

파이버 브래그 격자 필터를 이용한 전광 다중화기의 온도 특성

Thermal Characteristics of an Optical Add/Drop Multiplexer Using Fiber Bragg Grating Filter

손 용 환 · 정 진 호

Yong-Hwan Son · Jin-Ho Jung

요 약

본 논문에서는 파이버 브래그 격자 필터로 구성된 전광 다중화기의 온도 특성에 대해 연구하였다. 전광 다중화기의 온도 특성을 분석하기 위해서, 전광 다중화기의 출력단에 대한 온도 응답을 수치 해석하였으며, 실험을 통하여 출력 스펙트럼을 측정하였다. 그 결과로부터 $-30 \sim 90 \text{ }^\circ\text{C}$ 범위 내에서 전광 다중화기의 출력 스펙트럼의 중심 파장은 약 $0.01230 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ 로 변화함을 알 수 있었다.

Abstract

In this paper, we study an optical add-drop multiplexer which consists of the fiber Bragg grating filter and investigate the temperature characteristics of it. To resolve the characteristics, we find and analyze numerically its temperature response, and fabricate an optical add/drop multiplexer and measure its output spectrum. From the obtained results, they show that the center wavelength of output spectrum shifts approximately $0.01230 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ within a temperature range $-30 \sim 90 \text{ }^\circ\text{C}$.

Key words : Optical Add/Drop Multiplexer, Thermal Characteristics, Fiber Bragg Grating Filter, Center Wavelength

I. 서 론

인터넷과 이동 통신, 그리고 다양한 멀티미디어 서비스 등을 제공하는 정보 통신 기술의 급속한 발전, 그리고 IMT-2000 서비스와 디지털 방송 서비스 등 차세대 정보 통신 기술에 대한 연구와 보급으로 인해 정보의 용량은 폭발적으로 증대될 것이 확실하다^[1]. 따라서 이와 같은 요구를 충족시키기 위하여 WDM(Wavelength Division Multiplexing) 기술과 더욱 진보된 DWDM(Dense WDM) 기술 등을 적용하여 이러한 요구에 효과적으로 대응하여 왔다. WDM과 DWDM 광통신망의 구축을 위해서는 능동형 광소자와 광의 경로 등의 제어를 위한 광 커넥터, 광 아이솔레이터, 광 셔플레이터, 그리고 광의 결합 및 분기

를 할 수 있는 광 다중화기 등이 필수적으로 필요하다. 그러나 광의 결합과 분기를 위해 현재 사용되고 있는 광소자는 대체로 벌크 형태의 물리적인 크기를 갖는 소자이므로, 손실이 비교적 크고 시스템을 소형화 및 경량화 하는 데 어려움이 있을 뿐만 아니라 안정화된 동작 특성을 얻기 어려운 문제점이 있다^[2]. 따라서 이를 보완하기 위해 파이버 브래그 격자 필터(Fiber Bragg Grating)를 이용하여 전광 다중화기(OADM: Optical Add/Drop Multiplexer)를 구성하면, 파이버만으로 이러한 소자를 구성할 수 있기 때문에 소형, 경량, 저손실의 소자를 구현할 수 있을 뿐만 아니라, 안정된 동작 특성을 구현할 수 있다^[3]. 그러나 이러한 전광 다중화기도 시스템의 외부 또는 내부의 환경적 변화, 즉 온도, 스트레인, 압력 등의 물

호서대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Hoseo University)

· 논문 번호 : 20071005-111

· 수정완료일자 : 2007년 10월 31일

리직 에너지가 다중화기를 구성하는 파이버 브래그 격자 필터에 가해질 경우, 격자의 유효 굴절률과 격자 주기가 변하게 되면 송수신 채널의 전송 파장이 변화하게 되어 송수신 채널의 변경을 위한 브래그 반사 파장을 쉽게 변화시킬 수 있으며, 또한 송수신 채널이 고정된 시스템에서는 이로 인한 시스템의 오류 발생으로 안정된 동작 특성을 구현하기가 어려워진다. 이에 본 논문에서는 파이버 브래그 격자 필터를 이용하여 전광 다중화기를 구성하고, 온도를 가변, 유지시킬 수 있는 온도제어기를 사용하여 온도 변화에 대한 전광 다중화기의 온도 특성을 컴퓨터 수치 해석과 실험을 통하여 비교 고찰하고자 한다.

