신호의 채널별 파장과 OSNR에 대한 성능감시가 필요하다. 현재 WDM 광 신호의 채널별 광 성능감시를 위해서 음향광학 가변필터(Acousto-Optic Tunable Filter : AOTF)^[2], 배열 도파로 격자^[3] 그리고 광섬유 브래그 격자(Fiber Bragg Grating : FBG)^[4] 등을 이용하는 다양한 방법들이 제안되고 있다. 그러나 이러한 방법들로는 WDM 광 신호의 채널별 파장과 OSNR을 동시에 측정할 수 없으며 스위핑 시간, 신뢰성 그리고 가격면에 있어서 제약을 가진다.

본 논문에서는 WDM신호 채널간격의 $1/2$ 의 채널간격과 $2N+2$ 개의 출력포트를 가지는 AWG를 이용하여 N 개의 채널로 구성된 WDM 광 신호의 채널별 파장과 OSNR을 실시간으로 측정하였다. 본 논문의 II 장에서 AWG를 이용한 채널별 광 성능감시의 구조와

* 正會員, 韓國電子通信研究院

(Electronics and Telecommunications Research Institute)

接受日字: 2000年7月15日, 接收日字: 2001年1月18日

WDM 광 신호의 채널별 파장 및 OSNR의 측정 방법을 제안하였다. III 장에서는 II 장에서 제안된 방법에 의한 채널별 광 성능감시 측정결과와 검토를 제시했으며 IV 장에서 결론을 맺는다.

II. WDM 광 신호의 채널별 성능감시

1. 채널별 파워 및 파장 측정

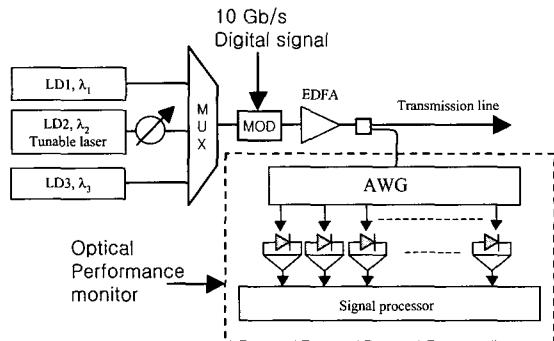


그림 1. 광 성능감시를 위한 실험 구성도

Fig. 1. Experimental setup for optical performance monitoring.

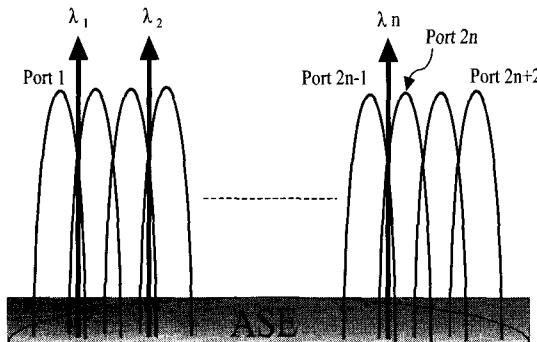


그림 2. AWG의 투과 스펙트럼상의 입력신호의 위치
Fig. 2. Input signal allocation on spectrum response of AWG.

N개의 채널로 구성된 WDM 광 신호의 채널별 성능감시를 위한 구성은 그림 1과 같다. 채널별 광 성능감시는 광 증폭기 출력의 일부를 분기하여 WDM 광 신호 채널간격의 1/2의 채널간격과 2N+2개의 출력포트를 가지는 AWG를 이용하여 실시간으로 수행된다. AWG의 투과특성은 그림 2와 같은 파장교차 특성을 가지며, 투과특성 그래프상의 교차점 파장들은 WDM 광 신호를 구성하고 있는 N개의 채널 신호의 중심파장을 갖는다.

