

파장 가변 가능한 광섬유 Drop/Pass필터의 특성 분석

(Characteristics of a tunable optical fiber Drop/Pass filter)

朴光魯*, 趙祥衍*, 李泳卓*, 李景植*, 元容俠**

(Kwang No Park, Sang Yeon Cho, Young Tak Lee, Kyung Shik Lee,
and Yong Hyub Won)

요 약

다중화된 파장들 중에서 원하는 신호의 파장을 가변하여 선택(drop)할 수 있고, 동시에 입력된 모든 신호들을 다음 노드(node)로 전송할 수 있는 파장 가변가능한 광섬유 drop/pass 필터를 제안한다. 제안하는 광섬유 drop/pass필터는 광섬유 grating 한 개가 Mach-Zehnder 간섭계 출력단에 부착되어 있는 구조로 되어 있다. 시뮬레이션 결과, Mach-Zehnder 간섭계의 두 경로간의 위상차를 $(2m+1)\pi$ 에서 $\pm 0.2\pi$ rad 이내로 해주는 경우 광폐환이 2% 이내로 되고, drop단과 pass단의 광출력 파워비를 10%이상으로 조절이 가능하다. 그리고 Mach-Zehnder 간섭계의 한쪽 경로길이를 외부에서 조정함으로써 drop 및 pass port의 광출력을 조절할 수 있으며, drop port의 광출력은 위상차가 $\pi/2$ 일 때 최대가 되고, pass port의 광출력은 위상차가 π 일 때 최대가 되는 것으로 나타났다.

Abstract

In this paper, we propose a tunable drop/pass filter in the form of composed of Mach-Zehnder interferometer, to which a fiber grating and two PZTs are attached. The proposed drop/pass filter drops a part of signal power at a specific wavelength and pass the remnant of the signal to the next node in WDM network. Our simulation results show that the optical feedback is less than 2% and the drop to pass ratio can be made bigger than 10% if the phase difference between the two arms is within $\pm 0.2\pi$ from $(2m+1)\pi$. Also, the output powers at drop port and pass port are measured to be maximum at the phase difference of $\pi/2$ and π , respectively, as expected.

I. 서 론

광섬유 grating 기술이 1978년 K. O. Hill^[1]에 의하여 germanium이 도핑된 실리카 광섬유에 가시광선 레이저 빔을 입사시킬 때 광섬유의 굴절률 변화로 grating이 형성됨이 발견된 이후로 광섬유 grating의 제작방법 및 응용에 관해 최근까지 수많은 연구 결과

가 보고되어 왔다. 광섬유 grating은 매우 좁은 파장 대역폭과 높은 반사율을 가질 수 있는 특징 때문에 고 밀도 WDM (Wavelength Division Multiplexing) 시스템용 소자로의 응용 가능성이 높으며 이에 대한 연구^[2]가 한창 진행 중에 있다.

WDM망의 핵심소자인 광학적 add/drop 필터소자를 구현하는데 있어서 음향광학(acoustooptic)효과, Fabry-Perot 공진기 또는 waveguide array를 기초로 하는 광학적 필터들로 구성되는 연구가 지금까지 되어 왔으나^[3-5] 최근에는 Mach-Zehnder 간섭계의 양쪽 경로에 동일한 광섬유 grating을 형성하여 파장 재사용(wavelength reuse)이 가능한 전 광섬유 add/drop 필터를 구성하여 수십Gbps 고속전송 결과

* 正會員, 成均館大學校 電子工學科

(Dept. of Electronic Eng., Sungkyunkwan Univ.)

