

論文2000-37SD-12-6

# 부피형 홀로그래픽 회절격자에서 수렴파를 이용한 능동 대역 필터 (Dynamic Passband Filter using Converging Wave in Volume Holographic Diffraction Grating)

安俊遠\*, 南奇元\*, 金男\*, 李權然\*\*, 南相植\*\*\*

(Jun-Won An, Ki-Won Nam, Nam Kim, Kwon-Yeon Lee, and Sang-Sig Nam)

## 요 약

고효율의 광굴절 회절격자에서 수렴되는 편독빔을 이용해 필터 대역폭을 용이하게 제어할 수 있는 새로운 구조의 능동 대역 필터를 제안하고, 광학실험을 통해 응용 가능성을 증명한다. 제시된 구조에서 격자의 파장 선택 특성을 이론적으로 예측하였으며, 실험결과 670.1nm의 중심파장을 갖고 0.35~3.3nm 범위의 통과대역 제어가 가능한 필터 구성이 가능함을 보였다.

## Abstract

A new dynamic passband filter enable to control the bandwidth using converging readout beam in photorefractive diffraction grating with high-efficiency is proposed and experimentally demonstrated. In this proposed scheme, the 3dB passband of a volume grating in crystal is theoretically predicted and the experimental results are obtained in consistent with our derivation that the bandwidth is controlled from 0.35nm to 3.3nm at the center wavelength of 670.1nm.

## I. 서 론

최근 광통신 기술의 발전과 더불어 파장 선택 필터(wavelength selective filter)의 역할이 더욱 중요해지고 있으며, 특히 파장분할다중(WDM: wavelength division multiplexing) 광통신 시스템에서 각 채널에 할당하는 대역(bandwidth) 및 채널간격(channel spacing)이 점차 협소해짐에 따라 좁은 선폭, 낮은

누화(cross-talk) 및 간섭(interference), 높은 신호대 잡음비, 고효율 특성을 갖는 광필터에 대한 요구가 증대되고 있다. 이러한 파장선택 소자는 WDM 광통신 시스템의 복조부 앞단에서 일정한 간격을 갖는 채널들을 효과적으로 분리해내는 역다중화(demultiplexing)나 광연결(optical interconnection)을 위한 필수적인 소자로서, 일반적으로 박막 필름형 필터(thin-film filter)<sup>[1]</sup>나 음향광학 필터(acousto-optic filter)<sup>[2]</sup>, 배열 도파로 필터(array waveguide filter)<sup>[3]</sup>, 광섬유 브래그 격자형 필터(fiber Bragg grating filter)<sup>[4]</sup>, 체적 홀로그래픽 필터(volume holographic filter)<sup>[5]</sup>와 같은 방식들이 보고되어왔다.

광통신 시스템에 사용되는 파장선택필터의 특성 중 구성된 광필터의 이용영역을 결정하는 주요한 특성은 중심파장의 가변성(tunability), 통과대역, 가변범위(tuning range), 신호대 잡음비, 효율, 편광 의존성(polarization dependence), 온도 의존성(temperature dependence) 등이 고려되며, 파장선택 필터의 가변성

\* 正會員, 忠北大學校 電氣電子工學部

(School of Electrical and Electronics Eng., Chungbuk National University)

\*\* 正會員, 順天大學校 電子工學科

(Dept. of Electrical Eng., Suncheon National University)

\*\*\* 正會員, 韓國電子通信研究院

(ETRI)

接受日字: 2000年 7月19日, 수정완료일: 2000年11月22日

은 일반적으로 중심파장을 조절하는 능력과 대역폭 조절 능력으로 평가된다. 이러한 두가지 가변성을 모두 소유할 경우 넓은 대역의 광신호와 좁은 대역의 광신호를 선택적으로 필터링하거나 여러 채널을 원하는 채널로 라우팅(routing)하는데 이용 가능하다. 가장 최근에는 광굴절 결정(photorefractive crystal) 내에 형성된 부피형 회절격자를 이용한 파장선택 필터가 연구되고 있는데, 이 방식은 제작 방법이 간단하고, 전광학적 방식이며 파장 가변범위가 넓고 고효율 및 협대역 특성을 갖고있기 때문에 기존에 이용되어 온 방식의 한계를 극복할 수 있는 구조로서 고려되고 있다<sup>[5,6]</sup>. 광굴절 필터에서 선택되는 중심파장의 제어는 일반적으로 기록빔 및 판독빔의 입사각을 조절해 구현 가능하며, 3dB 통과대역은 기록빔의 입사각이나 결정내부에서 결합되는 길이를 조절함으로써 제어가 가능해진다. 이중 필터의 통과대역을 제어하기 위한 방식으로서 현재까지 보고된 바에 의하면, 위에서 서술한 바와 같이 기록빔의 입사각이나 결합길이 등을 변화시켜 새로운 홀로그래픽 부피격자를 광굴절 결정 내에 기록시켜야 하는 과정이 반드시 요구되는데<sup>[7]</sup>, 이는 실질적인 광통신 시스템에 적용시 응용범위를 축소시켜 전반적인 시스템 성능저하의 원인으로 작용할 수 있다.

