

論文97-34S-5-2

# 광섬유 Bragg grating을 이용한 가변형 add/drop 필터에 관한 연구

(A study on tunable Add/Drop filter using Fiber Bragg gratings)

朴武允\*, 朴光魯\*, 李景植\*, 元容俠\*\*, 李相培\*\*\*

(Moo Youn Park, Kwang No Park, Kyung Shik Lee, Yong Hyub Won, and Sang Bae Lee)

## 요 약

Mach Zehnder 간섭계의 양쪽 경로에 동일한 특성의 광섬유 Bragg grating이 각각 1개씩 내장되어 있고 이들 광섬유 Bragg grating에 스트레인재질을 부착하여 동작 파장을 가변할 수 있는 가변형 add/drop 필터를 제안하고 그에 대한 특성을 분석해 보았다. 재질에 신호를 가하였을 때 발생한 스트레인에 따른 가변형 add/drop 필터의 동작 특성을 시뮬레이션 해본 결과 특정한 파장들이 가변형 add/drop 필터의 add 및 tap 단자를 통해서 add 및 drop 되는 것을 알 수 있었으며,  $2 \times 10^{-3}$ 의 스트레인을 가하였을 경우 이들 파장들이 약 3nm 정도 변이 되고 이 경우 반사파장의 선폭이 약 0.3nm 이므로 각 파장간의 간격을 0.3nm로 한다면, 약 5개의 파장을 가변할 수 있다. 또한, 가변형 add/drop 필터를 이루고 있는 Mach-Zehnder 간섭계의 양쪽 경로간의 경로차가 있는 경우 경로차에 따른 출력특성을 알아보았다. 시뮬레이션 결과 tap 단자로 반사되어 나오는 스펙트럼의 반사율이 경로차의 크기에 따라 주기적으로 변하고, output과 add 단자를 통해 나오는 스펙트럼은 경로차의 크기에 따라 투과율이 정현파적으로 변화되는 것을 알 수 있었다. 중심파장 1550nm를 중심으로 20nm의 튜닝 파장영역내에서 투과율 90% 이상을 유지시키기 위해서 요구되는 경로차는 16 $\mu$ m임을 알 수 있었다.

## Abstract

We propose a tunable add/drop filter in a form of an all-fiber Mach-Zehnder interferometer with one Bragg grating at each arm. This device can be tuned by inducing a strain in the Bragg grating. We also theoretically analyze the output characteristics of the tunable Add/Drop filter. As a result of simulation, we know that the proposed tunable add/drop filter works well. When  $2 \times 10^{-3}$  of strain is induced, the reflected spectrum shifts about 3nm. And its reflected spectral width is about 0.3nm. In this case roughly 5 channels can be tuned, assuming the channel spacing is 0.3nm. When the pathlengths of the both arms are not the same, the transmissivities at the add and output ports and the reflectivity at the tap port varies sinusoidally with the pathlength difference. To maintain the transmissivities above 90% in the wavelength tuning range of 20nm the pathlength difference less than 16 $\mu$ m is required.

## I. 서 론

\* 正會員, 成均館大學校 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng., Sung Kyun Kwan Univ.)

\*\* 正會員, 韓國 電子通信 研究院

(ETRI)

\*\*\* 正會員, 韓國 科學技術 研究院

(KIST)

接受日字: 1996年10月23日, 수정완료일: 1997年5月6日

오늘날 정보 사회의 진전에 따라 음성 통신은 물론 영상 통신 서비스등 많은 양의 고속 데이터 서비스 요구가 점차로 늘어나고 있다. 때문에 광을 매개로한 광대역 초고속 광통신이 등장하게 되었고, 광통신 기술 중에서도 현재 많이 연구되고 있고 적용 중에 있는 기술이 바로 WDM(wavelength division multiplex-

ing)<sup>[11]</sup> 광통신 기술이다. WDM 광통신은 여러 가지 신호를 각기 서로 다른 파장의 빛에 실어 한 가닥의 광섬유를 통해 전송한 후 수신 측에서 다시 각 파장별로 분류하여 원신호를 복원해 내는 기술을 말한다. 이러한 WDM 광통신에서는 필수적으로 빛을 파장에 따라 나누어주는 demultiplexer와 여러 파장의 빛을 한 광섬유에 전송하기 위해 여러 파장의 빛을 합쳐 주는 multiplexer, 특정 파장만을 골라내는 필터 등이 필요하다. 현재 사용되는 multi/demultiplexer 및 광필터는 사용하는 파장이 고정되어 있어 동작 파장이 바뀌는 경우에는 부품을 교체해야 하며, 대체로 벌크형태이므로 손실이 비교적 크다는 단점이 있다. 이에 비해 광섬유 Bragg grating<sup>[12]</sup>을 이용하면 광섬유 내부에 이러한 소자들을 내장할 수 있어 현재보다 더 소형이며 저 손실의 WDM용 소자를 구현할 수 있으며 동작 파장을 가변할 수 있다는 장점이 있다.

현재 광섬유 Bragg grating을 이용하여 WDM광통신용 add/drop 필터가 개발되어 있다. 이 add/drop 필터<sup>[13], [14], [15]</sup>는 Mach-Zehnder간섭계<sup>[6]</sup>의 양쪽 경로에 동일한 광섬유 Bragg grating을 형성하여 제작한 것으로 매우 우수한 특성을 가지고 있다. 그러나, Mach-Zehnder간섭계의 양쪽 경로에 형성되어 있는 광섬유 Bragg grating의 반사파장이 고정되어 있으므로 이런 광섬유 Bragg grating의 반사파장 이외의 다른 파장에서 사용하기 위해서는 시스템 자체를 교체해야 한다.

본 논문에서는 기존의 add/drop 필터의 단점을 보완할 수 있는 파장 가변형 add/drop 필터의 구현에 대해 알아보고, 가변형 add/drop 필터의 파장 가변 특성 및 양쪽 경로의 길이가 동일하지 않은 경우 경로차에 따른 가변형 add/drop 필터의 동작 특성에 대해서 시뮬레이션 해보았다.