** 正會員, 韓國電子通信研究院

(Elec. and Telecomm. Research Institute)

接受日子: 1997年1月31日, 수정완료일: 1997年6月30日

가 보고되기도 하였다^[6]. 또한 광섬유 grating을 이용한 다양한 WDM용 소자연구의 일환으로 본 연구팀에서도 Mach-Zehnder간섭계형의 add/drop필터의 동작특성에 대해서도 연구한 바 있다^[7,8]. 이러한 구성은 저손실과 높은 파장선택성의 장점을 가질 수 있으나 파장 재사용 구성시 drop되는 파장과 add되는 파장이 같으므로 인하여 add되는 광전력이 drop으로 누설될 경우 cross-talk로 인하여 심각한 시스템 성능 저하를 가져올 수 있으므로 대처 방안이 꼭 필요하다. 뿐만 아니라 add/drop필터로 정확하게 동작시키기 위해서는 똑같은 grating이 양쪽경로의 길이가 같은 Mach-Zehnder간섭계의 두 경로에 동작파장에 대해서 위상적으로 같은 위치에 있어야 하기 때문에 구현 하기가 매우 까다롭다는 단점이 있다.

본 논문에서는 구조면에서 add/drop필터와 비슷하지만 add/drop필터처럼 모든 신호를 추출시키는 대신 일부만 추출시키고 나머지는 전부 다음단으로 통과 시켜줄수 있는 새로운 광섬유 drop/pass필터^[8]를 제안한다. 제안하는 광섬유 drop/pass필터는 Mach-Zehnder간섭계 구조를 하고 있으며, 광섬유 grating 한 개로도 쉽게 구현될 수 있다. 제안하는 drop/pass필터의 동작특성에 대해서는 시뮬레이션 해보았고 성능 실험도 해보았다. 여기서 제안하는 drop/pass필터는 다중화된 파장들 중에서 원하는 신호의 파장을 가변하여 선택(drop)할 수 있고 동시에 입력된 모든 신호들을 다음 노드(node)로 전송할 수 있기 때문에 WDM network에서 필요로 하는 소자중 하나로 예상된다.

2. 파장 가변형 drop/pass 필터 제안

1) 파장가변형 drop/pass필터의 구성 및 동작원리

기존의 광섬유 add/drop필터는 두 개의 3dB방향성 결합기를 이용하여 Mach-Zehnder 간섭계를 꾸미고 간섭계의 양쪽 경로에 동일한 반사 파장을 갖는 광섬유 grating을 형성시켜 흔히 그림 1과 같이 구성한다. 그림과 같이 구성된 add/drop 필터는 광섬유 grating의 특성과 Mach-Zehnder 간섭계의 특성을 복합적으로 이용하여 입력된 신호중 특정 파장의 신호를 추출(drop)하거나, 입력신호에 특정파장의 신호를 더하는(add) 역할을 할 수 있도록 되어 있다. 또한 동일한 구조를 이용하여 Mach-Zehnder 간섭계의 양쪽 경로에 형성된 광섬유 grating의 주기를 외부에서 조정하

여 광섬유 grating의 반사파장을 가변시킴으로써 여러 파장에서 동작 가능한 파장가변형 add/drop필터를 구현할 수 있다.

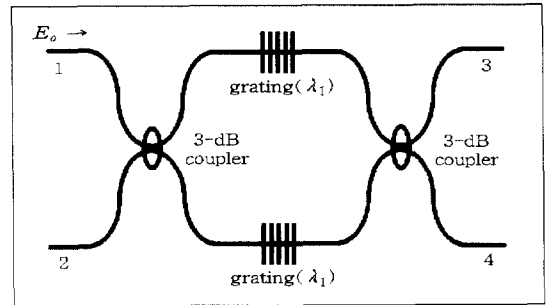


그림 1. 전광섬유 add/drop 필터의 구조
Fig. 1. Configuration of all-fiber add/drop filter.

