

# 창 제어 기법을 이용한 광굴절 파장 선택 필터의 가변 속도 개선

정희원 안 준 원\*, 김 정 회\*, 김 남\*, 이 권 연\*\*, 이 명 현\*\*\*

## Tuning Speed Enhancement of Photorefractive Wavelength Selective Filter using Window Control Method

Jun-Won An\*, Jung-Hoi Kim\*, Nam Kim\*, Kwon-Yeon Lee\*\*,  
Myung-Hyun Lee\*\*\* *Regular Members*

### 요 약

광굴절 결정을 이용한 파장 선택 필터에서 고속의 가변성을 부여하기 위한 새로운 방식의 메커니즘을 제시하고, 광학적으로 구현하였다. 빠른 가변 속도 부여를 위한 창 제어 기법은 실시간 광학소자인 공간 광학 변조기와 볼록 렌즈를 이용해 입사각의 차이를 거리 차로 보상해 주는 구조이다. 이 구조를 적용할 경우 광굴절 필터의 모든 이 점을 소유할 뿐 아니라, 가변속도를 전자적인 속도로 향상시킬 수 있다. 실험결과 제시된 구조의 광학적 타당성을 증명하였으며, 필터의 특성이 이론값과 거의 일치하는 결과를 얻었다.

### ABSTRACT

In this paper, the new mechanism to enhance the tuning speed in photorefractive wavelength selective filter is proposed and optically demonstrated. Giving the high tuning speed, window control method uses spatial light modulator and positive lens and compensates the length difference for incident angle difference. It is obtained all the benefits of photorefractive filter and enhanced the tuning speed as electronics. From the experimental results, we show the rightness of proposed mechanism and properties of filter are coincide with theoretical values.

### I. 서 론

광전송, 광교환 및 광소자 등과 같은 광통신 관련 기술은 차세대 초고속 정보 통신망의 기반이 되는 광대역 종합 정보 통신망(B-ISDN)의 하부 구조로 진화되고 있으며, 고속·광대역 멀티미디어 서비스를 실현하기 위한 필수 기반 기술로 인식되고 있다. B-ISDN 적용을 위한 다중화 방식 중 시분할 방식은 전자소자 및 광소자의 스위칭 속도, 색 분산과 같은 제한 때문에 10Gbps급 이상의 광전송 시스템에 적용하는데 어려울 것으로 예측되고 있으며, 이러한 제한을 극복하기 위

한 다중화 방식으로는 파장 분할 다중화(WDM: Wavelength Division Multiplexing) 방식이 고려되고 있다. WDM 시스템의 상용화를 위한 핵심기술로는 파장 가변 범위가 충분히 넓고, 발진 파장이 장시간 동안 안정화된 파장 가변성 광원과 광대역 광 증폭기 및 광 결합기 등과 같은 광소자의 개발이 요구된다. 특히, 수신단에서는 다중화 되어 수신되는 신호 중 원하는 파장의 신호만을 분리·선택해내기 위한 파장 선택 필터의 구현이 필수적이다. 일반적으로 고정형 파장 선택 소자의 경우 프리즘(prism), 회절격자(diffraction grating), 간섭 필터(interference filter), 파이버 방향성 결합기(fiber

\* 충북대학교 공과대학 정보통신공학과(namkim@cbucc.chungbuk.ac.kr) 정희원

\*\* 순천대학교 공과대학 전자공학과(kwonyeon@oip.sunchon.ac.kr) 정희원, \*\*\* 전자통신연구원 광교환연구실(mhl@etri.re.kr) 정희원  
논문번호 : 98305-0720, 접수일자 : 1998년 7월 20일

directional coupler) 등을 이용하는 형태와 광 도파로에 마이크로 그레이팅 필터와 포토 다이오드 어레이를 결합한 집적 광 도파로(optical integrated waveguide) 구조등이 실현되고 있다. 그러나, 기본적으로 삽입손실, 채널수, 스펙트럼 대역폭, 혼선(crosstalk), 파장 및 편광 민감도 등과 같은 고유한 문제점을 안고 있으며, 최근에는 매우 작은 삽입손실(inserting loss)과 높은 파장 선택도를 갖는 광섬유 브래그 격자(fiber Bragg grating)형 필터도 연구되고 있다.<sup>[1][2]</sup>