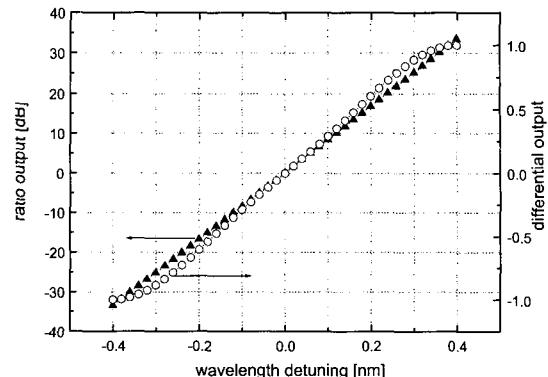


그림 3. 인접한 두 출력포트의 출력 값의 차이와 출력비

Fig. 3. Calculated differential output and ratio output.

장과 일치하도록 한다. 따라서 λ_i 의 중심파장을 가지는 광 신호의 파워는 AWG의 인접한 두 출력포트인 $2i-1$ 번 째 포트와 $2i$ 번 째 포트로 나누어져 출력된다. 이 때 인접한 두 출력포트는 교차점 파장에서 동일한 삽입손실을 가지기 때문에 WDM 광 신호의 채널별 파워는 서로 인접한 두 출력포트에서 측정된 출력값과 교차점 파장에서의 삽입손실을 이용하여 구할 수 있다. 또한 AWG의 인접한 두 출력포트의 투과특성은 그림 2에서 알 수 있듯이 교차점 파장에 대해서 서로 대칭성을 가지기 때문에 인접한 두 출력포트의 출력비 또는 출력값의 차이를 계산함으로써 WDM 광 신호의 채널별 파장을 측정할 수 있다. 인접한 두 출력포트의 교차점 파장과 동일한 중심파장을 가지는 채널 신호의 파장이 변화할 경우 인접한 두 출력포트의 출력값의 차이와 출력비는 AWG의 slab 도파로 내의 모드 패턴을 Gaussian으로 근사화 시킬 경우 식 1과 식 2에 의해서 계산된다. 이때 AWG의 파장 변화에 따른 전달함수는 식 3과 같다.^[5, 6] 아래의 식에서 Δx 는 AWG의 slab 도파로 내의 입출력 도파 사이의 거리를 나타내며, λ_i 는 i 번째 채널의 중심파장을 λ_c 는 AWG 출력포트의 중심파장을 그리고 $\delta\lambda$ 는 초기설정 파장에 대한 파장의 변화를 나타낸다. $\Delta\lambda$ 는 AWG의 채널간격을, 그리고 ω_0 는 Gaussian모드 패턴의 스폿(spot) 크기를 나타낸다. 그림 3은 채널의 중심파장이 초기 설정 값에서 변화할 경우 파장의 변화 정도에 따른 인접한 두 출력포트의 출력값의 차이와 출력비를 식 1과 식 2를 이용하여 계산한 결과이다. 여기서는 계산을 단순화하기 위해서 ASE 잡음에 대한 영향은 고려하지

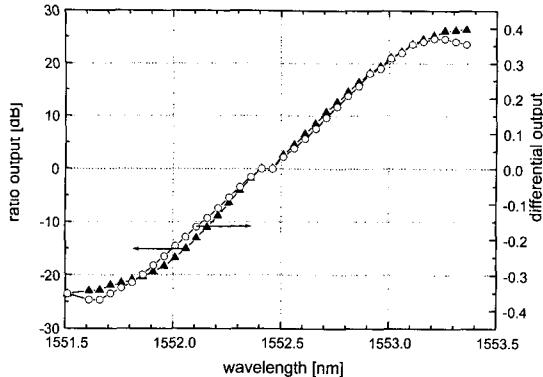


그림 4. 인접한 두 출력포트의 출력 값의 차이와 출력 비 측정결과
Fig. 4. Measured differential output and ratio output.