본 논문에서는 이와 같은 파장가변 원리를 기초로 하고는 있으나, 제작하기가 훨씬 쉬운 새로운 파장 가변형 drop/pass 필터를 제안한다. 제안하는 drop/pass필터의 구조는 그림 2와 같이 Mach-Zehnder 간섭계로 되어 있으며 Mach-Zehnder 간섭계의 출력 단 쪽에는 광섬유 grating이 부착되어 있고 Mach-Zehnder 간섭계의 한쪽 경로에는 drop과 pass를 외부에서 조절해 줄 수 있는 부분으로 되어있다. 본 논문에서 제안한 drop/pass필터는 입력된 다파장신호중에서 특정파장성분의 일부분만을 drop시키고 나머지 파장성분을 다음단으로 전송시킬수 있는 특성을 지니고 있다. 파장가변형 drop/pass필터의 특성을 이용하여 그림 3과 같은 ring형 network를 구성해 보았다. 그림 3에서 제시된 ring형 network에서 λ_1 에서 λ_4 까지 4개의 파장신호가 전송로를 따라 전송된다고 할 경우 기존의 add/drop필터를 사용할 경우 한 노드에서 특정 파장을 drop시킨다면 이 신호를 다시 add시켜서 보내지 않는한 다음단에서 drop된 신호를 얻을 수가 없다. 하지만 제시된 drop/pass필터를 사용한다면 별도의 add기능을 하지 않아도 다음단으로 신호를 전송시킬수가 있는 장점을 갖고 있다.

제시된 drop/pass필터의 동작특성에 대해서 자세히 알아보면 그림 2에서 보듯이 입력단(단자1)에 여러 파장으로 이루어진 신호 E_0 가 들어오게 되면, 입력신호는 3dB 방향성결합기에 의해 Mach-Zehnder 간섭계의 양쪽 경로로 나누어져 진행하게 된다. 양쪽으로 나뉘어져 진행해 나가는 신호는 3dB 방향성결합기의 특

성과 한쪽 경로에 부착된 경로길이 조절기(PZT#1)에 가해진 신호의 정도에 따라 양쪽 경로간에는 $\pi/2 + \phi$ 만큼의 위상차를 가지고 진행하여 다음번 3dB 방향성결합기를 거쳐서 E_3 및 E_{in} 의 신호가 pass단(단자3) 및 출력단(단자4)으로 빠져나오게 된다. 단자4로 빠져나오는 신호 E_{in} 는 광섬유 grating에서 E_4 만큼 통과하고 나머지 신호 E_{out} 는 광섬유 grating에서 반사되어 돌아온 길을 다시 되돌아 단자1 및 단자4를 통해서 E_1 , E_2 의 신호가 각각 나오게 된다. 이때 drop 및 pass단자로 나오는 광파의 크기와 궤환되어오는 양은 Mach-Zehnder 간섭계의 한쪽 경로길이 조절으로 최적치를 얻을 수 있다.

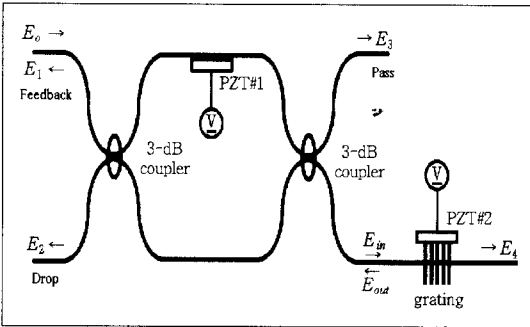


그림 2. 전광섬유 drop/pass 필터의 구조
Fig. 2. Configuration of proposed all-fiber drop/pass filter.

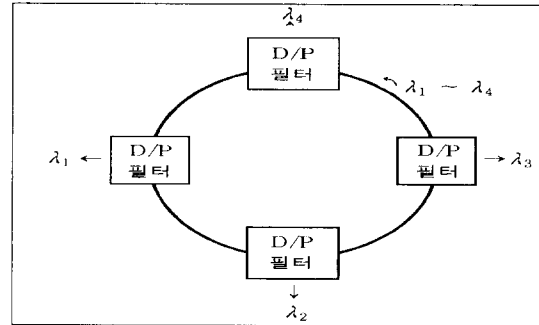


그림 3. 전광섬유 drop/pass 필터를 이용한 ring network
Fig. 3. Ring network using proposed all-fiber drop/pass filter.