가변 파장 선택 필터의 경우 패브라-페럿 필터(FPF : fabry-perot filter), 음향 광학 필터(AOF: acousto-optic filter), 전기 광학 필터(EOF: electro-optic filter), 도파로 간섭계 및 방향성 결합기 필터와 같은 구조 등이 실현되고 있으며, 최근에는 광굴절(PR: photorefractive) 결정에서 형성된 홀로그래픽 부피격자의 파장 선택성 및 고효율 특성을 적용한 PR 필터 등이 연구되고 있다.<sup>[3][7]</sup> 특히, PR 필터의 경우 bulk 형 PR 매질(LiNbO<sub>3</sub>, BaTiO<sub>3</sub>, SBN ...)에 의해 쉽게 구현이 가능하고, 소형화, 높은 S/N 비, 수십년 이상의 life-time, 협대역 특성, 높은 회절효율(반사율) 특성<sup>[8]</sup>을 갖기 때문에 기존 필터 기술의 문제점(예를 들면, 편광 의존성, 높은 삽입손실, 혼선, 넓은 통과 대역폭, 튜닝 범위, 복잡성 등 ...)을 해결할 수 있는 대안을 제공할 것으로 예상하고 있다. 이러한 우수한 특성으로 인해 PR 필터에 가변성을 부여하기 위한 방식이 다양하게 연구되고 있으며, 이를 위해 가장 광범위하게 연구되고 있는 기법으로 광굴절 결정의 재구성성을 활용하여 원하는 파장에 따른 새로운 격자를 기록하는 방식이다. 하지만 이 방법을 적용할 경우 빠른 시간에 격자를 재기록시키기 위해 기록빔의 세기가 커야하고, 기록빔으로 이용되는 입사각 조절시 기계적으로 미러(mirror)를 튜닝하는 구조이기 때문에 가변 속도에 대한 문제점이 심각하게 대두된다.

본 논문에서는 PR 필터가 가지고 있는 모든 이점을 소유할 뿐 아니라, 광굴절 결정의 재구성성을 활용시 문제가 되는 느린 가변 속도를 개선하기 위해 창 제어 기법(window control method)으로 명명한 새로운 구조를 적용한 PR 필터를 제안하고, 설계 절차 및 요소에 대한 고려사항을 제시하였다. PR 필터를 구성하기 위한 기본적인 구조로는 잘 알려져 있는 2광파 결합(TWM : Two-Wave Mixing) 구조이며, 제안된 메커니즘은 실시간 광학소자인 공간 광학 변조기를 이용해 필터의 가변 속도를 전자적인 속도로 향상시키고, 빔 경로의 차이와 볼록 렌즈를 이용해 입사각을 보상해주는 구조이다. 제시된 구조를 이용해 가변 파장 선택

필터를 설계하여, 광학적으로 구현하고, 실험결과를 통해 제안된 구조의 타당성을 증명한다. 실험에 이용된 결정은 Fe가 0.02Wt.% 도핑된 LiNbO<sub>3</sub> 결정이며, 실험 결과를 이론값과 비교·분석하였다.

## II. PR 필터의 원리 및 특성 결정 요소

광굴절 결정 내에서 교차하는 두 빔은 광굴절 효과(photorefractive effect)를 통해 굴절을 변조를 발생시키고, 한쪽 빔에서 다른 쪽 빔으로 강한 비가역적인 에너지 교환이 일어나게 된다. 즉, 두 빔의 간섭에 의해 생성된 광굴절 격자는 각 빔을 브래그 회절(Bragg diffraction) 시키게 되는데 한쪽 빔에서는 회절된 빔과 투과된 빔 사이에 보강 간섭이 일어나고, 다른 방향에서는 상쇄간섭이 일어나 한 빔에서 다른 빔으로 에너지 교환이 이루어진다. 코히어런트한 두 빔이 결정 내에서 결합될 경우 식 (1)에서 보는 것 같이 간격이  $\Lambda$ 인 간섭 패턴을 만들며, 기록빔의 파장( $\lambda_w$ ), 기록빔의 외부 입사 반각( $\theta_w$ ), 매질의 굴절률( $n_c$ )에 의해 결정된다.<sup>[9][10]</sup>