본 논문에서는 광굴절 단일 격자 내에 입사되는 판독빔(readout beam)을 수렴파(converging wave)로 변형한 후 진폭 마스크(amplitude mask)를 이용해 그 폭을 조절했을 때 변화되는 필터 특성을 이론적으로 분석하였으며, 이러한 특성을 이용한 새로운 구조의 능동 대역 필터를 제안하고, 실험결과 제시를 통해 응용 가능성을 입증한다. 필터 대역의 능동적 제어를 위해 판독빔은 집속된 형태로 격자에 입사되며, 통과 대역 제어는 진폭 마스크를 통한 빔 폭 제어에 의해 이루어진다. 본 소자의 경우 대역폭 가변 특성 이외에도 선택되는 파장 영역에서 일정한 회절특성을 갖으며, 이러한 특성은 광대역 파장선택 필터로 적용시 안정적 소자 구현을 가능하게 할 뿐 아니라 일정한 파장 영역에서 이득을 평탄화하기 위한 소자에도 적용 가능하다. 성능 테스트를 위한 매질로는 Fe가 0.015Wt.% 도핑된 LiNbO<sub>3</sub> 결정을 이용하였으며, 결정면에 대해 45° 방향으로 C축을 갖는다. 실험결과 0.35nm~3.3nm 사이의 대역폭 제어가 가능함을 보였으며, 이론적인 해석과 비교·분석하였다.

## II. 능동 대역 필터 응용 원리

본 절에서는 광굴절 결정에 2광파 결합(TWM: two-wave mixing)에 의해 형성되는 홀로그래픽 회절격자를 WDM 광통신용 파장선택필터로 적용할 수 있는 원리 및 특성 결정 요소에 대해 논하고 이를 능동 대역 필터로 응용할 수 있는 이론적 해석을 제시한다.

일반적으로 파장이  $\lambda_w$  이고  $\theta_w$  의 외부 입사 반각(external half-crossing angle)을 갖는 두 기록빔(recording beam)에 의해 광굴절 결정 내에 형성된 홀로그래픽 부피격자는<sup>[8]</sup>

$$A = \frac{\lambda_w}{2 \cdot \sin \theta_w} \quad (1)$$

의 간격을 갖는다. 이러한 회절격자에 다수의 파장을 갖는 빔이  $\lambda_c$  에 대한 브래그 각(Bragg angle)  $\theta_B$  로 입사되면, 브래그 조건을 만족하는 파장  $\lambda_c$  만을 회절시키고, 이외의 파장은 빔의 진행방향으로 투과되는 특성을 이용해 파장선택필터로의 적용이 이루어진다. 이때, 손실이 없는 투과형 위상 홀로그래픽 회절효율은 Kogelnik의 결합 파동 이론에(coupled-wave theory)에 의해<sup>[9]</sup>

$$\eta = \frac{\sin^2(v^2 + \xi^2)^{1/2}}{1 + \xi^2/v^2} \quad (2)$$

으로 표현되며, 식 (2)에서 파라미터  $v$  와  $\xi$  는 각각

$$v = \frac{\pi \cdot \Delta n \cdot l}{\lambda_w \cdot (C_R \cdot C_S)^{1/2}} \quad (3)$$

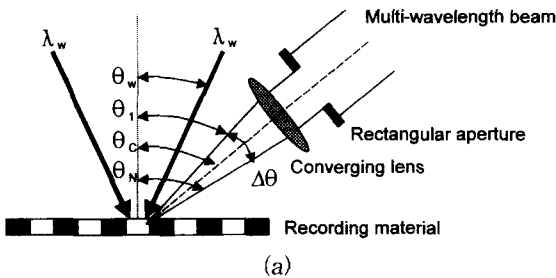
$$\xi = \frac{l \cdot \vartheta}{2 \cdot C_S} \quad (4)$$