또한 광섬유 grating에 부착된 strain재질에 외부 신호를 인가해 주면 가해진 신호의 크기 또는 크기의 세기에 비례하는 strain이 발생하게 된다. 이렇게 발생된 strain은 이 재질이 부착된 광섬유 grating에 전달

되어 광섬유 grating의 주기를 변화시키고 따라서 반사파장이 변하며 drop단으로 나오는 신호 파장이 가변된다.

2. 수식적 해석 및 시뮬레이션

제안된 파장 가변형 drop/pass 필터의 동작 특성에 대한 수식적 해석을 위해서 우선 양쪽 경로차가 $\Delta \ell$ 인 Mach-Zehnder 간섭계에 대해서 고찰해 보자. 이 경우 drop/pass필터의 네 단자에서 나오는 광파 E_1 , E_2 , E_3 및 E_4 를, 공통되는 위상 factor를 생략시켜 주고, 각각 단자1에 입사하는 파 E_0 로 표시하면 아래와 같다.

$$E_1 = E_0 \cdot r [1 + e^{i\phi}]^2 / 4 \quad (1a)$$

$$E_2 = E_0 \cdot r [1 - e^{2i\phi}] / 4 \quad (1b)$$

$$E_3 = E_0 [e^{i\phi} - 1] / 2 \quad (1c)$$

$$E_4 = E_0 \cdot t [e^{i\phi} + 1] / 2 \quad (1d)$$

여기서 ϕ 는 경로차 $\Delta \ell$ 에 의한 위상차로 $2\pi\Delta \ell_{\text{eff}} / \lambda$ 와 같고, n_{eff} 는 광섬유 코어의 유효굴절률이다. 또한 r과 t는 각각 광섬유 grating의 반사계수 및 통과계수로써 아래와 같이 S 매트릭스의 요소 S_{ij} 로 나타낼 수 있다^[7].

$$r = S_{21} / S_{22} \quad (2a)$$

$$t = S_{11} - S_{12} S_{21} / S_{22} \quad (2b)$$

식 (1),(2)를 토대로 경로차에 의해 발생된 위상차의 정도에 따른 각 단자의 출력특성과 파장가변 동작 특성에 대하여 시뮬레이션 하여 보았다. 시뮬레이션 조건으로 방향성결합기는 이상적인 3dB결합기이고 Mach-Zehnder 간섭계의 양쪽 경로사이의 손실은 동일하다고 가정하였으며, 입사되는 빔은 편광상태가 일정하다고 가정하였다. 그리고 광섬유 grating은 중심 파장이 1550nm이고 반사파장의 선포이 0.3nm로 주어졌으며, Mach-Zehnder 간섭계의 한쪽 경로와 광섬유 grating에 부착된 PZT의 응답특성은 실험에서 얻어진 값을 사용하였으며 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\phi(V) = 5.32 \times 10^{-2} V - 6.16 \times 10^{-5} V^2 - 1.7 \times 10^{-7} V^3 \quad (3)$$

여기서 V는 PZT#1에 가해진 전압이며, $\phi(V)$ 는 전압에 따라서 발생한 Mach-Zehnder간섭계의 양쪽 경로

간의 위상차이다.

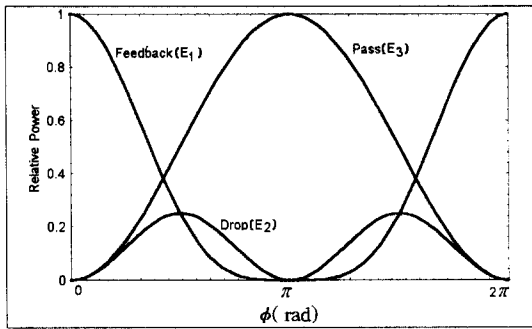


그림 4. 위상차 ϕ 의 변화에 따른 drop/pass필터의 출력특성

Fig. 4. Output characteristics of drop/pass filter as a function of phase difference ϕ .

