

論文2001-38SD-7-5

## 칩 광섬유 격자를 이용한 광 채널-선택형 필터

### (The Optical Channel-Selective Filter Using the Chirped Fiber Bragg Gratings)

朴世剛\*, 朴鎮雨\*, 李相培\*\*, 崔相三\*\*

(Se Kang Park, Jin Woo Park, Sang Bae Lee, and Sang Sam Choi)

#### 요약

본 논문에서는 중심파장과 대역폭을 자유롭게 조절할 수 있는 새로운 구조의 광 채널-선택형 필터를 제안하였다. 제안된 필터는 칩 광섬유 격자의 반사 스펙트럼을 조절하기 위해 사용되는 광섬유 신장기를 부착한 동일한 세 개의 칩 광섬유 격자를 사용하여 구성하였다. 파장 다중화된 입력신호 중에서 임의의 채널을 선택할 수 있는 제안된 필터의 특성을 실험적으로 보였다.

#### Abstract

We propose a novel optical channel-selective filter whose center wavelength and bandwidth can be fully controlled. The proposed filter consists of three identical chirped fiber Bragg gratings (CFBG's) with fiber stretchers which is to control the reflection spectra of the CFBG's. We experimentally demonstrate that the proposed tunable filter can select arbitrary channels from a WDM signal.

#### 1. 서론

초고속 대용량의 정보를 전송하는 통신 기술인 파장 분할 (Wavelength Division Multiplexing, WDM) 광 전송기술이 활발히 연구되고 있으며, 이러한 초고속 광 통신 시스템을 효율적으로 연결하여 통신망의 성능을 향상시키기 위한 초고속 광정보통신망에 대한 연구가 여러 나라에서 수행되고 있다. 파장분할 다중화 전송방식은 광신호의 파장특성을 이용하여 광섬유의 넓은 파장 영역을 여러 채널로 다중화하여 여러 파장대의 신호

를 동시에 전송함으로써 광정보의 전송용량을 증가시키는 방식이다. 이러한 파장분할 다중화 기술은 전송용량의 확장이 용이하고 네트워크 구성에 있어 많은 다양성을 제공하기 때문에 초대용량 국간 전송망이나 가입자용 광통신 시스템 등의 향후 전송 기술의 핵심 기술로 자리잡게 될 전망이다. 파장분할 다중화 기술은 시분할 다중화 기술에 비해 파장이 다른 신호를 수동소자로서 분기하거나 결합함에 있어서 비교적 용이하다. 따라서, 파장분할 다중화 시스템의 송신단과 수신단 사이의 임의의 지점에서 연속된 신호들의 각 채널 중에서 원하는 채널을 선택하기 위한 다양한 소자들이 요구된다.

광섬유 격자 (fiber Bragg grating) 는 광통신 시스템을 구성할 때 다른 소자 대신 단지 광섬유로 구성할 수 있다는 점에서 그 중요성이 증대되고 있으며, 특히 칩 (chirped) 광섬유 격자와 같은 불규칙한 격자의 필요성과 그의 응용이 증대되고 있다. 광섬유 격자는 높은 파장 선택도, 낮은 삽입손실 (insertion loss), 그리고 높은 반사도를 갖는다. 이러한 광섬유 격자를 사용하여, 광

\* 正會員, 高麗大學校 電子工學科

(Department of Electronics Engineering, Korea University)

\*\* 正會員, 韓國科學技術研究院 光技術研究中心

(Photonics Research Center, Korea Institute of Science and Technology)