## II. 이론적 배경

광섬유 Bragg grating을 이용한 add/drop 필터에 관해 자세히 알아보기 위해서는 add/drop 필터를 구성하는 Mach-Zehnder 간섭계와 광섬유 Bragg grating의 원리에 대해서 먼저 자세히 알아보아야 하겠다.

### 1. 광섬유 Bragg grating

광섬유 Bragg grating은 광섬유 코어내의 굴절률을

주기적으로 변화시켜 만들어 내는데, 광섬유 코어내의 굴절률을 변화시키기 위해 Germanium이 도핑된 광섬유에 강한 자외선을 조사시키게 된다. 이때 강한 자외선에 노출된 광섬유의 부분은 굴절률이 상승하게 되어 자외선에 노출되지 않은 부분과 굴절률 차가 생기게 되는 원리이다. 이러한 광섬유 Bragg grating내를 빛이 통과할 때 특정 파장의 빛이 반사되는데, 그 원리는 빛이 광섬유 Bragg grating을 통과하면서 각 격자 사이에서 반사가 일어나는데, 반사되는 빛중 각 격자 사이에서 반사되는 빛의 위상이 정확하게  $2n\Lambda$ 가 되는 파장이 서로 보강 간섭을 일으켜 그 파장의 빛만 반사되어 나오게 된다. 즉, 반사되는 파장과 격자 주기와의 관계는 식(1)과 같다.

$$2n\Lambda = m\lambda \tag{1}$$

여기서,  $\bar{n}$  : 격자사이의 평균굴절률  
 $\Lambda$  : 격자주기  
 $m$  : 정수  
 $\lambda$  : 반사파장

또한 위와 같이 광섬유 Bragg grating에서 특정 파장의 빛이 반사되는 것을 수식적으로 생각하면 진행파와 반사파 사이에서 광파의 결합이 일어남으로 인해 발생하는 현상으로 볼 수 있는데, 이러한 진행파와 반사파 사이의 광파의 결합 관계는 coupled wave 방정식<sup>[7]</sup>의 해를 구함으로 설명이 된다. 그림 1은 광섬유 Bragg grating의 입출력 단에서 입사파와 반사파를 나타낸 그림이다.

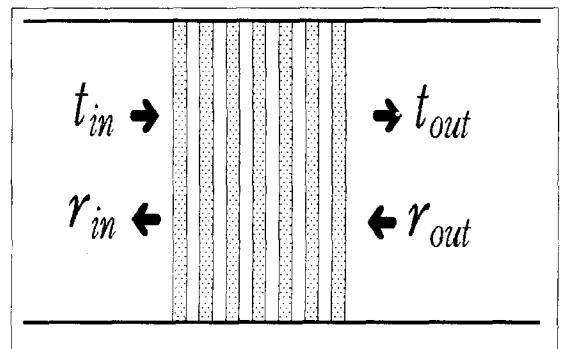


그림 1. 광섬유 Bragg grating에서의 입사파와 반사파  
 Fig. 1. The incident and reflected waves in Fiber Bragg grating.

광섬유 Bragg grating 내에서 광파  $E(z)$ 는 식 (2)와 같이 진행 방향으로 진행하는 파  $t(z)$ 와 grating 내

에서 반사되어 나오는 파  $r(z)$ 와 의 중첩으로 나타낼 수 있다.

$$E(z) = t(z)e^{-iqz} + r(z)e^{iqz} \quad (2)$$

여기서  $q$  : 전파상수  
 $z$  : 거리

식(2)를 파동 방정식<sup>[7]</sup>(3)에 대입하면 식 (4)와 같은 coupled wave 방정식을 얻을 수 있다.

$$\frac{\partial^2}{\partial z^2} E + k^2 E = 0 \quad (3)$$

$$\frac{dt}{dz} = i\delta t + ikr \quad (4.a)$$

$$\frac{dr}{dz} = -i\delta r - ik^*t \quad (4.b)$$

Coupled wave 방정식을 통해 각 진행파  $t(z)$ 와 반사파  $r(z)$ 가 grating내를  $z$ 방향으로  $L$ 만큼 진행했을 때의 파와 grating의 입력 단에서의 파의 관계를 알 수 있다.

Coupled wave 방정식을 풀고, 그 해를 매트릭스 형태로 표시하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} t(L) \\ r(L) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t(0) \\ r(0) \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서,

$$S_{11} = \frac{1}{1-\gamma^2} [e^{i\delta L} - \gamma^2 e^{-i\delta L}]$$

$$S_{22} = \frac{1}{1-\gamma^2} [e^{-i\delta L} - \gamma^2 e^{i\delta L}]$$

$$S_{21} = -S_{12} = \frac{\gamma}{1-\gamma^2} [e^{i\delta L} - \gamma^2 e^{-i\delta L}]$$

$$q = \pm \sqrt{\delta\beta^2 - k^2}$$

$$\gamma = \frac{q - \delta\beta}{k}$$

$$\delta\beta = 2\pi \left( \frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_B} \right)$$

$$k = \frac{\pi\delta n}{\lambda_B} : \text{결합계수}$$

$L$  : grating의 길이

$\lambda_B$  : Bragg 파장

$\delta n$  : grating의 굴절률차

위의 S 매트릭스는 광섬유 Bragg grating의 특성을 나타내는 전달 매트릭스이다. 이때 광섬유 Bragg grating를 투과하는 파와 반사되는 파의 세기는 다음과 같이 주어진다.

$$T = \left| \frac{t(L)}{t(0)} \right|^2 = \left| S_{11} - \frac{S_{12}S_{21}}{S_{22}} \right|^2 \quad (6)$$

$$R = \left| \frac{r(0)}{t(0)} \right|^2 = \left| \frac{S_{12}}{S_{22}} \right|^2 \quad (7)$$