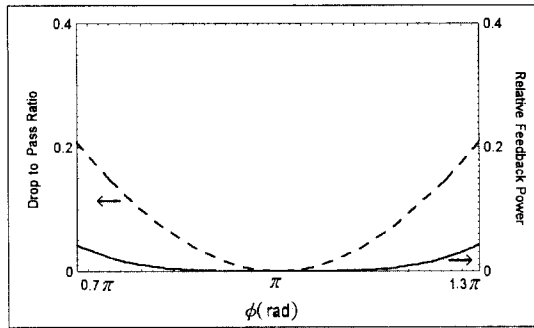


그림 5. 위상차 ϕ 의 변화에 따른 drop단과 pass단의 파워비와 궤환파워 특성

Fig. 5. Ratio of drop-to-pass power and relative feedback power as a function of phase difference ϕ .

경로길이 조절기 PZT#1에 의해서 발생된 간섭계 양쪽 경로사이의 위상차 ϕ 에 따른 drop, pass 및 feedback되어진 빔의 상대적인 크기는 그림 4에 나타내었다. 위상차가 늘어남에 따라 각 단자의 출력특성은 주기성을 갖는 정현파 형태로 나타나며, drop단의 경우는 위상차에 따른 출력변동의 주기가 pass단에 비하여 2배로 짧아짐을 알 수 있다. Drop단의 경우는 위상차가 $(m + 1/2)\pi$ 일 때 광출력이 최대가 되었으며, $m\pi$ 일 때 최저가 되었다. 그리고 pass단의 경우는 $(2m + 1)\pi$ 에서 최대가 발생되며, $2m\pi$ 에서 최저가 됨을 볼 수 있다. 이에 비해 feedback되어 입력단으로 되돌아오는 빔의 세기는 위상차가 $m\pi$ 근처에서 최소가 되게 된다. 그림 5는 위상차에 따라 광섬유 grating에 의해 반사되어 입력단(단자1)으로 되돌아오

는 빔의 출력특성과 이때의 pass단과 drop단의 출력비(pass to drop ratio)를 동시에 나타내었다. 따라서 양쪽 경로차에 의해 각 단의 출력특성이 다르게 나타나므로 적절히 경로차를 조절하므로써 입력단으로 되돌아오는 빔을 작게 유지하면서, drop 및 pass단에서 출력되는 빔의 크기를 크게 조절할 수 있겠다.

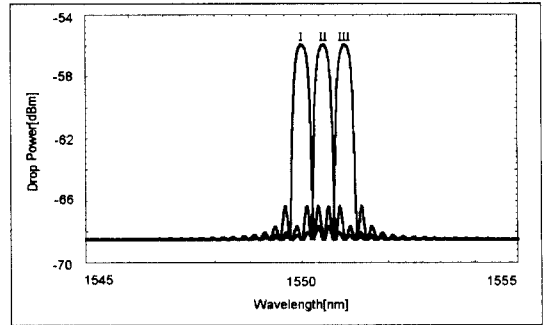


그림 6. Grating에 인가된 strain에 따른 파장변화 특성 : 계산치

Fig. 6. Power spectra at drop port for different values of strains induced in the grating : simulation.

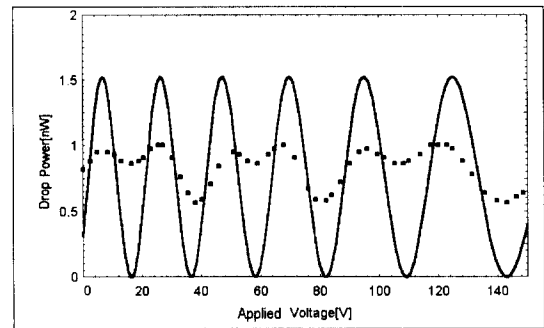


그림 7. PZT#1에 인가된 전압에 따른 drop단에서의 출력특성

Fig. 7. Output power at drop port versus voltage applied to PZT#1.