接受日字:2000年12月12日, 수정완료일:2001年5月30日

분기 결합 장치, 파장 가변 필터,<sup>[1]</sup> 광섬유 레이저, 그리고 분산 보상기,<sup>[2]</sup> 광 크로스 커넥트<sup>[3, 4]</sup>등이 제작되었다. 이러한 소자 중에서, 광섬유 격자를 기초로 한 광섬유 필터는 파장 다중화 통신 시스템에서 특정한 채널을 선택하는데 매우 중요한 소자이다. 특히, 대역 통과 필터는 파장 다중화가 요구되는 다파장 광 네트워크와 대부분의 통신 시스템에서 가장 기본적인 소자 중에 하나이다. 지금까지, 대역 통과 필터를 제작하는 여러 가지 방법들이 제안되어왔다. 수십 nm 대역의 연속적인 파장 이동 범위를 갖는 광 노치 트랜스버설 (notch transversal) 필터가 제안되었다.<sup>[5]</sup> 이 시스템은 길이가 긴 칩 광섬유 격자를 분기 (tapping) 소자로 사용함으로써 실현되었다. 이 필터의 특성은 칩 광섬유 격자의 길이와 두 격자의 거리에 의존한다. 참고문헌 [6]에서는 광섬유를 기반으로 0.016pm-반치대역폭 (FWHM) 을 갖는 광 대역통과 필터가 제안되었다. 이 필터는 광섬유 격자 한 개와 두 개의 광섬유 페브리-페렛 필터가 나란히 구성되어있다. 또한, 동작 시간이 2ms 보다 작은 브래그 격자의 수축성을 기반으로 한, 튜닝 (tuning) 이 빠른 광 필터가 실현되었다.<sup>[7]</sup> 압전소자

(piezo-electric transducer: PZT) 에 의한 튜닝은 반사도, 스펙트럼 모양, 그리고 브래그 중심 파장의 대역폭에 영향을 미치지 않는다. 노치 주파수의 선형적이고 연속적인 튜닝이 적용되는 소자는 [8]에 나타나있다.

파장가변이 가능한 대역통과 필터들은 dense DWDM 시스템에서 광대역 광원의 출력을 필터링하는데 사용될 수 있으며, 여러 채널을 원하는 목적지로 라우팅 (routing) 하는데 사용될 수 있다. 대역통과 필터의 특성을 향상시키기 위해서는 대역폭과 중심 파장의 조절이 가능하여야 하는데, 이미 발표된 대역 통과 필터들은 이러한 요구조건을 동시에 만족시키지는 못하였다. 우리는 본 논문에서 압전소자로 구성된 광섬유 신장기 (fiber stretcher) 에 의해 스펙트럼범위가 결정되는 세 개의 동일한 칩 광섬유 격자와 4-포트 써클레이터 (4-port circulator) 로 구성되며, 임의의 채널을 선택할 수 있고 대역폭의 조절이 가능한 새로운 구조의 채널-선택형 필터를 제안하고 실험적으로 보였다.