않았다. 실제 실험에 있어서는 인접 채널에서의 누화 현상에 의해서 인접 채널의 파워와 ASE 잡음이 측정 값에 더해지게 되며, 이에 따른 영향은 그림 4의 실험 결과에서 알 수 있듯이 측정 그래프에서의 왜곡을 일으키게 된다.

$$I_d(\delta\lambda) = T(\delta\lambda)_{2i} - T(\delta\lambda)_{2i-1} \quad (1)$$

$$I_d(\delta\lambda) = \frac{T(\delta\lambda)_{2i}}{T(\delta\lambda)_{2i-1}} \quad (2)$$

$$T(\delta\lambda) = \exp \left\{ - \left[\frac{\Delta x (\lambda_i - \lambda_c - \delta\lambda)}{\omega_0 \Delta \lambda} \right]^2 \right\} \quad (3)$$

(본 실험에서는 $\Delta x = 25 \text{ } \mu\text{m}$, $\Delta \lambda = 0.8 \text{ nm}$, $\omega_0 = 4.5 \text{ } \mu\text{m}$ 를 사용하였다.)

2. 채널별 OSNR 측정

WDM입력신호의 채널별 OSNR을 측정하기 위해서는 입력신호의 채널별 파워와 ASE잡음을 측정하여야 한다. WDM 입력 광 신호의 채널별 파워는 1절에서 제시한 방법에 의해서 측정하였으며 채널별 ASE 잡음을 측정하기 위한 방법은 다음과 같다. WDM 광 신호의 채널별 ASE값을 측정하기 위해서는 먼저 그림 1의 실험구성 전에 광 증폭기의 총 입력 파워의 변화에 따른 광 증폭기의 파장별 ASE잡음 특성을 측정하여 광 성능감시 장치내의 신호처리기에 미리 저장해 두어야 한다. 본 논문에서는 광 증폭기의 총 입력파워를 -10 dBm 에서 -12 dBm 까지 변화시켰으며 각 경우에 대한 광 증폭기의 ASE 잡음 특성을 신호처리기에 저장해 두었다. 다음으로 그림 1의 구조와 같이 3개의 채널로 구성된 WDM 광 신호를 광 증폭기에 인가한 후 광

성능감시 장치를 이용하여 WDM광 신호의 채널별 OSNR을 측정하였다. 그림 2에서 알 수 있듯이 AWG의 $2n+2$ 번째 출력포트의 투과 파장은 WDM입력 광 신호의 어떠한 채널 파장과도 일치하지 않는다. 따라서 $2n+2$ 번째 출력포트에서는 항상 ASE 파워만이 출력된다. 반면에 다른 출력포트에서는 각 출력포트의 투과파장에 해당되는 채널 신호 파워와 ASE잡음이 함께 출력된다. 따라서 WDM 광 신호가 입력될 경우 광 증폭기의 총 입력 파워와 AWG의 $2n+2$ 번째 출력포트로부터 ASE잡음 샘플을 측정한 후 신호처리기내에 미리 저장해둔 광 증폭기의 총 입력파워에 따른 ASE잡음 특성과 식 4를 이용하여 WDM광 신호의 채널별 OSNR을 측정할 수 있다. 이때 광 증폭기의 총 입력파워는 1절에서 측정한 채널별 파워의 합으로 계산되어진다. 식 4에서 $V_{2i-1,ASE}$ 와 $V_{2i,ASE}$ ($i = 1, 2, \dots, n+1$)는 그림 1의 구성에서 광 증폭기에 WDM광 신호가 입력될 경우 AWG의 각 출력포트로부터 측정된 채널별 파워에 포함되어있는 ASE잡음을 나타내며, $V_{2i-1,ASE}(t_0)$ 와 $V_{2i,ASE}(t_0)$ 는 그림 1의 구성 전에 미리 측정된 ASE 잡음으로 신호처리기내에 저장된 ASE 잡음 값이다.

$$V_{2i-1,ASE} + V_{2i,ASE} = \frac{V_{2i-1,ASE}(t_0) + V_{2i,ASE}(t_0)}{V_{2n+2,ASE}(t_0)} \cdot V_{2n+2,ASE} \quad (4)$$