파장가변 동작특성에 대한 시뮬레이션 결과를 그림6에 나타내었다. 이때 입력단에 입사하는 광파워는 -56dBm으로 가정했다. 그림 6은 광섬유 grating에 부착된 재질(PZT#2)에 strain이 가해지는 정도에 따라 drop단에서의 출력 스펙트럼을 살펴본 것으로 "I"는 strain이 가해지지 않은 경우로 광섬유 grating의 반사파장인 1550nm의 파장만이 반사되어 나오는 것을 관찰할 수 있다. "II"와 "III"는 0.5×10^{-3} , 1×10^{-3} 의 strain을 각각 인가하였을 때 grating의 주기가 변

화됨으로 인해 광섬유 grating의 반사파장이 0.5nm와 1nm정도 장파장 쪽으로 이동하는 것을 볼 수 있다. 이와 같이 가해주는 strain의 크기에 비례해서 선택할 수 있는 파장의 범위가 점차 늘어나는 것을 알 수 있고, 따라서 과장 가변 범위를 넓히기 위해서는 광섬유 grating에 많은 strain이 가해져야 한다는 것을 알 수 있다.

III. 실험결과 및 분석

두 개의 3dB방향성 결합기를 이용하여 Mach-Zehnder 간섭계를 구성하고 간섭계의 출력단 쪽에 굴절률이 1.45, 반사파장이 1550nm, 길이 1cm인 광섬유 grating(3M, 반사율 : 97%)을 형성하고 Mach-Zehnder 간섭계의 한쪽 경로길이와 광섬유 grating의 주기를 외부에서 조정해 주기 위해 각 부분에 압전재질인 PZT를 부착하였다. 광원으로는 중심파장이 1550nm이고 선평이 넓은 LED를 사용하였다. 그리고 drop, pass 및 출력단으로 나오는 빛의 스펙트럼을 분석하기 위하여 ANDO사의 AQ-6310의 스펙트럼 분석기를 사용하였다.

Mach-Zehnder 간섭계의 한쪽 경로에 부착된 PZT#1에 전압V를 증가시키면서 drop 및 pass 단에서 출력되는 광파워를 측정해 보았다. 실험 결과는 각각 그림 7과 그림 8에 dot로 나타내었으며, 시뮬레이션 결과와 비교해 보았다. PZT#1에 가해지는 전압 V에 따라서 drop단에서의 광출력의 변화가 어떻게 예상되는지를 그림 7에 곡선으로 나타내었으며, pass단에서의 광출력 변화는 그림 8에 곡선으로 나타내었다. 시뮬레이션에 사용된 입력단에 입사하는 광파워는 -49.22dBm(11.96nW)으로 가정하였다. 이 실험에서 입력단에 입사하는 광파워는 -49.22dBm(11.96nW)였고, PZT#2는 grating이 1550nm에서 동작되도록 조정하였다. 시뮬레이션에서와 마찬가지로 실험에서도 Mach-Zehnder 간섭계의 양쪽 경로차에 따라 각 단으로 나오는 출력이 주기성을 갖으며 달라짐을 알 수 있다. Drop단에서는 위상차 $(m + 1/2)\pi$ 에 해당되는 전압 근처인 26V 및 51V에서 최대치가 나타났으며 pass단에서는 19, 59V에서 최대치가 나타났으며 이것은 위상차 $(2m+1)\pi$ 에 해당되고, 최저치는 38, 82V에서 나타나 위상차 $2m\pi$ 에 해당된다. 따라서 PZT#1에 인가하는 전압을 가변시킴으로써 drop단 및 pass단으

로 나오는 광출력을 적절히 조절할 수 있을 것이다. 그러나 실험결과에서 PZT#1에 인가하는 전압이 커짐에 따라서 광출력 곡선의 주기가 길어지는 것은 압전재질의 특성이 큰 전압에서 비선형적이기 때문이다. 각 단의 최저치가 시뮬레이션과 다른 것은 사용된 방향성결합기는 넓은 과장범위에서 3dB를 만족하여 주지 못하고 있으며, Mach-Zehnder 간섭계 구성시 2개의 방향성결합기를 접속할 때 양쪽 경로의 접속 손실이 생김에 따라 경로간의 광전력비가 다르고 양쪽 경로를 통과하는 빔의 편광상태가 서로 동일하지 않기 때문인 것으로 판단된다.

