

FFP-TF를 활용한 OPM의 16CH WDM시스템 광 성능 모니터링

정회원 이 동 선*

Optical performance monitoring in 16CH WDM system,using FFP-TF

Dong-Sun Lee* *Regular Member*

요 약

광성능을 모니터링하기 위해 필요한 것이 OPM(optical performance monitoring module)이다. OPM에서 가장 중요한 것은 광 신호의 파장을 측정하는 것이다. 기존에는 pilot tone을 사용하였으므로 파장값을 얻기가 어려웠지만, 그후 AWG(arrayed waveguide grating), AOTF (acousto optic tunable filter) 등을 사용하여 다채널 신호에 대한 파장과 전송 품질을 모니터링하게 되었다. 본 논문에서는 일반적으로 광 분해능이 우수하다고 평가되는 FFP-TF(fiber fabry perot-tunable filter)를 채택 하였으며, FFP-TF를 사용하기 때문에 필요한 기준파장의 설정을 위하여 광섬유격자(FBG : fiber bragg grating)를 사용하였다.

ABSTRACT

the OPM(optical performance monitoring module) is needed in order to monitor optical performance. the most importance of OPM is to measure the wavelength of optical signal. In the past time, it was very difficult to get the wavelength value because they used pilot tone. since then, using AWG(arrayed waveguide grating) and AOTF(acousto optic tunable filter), the wavelength and the transmission quality for multi channel signal have been monitored. In this paper, we chose the fiber fabry-perot wavelength variable filter which be evaluated for optical resolution ability to excellent, so that FBG(fiber bragg grating) was used for setting reference wavelength because chose a wavelength variable filter.

I. 서 론

인터넷등의 발달로 정보의 전송용량이 점차 증대하고 있으므로, 기존의 TDM(time division multiplexing)방식으로는 전송용량의 증가를 만족시킬 수 없게 되었다. 이러한 전송용량의 한계를 극복하기 위하여 여러 파장에 신호를 실어 보내는 WDM(wavelength division multiplexing)방식이 출현하게 되었다. WDM

시스템은 여러 파장을 사용하기 때문에 각 채널에 해당하는 파장,파워 그리고 OSNR(optical signal to noise ratio)을 유지하는 것이 매우 중요하다. 이러한 광 성능을 모니터링하기 위해 필요한 것이 OPM (optical performance monitoring module) 이다. 현재 40 Gb/s WDM 시스템에서는 25 Gb/s 의 bit rate 로 16 채널을 640 km 전송하도록 되어 있다. 채널간의 파장 간격은 100 GHz 로서 OPM이 파

* 광운대학교 정보제어공학과 시스템 연구실(dsleckorea@hanmail.net),
논문번호 : 030262-0618, 접수일자 : 2003년 6월 18일

장을 측정하여 시스템에 정보를 제공함으로써 채널간 혼신을 광 전송 단계에서 알 수 있게 된다. 또한 각 채널의 첨두(peak)와 골(deep)의 광 세기를 측정하여 각 채널의 광세기와 OSNR 을 알아내어 전송 중에 발생하는 광 신호의 감쇄 현상을 시스템이 인지할 수 있게 된다. 그리고 전송채널 수의 모니터링으로 Add/Drop 에 의해 발생된 채널 수의 변화도 감지할 수 있다.

표1. OPM의 주요기능

주요 기능	
채널 BFR 측정	SNR 및 Q factor 측정
점멸율 측정	광 손실 및 광 파워 측정
분산 계측	비선형 왜곡 계측
채널 균등화	누화 측정
파장 등록	네트웍 상태 감시
클럭 감시	비트율 감시

OPM에서 가장 중요한 것은 광 신호의 파장을 측정하는 것이다. 기존에는 pilot tone을 사용하였으므로 파장 값을 얻기가 어려웠지만, 그후 AWG (arrayed waveguide grating), AOTF (acousto optic tunable filter) 등을 사용하여 다채널 신호에 대한 파장과 전송 품질을 모니터링하게 되었다.