## II. 제안된 필터의 동작 특성

그림 1은 4-포트 써클레이터와 압전소자, 그리고 광

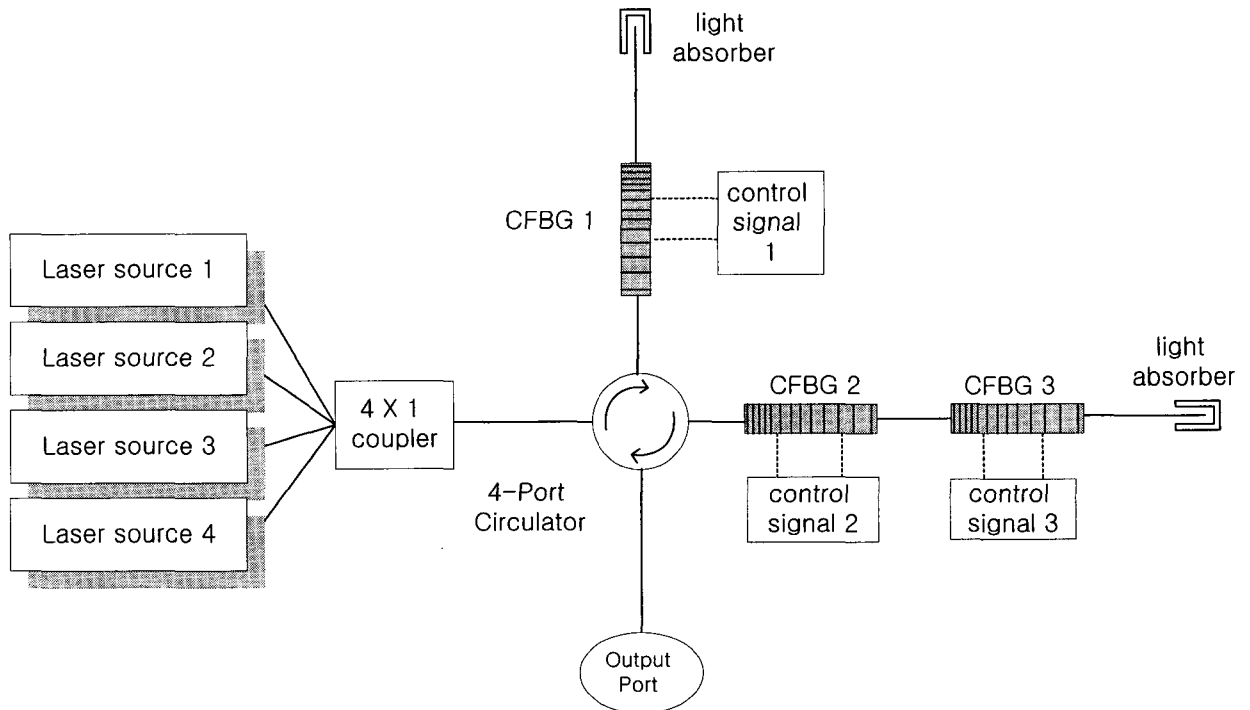


그림 1. 광 채널 선택형 필터의 실험 장치도

Fig. 1. Schematic structure of an optical channel-selective filter.

섬유 신장기에 부착된 세 개의 칩 광섬유 격자로 구성되는 광 채널-선택형 필터의 구조를 보여준다.

실험에 사용된 씨클레이터는 다중화된 입력 신호와 원하는 출력신호를 구분하는데 사용되며 각 출력 포트 간 삽입손실은 0.42dB 이하이다. 광섬유 신장기는 인가되는 전압에 따라 늘어나는 성질을 가진 압전소자로 구성되고, 끝단에 칩 광섬유 격자를 에폭시(epoxy)로 고정시키는데 사용된다. 2.9nm (1550.5nm-1553.4nm)의 3dB-대역폭을 갖는 칩 광섬유 격자는 평균주기가 1074nm인 칩 위상 마스크를 통해 광통신용 계단형 굴절률(step index-type)을 가진 광섬유에 (200mJ/cm<sup>2</sup>)/pulse의 248nm 펄스형 KrF 엑시머 레이저를 노출시켜 제작되었다. 사용된 광섬유는 광 민감도를 증가시키기 위해 3일동안 80°C 온도하에서 100-atm 압력으로 수소처리되었다. 동일한 군지연(group delay) 170ps/nm을 갖는 칩 광섬유 격자들은 길이가 5cm 이고, 반사도는 99.9% 이상이며 반치 대역폭은 2.9nm 이다. 필터의 분산특성을 고려하면, 칩 광섬유 격자 1과 2, 3의 분산값이 같고, 필터구성상 칩 광섬유 격자 1과 2, 3이 반대방향으로 배열되어 있기 때문에 필터 출력의 분산값은 무시될 수 있다. 압전소자에 인가되는 전압에 따른 격자의 파장이동은 0.025nm/v로 선형적이며, 반사도의 반사 스펙트럼의 모양은 제작시와 동일하다. 인가되는 전압에 따른 반사대역의 장파장으로의 연속적인 변이를 그림 2에 보였다.

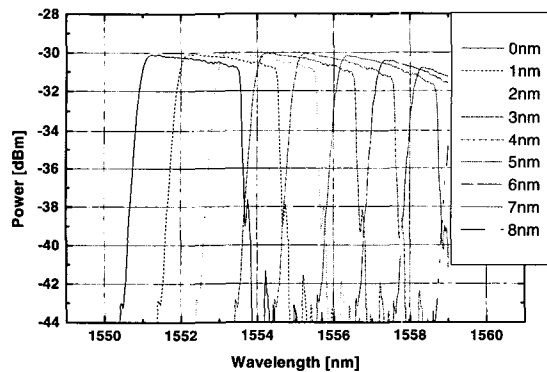


그림 2. 칩 광섬유 격자의 연속적인 반사대역의 이동  
Fig. 2. Consecutive tuning of reflected signal bandwidth.