II. 파이버 브래그 격자 필터의 특성

파이버 브래그 격자 필터는 광섬유의 코어에 자외선 영역의 엑시머 레이저(Kr 또는 ArF excimer Laser)를 이용하여 주기적인 굴절률 변화를 영구적으로 새김으로써 브래그 조건에 따라 특정 파장을 반사시키는 특성을 갖는 소자이다^[2]. 따라서 이러한 조건이 변화함으로써 반사되는 특정 파장이 변경될 수 있다. 이는 간단히 광학 회절 격자로 볼 수 있으며, 각 θ_1 으로 격자에 입사한 광은 아래의 격자방정식을 만족한다^[3].

$$n \sin \theta_2 = n \sin \theta_1 + m \frac{\Lambda}{\Lambda} \quad (1)$$

여기서, θ_2 는 회절된 파의 회절 각이며, Λ 는 격자의 주기, 정수 m 은 회절차수를 나타낸다. 모드의 전파상수는 $\beta = (2\pi/\lambda)n_{eff}$ 이므로, 식 (1)로 전파된 모드는 다음 식으로 된다^[3].

$$\beta_2 = \beta_1 + m \frac{2\pi}{\Lambda} \quad (2)$$

여기서, 두 모드가 동일하고 격자가 일반적으로 1차 회절에 의해 지배된다고 가정하면, 브래그 반사 파장과 격자 주기와의 관계는 에너지 및 모멘트 보존 법칙에 의해 다음 식을 만족한다^[4].

$$\lambda_B = 2 n_{eff} \Lambda \quad (3)$$

위 식에서 λ_B 는 브래그 반사 파장이며, 유효 굴절률 $n_{eff} = n_1 \sin \theta$ 이고, n_1 은 코어의 굴절률이다.

따라서 격자에 온도, 스트레인, 압력 등의 환경 변화에 의한 물리적 에너지가 인가되면, 그로 인해 격자의 주기와 유효 굴절률이 변하게 되어 브래그 반사 파장이 변경될 수 있다^[5]. 따라서 식 (3)은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\Delta \lambda_B = 2(\Delta \Lambda) n_{eff} + 2\Lambda (\Delta n_{eff}) \quad (4)$$

만약 격자에 인가되는 온도가 변한다면, 식 (4)는 다음 식과 같이 온도에 관계된 항으로 나타낼 수 있다^[4].

$$\begin{aligned} \Delta \lambda_B &= 2 \left(\frac{\partial \Lambda}{\partial T} n_{eff} + \frac{\partial n_{eff}}{\partial T} \Lambda \right) \Delta T_{FBG} \\ &= \lambda_B (\alpha_n + \alpha_\Lambda) \Delta T_{FBG} \end{aligned} \quad (5)$$

여기에서 ΔT_{FBG} 는 전광 다중화기의 파이버 브래그 격자 필터에 인가되는 온도의 변화이다. 또한, α_n 은 열에 의한 굴절률 변화를 나타내는 열 광학 계수(thermo-optic coefficient)로서, 게르마늄이 도핑된 실리카 파이버에서 보통 8.6×10^{-6} 이며, α_Λ 은 열에 의한 주기 변화를 나타내는 열 확장 계수(thermo expansion coefficient)로서 0.55×10^{-6} 값을 갖는다. 식 (5)를 이용하여 파이버 브래그 격자 필터의 온도 민감도(temperature sensitivity) ST_{FBG} 는 다음 식으로 정의할 수 있다.

$$ST_{FBG} \equiv \frac{\Delta \lambda_B}{\Delta T_{FBG}} = \lambda_B (\alpha_n + \alpha_\Lambda) \quad (6)$$

결국 격자에 가해진 온도가 변하였을 때, 온도에 따라 변화된 브래그 반사 파장 $\lambda_{B(shift)}$ 는 다음 식으로 된다.

$$\lambda_{B(shift)} = \lambda_B + ST_{FBG} \cdot \Delta T_{FBG} \quad (7)$$

파이버 브래그 격자 필터에서 특정 파장의 빛이 반사되는 것을 수식적으로 고려하면 광섬유 내의 진행파와 반사파 사이에서 광의 결합이 일어남으로 인해 발생하는 현상으로 볼 수 있다. 이러한 광의 결합 관계는 결합 파동방정식의 해를 구하므로 설명된다. 파이버 브래그 격자의 경우, 진행 방향으로 진행하는 파와 격자에서 반사되어 되돌아오는 파가 포함되므로 광 필드는 아래 식의 형태로 표현된다^[6].

$$E(z) = A(z) \exp(jqz) + B(z) \exp(-jqz) \quad (8)$$

여기서, A 와 B 는 각각 진행하는 파와 격자에 의해 반사되는 파의 진폭을 나타내고, q 는 전파상수, z 는 진행 방향을 나타낸다. 광파이버에서 광의 전파를 설명하는 파동방정식에 식 (8)을 대입하면 다음 식과 같은 결합파동방정식을 얻을 수 있다^[6].