$$\Lambda = \frac{\lambda_w}{2n_c \sin \theta_w} \quad (1)$$

결정 내에 기록된 간격이  $\Lambda$ 인 회절격자는 특정한 입사각에서 브래그 조건(Bragg condition)을 만족하는 임의의 파장만을 회절시키고, 나머지 파장의 빔은 투과시키는 특성을 이용해 광 필터로서의 적용이 가능하다. 즉, 그림 1에서 보는 것 같이 파장이  $\lambda_w$ 이고, 결정 내부 입사 반각이  $\theta_{wi}$ 인 조건으로 결정 내에 회절격자를 기록시키고,  $\lambda_1 \sim \lambda_n$ 의 파장으로 다중화된 빔이  $\lambda_3$ 에 대한 브래그 각  $\theta_{\lambda_3}$ 로 입사되면,  $\lambda_3$ 만을 회절시키고 이외의 파장은 그대로 투과된다. 이때, 필터링 되는 빔에 대한 브래그 조건은 기록빔의 입사각, 기록빔의 파장 및 필터링 빔의 파장에 의해 결정되며, 식 (2)와 같이 표현된다.

$$\theta_{\lambda_n} = \sin^{-1} \left( \frac{\lambda_n}{\lambda_w} \sin \theta_{wi} \right) \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

광통신에 적용되는 광필터의 특성 중 통과 대역폭(bandwidth)이 가장 기본적인 요소로서, 이 특성에 따라 넓은 대역을 통과시키는 광대역 필터(broadband

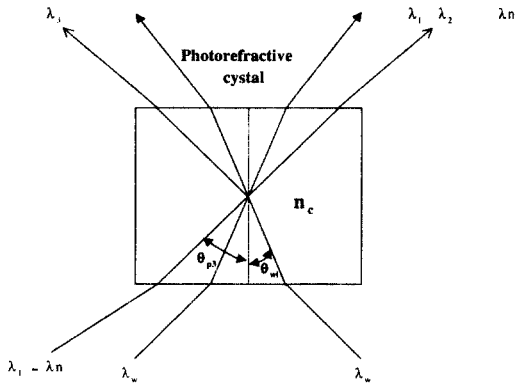


그림 1. PR 필터의 기본 원리  
Fig. 1 Basic principle of PR filter

filter)와 입사의 좁은 파장대만을 선택해 내는 협대역 필터(narrowband filter)로 구분된다. 광굴절 결정을 이용한 PR 필터의 통과 대역은 필터링 하고자 하는 빛의 파장( $\lambda_n$ ) 및 입사각( $\theta_{pm}$ ), 매질의 굴절률( $n_c$ ), 기록빔의 상호작용길이(interaction length,  $d$ )에 의해 결정되며, 식 (3)과 같이 표현될 수 있다. 식에서 보면, 필터링 하고자 하는 빛의 입사각  $\theta_{pm}$ 이 고정되었을 경우 필터링 하려는 중심파장  $\lambda_n$ 이 증가할수록 통과대역이 넓어지고,  $\lambda_n$ 이 고정되었을 경우에는  $\theta_{pm}$ 이 증가할수록 좁아진다.<sup>[5]</sup>

$$BW = \frac{\lambda_n^2 \cos(\theta_{pm})}{2n_c d \sin^2(\theta_{pm})} \quad (3)$$

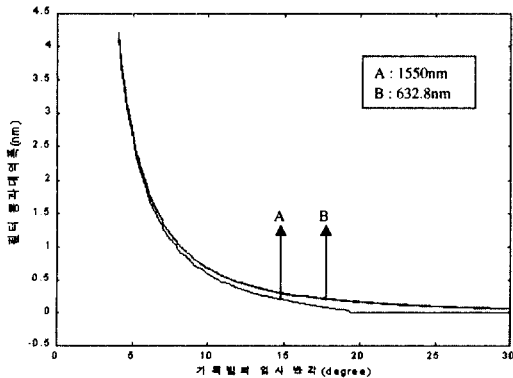


그림 2. 기록빔의 입사각에 따른 통과대역의 변화  
Fig. 2 Variation of bandwidth vs. incident angle of writing beam

그림 2는 기록빔의 파장( $\lambda_w$ )이 514.5nm,  $\lambda_n$ 이 각각 1550nm, 632.8nm로 많은 차이를 가질 때, 기록빔의 내부 입사 반각( $\theta_{wi}$ )에 따른 통과대역의 변화를 계산한 결과이다. 그림에서 보면, 기록빔의 입사각이 넓어질수록 PR 필터의 통과대역이 지수 함수적으로 좁아지며, 필터링 하고자 하는 파장에 대해서는 거의 영향이 없음을 볼 수 있다. 결국, PR 필터의 통과대역을 조절할 수 있는 지배적인 파라미터(parameter)는 기록빔의 입사각임을 나타낸다.