본 논문에서는 일반적으로 광 분해능이 우수하다고 평가되는 FFP-TF(fiber fabry perot - tunable filter)를 채택 하였으며, FFP-TF 를 사용하기 때문에 필요한 기준파장의 설정을 위하여 FBG(fiber bragg grating)를 사용하였다. 제안된 OPM은 광 증폭기의 출력단에서 램을 주어 광 신호를 수신하므로 -40 dBm 이하의 광 세기를 측정하기 위한 포토다이오드-전치 증폭기 및 OSNR 개선을 위한 좁은 밴드폭의 FFP-TF를 채택하였다. 또한 전기적 신호 처리부에서는 12 bit ADC (analog to digital converter) 및 14 bit DAC (digital to analog converter)를 사용하여 측정값의 분해능을 높일 수 있었다. 메인 프로세서는 mc 68030 을 사용하였다.

표2. OPM용 필터 방식별 특성비교

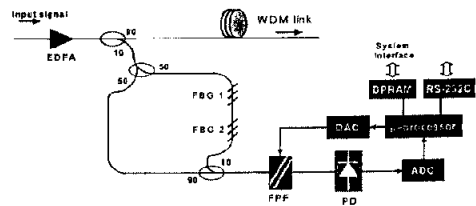
종류	장 점	단 점
pilot tone	제래 파도기술로 활용	파장값 취득 성능이 열등
AWG	반도체 공정사용으로	광 접속에 문제

	인한 대량생산 가능 시스템 직접화에 유리 다채널 적용시 저손실	FBG 보다 성능이 열등
AOTF	위격으로 튜닝이 가능	일반적조건에서 사용 불가 기술성숙도 낮음
FBG	광 접속시 유리 성능이 비교적 우수	고가의 구성(circulator)을 필요로 할 경우가 있음 반사도가 높음

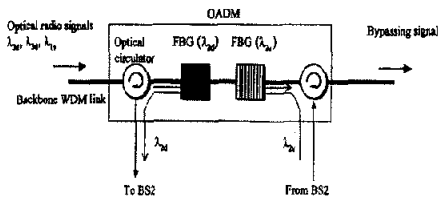
II. FBG 필터의 OPM 구성 및 분석.

1. OPM 의 구성

그림1은 16채널 WDM시스템에서 OPM의 구성도이다. 제작된 OPM은 WDM 전송 선로상에서 광 증폭기를 거친 뒤 광 커플러를 통하여 광신호의 10 dB 로 분기된 광 신호를 모니터링 하는 구조로 되어 있다. 수신된 광 신호는 다시 3 dB 커플러를 통해 분기된다. 분기된 한 포트는 기준 파장 설정을 위한 FBG 두 파장을 거치며, 다른 한 포트는 패스된다. 분기되었던 광 신호는 10 dB 커플러를 통해 모니터 하고자 하는 광 신호를 분해하는 FFP-TF 로 입사 된다. 투과된 광 신호는 포토다이오드 / 증폭기로 구성되는 아날로그 파트를 통해 전기신호로 변환된다. 전기신호는 A/D 변환을 통해 데이터로 처리된다. 마이크로프로세서로 구성된 디지털 파트는 데이터 처리 뿐만 아니라 FFP-TF 및 기타부품들을 제어하게 된다. 검출된 데이터를 이용 마이크로프로세서에서 처리된 광 채널의 정보는 PC와의 인터페이스를 위해 RS-232C 소자를 통한 직렬 통신을 하며 DPRAM 을 통해 WDM 시스템의 MCU 에 계산된 채널 정보를 실 시간으로 제공한다.



(a). OPM 전체구성도



(b). FBG 세부 구성도

그림1. 광성능 모니터링 모듈(Optical performance monitoring module) 구성도

2. OPM 각 부분별 중요 소자의 동작원리

가. FFP-TF(fiber fabry perot-tunable filter)

광신호의 광학적 분해방법으로 fabry-perot 간섭계의 원리가 적용된 FFP-TF (fiberfabry perot-tunable filter)를 사용하였다. FFP-TF는 두 거울면 사이 간격이 입사하는 광 신호의 간섭 길이가 되어 반 파장의 정수배가 될 때 보강 간섭이 일어나 투과되는 원리를 이용한 것으로 아래의 그림과 같이 PZT 불질의 사용함으로 인가 전압에 따라서 두께를 변화시킴으로서 투과 파장을 가변 시키는 작용을 이용한 것이다. 그림2는 FFP-TF의 구조를 보여준다.