$$\frac{dA}{dz} = j\delta A + jkB \quad (9)$$

$$\frac{dB}{dz} = -j\delta B - jk^* A \quad (10)$$

여기서, δ 는 브래그 파장에서 모드의 동조 이탈 계수이고, k 는 결합계수이다.

z 방향으로 격자를 L 만큼 진행했을 때, 결합 파동방정식을 통해 격자의 입력 단에서 진행파와 반사파의 관계를 알 수 있다. 따라서 결합 파동방정식을 풀고 행렬해석법을 이용하여, 그 해를 행렬식으로 정리하면 다음 식으로 된다^[7].

$$\begin{bmatrix} A_{out} \\ B_{out} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{in} \\ B_{in} \end{bmatrix} \quad (11)$$

여기서, S 행렬은 파이버 브래그 격자 필터의 특성을 나타내는 전달 행렬이고, 결합 모드 이론을 이용하면 S 행렬의 각 원소는 아래 식들과 같이 표현된다^{[6],[8]}.

$$S_{11} = (1 - r^2)^{-1} [\exp(jqL) - r^2 \exp(-jqL)] \quad (12)$$

$$S_{22} = (1 - r^2)^{-1} [\exp(-jqL) - r^2 \exp(jqL)] \quad (13)$$

$$S_{21} = -S_{12} = (1 - r^2)^{-1} r \cdot [\exp(jqL) - \exp(-jqL)] \quad (14)$$

여기서, L 은 파이버 브래그 격자 필터의 길이, $q = \pm[\delta^2 - \kappa^2]^{1/2}$ 는 진행파와 반사파의 전파상수이고, 유효 반사 계수 $r = (q - \delta)/\kappa$ 이다. 또한, $\kappa = \pi \Delta n / \lambda_B$ 는 격자의 결합계수(Δn : 격자의 굴절률 차), $\delta = 2\pi(\lambda^{-1} - \lambda_B^{-1})$ 는 주기 Λ 와 관련된 브래그 파장 λ_B 에서의 동조 이탈 계수이다. 만약, 파이버 브래그 격자 필터의 온도가 변화하게 되면 브래그 조건이 변화하여 브래그 반사 파장이 변화하므로, 결국 격자의 결합 계수 κ , 동조 이탈 계수 δ , 유효

반사 계수 r , 전파 상수 q 는 각각 다음 식으로 표현된다.

$$\kappa_{\Delta T_{FBG}} = \pi \Delta n / \lambda_{B(\text{shift})} \quad (15)$$

$$\delta_{\Delta T_{FBG}} = 2\pi(1/\lambda - 1/\lambda_{B(\text{shift})}) \quad (16)$$

$$r_{\Delta T_{FBG}} = (q_{\Delta T_{FBG}} - \delta_{\Delta T_{FBG}}) / \kappa_{\Delta T_{FBG}} \quad (17)$$

$$q_{\Delta T_{FBG}} = \pm[(\delta_{\Delta T_{FBG}})^2 - (\kappa_{\Delta T_{FBG}})^2]^{1/2} \quad (18)$$

따라서 온도 영향에 의한 S 행렬의 원소들은 다음 식으로 표현된다.

$$S_{11\Delta T_{FBG}} = (1 - r_{\Delta T_{FBG}}^2)^{-1} [\exp(jq_{\Delta T_{FBG}}L) - r_{\Delta T_{FBG}}^2 \exp(-jq_{\Delta T_{FBG}}L)] \quad (19)$$

$$S_{22\Delta T_{FBG}} = (1 - r_{\Delta T_{FBG}}^2)^{-1} [\exp(-jq_{\Delta T_{FBG}}L) - r_{\Delta T_{FBG}}^2 \exp(jq_{\Delta T_{FBG}}L)] \quad (20)$$

$$S_{21\Delta T_{FBG}} = -S_{12\Delta T_{FBG}} = (1 - r_{\Delta T_{FBG}}^2)^{-1} r_{\Delta T_{FBG}} \cdot [\exp(jq_{\Delta T_{FBG}}L) - \exp(-jq_{\Delta T_{FBG}}L)] \quad (21)$$