여기서 장파장으로의 최대 이동가능 범위는 8.5nm이었는데 최대 이동범위를 결정하는 요인은 인장이 가해지는 격자영역의 길이와 압전소자의 가용전압 그리고

격자가 새겨진 길이에 따라 좌우된다. 인장력에 의한 격자의 파손을 보강하거나 격자의 길이를 조절함으로써 이동범위는 확장될 수 있다. 이러한 특성을 갖는 세 개의 동일한 칩 광섬유 격자의 반사 대역을 장파장 뿐만 아니라 단파장 쪽으로도 이동되는 효과를 얻기 위해 전체 이동 대역 중 가운데 부분인 1552.8nm-1556nm를 다중화되는 입력 신호의 대역으로 결정하였다.

여기서 원하는 채널을 선택하기 전에 동일한 칩 광섬유 격자들의 대역은 인장을 가함으로써 사용될 4 채널(1552.8nm-1556nm)의 대역으로 미리 조절되어야 한다. 압전소자에 인가되는 전압을 증가 또는 감소시킴에 의한 격자의 인장과 수축 효과를 이용하여 반사대역을 자유자재로 조절할 수 있다. 이러한 파장대역이 그림 3에 나타나있다.

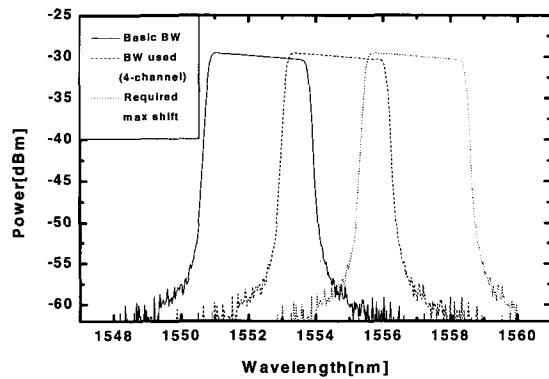


그림 3. 제안된 필터의 세 가지 사용 대역  
Fig. 3. Three different spectra of the proposed filter.

그림에서 왼편의 대역은 제작된 칩 광섬유 격자의 대역을 보여주고, 가운데 대역은 사용되어지는 4채널의 대역, 그리고 오른편의 대역은 네 채널을 선택하기 위해 필요한 최대 파장변이 대역을 나타낸다. 필터의 통과 대역을 결정하기 위해 칩 광섬유 격자 1이 부착된 신장기의 압전소자에 가해지는 전압은 반사대역(출력 대역)을 원하는 대역으로 위치시키기 위해 미리 결정된 값으로 조절된다. 즉, 불필요한 대역을 미리 제거하게 된다. 그리고, 칩 광섬유 격자 1에서 결정된 통과대역에서 다시 원하는 채널을 선택하기 위해 칩 광섬유 격자 2, 3이 부착된 신장기의 압전소자에 각각 전압을 인가함으로써 칩 광섬유 격자 2, 3의 반사 스펙트럼은 조절된다. 이렇게 원하는 출력 신호에 따라 세 개 압전소자의 인가전압을 다르게 하면 네 채널 중 원하는 조합

모두를 얻어낼 수 있다.