이고,  $C_R = \cos \theta_w$ ,  $C_S = \cos \theta_w - K/\beta \cos \varphi$ ,  $K = 2\pi/\Lambda$ ,  $\beta = 2\pi n/\lambda_w$ , 그리고,  $\vartheta = K \cos(\varphi - \theta_w) - (K^2/4\pi n)\lambda_w$  이다. 식에서,  $C_R$  과  $C_S$  는 기울기 요소(obliquity factor),  $l$  은 결합길이(interaction length),  $K$  는 격자의 파수벡터(wave vector),  $\varphi$  는 파수벡터와 결정 C-축 사이의 각도,  $\Delta n$  은 공간 굴절률 변조 진폭(amplitude of the spatial modulation of the refractive index),  $n$  은 매질의 평균 굴절률(average refractive index),  $\vartheta$  는 브래그 각에서 벗어난 정도

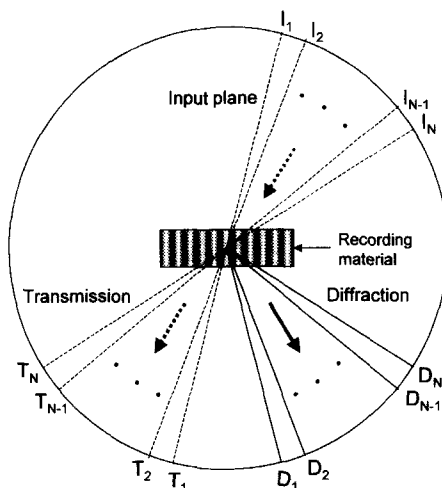
(Bragg mismatching)를 나타낸다.

식 (2)는 기록빔 및 판독빔이 모두 평행광(plane wave)인 경우에 대해 해석된 것이며, 일반적으로 기록빔의 입사각이 넓거나 결합길이가 클수록 더욱 좁은 필터 통과대역을 얻을 수 있음이 보고된 바 있다<sup>[7]</sup>.

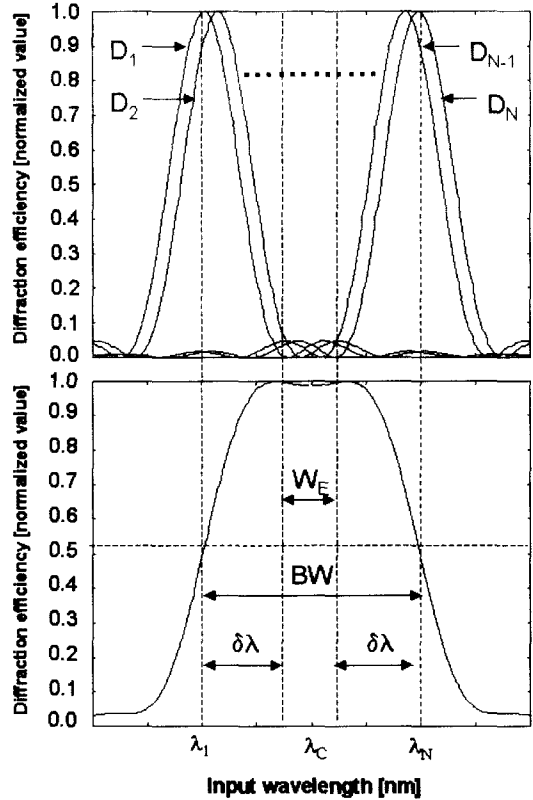
이와 같은 광굴절 부피격자에 그림 1(a)와 같이 판독빔이 집속되어 입사되는 경우에는 식 (2)에서 표현한 파장선택 이론으로는 해석할 수 없고, 새로운 해석을 필요로 한다. 그림에서  $\theta_1$ 은  $\lambda_1$ 에 대한 브래그 각이고,  $\theta_C$ 와  $\theta_N$ 은  $\lambda_C$ 와  $\lambda_N$ 에 대한 브래그 각이라고 가정한다. 가정된 세 파장은  $\lambda_1 < \lambda_C < \lambda_N$ 의 관계를 갖는다. 판독빔은 격자에 입사되기 전 렌즈 조절에 의해 평행광으로 변형되며, 이후 빔 폭 조절을 위한 사각형태의 마스크(rectangular aperture)와 집속렌즈(converging lens)를 통해 격자에 입사된다. 이 경우 격자에 의해 회절을 경험하게 되는 빔은 마스크 폭을  $d$ , 렌즈 초점거리를  $f$ 라고 할 때,  $\Delta\theta = 2 \cdot \tan^{-1}(\frac{d}{2 \cdot f})$ 의 각도범위를 갖고 격자에 입사된다.