III. 전광 다중화기의 온도에 대한 특성

전광 다중화기는 WDM 채널에서 입력 신호 중 특정 파장의 신호를 분기하고, 또한 입력 신호에 특정 파장의 신호를 결합하는 역할을 한다^[3]. 본 논문에서 구성한 MZI(Mach-Zehnder Interferometer) 형태의 전광 다중화기는 그림 1과 같이 위쪽 파이버와 아래쪽 파이버에 대해 ΔL 의 길이로 경로 차를 주어 발생하는 위상차의 원리를 이용하는 것이다. 두 개의 3 dB 방향성 결합기를 이용하여 MZI를 구성하고 MZI의 양쪽 경로에 동일한 특성의 파이버 브래그 격자 필터를 형성시켜 원하는 신호의 채널을 선택하여 결합, 분기가 가능하도록 구성하였다. 그림 1에서 처럼 전광 다중화기의 입력 단으로 여러 파장의 신호가 입력되면, 그 신호는 양쪽 경로로 나뉘어져 MZI의 특성에 의해 $\pi/2$ 만큼의 위상차를 가지고 진행하고, 이들 신호 중 브래그 반사 파장의 신호가 λ_B 라 하면 그 파장의 신호는 파이버 브래그 격자 필터에 의해 반사되어 분기 단자로 분리되고, 나머지 신호는 파이버 브래그 격자 필터를 통과하여 출력 단자로 출력되며, 결합 단자로 입력된 신호는 격

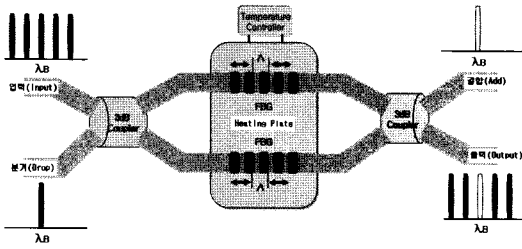


그림 1. MZI와 파이버 브래그 격자 필터를 이용한 전광 다중화기

Fig. 1. Optical add-drop multiplexer using fiber Bragg grating filter and MZI.

자에 반사되어 다시 출력 단자로 출력되어, 초기 입력 신호와 더해지는 기능을 하게 된다^[9].

두 파장 λ_1 과 λ_2 신호가 E_{in1} 에 입력되면, 두 파이버로 분리되어 진행하고 E_{out1} 에는 λ_1 , E_{out2} 에는 λ_2 가 위상차를 가지고 출력된다. 이때의 각 단의 입출력 특성은 다음 식과 같이 3 dB 커플러와 위상천이부의 곱으로 표현될 수 있다^[10].

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} E_{out1} \\ E_{out2} \end{bmatrix} &= M_{3dB} M_{shift} M_{3dB} \begin{bmatrix} E_{in1} \\ E_{in2} \end{bmatrix} \\ &= M_{MZI} \begin{bmatrix} E_{in1} \\ E_{in2} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (22)$$

여기서 M_{3dB} 와 M_{shift} 는 각각, 3 dB 커플러의 전달 함수와 위상차 함수를 나타내며, MZI의 전달함수는 다음 식과 같이 된다^[10].

$$M_{MZI} = j \begin{bmatrix} \sin\left(k \frac{\Delta L_{eff}}{2}\right) \cos\left(k \frac{\Delta L_{eff}}{2}\right) \\ \cos\left(k \frac{\Delta L_{eff}}{2}\right) \sin\left(k \Delta L_{eff}\right) \end{bmatrix} \quad (23)$$

만약, 입력되는 두 광신호를 E_{in1} , E_{in2} 라 하면 MZI의 출력단에서 출력되는 광신호의 세기는 다음 식으로 된다^[10].

$$\begin{aligned} P_{out1} = (E_{out1})^2 &= \sin^2\left(k_1 \frac{\Delta L_{eff}}{2}\right) \cdot P_{in1} \\ &+ \cos^2\left(k_2 \frac{\Delta L_{eff}}{2}\right) \cdot P_{in2} \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} P_{out2} = (E_{out2})^2 &= \cos^2\left(k_1 \frac{\Delta L_{eff}}{2}\right) \cdot P_{in1} \\ &+ \sin^2\left(k_2 \frac{\Delta L_{eff}}{2}\right) \cdot P_{in2} \end{aligned} \quad (25)$$

즉, MZI로 입력된 두 신호 간에는 경로차에 의해 위상차가 발생하여, 각 단에는 보강과 상쇄 간섭에 의해 하나의 파장만 출력되게 된다. 결국 파이버 브래그 격자 필터와 MZI의 특성에 의해, 각 단에서의 출력 특성을 수식적으로 나타내면 다음 식으로 된다^[11].