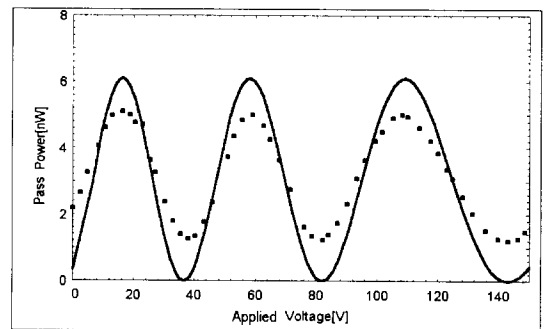


그림 8. PZT#1에 인가된 전압에 따른 pass단에서의 출력특성

Fig. 8. Output power at pass port versus voltage applied to PZT#1.

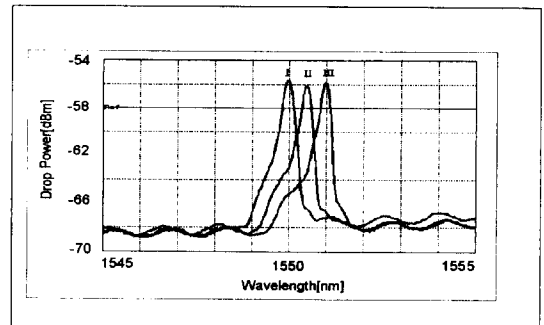


그림 9. Grating에 인가된 strain에 따른 파장변화 특성 : 실험치

Fig. 9. Power spectra at drop port for different values of strains induced in the grating : experiment.

또한 과장 가변성을 실험하기 위하여 PZT#2에 전압을 인가하면서 drop단에서 출력되는 스펙트럼을 측정 후 그림9에 나타내었다. 시뮬레이션과 마찬가지로 "I"는 strain이 가해지지 않은 경우, "II"와 "III"는

0.5×10^{-3} , 1×10^{-3} 의 strain을 각각 인가하였을 때의 결과를 보여주고 있다. "II"와 "III"의 strain이 가해졌을 때 광섬유 grating의 반사파장은 0.5nm와 1nm정도 장파장 쪽으로 이동하는 것을 볼 수 있어 시뮬레이션 값과 일치하였다.

III. 결 론

본 논문에서는 다중화된 파장들 중에서 원하는 신호의 파장을 가변하여 선택(drop)할 수 있고, 동시에 입력된 모든 신호들을 다음 노드(node)로 전송할 수 있는 새로운 파장 가변형 drop/pass필터를 제안하였다. 제안한 광섬유 drop/pass 필터에 대해서 동작 특성을 시뮬레이션 해보았고 또한 Mach-Zehnder간섭계형 drop/pass 필터를 제작한 후 성능을 실험해 보았다. 시뮬레이션 결과 Mach-Zehnder간섭계의 두 경로간의 위상차가 $(2m+1)\pi$ 에서 $\pm 0.2\pi$ rad 이내로 되는 경우 입력단으로 반사되어 되돌아오는 광케환 파워를 2%이내로 해줄 수 있을 뿐만 아니라, 이때 drop단과 pass단의 광출력 파워비(drop / pass ratio)를 10% 이상으로도 가변해 줄 수 있다. 실험결과 한 쪽 경로에 부착된 PZT에 인가해주는 전압에 따라서 drop과 pass단에서의 광출력 변화는 시뮬레이션 결과 각각 위상 π 및 2π 에 해당하는 전압의 주기를 갖고 변동하였으며 PZT의 응답특성이 비선형적이기 때문에 한 주기에 해당되는 전압의 크기는 전압이 증가함에 따라서 커지는 것을 알 수 있었다. 그러나 PZT의 이러한 비선형 특성을 고려해서 시뮬레이션한 경우에는 실험결과와 비슷한 특성을 보임을 알 수 있었다. Drop단에서의 광출력은 위상차가 $(m+1/2)\pi$ 에 해당하는 전압 근처인 26V 및 51V를 인가하였을 때 최대가 되었으며, pass단에서는 19V, 59V의 전압을 인가하였을 때 최대가 되었으며 이에 해당되는 위상차는 $(2m+1)\pi$ 이고, 최저치는 38V, 82V를 인가하였을 때 얻어졌으며 이에 해당하는 위상차는 $2m\pi$ 이다. Mach-Zehnder 간섭계의 한쪽 경로에 압전재질을 부착하여 strain을 인가함으로써 drop 및 pass단의 출력을 조절하여 최적의 상태로 유지할 수 있으며, 광섬유 grating에 부착된 압전재질에 1×10^{-3} 의 strain을 각각 인가하였을 때 약 1nm의 파장 변화가 나타남을 보였다.