(a)



(b)



(c)

그림 1. 광굴절 능동 대역 필터의 원리 및 예측되는 주파수 응답 (a) 능동 대역 필터의 구조 (b) 판독빔의 입사 및 회절 형태 (c) 예측되는 필터의 주파수 응답

Fig. 1. Basic principle and expected spectral response of the photorefractive dynamic response passband filter. (a) Schematic diagram of the dynamic passband filter (b) Input and diffraction configuration of the readout beam (c) Expected spectral response of the filter

이러한 입사구조는 그림 1(b)에 나타낸 바와 같이  $I_1 \sim I_N$  범위에 있는  $N$ 개의 평행광이 격자에 동시에 입사되는 형태로 해석할 수 있다. 이때, 각각의 입사각에 대한 브래그 조건을 만족하는 파장은  $D_1 \sim D_N$ 으로 회절되고, 각 방향에서 브래그 조건을 만족하지 않는 빔들은  $T_1 \sim T_N$  방향으로 투과된다. 따라서, 회절되는 방향에서 검출되는 빔은  $I_1 \sim I_N$ 의 입사각에 대한 브래그 조건을 만족하는 파장  $\lambda_1 \sim \lambda_N$ 을 모두 포함하게 되며, 회절 평면에서 검출되는 빔은 모든 파장성분들의 합(summation)으로 검출된다.

즉,  $I_1$  방향으로 입사되는 빔은 그림 1(c)의 위쪽 그림에서  $D_1$ 으로 표시한 것처럼  $\lambda_1$ 의 중심파장과  $\delta\lambda$ 의 파장 선택성을 갖는 회절 분포를 나타내며,  $I_N$  방향의 빔은  $\lambda_N$ 의 중심파장을 갖는다. 또한, 그 사이에는  $N$ 개의 회절성분이 각기 독립적인 형태로 존재한다. 결과적으로 회절평면에서 검출되는 빔의 파장 분포는 그림 1(c)의 위쪽 그림에서 나타난  $N$ 개 회절성분의 진폭 합으로 표현되며, 이때 얻을 수 있는 필터의 주파수 응답은 그림 1(c)의 아래쪽 그림과 같이 나타나게됨을 예측할 수 있다. 그림에서 필터의 3dB 통과대역은  $BW$ 로 나타내었으며, " $\lambda_N - \lambda_1$ "에 해당한다. 또한, 그림에서 보면 선택되는 파장영역의 일부분에서 균일한 회절세기를 보이는데 이를 균일 파장 영역( $W_E$ : equalization region)이라 정의한다.

그림 1(a)와 같은 구조가 파장 선택 소자로 적용될 경우 주파수 특성은 일반적인 홀로그래픽 부피격자에서 해석되는 결과와 전혀 다른 형태를 나타내며, 그림 1과 식 (1)로부터 필터의 3dB 통과대역  $BW$ 는

$$BW = \frac{\lambda_w}{\sin \theta_w} \cdot [\sin \theta_N - \sin \theta_1] \quad (5)$$

이다. 또한, 균일 파장 영역  $W_E$ 는

$$W_E = \frac{\lambda_w}{\sin \theta_w} \cdot [\sin \theta_N - \sin \theta_1] - 2 \cdot \delta\lambda = BW - 2 \cdot \delta\lambda \quad (6)$$

이고, 구성된 필터의 중심파장  $\lambda_C$ 는

$$\lambda_C = \frac{\lambda_1 + \lambda_N}{2} = \frac{\lambda_w}{2 \cdot \sin \theta_w} \cdot [\sin \theta_1 + \sin \theta_N] \quad (7)$$

로 표현할 수 있다.

따라서, 그림 1(a)와 같이 집속되는 편광빔을 응용해 파장선택 소자로 적용할 경우 3dB 통과대역은 격자에 입사되는 각도 범위  $\Delta\theta$ 에 의해 결정되며, 이는 집속렌즈의 초점거리와 렌즈 앞단에 이용된 진폭 마스크의 폭에 의해 좌우된다. 즉, 렌즈의 초점거리가 길고 진폭 마스크의 폭이 좁을수록  $\Delta\theta$ 는 작아지고 좁은 선풍을 갖는 필터 구성이 가능해진다. 제시된 구조에서 필터의 통과대역 변화 특성 이외에 또다른 특성 중 하나는 선택되는 파장 범위에서 일정한 회절세기를 갖는 것이며, 식 (6)에 나타낸바와 같이 초점거리가 짧고, 마스크 폭이 넓을수록 큰 값을 갖는다. 또한, 고정

된 편광빔 입사구조에서는 식 (2)에 의해 결정되는 결정 내에 기록된 부피형 회절격자의 파장 선택성이 좁을수록 큰 값을 갖게되고, 필터의 중심파장은 일반적인 광굴절 필터의 경우와 마찬가지로  $\theta_C$ 를 변화시킴으로써 자유로이 제어할 수 있는 특성을 갖는다.