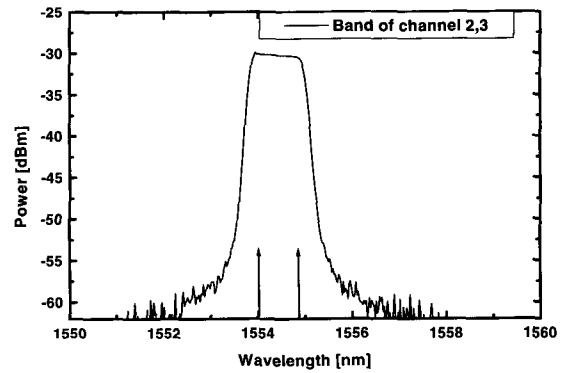
### III. 실험 결과

실험에서, 입력되는 다중화된 네 신호의 파장은 1553.2nm, 1554nm, 1554.8nm, 그리고 1555.6nm (0.8nm 간격) 이다. 동일한 세 칩 광섬유 격자는 각각 연결된 압전소자에 전압을 인가하여 이 대역으로 미리 조절된다. 초기 상태에서, 인가전압의 변화가 없을 시에는 모든 네 채널을 출력 포트에서 얻을 수 있다. 여러 가지 채널의 선택 중에서 한가지 예를 들어 채널 1과 3을 선택한다고 가정하면, 원하지 않는 채널 4를 필터링 하기 위해 칩 광섬유 격자 1은 채널 1부터 3까지만 반사하도록 압전소자에 인가되는 전압을 감소시켜 대역을 조절한다. 이후 칩 광섬유 격자 2에 연결된 압전소자에 인가되는 전압은 마찬가지로 감소시켜서 칩 광섬유 격자 2가 채널 1만을 반사하도록 하고, 칩 광섬유 격자 3에 연결된 압전소자의 인가전압을 증가시켜 칩 광섬유 격자 3이 채널 3만을 반사하도록 조절한다. 결국, 출력포트에서 채널 1과 3을 얻을 수 있다. 유사한 방법으로, 서로 다르게 인가전압을 조절함으로써 파장 다중화된 신호 중에서 임의의 채널을 출력포트에서 얻어낼 수 있다. 실험상에서 얻어진 채널의 스위칭 시간은 1ms 이하였다.

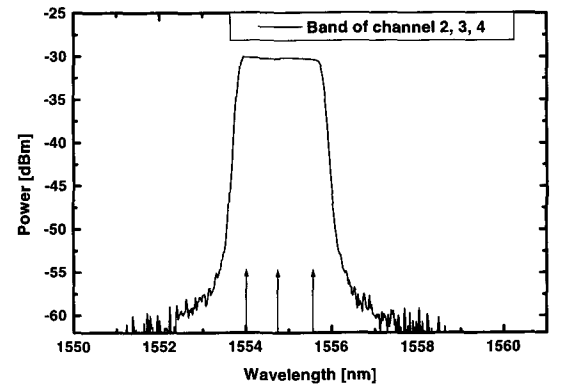
그림 4는 서로 다른 인가 전압에 의한 다양한 통과대역의 선택을 보여주고 있다. 이 실험에서 광대역 입력 신호로 어븀 첨가 광섬유 증폭기 (EDFA)의 증폭된 자기 방출 (ASE)을 사용하였다. 그림 4 (a), (b) 는 인접한 채널 선택들을 보여주고 있다. 그림 4 (a)는 선택된 채널 2과 3의 대역을 보여주고 있다. 그림 (a)의 반사대역 중 왼쪽 경사는 칩 광섬유 격자 1의 왼쪽 경사를 나타내며 오른쪽 경사는 칩 광섬유 격자 2의 오른쪽 경사를 그대로 나타낸다. 또한, 그림 4 (b)는 채널 2, 3 그리고 4의 대역을 나타내는데, 왼쪽 경사는 칩 광섬유 격자 3의 왼쪽 경사를 나타내고 오른쪽 경사는 칩 광섬유 격자 1의 오른쪽 경사를 나타낸다. 이 결과에서 알 수 있듯이, 인접 채널의 선택은 단지 칩 광섬유 1과 2 또는 3 즉, 두 개의 동일한 격자로도 수행될 수 있다. 그리고, 대역의 스펙트럼 모양은 칩 광섬유 격자 1, 2, 그리고 3의 반사 스펙트럼 모양에 의존하게 된다.

그림 4 (c)와 (d)는 서로 떨어져 있는 채널의 선택을 보여주고 있다. 그림 4 (c)는 채널 2와 4의 대역을 보여

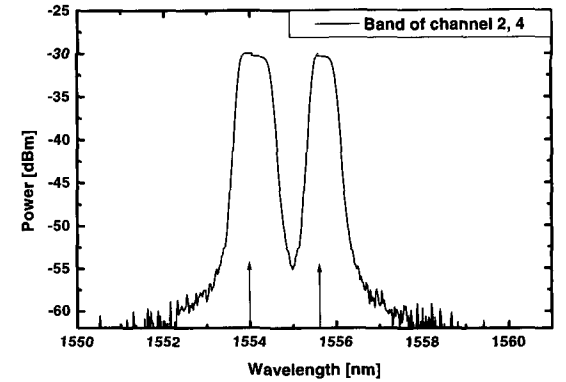
주고, 그림 4 (d)는 채널 1, 2, 그리고 4의 대역을 보여준다. 그림의 반사 대역 중 바깥쪽에 있는 왼쪽과 오른쪽 경사는 칩 광섬유 격자 1의 왼쪽과 오른쪽 경사를 그대로 나타낸다. 그리고 그림의 안쪽에 있는 왼쪽과 오른쪽의 경사는 칩 광섬유 격자 2의 오른쪽, 그리고 칩 광섬유 격자 3의 왼쪽의 경사를 각각 나타낸다. 이러한 방식에서는, 다양한 서로 떨어져 있는 대역의 선택을 위해 세 개의 동일한 칩 광섬유 격자가 요구된다. 그림에서 해당되는 입력 채널의 위치를 화살표로 표시하였다.