$$Output_{\Delta T_{FBG}} = \left| \frac{e^{j(\phi_A + \phi_C)} + e^{j(\phi_B + \phi_D)}}{S_{22\Delta T_{FBG}}} \times \frac{1}{2} \right|^2 \quad (26)$$

$$Add_{\Delta T_{FBG}} = \left| \frac{e^{j(\phi_A + \phi_C)} + e^{j(\phi_B + \phi_D)}}{S_{22\Delta T_{FBG}}} \times \frac{1}{2} \right|^2 \quad (27)$$

$$Drop_{\Delta T_{FBG}} = \left| \frac{S_{21\Delta T_{FBG}}}{S_{22\Delta T_{FBG}}} \times (e^{j2\phi_A} + e^{j2\phi_B}) \times \frac{1}{2} \right|^2 \quad (28)$$

따라서, 시스템의 내부 또는 외부의 환경적 변화에 의한 온도 변화가 전광 다중화기에 가해질 경우, 파이버 브래그 격자 필터의 변화에서처럼 그 특성이 변화하게 되어 송수신 채널의 동작 파장을 변경시킬 수 있으며, 또한 동작 파장이 고정된 시스템의 경우, 이로 인한 오류 발생으로 안정된 동작 특성을 구현하기가 어려워진다.

IV. 수치 해석

본 논문에서 제안한 전광 다중화기의 온도 변화에 따른 출력 단에서의 출력 특성을 MathCAD 프로그램을 이용한 수치 해석을 통하여 고찰하였다. 그림 2는 식 (26)을 이용하여 온도 변화에 따른 전광 다중화기의 출력 스펙트럼을 수치 해석하여 나타낸 것이다.

그림의 결과로부터 전광 다중화기에 가해지는 온도에 따라 출력 스펙트럼의 중심 파장이 이동하므로 채널의 동작 파장을 변경시킬 수 있으며, 또한 출력되는 광신호의 파장 변화로 인한 시스템 오류가 발생할 수 있다. 이러한 결과를 바탕으로 식 (6)과 식 (7)을 이용하여 전광 다중화기의 출력단에서 중심파장의 이동을 수치 해석하여 그림 3에 나타내었다.

-30 °C에서 전광 다중화기의 중심 파장은 1553.649 nm, 30 °C에서 1554.502 nm이며, 60 °C에서는 1554.9287 nm로, 90 °C에서는 1555.3554 nm로 이동하여 온도가 1 °C 상승할 때 중심 파장은 약 0.0142237 nm 이동 (ST_{FBG})하였다. 따라서 전광 다중화기의 파이버

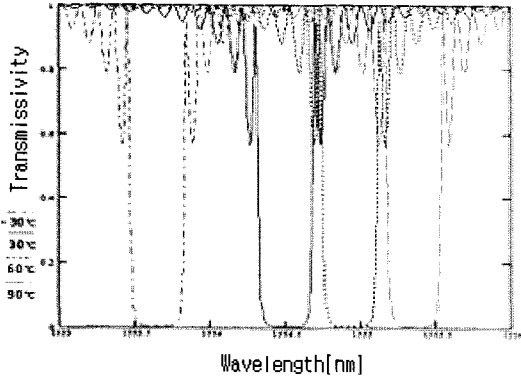


그림 2. 온도 변화에 따른 전광 다중화기 출력 스펙트럼
Fig. 2. Output spectrum of OADM versus temperature.

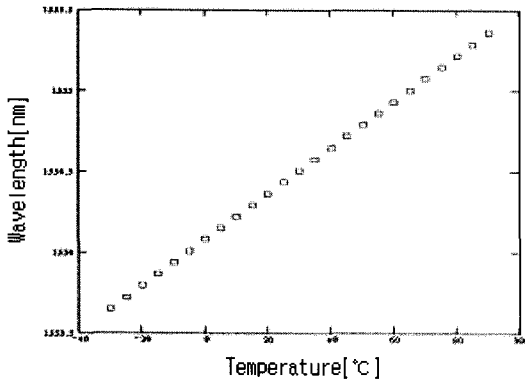


그림 3. 온도 변화에 따른 전광 다중화기의 중심 파장의 이동
Fig. 3. Wavelength shift of OADM versus temperature.

브래그 격자 필터에 가해지는 온도 변화에 따라 중심파장이 선형적으로 변화하고 있음을 알 수 있다.