본 논문에서 제안한 파장 가변형 drop/pass 필터는

WDM network을 다양하게 구성할 수 있는 소자로 활용될 수 있을 것으로 기대되며, 파장분할기술을 이용한 distributed sensing 분야의 응용도 가능하리라 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] K. O. Hill, Y. Fujii, D. C. Johnson, and B.S. Kawasaki, "Photosensitivity in optical fiber waveguide: Application to reflection filter fabrication", Appl. Phys. Lett. 32, 647 (1978).
- [2] F. Bilodeau, D. Johnson, S. Theriault, B. Malo, J. Albert, K. Hill, "An All-Fiber Dense-Wavelength-Division Multiplexer/Demultiplexer using photoimprinted Bragg Gratings.", IEEE Photon. Tech., Vol. 7, No. 4, pp388-390, 1995.
- [3] W. I. Way et al., "A self-routing WDM-high-capacity SONET ring network", IEEE Photon. Technol. Lett. vol.4, pp402-405 (1992).
- [4] M. J. Chawki, V. Tholey, L. Berthou, I. Le Gac, and A. Pou doublec, "Demonstration of a WDM survivable open Ring network using reconfigurable channel dropping receivers", ECOC'94, pp. 897-900. 1994.
- [5] H. Toba, K. Oda, K. Inoue, K. Nosu, and T. Kitoh, "Demonstration of optical FDM Based Self-Healing Ring Network Employing Arrayed-Waveguide-Grating ADM filter and EDFAS", ECOC'94 pp. 263-266. 1994.
- [6] Takashi Mizuochi, Katsuhiko Shimizu, Tadayoshi Kitayama, "All-fiber add/drop multiplexing of 6×10 Gbit/s using a photo-induced Bragg grating filter for WDM networks", OFC'96 Technical Digest Conference, 1996, San Jose, California.
- [7] 박 무운, 박 광노, 이 경식, 원 용협, 이 상배, "광섬유 Bragg grating 을 이용한 가변형 add/drop 필터에 관한 연구", 전자공학회 논문지 Vol. 34, No.5, 1997
- [8] Kwang N. Park, Moo Y. Park, Young T. Lee, Kyung S. Lee, "The spectral charac-

teristics of Mach-Zehnder interferometer
with internal fiber Bragg grating", WGG21

OSA Annual meeting, 1996, Rochester, NY.

저 자 소 개

朴 光 魯(正會員) 第 34卷 第 5號 參照

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



趙 祥 衍(正會員)

1973년 11월 27일생. 1996년 2월 성균관대학교 전자공학과 졸업(공학사). 현재 성균관 대학교 대학원 전자공학과 석사과정 재학중. 주관심분야는 광통신 분산보상 시스템 설계 및 제작

李 泳 卓(正會員) 第 33卷 A編 第 5號 參照

현재 성균관대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중

李 景 植(正會員) 第 34卷 第 4號 參照

현재 성균관대학교 전자공학과 부교수

元 容 俠(正會員) 第 33卷 A編 第 8號 參照

현재 한국전자통신연구원 광고환 연구실 실장