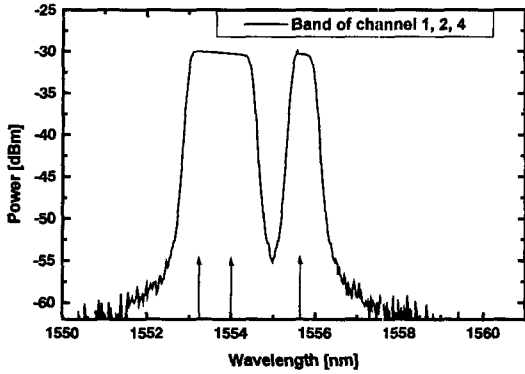
(a)



(b)



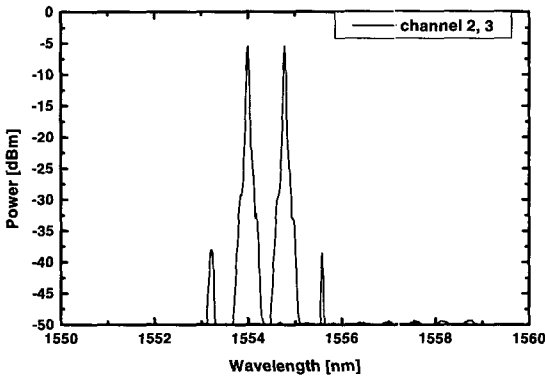
(c)



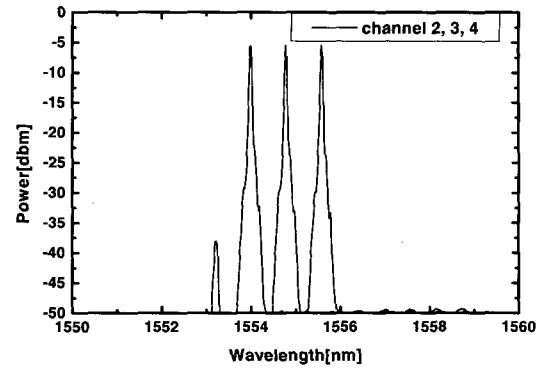
(d)

그림 4. 서로 다른 인가 전압에 따른 통과대역 선택  
Fig. 4. The passband selections by changing the applied voltages.

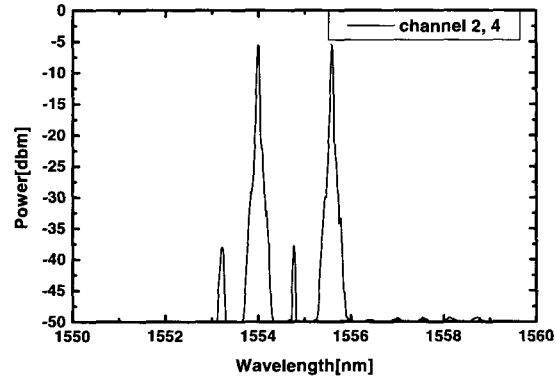
그림 5는 네 개의 레이저 소스를 사용한 서로 다른 인가 전압에 따른 다양한 채널 선택을 그림 4의 대역을 바탕으로 얻어낸 결과이다. 그림 5 (a)는 채널 2와 3의 선택을 보여주고 있으며, 그림 5 (b)는 채널 2, 3, 그리고 4의 선택을 보여주고 있다. 또, 그림 5 (c)는 채널 2와 4의 선택을 보여주며, 그림 5 (d)는 채널 1, 2, 그리고 4의 선택을 보여준다. 표 1은 그림 5에 나타난 결과를 바탕으로 세 개의 칩 광섬유 격자에 의해 각각 반사되는 신호를 자세히 설명해 주고 있다. 다른 중심 파장을 갖는 또 다른 파장 대역에서의 동일한 필터링 과정은 압전소자에 같은 양으로 인가전압을 변화시켜 칩 광섬유 격자 1, 2 그리고 3의 반사 대역을 이동시킴으로써 구현할 수 있다. 다시 말하면, 필터의 튜닝 범위가 이 필터의 수용가능한 파장의 수를 결정한다. 또한, 제작된 칩 광섬유 격자가 좀 더 넓은 반사 대역을 갖는다면, 이 시스템은 더 많은 채널을 수용할 수 있는 시스템으로 확장 될 수 있을 것이다.