결정 내에 기록된 하나의 회절격자를 이용해 필터의 3dB 통과대역을 쉽게 제어할 수 있는 파장선택 소자의 적용은 본 논문에서 처음으로 제시된 것이며, 이러한 응용은 광통신 시스템에서 예측되는 채널간격의 변화에 적극적으로 대처할 수 있는 방안을 제공할 수 있을 것으로 생각된다. 또한, 선택되는 파장 영역에서 일정한 효율을 갖는 필터 구성을 이룸으로써 안정적인 광전송 시스템 구성을 가능하게 할 뿐 아니라 중심파장의 제어가 용이한 시스템 구성을 가능하게 한다.

### III. 실험결과 및 분석

본 절에서는 2절에서 논한 광굴절 능동 대역 필터의 광학적 구현을 위해 일반적으로 해석되고 적용되어 온 경우, 즉 기록빔 및 편광빔이 모두 평행광의 조건을 유지하고 있을 때 필터 특성을 테스트하고, 그림 1에서 보인 구조를 이용해 파장 선택 특성이 변화되는 결과와의 비교·분석을 통해 위에서 해석된 이론의 타당성과 WDM 광통신 시스템으로의 적용 가능성을 증명한다.

그림 2는 능동 대역 필터의 광학 실험을 위한 실험 구성도이다. 광굴절 결정 내에 홀로그래픽 부피격자를 형성시키기 위한 광원으로는 632.8nm의 중심파장을 갖는 헬륨-네온 레이저(He-Ne laser)를 이용하였으며, 빔 분할기(beam splitter)에 의해 나뉘어진 두 빔이 90°의 입사각으로 결정에 조사된다. 두 빔의 세기는 각각  $IS = 8.9\text{mW/cm}^2$ ,  $IR = 9.25\text{mW/cm}^2$ 이고, 1770초 동안 기록시 84.4%의 회절효율을 갖고 포화되었다. 실험에 사용된 매질은 Fe 이온이 0.015Wt.% 도핑된  $\text{LiNbO}_3$  결정으로  $10 \times 10 \times 10\text{mm}$ 의 크기를 갖고, 결정 표면에 대해 45° 방향으로 C-축을 갖는다.  $\text{LiNbO}_3$  광굴절 결정의 경우 감광도가 좋은 파장 영역에서 수직편광(extra-ordinary polarization) 상태의 빔에 의한 홀로그래픽 회절격자 기록시 일반적으로 빔팬닝(beam fanning) 현상이 발생하며, 이는 회절되는 빔의 패턴을 변형시킨다<sup>[10]</sup>. 이러한 현상은 회절광학에서 잡음(noise) 성분으로 간주

되기 때문에  $\lambda/2$  waveplate 를 이용해 수평편광 (ordinary polarization) 상태의 빔을 이용하였다. 기록된 회절격자는 전기장의 분포로서 결정 내에 존재하기 때문에 두 기록빔 중 한 빔에 의한 지속적인 조사나 기타 관독빔의 조사에 의해 소거된다<sup>[11]</sup>. 이는 결과적인 광필터의 회절효율 감소의 원인이 되므로, 이를 방지하기 위해 180℃ 의 온도에서 30분간 유지시킨 후 상온에서 현상(developing)하였다. 이러한 회절격자를 이용한 능동 대역 필터 특성을 조사하기 위한 관독빔으로는 660 ~ 680nm 범위(0.01 nm wavelength resolution)에서 파장 변환되는 벌크(bulk) 형태의 가변광원을 이용하였고, 필터 특성을 측정하기 위해 입사빔 파장을 변화시키면서 각 파장에 대한 회절 세기를 관찰하였다. 관독빔은 렌즈 조합에 의해 균일한 빔 분포를 갖는 평행광으로 변환된 이후 좌우 폭의 조절이 가능한 진폭 마스크와 집속 렌즈를 통과해 격자로 입사된다. 670nm의 중심파장을 갖도록 하기 위해 관독빔의 입사각  $\theta_c$  는 식 (1)로부터 계산되며, 48.47° 로 입사된다. 진폭 마스크는 1~5mm 범위에서 1mm 간격을 갖는 다섯 경우에 대해 테스트하였으며, 집속렌즈의 초점거리는 40mm 이다. 또한, 격자에 입사되는 관독빔의 파장을 조사하기 위해 HP사 700041 모델의 광주파수 분석기(OSA : optical spectrum analyzer)를 이용하였다.