V. 실험

본 논문에서는 그림 4에 나타난 것처럼 동일한 특성을 갖는 2개의 파이버 브래그 격자 필터와 3 dB 커플러로 구성된 MZI를 이용하여 전광 다중화기를 제작하였고, 그 특성을 측정하기 위해 입력 광원으로 BBS-1550+1FP 광대역 광원을 사용하였고, 온도 제어기와 제어 프로그램을 제작, 작성하여 온도 제어 및 유지가 가능하도록 하였으며, Anritsu사의 MS9710C 광 스펙트럼 분석기(Optical Spectrum analyzer: OSA)를 이용하여 온도 변화에 따른 전광 다중

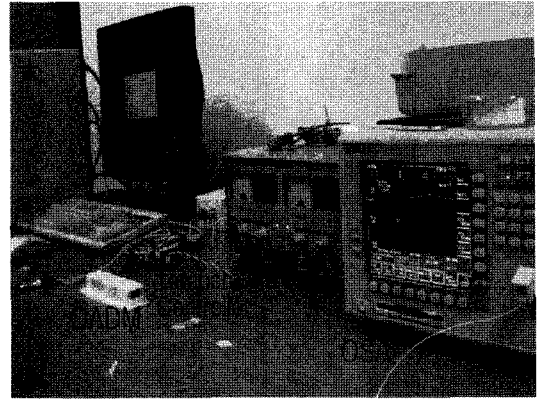


그림 4. OADM의 특성 실험을 위한 구성도
Fig. 4. The experimental diagram of OADM.

화기의 출력 특성을 측정하였다.

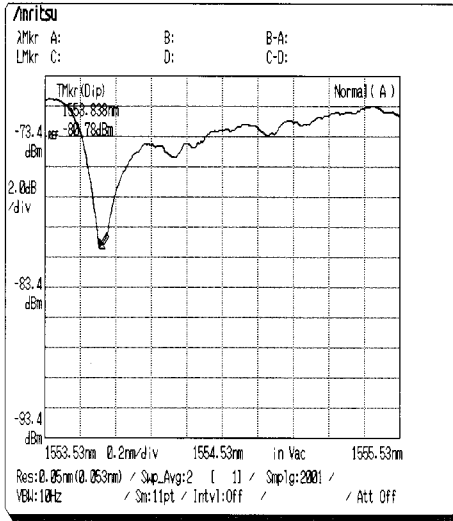
그림 5는 광 스펙트럼 분석기를 이용하여 측정한 전광 다중화기의 출력 스펙트럼을 나타낸 것으로, 그림 5에서처럼 온도 변화에 따른 출력 스펙트럼이며, 수치해석의 결과처럼 온도에 따라 중심 파장이 이동함을 알 수 있다.

또한, 그림 6과 7은 -30 °C에서 90 °C까지의 온도 범위에 대해 전광 다중화기에 가해지는 온도를 상승, 상승 후 30분간 유지 그리고 하강, 하강 후 및 30분간 유지시키면서 출력단의 파장의 변화와 출력의 크기를 각각 측정하여 나타난 것이다. 그림 6으로부터 광 다중화기의 출력 중심 파장은 온도에 따라 선형적으로 이동함을 알 수 있으며, 이론에 대한 수치해석의 결과와 거의 일치함을 알 수 있었다. 또한, 그림 7의 결과로부터 온도의 변화에 따른 출력 스펙트럼의 중심 파장의 크기는 거의 변화가 없음을 알 수 있다.

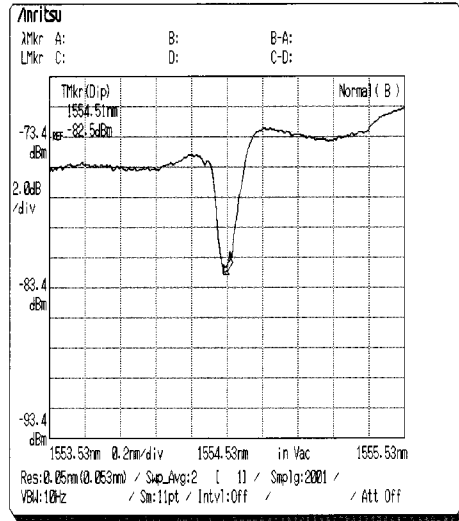
그림 8은 전광 다중화기의 파이버 브래그 격자 필터에 가해지는 온도의 가열, 냉각 시간에 따른 중심 파장의 이동 정도를 나타낸 것으로 온도가 변화하는 시간에 따라 비교적 선형적으로 파장이 이동함을 알 수 있으며, 또한 그림 9는 온도 제어기의 가열 또는 냉각 시간에 대한 온도의 변화를 나타낸 것으로 시간에 따라 선형적으로 온도가 변화함을 알 수 있다.