III. 측정결과 및 검토

본 논문에서는 AWG를 이용하는 단순한 구조로 WDM광 신호의 채널별 파워와 OSNR을 실시간으로 측정하였으며 실험구성은 그림 1과 같다. 실험에 사용된 AWG의 투과특성은 그림 6과 같으며, 이는 4번째 입력포트에 신호가 입력될 경우의 투과특성을 나타낸다. AWG는 출력포트별로 약 6~7dB의 삽입손실과 200GHz의 채널 간격을 가지며, 각각 8개의 입력과 출력 포트를 가지고 있다. 레이저 다이오드의 중심파장은 각각 1549.32nm, 1552.52nm, 그리고 1555.75nm로 400GHz의 채널간격을 가진다. 각각의 레이저 다이오드의 출력은 광 다중화기에 의해서 다중화 된 후 광 변조기에 의해서 10Gb/s 광 신호로 변조되어져 광 증폭기로 입력된다. 광 증폭기의 채널별 입력파워는 -15 dBm 이며 채널별 OSNR을 측정하기 위해서 광 감쇄기를 이용하여 1552.52nm의 중심파장을 가지는 레이저 다이오드의 출력을 조절하였다. 또한 WDM광 신호의

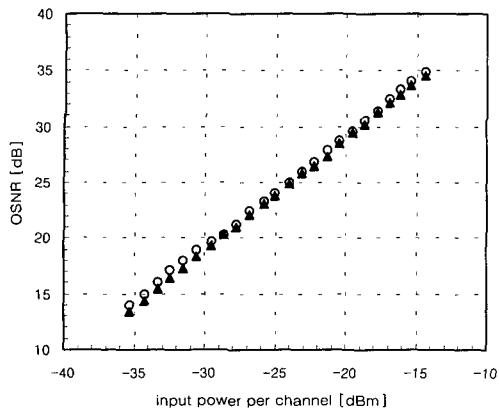


그림 5. 입력신호의 파워 변화에 따른 OSNR(O: 제안된 구조로 측정, ▲: OSA로 측정)

Fig. 5. Measured OSNR against input power(O : proposed method , ▲: commercial OSA).

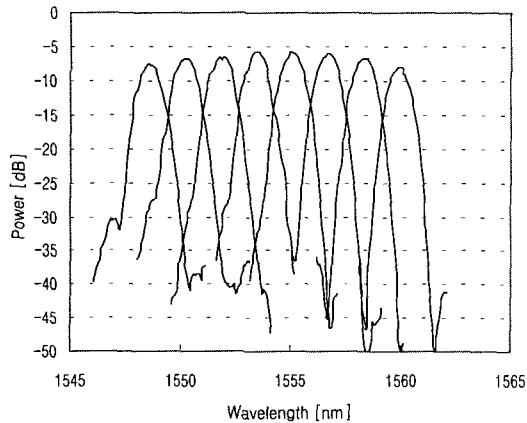


그림 6. AWG의 투과특성 그래프

Fig. 6. Transmittance characteristics of AWG.

채널별 파장을 측정하기 위해서 파장 가변형 레이저를 사용하여 λ_2 의 중심파장을 가지는 신호의 파장을 0.05nm씩 변화시켜 가면서 AWG의 인접한 두 출력포트의 출력 값의 변화를 측정하였다. 그림 4는 λ_2 의 중심파장을 가지는 신호의 파장을 1551.5nm부터 1553.4nm까지 변화시켜 가면서 AWG의 인접한 두 출력포트(출력포트 3과 출력포트 4)의 출력 값의 비와 차이를 측정한 결과이다. 측정된 결과는 λ_2 신호의 중심파장을 중심으로 약 1nm의 파장영역 내에서 파장이 0.026nm변할 경우 출력 값의 비가 1dB 변화함(38dB/1nm)을 보여준다. 실험에 사용된 AWG는 온도 제어부를 포함하고있지 않으며 $\sim 0.01\text{nm}/\text{C}$ 의 온도특성을 가진다. 인접한 두 출력포트의 출력 값의 비는 AWG의

투과 스펙트럼상의 교차점 파장에서의 삽입손실에 의존하기 때문에 삽입손실이 작은 AWG를 사용할수록 더욱 미세한 파장의 변화까지 측정할 수 있다. 그럼 5는 1552.52nm의 중심파장을 가지는 λ_2 신호의 광 증폭기 입력파워를 -15dBm에서 -37dBm까지 변화 시키면서 각각 본 논문에서 제안한 광 성능감시 방법과 0.1nm의 분해능을 가지는 상용 OSA(optical spectrum analyzer)로 측정한 OSNR을 나타낸 것이다. WDM광 신호의 채널별 OSNR의 측정에 있어서의 오차는 0.7dB이내로 유지되었다.