결정 안에 기록된 홀로그래픽 부피격자에서 일반적으로 적용되는 회절이론에 의한 파장 선택성을 조사하기 위해 그림 2의 실험 구성도에서 관독빔을 평행광으로 입사시킨 후 특성을 조사하였다. 이 경우 격자의 파장 선택성은 식 (2)~(4)로부터 예측할 수 있으며, 본 실험 조건( $\theta_w=45^\circ$ ,  $\lambda_w=632.8\text{nm}$ ,  $l=8\text{mm}$ ,  $n=2.211$ ,  $\Gamma=4.60517\text{cm}^{-1}$ ,  $\Delta n=2.9 \times 10^{-5}$ )에서 약 0.16 nm의 파장선택성  $\delta\lambda$  가 예측된다. 그림 3은 이러한 조건에서 얻어진 광굴절 회절격자의 주파수 응답 특성에 대한 이론적 예측값과 실험값을 보인 것이다. 그림에서 이론값을 실선으로 표현하였으며, 실험값은 원으로 나타내었다. 그림에서 보듯이 실험 결과는 약 0.165nm의 파장선택 특성으로 이론적인 기대값과 거의 일치함을 볼 수 있으며, 미세한 오차는 입사되는 파장에 따른 굴절각의 변화, 결정 표면에서의 반사 및 흡수 차에 의한 결과로 생각된다. 따라서, 능동대역 필터로 적용할 경우 식 (5), (6)에서 보듯이 필터의 통

과대역과 균일 파장영역은 " $BW=WE+2 \cdot \delta\lambda = WE+0.33\text{nm}$ "의 관계를 갖을 것으로 예측할 수 있다.

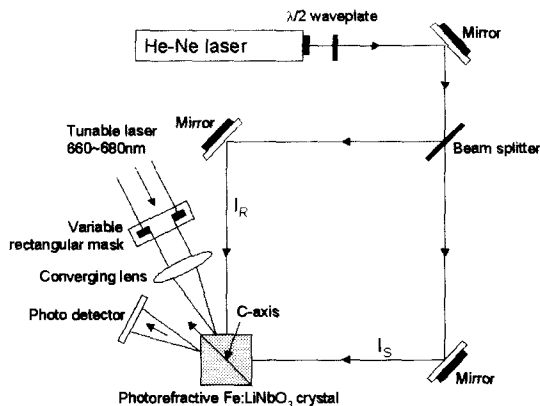


그림 2. 능동 대역 필터의 실험 구성도  
Fig. 2. Experimental setup for dynamic bandwidth filter.

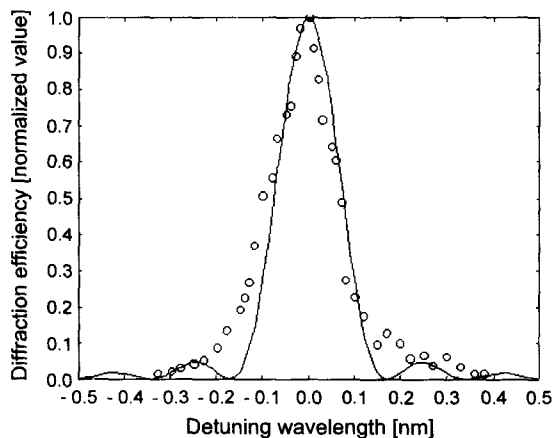


그림 3. 일반적인 경우 광굴절 부피격자의 파장선택성  
Fig. 3. Wavelength selectivity of the photorefractive volume grating in general case.

그림 4는 그림 2의 실험 구성도에서 얻은 실험 결과로서 그림 4(a)는 다섯 개의 서로 다른 진폭 마스크에 대한 3dB 통과대역  $BW$  및 균일 파장 영역  $W_E$ 에 대한 이론값과 실험값을 보인 것이다. 3dB 통과대역에 대한 이론적 계산은 식 (5)로부터 얻어져 그림의 실선으로 표현하였고, 실험값은 원으로 나타내었다. 또한, 균일 파장 영역  $W_E$ 는  $\delta\lambda=0.16\text{nm}$ 일 때, 식 (6)으로부터 계산될 수 있으며, 예측값과 실험 결과는 각각 점선과 세모로 표시하였다. 그림의 결과에서 보듯이 하나의 광굴절 회절격자에서 서로 다른 다섯 개의