VI. 결 론

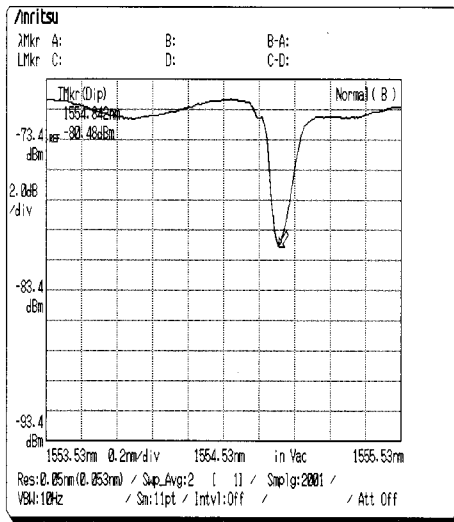
본 논문에서는 광 커플러가 연결된 MZI의 양쪽



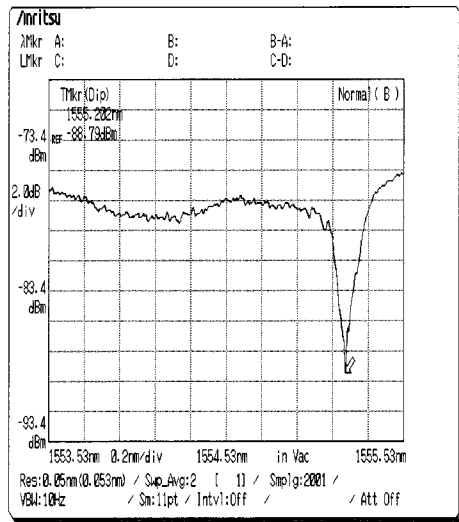
(a) -30 °C



(b) 30 °C



(a) 60 °C



(b) 90 °C

그림 5. 온도 변화에 따른 전광 다중화기의 출력단 스펙트럼
 Fig. 5. Output spectrum of OADM in various temperature.

암(arm)에 파이버 브래그 격자 필터를 위치시켜, 전광 다중화기를 구성한 후, 온도를 조절, 유지할 수 있는 온도제어기를 제작하여 온도 변화에 대한 전광 다중화기의 출력 특성 변화를 컴퓨터 수치 해석과 실험을 통하여 비교, 고찰하였다. 실험을 통하여 얻어진 결과, 시스템의 온도가 변화하게 되면 그에 따라 전광 다중화기에서 출력되는 광신호의 중심 파장의 크기는 거의 변화가 없지만, 출력 파장은 장파장 쪽으로 약 0.01230 [nm/°C] 변화하게 되어 수치

해석으로부터 얻어진 약 0.01422 [nm/°C]와 비교적 근사함을 알 수 있었다. 결국 시스템 온도의 변화는 전광 다중화기의 특성을 변화시켜 신호 채널이 고정된 시스템에서 동작 오류를 발생시키므로 온도의 안정성 확보가 매우 중요함을 알 수 있으며, 또한 온도의 변화와 변화하는 시간에 따라 선형적으로 중심 파장이 이동하므로 신호 채널의 변경을 위한 파장 가변 시스템에 적용할 수 있음을 알 수 있다. 따라서 본 논문의 결과 데이터들은 광 다중화기를 이용한

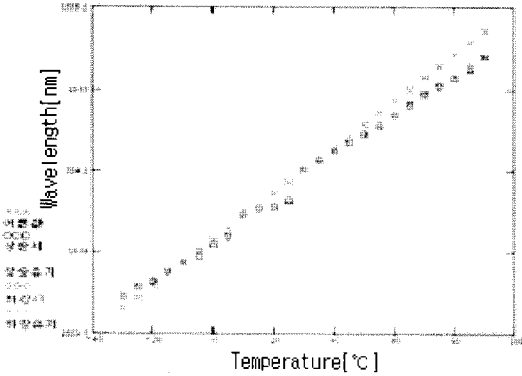


그림 6. 온도 변화에 따른 전광 다중화기에 대한 출력 중심 파장의 이동
 Fig. 6. Wavelength shift of OADM in various temperature.

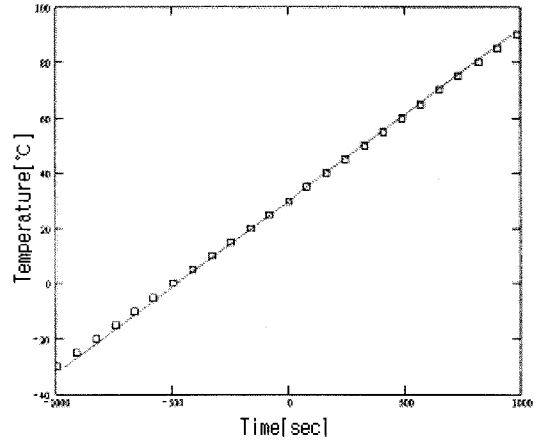


그림 9. 가열 시간에 따른 온도의 변화
 Fig. 9. Changes temperature in various heating time.