여기서, T : 투과율(transmissivity)

R : 반사율(reflectivity)

### 2. Mach-Zehnder간섭계

Mach-Zehnder간섭계는 그림 2의 구조와 같이 두 개의 3dB 방향성 결합기를 이용하여 제작하게 되는데, Mach-Zehnder간섭계의 한쪽 입력 단으로 빔을 입사시킬 경우, 방향성 결합기에 의해 입사된 빔은 양쪽 경로로 나뉘어져 진행해 나가게 된다. 이때 방향성 결합기의 특성에 의해 방향성 결합기를 투과하는 빔은 입사되는 빔에 대해서 위상차 없이 진행해 나가게 되고 방향성 결합기에서 커플링되는 빔은 입사되는 빔에 대해서  $\pi/2$ 만큼의 위상차를 가지고 진행해 나가게 되므로, 양쪽 경로를 지나는 빔 사이의 위상이  $\pi/2$ 만큼 차이가 나게 된다. 양쪽 경로로 진행하는 빔은 다시 3dB 방향성 결합기를 거쳐 각기 두 출력 단자로 나가게 되는데, 이때 두 출력 단자에서는 양쪽 경로를 지나오는 동안 발생한 위상차에 의해 add 단자에서는 상쇄 간섭에 의해 출력이 나오지 않고, output 단자에서는 보강 간섭에 의해 출력이 나오게 된다.

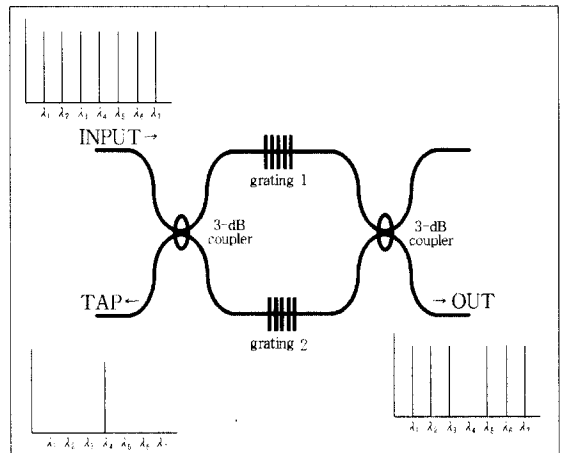


그림 2. add/drop 필터의 drop 동작특성  
 Fig. 2. drop characteristics of add/drop filter.

### III. Add/Drop 필터의 원리 및 동작

현재 연구 개발된 add/drop 필터는 두개의 3dB 방향성 결합기를 이용하여 Mach-Zehnder 간섭계를 꾸미고 간섭계의 양쪽 경로에 동일한 반사파장을 갖는

광섬유 Bragg grating을 형성시켜 구성하였다. 현재 개발된 add/drop 필터는 광섬유 Bragg grating의 특성과 Mach-Zehnder 간섭계의 특성을 복합적으로 이용하여 입력된 신호중 특정 파장의 신호를 추출(drop)하거나, 입력 신호에 특정 파장의 신호를 더하는 역할을 할 수 있도록 되어 있다.

그림 2와 그림 3은 add/drop 필터의 동작 원리를 나타낸 그림이다.

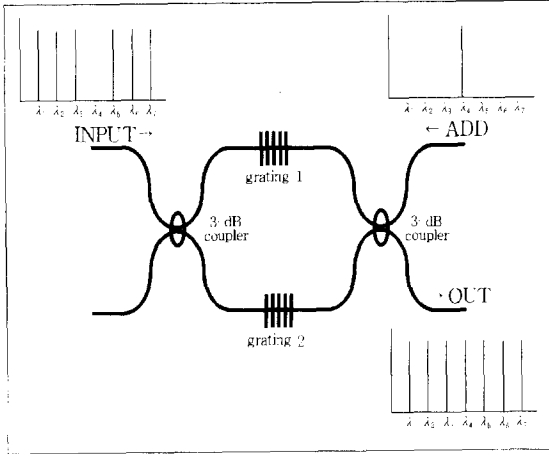


그림 3. add/drop 필터의 add 동작특성  
Fig. 3. add characteristics of add/drop filter.

그림 2는 add/drop 필터를 사용해서 특정 파장을 추출해 내는 것을 나타내고 있다. 그림에서 보듯이 add/drop 필터의 입력 단으로 여러 파장으로 이루어진 신호가 들어오게 되면, 입력 신호는 3dB 방향성 결합기에 의해 Mach-Zehnder 간섭계의 양쪽 경로로 나누어져 진행해 가게 된다. 양쪽으로 나누어져 진행해 나가는 신호는 3dB 방향성 결합기의 특성에 의해 양쪽 경로간에  $\pi/2$ 만큼의 위상차를 가지고 진행하여 양쪽 경로에 형성되어 있는 광섬유 Bragg grating을 통과하게 되는데 이때 양쪽 경로를 지나는 신호들 중에서 광섬유 Bragg grating의 반사파장의 신호  $\lambda_4$ 는 광섬유 Bragg grating에서 반사되어 tap단자 쪽으로 반사되어 나가게 되고, 나머지 신호들은 광섬유 Bragg grating을 통과하여 다음번 3dB 방향성 결합기로 진행하여 output단자로 빠져나가게 된다. 그림 3은 특정 파장의 신호를 더하는 기능을 나타내고 있다.

앞에서와 마찬가지로 입력 단으로 여러 파장의 신호가 들어오고 이번에는 더하고자 하는 파장의 신호를 add 단자로 입력시키게 된다. 입력 단으로 들어온 신호는

3dB 방향성 결합기를 거쳐 양쪽 경로로 나누어져 진행하며 광섬유 Bragg grating을 통과하고 다음 단의 3dB 방향성 결합기를 통과하여 output 단자로 빠져나가게 된다. 한편 add 단자로 입력된 신호는 3dB 방향성 결합기를 거쳐 양쪽 경로로 나누어져 진행하다가 광섬유 Bragg grating에 의해 반사되어 모두 output 단자로 반사되어 나가게 된다. 결국 입력 신호 단자로 들어온 신호와 add 단자로 들어온 신호가 모두 output 단자로 나오게 되므로 두 신호가 더해지는 기능을 하는 것이다.