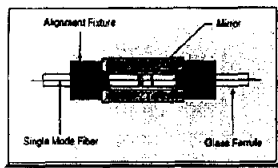


그림 2. FFP-TF의 구조

FFP-TF의 투과특성은 그림3과 같으며 (1), (2), (3), (4)는 fabry-perot 간섭계의 특성을 나타낸다.

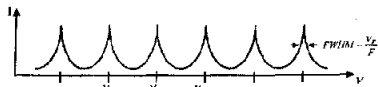


그림3. Fabry-Perot interferometer의 투과특성

$$I = \frac{I_{max}}{1 + (2F/\pi)^2 \sin^2(\pi v/v_F)} \dots (1) \text{ 스펙트럼 응답}$$

$$F = \frac{\pi T}{1-r} \dots (2) \text{ 응용}$$

$$v_F = \frac{c}{2d} \dots (3) \text{ 자유 스펙트럼 범위}$$

$$v = v_q = qv_F, q = 1, 2, 3, \dots (4) \text{ 공진주파수}(q: \text{모드수})$$

주변 온도의 변화에 의해 투과 파장이 바뀌게 된다. 따라서 인가 전압에 의한 투과 파장이 안정된 재현성을 갖기가 어렵게 된다. 이러한 결점을 보완하기 위해서 여러차례에 걸친 반복 시험에 의해 변수 값을 찾게 된다.

나. 기준파장 설정을 위한 광섬유 격자(FBG : fiber bragg grating)

FFP-TF의 불완전성을 해결하기 위해 인가 전압에 대한 파장 변화의 변수를 찾게 되는데, 이를 위해 기준이 되는 파장 값이 필요하다. 이에 따라 안정된 파장 값을 광섬유 격자(FBG : fiber bragg grating)을 통해 얻게 된다. OPM에서는 광섬유 격자를 사용하여 ASE(amplified spontaneous emission)에 기준이 되는 흡을 만들어 주어 알고 있는 광섬유 격자 파장 위치를 기준점으로 함으로서 기준점에 상대적인 채널의 위치를 계산해 낼 수 있었다. 그림4는 동작 원리를 나타낸다.

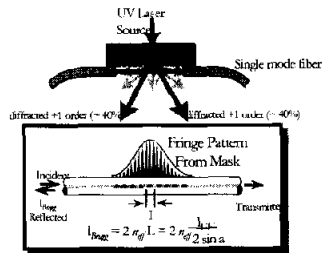


그림4. FBG 활용 기준파장 취득 구성도

3. OPM의 신호처리

가. FFP-TF특성을 고려한 파장보정을 위한 수치적 계산

OPM에서는 파장 보정을 위하여 수치적인 계산과정을 거쳐야 한다. 기준파장을 λ_1, λ_2 라 하고 기준파장의 DA 기준값을 $d1, d2$ 라 하면

DA 기준값 d 로부터 선형 보정된 파장 x 기준 값을 구해내는 식은 다음과 같다.

$$x = d_1 + \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{d_1 - d_2} d \dots \quad (5)$$

그러나 FFP-TF에서 인가된 전압에 대한 파장의 변화는 비선형적이기 때문에 정확한 파장 보정을 위해서는 고차항의 보정이 필요할 뿐만 아니라, t = (DA 시작기준값) / (서미스터 AD 기준값) 값이 또 다른 변수가 된다. 이를 위해서 다음과 같이 x와 t를 변수로 갖고 항상 기준파장을 지나는 일반적인 다항식을 설정한다

$$\lambda = x + (x - \bar{x}_1)(x - \bar{x}_2)P_{MN}(x, t) \dots \quad (6)$$

$$P_{MN}(x, t) = \sum_{n=0}^M \sum_{t=0}^N C_{n,t} x^n t^n = \frac{\lambda - x}{(x - \bar{x}_1)(x - \bar{x}_2)} \dots \quad (7)$$