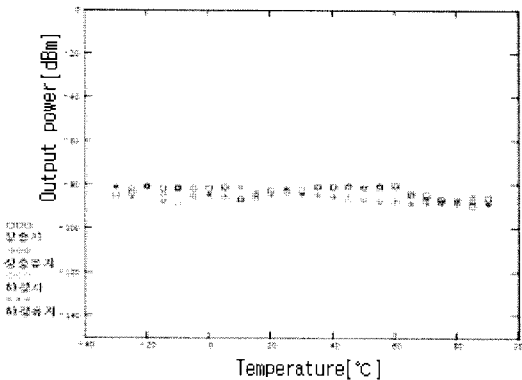


그림 7. 온도 변화에 따른 전광 다중화기에 대한 중심파장의 출력 크기
 Fig. 7. Output power of OADM in various temperature.

광통신 시스템의 운용시, 그 목적에 따라 신호 채널의 변경을 위한 파장의 가변, 온도 변화에 따른 동작 파장의 안정성과 오류의 정도를 예측할 수 있는 유용한 데이터로 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] 조성선, 광통신부품 기술 및 시장 동향, 주간 기술동향통권 1093호, 한국전자통신연구원, 2003년.
- [2] K. O. Hill, Y. Fujii, D. C. Johnson, and B. S. Kawasaki, "Photosensitivity in optical fiber waveguides", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 62, p. 1035, 1993.
- [3] M. Born, E. Wolf, *Principles of Optics*, New York, Pergamon, sec. 8.6.1, 1987.
- [4] Andreas Othonos, Kyriacos Kalli, *Fiber Bragg Gratings Fundamentals and Application in Telecommunication and Sensing*, Artech House, 1999.
- [5] M. Mahmoud, Z. Ghassemlooy, "Tunable fiber gratings modeling and simulation", *Proceedings of the 36th Annual Simulation Symposium*, 2003.
- [6] Govind P. Agrawal, Andrew H. Bobeck, "Modeling of distributed feedback semiconductor lasers with axially varying parameters", *J. of Quantum Electronics*, vol. 24, no. 12, pp. 2047-2414, 1988.
- [7] M. Yamada, K. Sakuda, "Analysis of almost periodic distributed feedback slab waveguides via a fundamental matrix approach", *Appl. Opt.*, vol. 26,

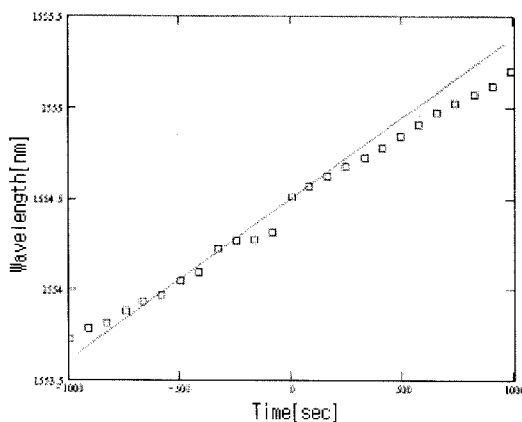


그림 8. 가열시간에 따른 중심 파장의 이동
 Fig. 8. Wavelength shift in various heating time.

pp. 3474-3478, 1978.

[8] Govind P. Agrawal, N. K. Dutta, *Semiconductor Lasers*, New York, Van Nostrand Reinhold, chap. 7, 1993.

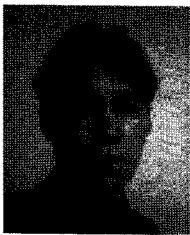
[9] F. Bilodeau, D. C. Johnson, S. Theriault, B. Malo, J. Albert, and K. O. Hill, "An all-fiber dense-wavelength-division multiplexor/demultiplexor using photoimprinted bragg gratings", *IEEE Photon. Technol.*

Lett., vol. 7, no. 4, pp. 388-390, 1995.

[10] C. H. Huang, H. Luo, S. Xu, and P. Chen, *Conference on Optical Fiber Communication*, pp. 79-81, 1999.

[11] 손용환, 정진호, "FBG와 MZI를 이용한 DWDM 용 OADM의 설계와 특성에 관한 연구", *전자공학회논문지*, 41(5), SD편, pp. 419-424, 2004.

손 용 환



1999년 2월: 호서대학교 전자공학과 (공학사)
 2001년 2월: 호서대학교 전자공학과 (공학석사)
 2003년 2월: 호서대학교 전자공학과 박사수료
 [주 관심분야] 광 무선통신, WDM

광통신, 집적광학

정 진 호



1987년~현재: 호서대학교 전자공학과 교수
 2003년 1월~12월: 미국 테네시대학 방문교수
 [주 관심분야] 광 무선 통신, WDM 광통신, 집적광학