#### IV. 가변형 Add/Drop 필터의 원리 및 동작

기존에 연구된 add/drop 필터는 Mach-Zehnder 간섭계의 양쪽 경로에 형성된 광섬유 Bragg grating의 고정된 반사파장에 의해 단일 파장의 선택 및 add 동작만 할 수 있다. 만일 여러 개의 파장을 add 하거나 drop 하기 위해서는 기존에 연구된 add/drop 필터를 여러개 연결하여 사용해야 하므로 구조가 복잡하고, 비용이 많이 들게 되며, 광신호가 여러 개의 소자들을 거쳐야 하므로 그에 따른 손실이 생긴다는 단점이 있다. 이러한 단점을 해결하기 위해 기존에 연구된 add/drop 필터와 동일한 구조의 add/drop 필터를 구성한 뒤 양쪽 경로에 형성된 광섬유 Bragg grating의 격자의 주기를 외부에서 조정하여 광섬유 Bragg grating의 반사파장을 가변 시켜 가면서 여러 가지 파장에서 사용 가능한 파장 가변형 add/drop 필터의 구성과 동작 특성에 대해 시뮬레이션을 통해 알아보았다. 가변형 add/drop 필터의 구성방법은 일반 add/drop 필터를 구현한 후 grating에 스트레인을 인가시킬 수 있는 압전 재질과 같은 변환기 재질을 부착하여 구현 할 수 있다.

##### 1. 수식적 해석

가변형 add/drop 필터의 동작 원리를 알아보기 위해서는 앞서 설명한 광섬유 Bragg grating과 Mach-Zehnder 간섭계의 동작 특성을 함께 고려하여 생각해 보아야 한다. 두 가지 성질을 모두 고려하여 각 출력 단에서의 파장에 따른 빛의 세기를 수식적으로 나타내면 아래와 같은 식을 얻을 수 있다.

$$Output = \left| \frac{e^{j(\phi_A + \phi_C)} + e^{j(\phi_B + \phi_D)}}{S_{22}} \times \frac{1}{2} \right|^2 \quad (8)$$

$$Add = \left| \frac{e^{j(\psi_A + \psi_C)} - e^{j(\psi_B + \psi_D)}}{S_{22}} \times \frac{1}{2} \right|^2 \quad (9)$$

$$Tap = \left| \frac{S_{21}}{S_{22}} \times (e^{j2\psi_A} + e^{j2\psi_B}) \times \frac{1}{2} \right|^2 \quad (10)$$

여기서,  $S_{22}, S_{21}$  : S 매트릭스의 원소

$\psi_{A,B}$  : 광섬유 Bragg grating의 전단에서 양쪽 경로에 생긴 위상변화

$\psi_{C,D}$  : 광섬유 Bragg grating의 후단에서 양쪽 경로에 생긴 위상변화

위의 식에서 Mach-Zehnder 간섭계의 양쪽 경로의 길이가 동일한 경우에는  $\psi_A$ 와  $\psi_B$  그리고  $\psi_C$ 와  $\psi_D$ 의 크기가 같기 때문에 위상을 나타내는 항을 고려하지 않아도 되나, 만일 Mach-Zehnder 간섭계의 양쪽 경로의 길이가 동일하지 않은 경우 길이차에 의해 Mach-Zehnder 간섭계의 특성에서 나온 위상을 나타내는 항인  $\psi$ 가 변하게 되어 간섭계의 양쪽 경로가 같은 경우의 특성과는 다른 특성이 나타나게 된다. Mach-Zehnder 간섭계의 경로가 같지 않은 경우 이상적인 경우와는 달리 간섭계를 통과하여 나오는 빛의 위상이 정확하게  $\pi/2$ 가 되거나  $\pi$ 가 되지 않기 때문에 이상적인 경우 두 경로를 거쳐 나온 빛 사이의 위상이 반대가 되어 출력이 나오지 않던 add 쪽 출력 단에서도 약간의 출력이 나오게 되며, 나머지 다른 단자의 출력 특성도 이상적인 경우와는 다른 특성이 나타나게 된다.

### 2. 가변형 Add/Drop 필터의 구성 및 동작 원리

간섭계의 양쪽 경로가 동일한 경우 가변형 add/drop 필터의 동작 원리는 다음과 같다. 먼저 광섬유 Bragg grating에 부착된 스트레인(strain)을 발생시킬 수 있는 재질에 외부 신호를 인가해 주면 가해진 신호의 크기 또는 크기의 제곱에 비례하는 스트레인이 발생하게 된다. 이렇게 발생한 스트레인은 이 재질이 부착된 광섬유 Bragg grating에 전달되어 광섬유 Bragg grating의 격자 주기를 변화시키게 된다. 이때 변화된 격자 주기에 의해 식 (1)과 같이 반사파장이 변하게 된다.

### 3. 가변형 Add/Drop 필터의 동작 특성 시뮬레이션

가변형 add/drop 필터에 여러 가지 크기의 스트레인을 가했을 때, 스트레인에 따른 가변형 add/drop 필터의 파장 가변 동작 특성에 대해 시뮬레이션해 보았다. 시뮬레이션의 조건은 간섭계의 양쪽 경로에 중심 파장

이 1550nm이고, 굴절률차  $\delta n$ 은  $3 \times 10^{-3}$ , grating의 길이는 10mm, 반사파장의 선폭이 0.3nm인 광섬유 Bragg grating이 형성되어 있고 입사되는 빛은 편광 조절기에 의해 조절되며, 광섬유는 편광유지 광섬유로 만들어진 가변형 add/drop 필터를 가정하였다.