계산의 편리성을 위하여 $P_{MN}(x, t)$ 를 컬럼 차수 행렬화 하면 다음과 같다.

$$P_{MN}(x, t) = \begin{pmatrix} x^0 t^0 & x^0 t^1 & \dots & x^0 t^N \\ x^1 t^0 & x^1 t^1 & \dots & x^1 t^N \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x^M t^0 & x^M t^1 & \dots & x^M t^N \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_{00} \\ c_{01} \\ \vdots \\ c_{0n} \\ c_{10} \\ c_{11} \\ \vdots \\ c_{MN} \end{pmatrix} = \bar{X} \underline{C} \dots \quad (8)$$

여기서 \bar{X} 는 로우벡터, \underline{C} 는 컬럼벡터 이다. 파장 보정은 (K+1) 개의 $\{(x_k, t_k, \lambda_k)\}$ 데이터 셋트를 이용하여 최소한의 오차를 가지는 $P_{MN}(x, t)$ 를 구하는 것이다. $P_{MN}(x, t)$ 를 사용하는 선형 평방 식을 행렬 형태로 쓰면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{pmatrix} \bar{X} \\ \vdots \\ \bar{X}_k \end{pmatrix} \underline{C} - \underline{X} \underline{C} = \underline{E} \dots \quad (9)$$

여기서

$$\underline{E} = \begin{pmatrix} \lambda_0 - x_0 \\ (x_0 - \bar{x}_1)(x_0 - \bar{x}_2) \\ \vdots \\ \lambda_k - x_k \\ (x_k - \bar{x}_1)(x_k - \bar{x}_2) \end{pmatrix} \dots \quad (10)$$

$$\therefore \underline{C} = (\bar{X}^T \bar{X})^{-1} \bar{X}^T \underline{E} \dots \quad (11)$$

나. OSNR 계산

측정하고자 하는 광 신호가 OPM 에 입력 되었을 때 FFP-TF 를 통과하게 되면 D/A 변환기의 출력전압에 따라 FFP-TF 투과 파장의 변화를 겪게 된다. 이때 광 신호가 존재하는 파장대역이 검출되어 출력되고 광전변환을 거쳐 A/D 변환기로 입력된다. 검출된 광 신호는 FFP-TF 의 투과특성에 의해 실제 광 신호와 다른 스펙트럼을 갖게 된다. 그러므로 실제 광 신호와 같은 스펙트럼을 갖도록 신호처리를 해주어야 한다. FFP-TF 의 투과특성은 다음과 같은 에어함수로 표현된다.

$$a(\lambda) = \frac{k}{1 + \frac{2F}{\pi} \sin^2\left(\frac{2\pi nL}{\lambda}\right)} \dots \quad (12)$$

여기서 k는 삽입손실, F는 finesse (FSR/FWHM), n은 공동지수, L은 공동길이를 나타낸다. FFP-TF 의 출력 광신호는 실제 광신호에 에어함수를 convolution 한 값으로 나타나게 된다.

$$\text{검출신호파형} = a(\lambda) * s(\lambda) = F^{-1} [A(f)S(f)] \dots (13)$$

여기서 $s(\lambda)$ 는 실제 광신호, $a(\lambda)$ 는 에어함수를 나타낸다. 그러므로 실제 입력 광신호는 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$s(\lambda) = F^{-1} [S(f)] = F^{-1} \frac{A(f)S(f)}{a(f)} = \dots (14)$$

$$F^{-1} \frac{F[a(\lambda) * S(\lambda)]}{A(f)} = F^{-1} \frac{F[\text{detected signal wave}]}{A(f)}$$

4. 성능분석

그림5는 온도의 변화에 대한 D/A 기준값 시작점의 관계를 보여주고 있다. 온도를 0℃ → 60℃ → 0℃로 4주기 반복시켜 주면서 DA 시작기준값과 서미스터 AD 기준값 의 변화를 측정 한 결과이다. 서미스터 AD 기준값은 온도가 증가함에 따라 작은 값을 갖는다. 온도가 증가함에 따라 DA 시작기준값이 DA 기준값 측

에서 왼쪽으로 이동함을 알 수 있고 DA 시작 기준값이 급격히 변하는 점에서 사용하는 전송 피크가 변함을 볼 수 있다.