### III. 창 제어 기법을 적용한 가변 파장 선택 필터의 설계 및 광학적 구현

일반적으로 PR 필터를 가변 파장 선택 필터로 적용하기 위한 방식으로는 광굴절 결정의 재구성성을 이용해 필터링 하고자 하는 파장에 따라 결정 내에 기록된 회절격자를 재기록 시키는 방식이 제안되어왔다. 하지만, 이러한 방식을 적용할 경우 결정 자체의 느린 반응 시간에 따른 스위칭 시간 및 지속적인 에너지 교환 특성으로 인해 회절되는 빛의 세기가 일정치 못한 것과 같은 문제점이 산재해 있다. 따라서, 본 논문에서는 온도 제어에 의한 격자 고정 처리(thermal fixing)를 거친 광굴절 격자를 이용함으로써 회절되는 빛 세기의 불안정한 특성을 개선하였고, 입사각 보상을 위한 볼록 렌즈와 필터링 하고자 하는 파장을 변화시키기 위한 스위칭 소자로서 실시간 광학소자인 공간 광학 변조기를 이용한 창 제어 기법을 적용해 결정 자체의 느린 반응시간에 대한 문제를 해결한 새로운 메커니즘의 광 필터를 제안하고 광학적으로 구현하였다.

그림 3은 제안된 광 필터의 전체적인 구조를 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 선택하고자 하는 파장의 변화는 동일한 회절격자에 대해서 입사각의 차이, 입사각의 차이를 빔 경로 차이와 볼록 렌즈를 이용해 보상에 주는 시스템을 취한 것이 본 논문에서 제시한 창 제어 기법의 주 내용이다. 또한, 컴퓨터를 이용해 제어되는 LCD(liquid crystal device)는 특별한 신호 처리나 영상처리를 위한 것이 아니고, 단지 수신빔 중 광굴절 결정 내로 입사되는 빔 경로를 선택해 주는 역할을 하는 것이다. 빔을 차단시에는 0의 그레이 레벨값을 부여하여 검은색 영상이 디스플레이 되도록 하였고, 통과시에는 255의 레벨 값 부여를 통해 흰색의 영상을 디스플레이 시켰다. 또한, 회절되는 부분에 또 다른 볼록 렌즈를 이용하여 선택되는 모든 파장의

신호를 동일한 위치에서 검출할 수 있도록 하였다.

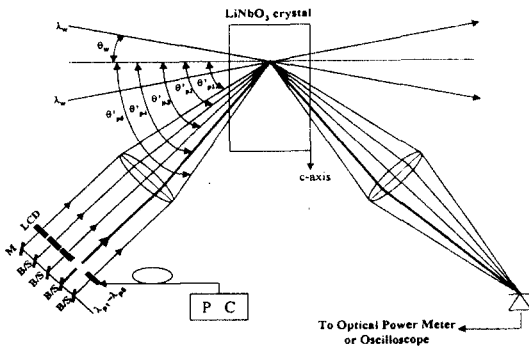


그림 3. 제안된 가변 파장 선택 필터의 구조  
Fig. 3 Scheme of proposed tunable wavelength selective filter

1. 창 제어 기법을 적용한 가변 파장 선택 필터의 설계 절차

① 기록빔의 입사각 결정

2절에서 보았듯이 PR 필터의 통과대역을 결정하는 지배적인 요소는 기록빔의 입사각으로 원하는 정도의 통과 대역에 대해 기록빔의 입사각을 결정한다. 다시 말해, 통과대역이 넓은 광대역 필터를 원할 경우에는 그림 2의 결과에서 보듯이 기록빔의 입사각을 좁게 해야 하며, 통과대역이 좁은 협대역 필터를 구현하고자 할 때는 입사각을 넓혀야 한다.