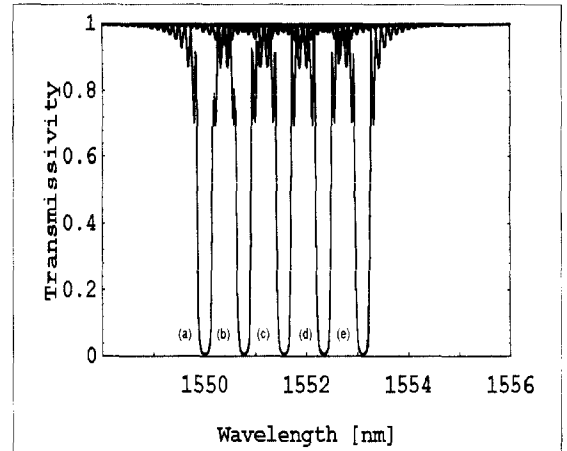


그림 4. (a) 0, (b)  $5 \times 10^{-4}$ , (c)  $1 \times 10^{-3}$ , (d)  $1.5 \times 10^{-4}$ , (e)  $2 \times 10^{-3}$ 의 strain을 가하였을 경우 가변형 add/drop 필터의 output 단자의 출력특성

Fig. 4. output characteristics of tunable add/drop filter's output port with (a) 0, (b)  $5 \times 10^{-4}$ , (c)  $1 \times 10^{-3}$ , (d)  $1.5 \times 10^{-4}$ , (e)  $2 \times 10^{-3}$  strain induced respectively.

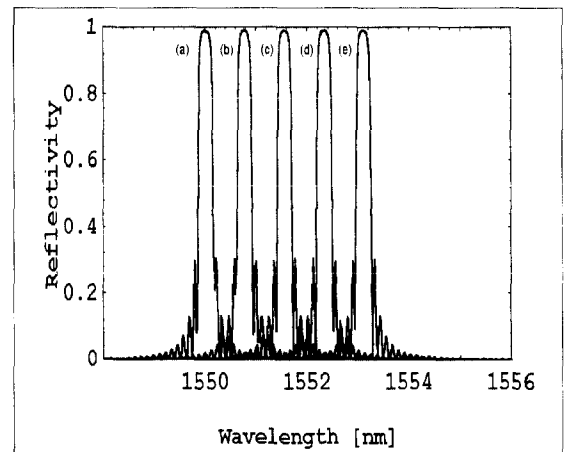


그림 5. (a) 0, (b)  $5 \times 10^{-4}$ , (c)  $10^{-3}$ , (d)  $1.5 \times 10^{-4}$ , (e)  $2 \times 10^{-3}$ 의 strain을 가하였을 경우 가변형 add/drop 필터의 tap 단자의 출력특성

Fig. 5. output characteristics of tunable add/drop filter's tap port with (a) 0, (b)  $5 \times 10^{-4}$ , (c)  $10^{-3}$ , (d)  $1.5 \times 10^{-4}$ , (e)  $2 \times 10^{-3}$  strain induced respectively.

그림 4(a)는 스트레인이 가해지지 않은 경우 tap에서의 스펙트럼을 나타낸 것인데 초기에 가변형 add/drop 필터에 형성된 광섬유 Bragg grating의 반사파장이 1550nm이므로, 1550nm의 파장만이 반사되어 나온 것을 관찰할 수 있다. 그림5(a)는 같은 경우 output 단자에서의 스펙트럼을 나타낸 것으로서 tap으로 빠져나가지 않고 투과된 스펙트럼을 나타낸 것이다. 여기서 1550nm 파장대의 스펙트럼이 없는 것을 볼 수 있는데 이는 광섬유 Bragg grating에 의해 반사되어 tap으로 반사되어 나갔기 때문이다.

그림 4(b)와 5(b)는 가변형 add/drop 필터에 외부 신호, 즉 스트레인이 재질이 전소재질인 경우는 전계신호를 인가하여 광섬유 Bragg grating에  $5 \times 10^{-1}$ 의 스트레인을 양쪽 경로에 형성된 광섬유 Bragg grating에 인가하여 격자 주기를 변화시킨 경우의 tap과 output 단의 출력 스펙트럼을 나타낸 것이다. 그림 4(b)는 스트레인을 가한 후 tap에서의 스펙트럼을 나타낸 것인데, 광섬유 Bragg grating에  $5 \times 10^{-1}$ 크기의 스트레인을 인가하여 격자의 주기가 변화됨으로 인해 광섬유 Bragg grating의 반사파장이 0.8 nm 장파장 쪽으로 이동한 것을 볼 수 있다. 그림 5(b)는 마찬가지로 tap쪽으로 반사되어 나가지 않고 투과된 스펙트럼을 나타낸다. 그림 4(c), 5(c),와 4(d), 5(d)는 각각  $1 \times 10^{-3}$ ,  $1.5 \times 10^{-3}$ 의 스트레인을 가하였을 경우의 스펙트럼을 나타낸 것이다. 그림 4(e), 5(e)는  $2 \times 10^{-3}$ 의 스트레인을 가했을 경우 가변형 add/drop 필터의 출력 스펙트럼을 나타낸 것으로, 이 경우 광섬유 Bragg grating의 반사파장의 선폴이 0.3nm이고 파장간의 간격을 0.3nm로 할 경우 그림에서 보듯이 약 5개의 파장을 선택할 수 있음을 알 수 있다. 즉, 가해 주는 스트레인의 크기에 비례해서 선택할 수 있는 파장의 범위가 점차 늘어나는 것을 알 수 있고 따라서 파장 가변 범위를 넓히기 위해서는 광섬유 Bragg grating에 많은 스트레인이 가해져야 한다는 것을 알 수 있다.