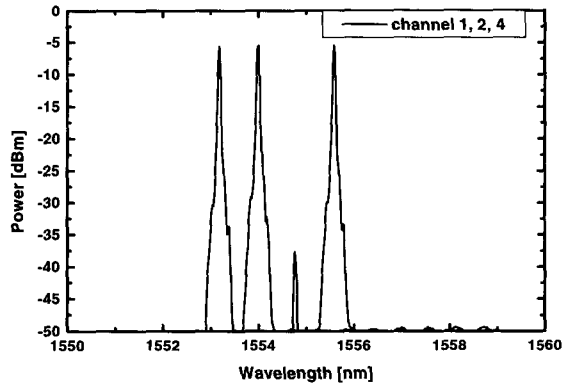
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 5. 서로 다른 인가 전압에 따른 채널 선택  
Fig. 5. The channel selections by the applied voltages to three PZT's.

결과에서 보인 것처럼 제안된 채널-선택형 필터는 대역의 선택도가 높으며, 대역의 모양도 칩 격자의 반사 모양에 의해 근사적으로 사각형에 가깝다. 이 필터는 광섬유 격자를 기반으로 하는 파장 다중화 통신용 소자이기 때문에, 삽입손실이 매우 작고, 작은 편광 의존도를 갖는다. 온도에 의한 영향은  $0.012\text{nm}/^\circ\text{C}$ 이다. 채널에 대한 분리가 매우 정확하고, 출력 포트에서 채널 크로

표 1. 각각의 칩 광섬유 격자에 의해 반사되는 신호 (그림 5)

Table 1. The signal reflected by each CFBG's (Fig. 5).

Fig. 5	CFBG1	CFBG2	CFBG3	Output
(a)	1, 2, 3	2, 3	2, 3	2, 3
(b)	1, 2, 3, 4	2, 3, 4	2, 3, 4	2, 3, 4
(c)	2, 3, 4	2	4	2, 4
(d)	1, 2, 3, 4	1, 2	4	1, 2, 4

스 토크는 -32dB 이하이다. 특히 이러한 대역 통과 필터는 서로 떨어져 있는 분리된 채널을 선택할 수 있고, 중심 파장을 장파장이나 단파장으로 이동시킬 수 있는 확장성도 가지고 있다.

#### IV. 결 론

결론적으로, 통과 대역과 대역폭을 조절할 수 있는 새로운 구조인 임의의 채널을 선택할 수 있는 필터를 제안하고 이를 실험적으로 구현하였다. 또한, 이러한 필터가 대역 선택성과 채널 선택성을 가짐을 보였다. 이러한 성능은 광섬유 격자의 특성에 의존하지만, 좀 더 사각형에 가까운 스펙트럼 모양을 갖는다는 점에서 케브리-페렛 필터보다 우수한 특성을 나타낸다. 채널-선택형 필터는 경우에 따라 임의의 입력신호를 선택할 수 있으며, 조절신호 즉 인가 전압에 따라 수시로 그 통과 채널의 조절이 용이하다. 또한, 원하지 않는 신호를 미리 제거하기 때문에, 채널 크로스 토크 특성이 우수하다 (<-32dB). 이 필터가 대칭구조로 구성된다면, 광 분기/결합 다중화기나 광 크로스-커넥트 시스템으로도 이용될 수 있을 것이다. 그러므로, 이러한 형태의 필터는 파장 다중화나 라우팅, 채널 선택 같은 파장 다중화 통신의 응용으로 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

#### 참 고 문 헌

[1] S. W. Kwon, J. W. Park, H. Yoon, S. H. Lee,

S. B. Lee, and S. S. Choi, "Bandwidth controllable filter using the chirped fiber Bragg gratings," in *Optical Fiber Communication Conference, San Diego, CA, paper ThJ4*, 1999

[2] T. Komukai, M. Nakazawa, "Fabrication of nonlinearly chirped fiber Bragg gratings for higher-order dispersion compensation," in *Optical Fiber Communications Conference*, vol. 2, paper TuM2, 1998.