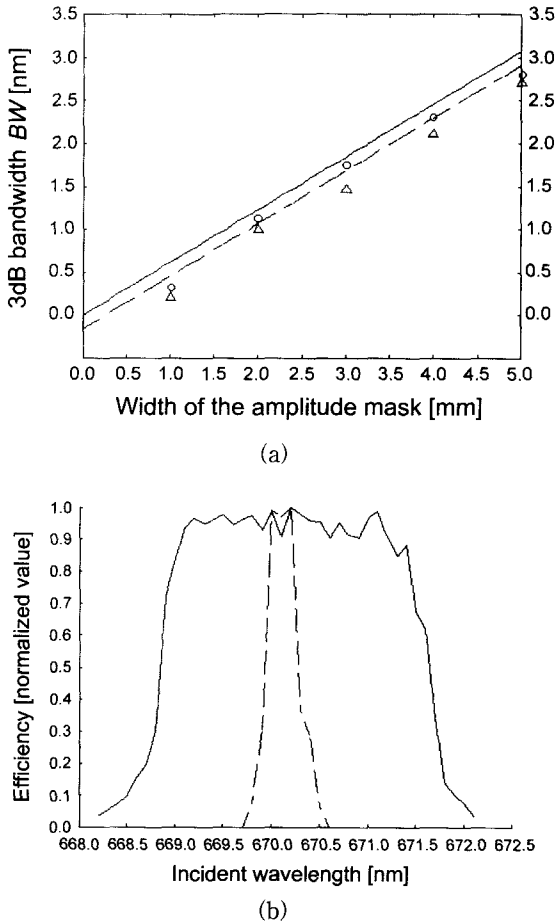


그림 4. 능동 대역 파장 선택 필터의 실험 결과 (a) 진폭 마스크 변화에 따른 3dB 통과대역 및 균일 회절 영역 (b) 서로 다른 두 진폭 마스크에 대한 주파수 응답

Fig. 4. Experimental results of the dynamic bandwidth wavelength selective filter. (a) 3dB bandwidth and equalization region as the amplitude mask varies (b) Spectral response due to the different amplitude masks

진폭 마스크에 의한 3dB 통과대역은 0.35~3.3nm 범위에서 선형적으로 변화되었으며, 예측된 필터 특성과 거의 일치한다. 이러한 필터 선평의 제어는 단순히 격자에 조사되는 판독빔의 폭을 조절함으로써 얻은 것이며, 변화시킬 수 있는 통과대역의 범위는 진폭 마스크와 집속렌즈의 초점거리를 변화시켜 확장 가능하다. 이는 WDM 광통신 시스템에서 요구하는 필터 폭이 변화됨에 따른 파장선택 필터의 교환 과정을 생략시킬 수 있어 시스템 요구조건 변동에 능동적인 대처 능력

을 제공할 뿐 아니라 그 응용 범위 및 성능을 확장시킬 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 균일한 회절세기를 갖는 파장 영역은 0.2~2.7nm 범위에서 변화되며, 식 (6)으로부터 예측된 값에 비해 거의 차이가 없는 결과를 볼 수 있다. 이는 임의의 파장 대역을 선택하는 광 필터로 적용시 필터 특성을 우수하게 할 뿐 아니라 안정적인 파장 필터링을 제공할 수 있을 것으로 생각된다. 이러한 균일 파장 영역은 위에서 서술한 3dB 대역 특성을 제어하는 방식과 동일한 형식으로 제어가 가능하며, 진폭 마스크의 폭 및 렌즈 초점거리가 고정되어 있을 경우에는 식 (2)로부터 예측할 수 있는 격자 자체의 파장 선평성  $\delta\lambda$ 가 작을수록 큰 값을 갖는다. 그림 4(b)는 진폭 마스크의 폭이 각각 1mm, 5mm 일 때 얻은 필터의 주파수 응답 곡선이다. 그림에서 실선은 5mm의 빔 폭으로부터 얻은 것이며, 1mm에 대한 실험 결과는 점선으로 나타내었다. 그림에서 보듯이 동일한 회절격자로부터 빔 폭의 조절을 통해 효과적인 3dB 통과대역 제어가 이루어짐을 볼 수 있으며, 선평되는 영역에서 균일한 세기를 갖는다. 또한, 필터의 중심파장은 670.1nm로 위에서 설계된 조건 670nm와 일치하는 결과이며, 이는 결정을 회전시켜 판독빔이 입사되는 각도를 변화시킴으로써 제어가 가능하다.

즉, 그림 1(a)와 같이 새로이 제시된 광 필터 구조를 이용할 경우 기존에 적용되어 온 중심파장에 대한 가변성 뿐 아니라 선평되는 파장 대역을 능동적으로 변화시킬 수 있는 능력을 갖는 소자 구현이 가능할 것으로 예측된다. 또한, 선평되는 파장 영역에서 균일한 회절효율을 갖기 때문에 안정적인 시스템 구성이 가능해져, 광통신 시스템에 적용시 기존 방식에 비해 응용 범위를 쉽게 확장할 수 있을 것이다.