다음은 가변형 add/drop 필터의 양쪽 경로가 동일하지 않은 경우 동일하지 않은 경로에 따른 가변형 add/drop 필터의 출력 특성에 대해 시뮬레이션 해보았다. 그림 6(a),(b),(c)와 7(a),(b),(c)는 가변형 add/drop 필터의 한쪽 경로에 PZT와 같은 스트레인을 인가시킬 수 있는 재질을 부착시켜서 양쪽 경로를 각각  $5\mu\text{m}$ ,  $10\mu\text{m}$  발생시켰을 경우 tap, add, output 단자의 출력 스펙트럼을 나타낸 것이다. 그림에서 보듯

이  $5\mu\text{m}$ 의 경로차의 경우 output 단자에서는 파장에 따라 미약하게 투과율이 변하고, 이상적인 경우 신호가 검출되지 않던 add 단자에서 미약하게 정현파신호가 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 경로차에 의해 Mach-Zehnder 간섭계의 양쪽 경로를 통과한 빛간의 간섭현상에 의해 발생한 것이다.  $10\mu\text{m}$ 의 경로차가 발생하였을 경우  $5\mu\text{m}$ 의 경우보다 좀더 큰 변화가 일어남을 볼 수 있다. 또한 이 경우 tap의 출력에서는 경로차의 크기에 따라 투과율이 변하는 것을 볼 수 있다. 그림 8(a),(b),(c)과 그림 9(a),(b),(c)는  $50\mu\text{m}$ ,  $100\mu\text{m}$ 의 경로차가 발생하였을 경우의 tap, add, output 단자의 출력 스펙트럼이다. 이 경우 그림과 같이 output과 add 단자에서 정현파의 간섭 신호가 나타나며, 정현파 간섭 신호는 발생한 경로차의 크기에 따라서 주기가 점차 짧아진다는 것을 알 수 있다. 또한, tap 단자의 출력에서 발생한 경로차의 크기에 따라 투과율이 변하는 것을 관측할 수 있다.

그림 3의 구조를 갖는 가변형 전 광섬유 add/drop 필터에서 양쪽 경로의 경로차가 발생함에 따라 투과 특성이 정현파 신호처럼 변하는 것을 알 수 있었다. 중심 파장  $\lambda_B$ 에서의 투과율이 최대가 되도록 하기 위해, 즉 중심파장에서의 양쪽 경로간의 위상차가  $2\pi$ 의 정수(m)배가 되도록 경로차( $\Delta l$ )을 유지할 경우 중심파장 주위의 다른 파장에서는 중심파장과는 다른 위상차를 가지게 되므로 투과율이 줄어든다. 따라서 중심파장에서 나오는 출력값을 1이라고 하면 중심파장 주변의 파장, 즉  $\lambda_B \pm \frac{\Delta \lambda}{2}$ 에서 나오는 출력값은 이것보다 작은 값인  $T_f$ 값이 된다. 이때 add/drop 필터의 성능은 투과율  $T_f$ 값과 파장튜닝영역  $\Delta \lambda$ 가 클수록 우수하다고 할 수 있다. 파장튜닝영역  $\Delta \lambda$ 는 투과율  $T_f$ 와 경로차  $\Delta l$ 에 의존하며, 또한 일정한 값 이상의  $T_f$ 와  $\Delta \lambda$ 가 요구될 때, 두 경로간의 경로차  $\Delta l$  값은 아래의 식으로 주어지는 값 이내로 유지시켜주어야 한다.

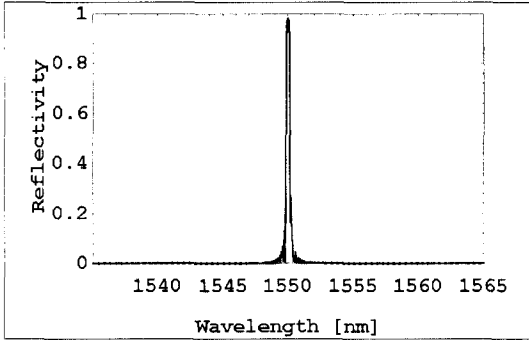
$$\Delta l = \frac{((2m\pi)^2 - (\cos^{-1}(2T_f - 1))^2) \cdot \Delta \lambda}{4n\pi \cos^{-1}(2T_f - 1)} \quad (11)$$

$$\text{여기서} \quad \Delta \lambda = \frac{4m\pi \cos^{-1}(2T_f - 1) \lambda_B}{(2m\pi)^2 - (\cos^{-1}(2T_f - 1))^2} \quad (12)$$

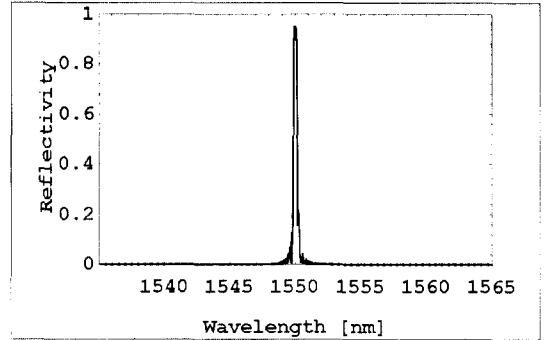
n : 광섬유의 굴절률

예를 들어 식(11)을 이용해 중심파장이 1550nm, 투과율 90%이상, 파장가변영역 20nm, 광섬유의 굴절률을 1.54라고 하였을 때 양쪽경로차  $\Delta l$ 의 값은 16 $\mu$ m가 된

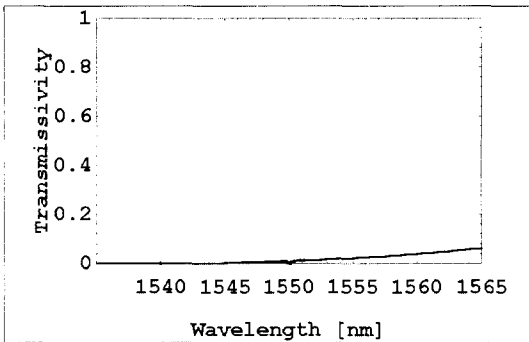
다. 즉 간섭계의 양쪽 경로의 경로차를 16 $\mu$ m 이내로 해 줄 경우 중심파장을 중심으로 20nm내의 파장 범위 내에서는 90%이상의 투과율을 얻을 수 있다.