[3] Y. K. Chen, C. C. Lee, "Fiber Bragg grating-based large nonblocking multiwavelength cross-connects," *J. Lightwave Technol.*, vol. 16, no. 10, pp. 1746~1756, 1998.

[4] S. K. Park, J. W. Park, S. R. Lee, H. Yoon, S. B. Lee, and S. S. Choi, "Multiwavelength bidirectional optical crossconnect using fiber Bragg gratings and polarization beam splitter," *IEEE Photon Technol. Lett.*, vol. 12, no. 7, pp. 888~890, 2000.

[5] D. B. Hunter, R. A. Minasian and P. A. Krug, "Tunable optical transversal filter based on chirped gratings," *Electron Lett.*, vol. 31, no. 25, pp. 2205~2207, 1995.

[6] B. Otegar, J. Capmany, "Fiber optic bandpass filter with subpicometre bandwidth using a fiber grating and two fibre Fabry-Perot filters," *Electron Lett.*, vol. 33, no. 23, pp. 1970~1971, 1997.

[7] A. Iocca, H. G. Limberger, and R. P. Salathe, "Bragg grating fast tunable filter," *Electron Lett.*, vol. 33, no. 25, pp. 2147~2148, 1997.

[8] W. Zhang, J. A. R. Williams, L. A. Everall and I. Bennion, "Fibre optic radio frequency notch filter with linear and continuous tuning by using a chirping fibre grating," *Electron Lett.*, vol. 34, no. 18, pp. 1770~1772, 1998.

## 저 자 소 개



朴世剛(正會員)

1973년 11월생. 1999년 2월 광운대학교 전자공학과 졸업 (공학사). 1999년~2000년 한국과학기술연구원(KIST) 광기술연구센터 학생연구원. 2001년 2월 고려대학교 전자공학과 졸업 (공학석사). 현재 삼성전자(주) 통신연구소 광네트워크 연구그룹 연구원. 주관심분야: 광섬유 격자 소자를 이용한 광통신용 소자, 광전송 시스템



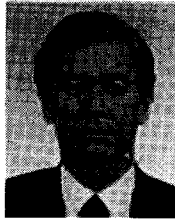
李相培(正會員)

1966년 8월생. 1983년 2월 서강대학교 물리학과 졸업(이학사). 1985년 2월 동대학원 졸업(이학석사). 1993년 8월 동대학원 졸업(이학박사). 1985년 7월~현재 한국과학기술연구원(KIST) 광기술연구센터 센타장(책임연구원). 주관심분야: 특수 광섬유 개발, 광섬유 레이저, 광섬유 격자 소자, 광섬유 격자 소자 센서 등



朴鎭雨(正會員)

1955년 7월생. 1979년 2월 고려대학교 전자공학과 졸업 (공학사). 1980년~1981년 한국통신기술연구소 연구원. 1983년 8월 클렘슨 대학교 전기전자공학과 졸업 (공학석사). 1987년 11월 버지니아 주립 공과대학교 졸업 (공학박사). 1995년 일본 NHK기술연구소 방문연구원. 1989년~현재 고려대학교 전자공학과 교수. 주관심분야: 광통신시스템, 광네트워크, 광인터넷, 광스위칭



崔相三(正會員)

1940년 5월생. 1966년 Univ. of North Carolina 물리학과 졸업(B.S.). 1968년 Michigan State Univ., East Lansing, 물리학과 졸업(M.S.). 1971년 The Ohio State Univ., 물리학과 졸업(Ph.D.). 1971년~1974년 Research Associate at U.V. Photoelectron Analysis Lab., Dept. of Chemistry, Univ. of North Carolina. 1974년 9월~1975년 8월 Visiting Research Scientist at Group des Transitions de Phases, CNRS, Grenoble, France. 1996년 1월~1997년 12월 STEPI 연구기획단장. 1974년~2001년 한국과학기술연구원(KIST) 광기술연구센터 (책임연구원). 2001년 4월~현재 광주 한국광기술원 원장. 주관심분야: 광통신, 레이저 광학, 광도파로, 상온 초전도체, 광전자 Spectroscopy 등