#### IV. 결 론

광굴절  $\text{LiNbO}_3$  결정에 형성된 부피형 회절격자를 이용한 파장선평 필터로의 응용에서 집중되는 판독빔의 폭을 제어해 3dB 통과대역을 효과적으로 제어할 수 있는 능동 대역 필터로의 적용을 제안하고, 이론적 분석 및 실험 결과를 제시하였다. 실험결과 0.35~3.3nm 범위에서 3dB 통과대역 제어가 가능함을 보였으며, 이론적 예측값과 비교·분석하였다. 제시된 필터의 주파수 응답은 선평되는 파장 영역에서 균일한 회

질 세기를 갖기 때문에 WDM 광통신 시스템으로 적용시 안정적인 파장 선택 특성을 제공할 수 있을 뿐 아니라 입의의 파장 영역에서 이득 안정화를 위한 소자로도 적용 가능하다. 이러한 특성들은 주로 판독빔 집속시 사용하는 렌즈의 초점거리, 진폭 마스크의 넓이 및 결정 내에 형성된 격자의 파장 선택성에 의해 결정된다. 즉, 렌즈의 초점거리가 짧고, 진폭 마스크가 넓을수록 필터 특성의 가변범위가 선형적으로 확장될 수 있으며, 격자의 파장 선택성이 좁을수록 동일한 조건에서 균일한 회절세기를 갖는 영역을 확장시킬 수 있다. 이러한 필터의 구성은 점차 채널 간격이 협소화되고 있는 WDM 광통신 시스템에 능동적으로 대처할 수 있는 방안을 제시할 뿐 아니라 안정적 시스템 구성에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

### 참 고 문 헌

- [1] D. Shin, S. Tibuleac, T. A. Maldonado, and R. Magnusson, "Thin-film optical filters with diffractive elements and waveguide," *Opt. Eng.*, Vol. 39, No. 9, pp. 2634-2646, 1998.
- [2] W. Lin, "A new multi/demultiplexer focused on dual-channel spacing operation," *Optics & Photonics News*, pp. 45-47, 1996.
- [3] D. Sadot and E. Boimovich, "Tunable optical filter for dense WDM networks," *IEEE Comm. Magazine*, pp. 50-55, 1998.
- [4] T. Erdogan and V. Mizrahi, "Fiber grating technology grows," *IEEE LEOS Newsletter*, pp. 14-17, 1993.
- [5] V. Leyva, G. A. Rakuljic, and B. OConner, "Narrow bandwidth volume holographic optical filter operating at the Kr transition at 1547.82nm," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 65, No. 9, pp. 1079-1081, 1994.
- [6] S. Breer and K. Buse, "Wavelength demultiplexing with volume phase holograms in photorefractive lithium niobate," *Appl. Phys. B*, Vol. 66, pp. 339-345, 1998.
- [7] 안준원, 김남, 이권연, "홀로그래픽 부피 격자를 이용한 1×16 DMUX," *대한전자공학회논문지*, 제37권 제5호, pp. 31-38, 2000
- [8] R. T. B. James, C. Wah, K. Lizuka, and H. Shimotahira, "Optically tunable optical filter," *Appl. Opt.*, Vol. 34, No. 35, pp. 8230-8234, 1995.
- [9] P. Zhu, X. Liu, and Z. Xu, "Color holography using the angular selectivity of volume recording media," *Appl. Opt.*, Vol. 34, No. 5, pp. 842-845, 1995.
- [10] 안준원, 최연숙, 김남, 이권연, 강석열, "Fe-LiNbO<sub>3</sub> 결정에서 광굴절 격자의 비균일성에 의한 광학적 잡음의 영향 분석," *대한전자공학회논문지*, 제35권 제3호, pp.303-309, 1998
- [11] D. L. Staebler, W. J. Burke, W. Phillips, and J. J. Amodei, "Multiple storage and erasure of fixed holograms in Fe-doped LiNbO<sub>3</sub>," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 26, No. 4, pp. 182-184, 1975.

저 자 소개

安俊遠(正會員) 第35卷 D編 第3號 參照



南奇元(正會員)

1999년 2월 대전산업대학교 정보통신공학과 졸업(공학사). 1999년 3월~현재 충북대학교 정보통신공학과 석사과정. 관심분야는 optical filter 및 demultiplexer

金男(正會員) 第35卷 A編 第3號 參照

李權然(正會員) 第33卷 D編 第5號 參照



南相植(正會員)

1981년 2월 단국대학교 전자공학과(학사). 1983년 2월 단국대학교 전자공학과(석사). 1999년 2월 단국대학교 전자공학과(박사). 1985년 10월~현재 한국전자통신연구원 교환

전송기술연구소 교환기술연구부 책임연구원/팀장. 관심 분야는 ATM 기술, 차세대 교환기술, Signal Integrity