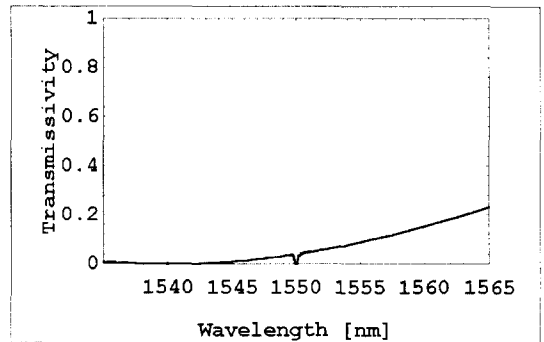
(a)



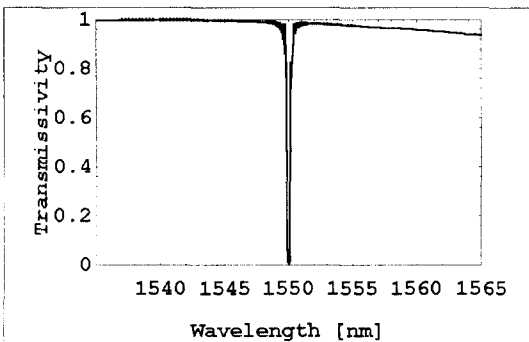
(a)



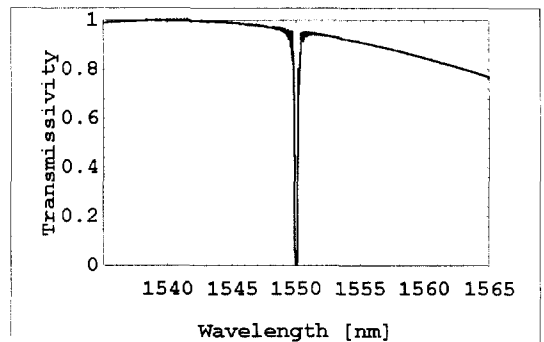
(b)



(b)



(c)



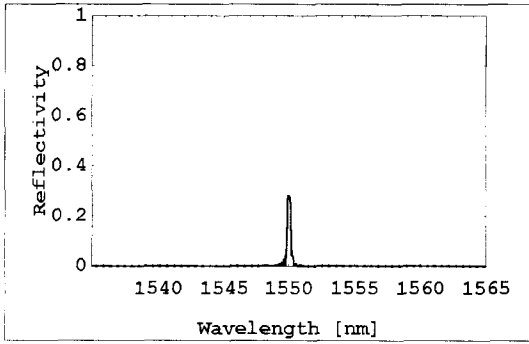
(c)

그림 6. 5 $\mu$ m 경로차에 따른 가변형 add/drop 필터의 tap, add, output 단자의 출력특성

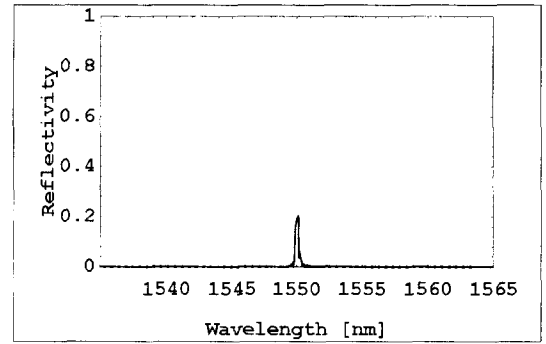
Fig. 6. output characteristics of tunable add/drop filter's tap, add, output port with 5 $\mu$ m pathlength difference occurred.

그림 7. 10 $\mu$ m 경로차에 따른 가변형 add/drop 필터의 tap, add, output 단자의 출력특성

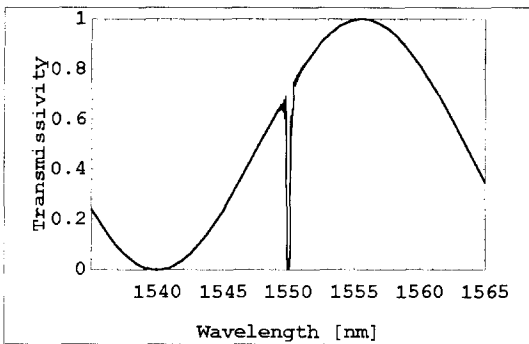
Fig. 7. output characteristics of tunable add/drop filter's tap, add, output port with 10 $\mu$ m pathlength difference occurred.



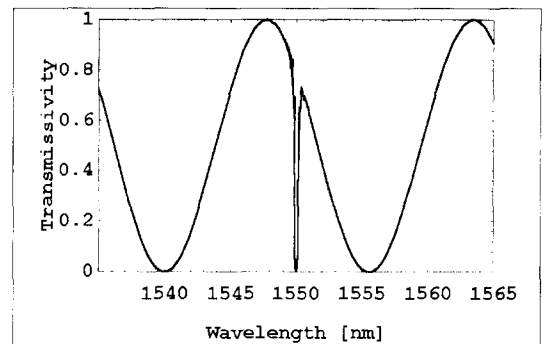
(a)



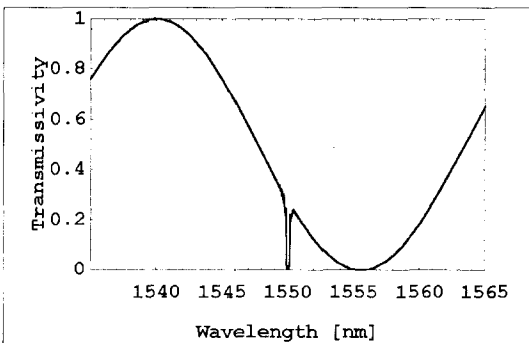
(a)