IV. 결 론

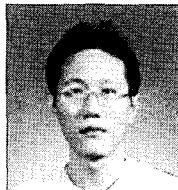
본 논문에서는 AWG를 사용하는 단순한 구조만으로 WDM광 신호의 채널별 파장과 OSNR을 실시간으로 측정하였다. OSNR의 측정에 있어서는 광 증폭기에 입력되는 채널별 파워가 -15dBm에서 -37dBm까지 변화 할 경우에도 최대 0.7dB의 오차범위 내에서 측정 되었다. 채널별 파장 측정에 있어서는 약 1nm의 파장영역 내에서 AWG의 인접한 두 출력포트의 출력 값의 비가 1dB 변화할 경우 약 0.026nm의 파장 변화(38dB/1nm) 까지 측정이 가능하였다. 본 논문에서 제안된 광 성능 감시 방법은 현재 상용화 되어있는 50GHz 채널간격의 AWG를 사용할 경우 100GHz의 채널간격을 가지는 WDM 광 신호의 채널별 광 성능감시에 이용할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] G. R. Hill, et al., "A transport network layer based on optical network elements, *J. Lightwave Technol.* vol. 11, no. 5/6, pp. 667-676, May/June 1995.
- [2] K. Asahi, et al., Optical performance monitor built into EDFA repeaters for WDM networks, *OFC'98. Technical Digest ThO2*, pp. 318-319, 1998.
- [3] H. Suzuki, et al., 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, May 1999.
- [4] C. Randy Giles, et al., Concatenated fiber grating optical monitor, Photon. Technol. Lett. vol. 10, no. 10, pp. 1452-1454, October 1998.
- [5] Hiroshi Takahashi, et al., Transmission characteristics of arrayed waveguide NxN wavelength multiplexer, J. Lightwave Technol. vol. 13, no. 3, pp. 447-455, March 1995.
- [6] Mitsuhiro Teshima, et al., Performance of Multiwavelength simultaneous monitoring circuit employing arrayed-waveguide grating, J. Lightwave Technol. vol. 14, no. 10, pp. 2277-2285, October 1996.

저자소개



尹智郁(正會員)

1970년 7월 7일생, 1997년 2월 경희대학교 전자공학과(공학사), 1999년 2월 경희대학교 전자공학과(공학석사), 1999년 4월~현재 : 한국전자통신연구원 교환전송기술연구소 광통신연구부 재직 중, <주관심 분야 : WDM시스템의 광 성능감시>



金光俊(正會員)

1958년 7월 30일생, 1981년 2월 서울대학교 물리학과(학사), 1983년 2월 서울대학교 물리학과(석사), 1993년 6월 미국 OHIO STATE UNIV.(박사), 1984년 3월~현재 : 한국전자통신연구원 교환전송기술연구소 광통신연구부 책임연구원 재직 중, <주관심 분야 : 광전송, 광스위칭>

李聖恩(正會員)

1956년 1월 27일생, 1978년 2월 서울대학교 전자공학과(공학사), 1980년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사), 1992년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학박사), 1980년 9월~2000년 6월 : 한국전자통신연구원 근무, 2000년 6월~현재 : 링스텍 재직 중, <주관심 분야 : 액세스 시스템>



李鍾弦(正會員)

1981년 2월 성균관대학교 전자공학과(공학사), 1983년 2월 성균관대학교 전자공학과(공학석사), 1992년 2월 성균관대학교 전자공학과(공학박사), 1983년~현재 : 한국전자통신연구원 교환전송기술연구소 광통신연구부 책임연구원 재직 중, <주관심 분야 : 광통신 기술, OXC 기술, 광전달망 기술>