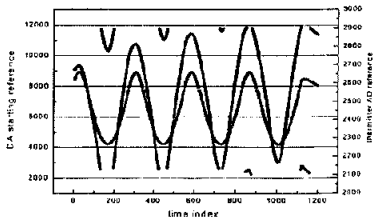


그림5. 온도변화의 DA기준값 시작점과의 관계

온도의 변화를 나타내는 서미스터 AD 기준 값 와 DA 시작기준값에 대한 그래프는 그림6 과 같다. 그림에서 보듯이 서로 다른 전송피크를 사용하는 세 가지 상태를 구분할 수 있다. 또한 FFP-TF에서 사용하는 PZT(piezo electric transducer)의 히스테리시스 때문에 온도가 상승할 때와 하강할 때 다른 경로를 겪고 있음을 알 수 있다. 결국, 파장 보정을 위해 필요한 DA 기준값, 서미스터 AD 기준값, 그리고 DA 시작기준값 이다. 하지만 변수를 3 개 사용할 경우 fitting 치수가 너무 높아서 정확한 보정 작업이 어렵게 된다. 그러므로 가장 상관관계가 높은 변수로써 서미스터 AD기준값으

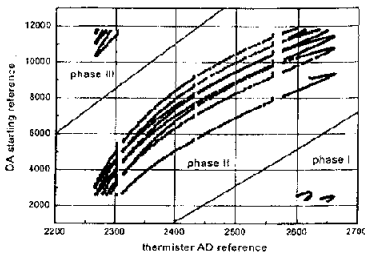


그림6. DA시작기준값 VS 서미스터AD기준값

로 DA 시작기준값을 나눈 값을 사용하였다. DA 시작기준값이 클수록 기준파장 사이의 샘플링포인트가 줄어든다. 그러므로 DA/AD 값이 클수록 편차가 커지는 현상이 나타난다. 그림7은 표1과 같이 정확한 파장을 가지는 소스를 입력하여 얻은 파장 보정의 결과이다.

표3.시뮬레이션을 위한 파장의 파라미터 값

파라미터	값
M	4
N	4
CH	14

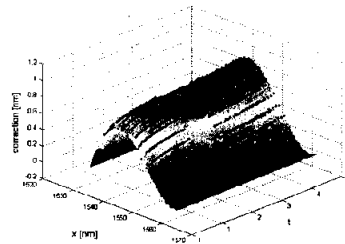


그림7. 파장보정의 결과

식(10),(11)과 같이 deconvolution 과정을 거쳐 실제 광 신호의 스펙트럼을 얻게 되면, 각 채널의 첨두값(peak) 과 골(deep)을 측정하여 정확한 OSNR 값을 가질 수 있다. 100 GHz 의 채널 간격에서 최대 28dB 정도의 OSNR 값을 측정할수 있다. 그림8은 광파워 교정결과를 deconvolution 한 후의 스펙트럼을 보여준다. 표4와 같이 FFP-TF 및 AWG의 성능비교결과 FFP-TF의 성능이 우수 해졌음을 확인할 수가 있었다.

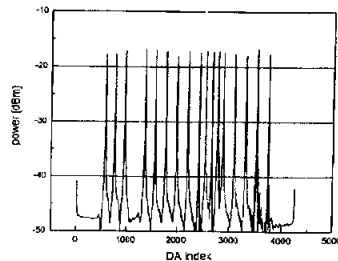


그림 8. Deconvolution 결과

표4. FFP-TF 와 AWG의 성능비교

구분	FFP-TF	AWG
파장 오차	± 48 Pm	± 67 Pm
광세기 오차	± 0.45 dB	± 0.7 dB
OSNR	28 dB	34 dB

III. 결 론

본 논문은 2.5Gbps를 기본으로한 16채널