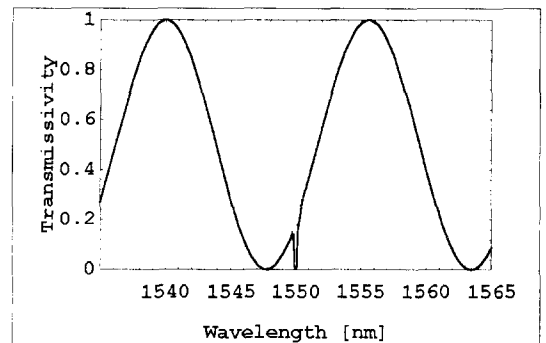
(b)



(b)



(c)



(c)

그림 8. 50 $\mu\text{m}$  경로차에 따른 가변형 add/drop 필터의 tap, add, output 단자의 출력특성

Fig. 8. output characteristics of tunable add/drop filter's tap, add, output port with 50 $\mu\text{m}$  pathlength difference occurred.

그림 9. 100 $\mu\text{m}$  경로차에 따른 가변형 add/drop 필터의 tap, add, output 단자의 출력특성

Fig. 9. output characteristics of tunable add/drop filter's tap, add, output port with 100 $\mu\text{m}$  pathlength difference occurred.

## V. 결론

가변형 전 광섬유 add/drop 필터를 제안하고 스트레인을 인가하였을 경우 스트레인에 따른 가변형

add/drop 필터의 파장 가변 특성을 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 결과 Mach-Zehnder 간섭계의 구조를 갖는 가변형 add/drop 필터의 양쪽 경로의 길이가 동



일한 경우, 양쪽 경로에 형성된 Bragg grating에 여러 크기의 스트레인을 가하게 되면 광섬유 Bragg grating의 주기가 가해진 스트레인에 따라 변화되어 파장이 가변되는 것을 알 수 있었다. 이 경우  $2 \times 10^{-3}$ 의 스트레인을 가하였을 때 약 3nm의 파장이 변화되었고, Bragg grating의 반사파장 선폭이 0.3nm이므로 각 파장간의 간격을 0.3nm로 줄 경우 약 5개의 파장을 가변할 수 있을 것이다. 가변형 add/drop 필터의 양쪽 경로의 길이가 다른 경우, 양쪽 경로차에 의해 output 과 add 단자에서는 정현파의 간섭신호가 나타나게 되고, tap 단자에서는 투과율이 변하는 것을 알 수 있었다. 또한, 중심파장 1550nm를 중심으로 20nm튜닝파장영역내에서 투과율을 90%이상으로 유지시키기 위해서 요구되는 경로차는 16 $\mu$ m임을 알 수 있었다. 앞에서 알아본 바와 같이 본 논문에서 제안한 가변형 add/drop 필터는 WDM광통신에서 가변형 multi/demultiplexer로서 매우 유용할 것이라고 예상되며, 광통신 분야뿐만 아니라 파장 분할 기술을 이용한 distributed sensing<sup>18)</sup> 분야에서도 널리 사용될 수 있을 것이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Jay N. Damask and Hermann A. Hause, "Wavelength-Division Multiplexing using Channel-Dropping Filters," J. Lightwave Technology, Vol. 11, No. 3, pp. 424-428, (1993).
- [2] Yuri Kivshar, "Nonlinear Waveguide and Devices," Photonics Summer School '95, pp.1-14, (1995).
- [3] F. Bilodeau, D. C. Johnson, S. Theriault, B. Malo, J. Albert, and K. O. Hill, "An All-Fiber Dense-Wavelength-Division Multiplexer/Demultiplexer Using Photo-imprinted Bragg gratings," Photonics Tech. Letters, Vol. 7, No. 4, pp.388-340, (1995).
- [4] Takashi Mizuochi, Katsuhiko Shimizu, Tadayohi Kitayama, "All-fiber add/drop multiplexing of 6 $\times$ 10Gbit/s using a photo-induced Bragg grating filter for WDM networks," OFC'97 Technical Digest, pp.116-117, (1996)
- [5] Takashi Mizuochi, Tadayohi Kitayama, "Interferometric cross talk-free optical add/drop multiplexer using cascaded Mach-Zehnder fiber gratings," OFC'97 Technical Digest, pp.176-177, (1997)
- [6] K. S. Lee, H. S. Kang, and M. Y. Park, "Fiber-Optic Magnetostrictive Transducers for Magnetic Field Sensing," Optical Engineering, Vol. 34, No. 12, pp.3577-3582, (1995).
- [7] Govind P. Agrawal, and Andrew H. Bobeck, "Modeling of Distributed Feedback Semiconductor Lasers with Axially-Varying Parameters," J. of Quantum Electronics, Vol. 24, No. 12, pp.2407-2414, (1988).
- [8] S. Huang, M. M. Ohn, and R. M. Measures, "Phase-based Bragg Intragrating Distributed strain Sensor," Applied Optics, Vol. 35, No. 7, pp.1135-1142, (1996).

## 저 자 소 개



朴 武 允(正會員)

1969년 12월 26일생. 1995년 2월 성균관대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1997년 2월 성균관 대학교 대학원 전자공학과 석사과정. 주관심분야는 광통신용 소자설계, 광통신 네트워크 시스템 설계 등임



朴 光 鶴(正會員)

1974년 2월 14일생. 1996년 2월 성균관대학교 전자공학과 졸업(공학사). 현재 성균관 대학교 대학원 전자공학과 석사과정. 주관심분야는 광통신용 소자설계, 광통신 네트워크 시스템 설계 등임

李 景 植(正會員) 第 34卷 第 4號 參照  
현재 성균관대학교 전자공학과 부  
교수

元 容 俠(正會員) 第 33卷 A編 第 8號 參照  
현재 한국전자통신연구원 광고환  
연구실 실장

李 相 培(正會員) 현재 한국과학기술연구원 근무중