② 파장에 따른 수신빔의 입사각 결정

PR 필터에서 선택하고자 하는 빔의 파장을 바꾸는 가변성을 부여하기 위한 방법에는 다음의 두 가지가 있다. 첫째, 기록빔의 입사각 및 파장이 고정되어 있을 때, 수신빔의 입사각을 선택하고자 하는 빔의 파장에 맞는 브래그 각으로 입사시킨다. 둘째, 수신빔의 입사각이 일정한 경우, 선택하고자 하는 빔의 파장에 대한 브래그 조건을 만족시키기 위해 기록빔의 입사각을 조절하거나, 동일한 기록빔의 입사각 조건하에서 기록빔의 파장을 변화시킨다. 이 중 두 번째 방법은 기록빔의 입사각 및 파장을 조절해 광굴절 격자를 새 기록시키는 방식으로 결정의 느린 반응시간이 문제점으로 대두된다. 또한, 기록빔의 파장을 변화시키는 방법은 현실적으로 빠른 반응시간을 갖고 안정적이며, 미세한 파장 조절이 가능한 레이저의 개발이 선행되어야 한다는 문제점을 가지고 있다. 따라서, 본

문에서 제시한 방식의 광필터는 결정 내에 회절격자를 기록시키는 파장 및 입사각에 대한 조건은 고정시키고, 수신빔의 입사각을 조절하는 방식을 선택하였다.

기록빔의 입사각  $\theta_w$ 가 선택되면 필터링 하고자 하는 빔의 파장  $\lambda_n$ 에 따른 입사각  $\theta_{pn}$ 이 결정되고, 이때의 입사각은 식 (2)에 의해 간단히 구할 수 있다. 또한, 공기 중을 전파하던 빔이  $n_c$ 의 굴절률을 갖는 광굴절 결정으로 입사될 경우 그림 4와 같이 빔 경로가 달라지기 때문에 Snell의 법칙을 적용하여 수신빔의 외부 입사각  $\theta'_{pn}$ 과 내부 입사각  $\theta_{pn}$ 사이의 관계를 고려해야 하는데, 이는 식 (4)와 같이 표현된다.

$$\theta'_{pn} = \sin^{-1}(n_c \sin \theta_{pn}) \tag{4}$$

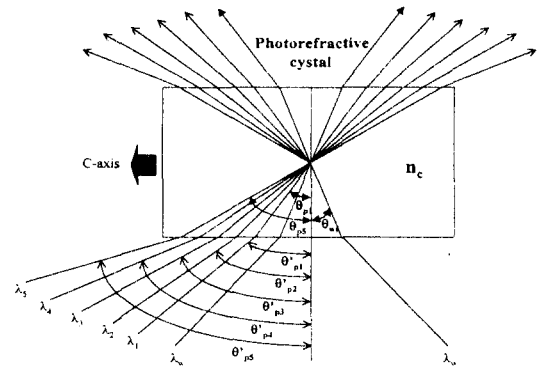


그림 4. 내부 입사각과 외부 입사각의 관계  
Fig. 4 Relation of internal angle and external angle

③ 입사각 보상을 위한 거리차 계산

기록빔의 입사각 및 수신빔의 파장에 따른 각각의 입사각이 결정되면, 빔 경로 제어에 이용되는 렌즈의 초점거리  $f$ 에 따른 거리차를 계산하여야 한다. 그림 5는 빔 경로차와 렌즈를 이용한 창 제어 기법의 주요 부분을 나타낸 것이다. 그림에서 렌즈의 중심 부분을 통과하는  $\lambda_3$ 의 빔을 기준으로 필터링 하고자 하는 빔의 파장에 따라 입사각이 달라진다. 따라서, 그림에서 보이는  $\theta_n(n = 1, 2, 3, 4, 5)$ 을 식 (2)와 식 (4)를 이용해 구하면, 입사각을 보상해 주기 위한 거리차  $d_n$ 을 구할 수 있으며, 이는 식 (5)에서 쉽게 구할 수 있다. 거리차 계산 후 각각의 거리에 따라 수신쪽에 입사되는 빔 경로를 조절하고, LCD에 디스플레이 되

는 그레이 레벨을 조절하면, 실시간 광학 소자인 공간 광학 변조기에 의한 가변성 부여가 가능해진다.

$$d_n = \tan \theta_n f \quad (5)$$

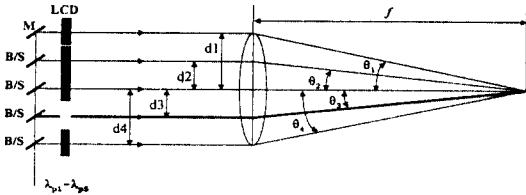


그림 5. 입사각 제어를 위한 설계  
Fig. 5 Design for incident angle control

## 2. 가변 파장 선택 필터의 설계 및 광학적 구현

실험에 적용될 기본적인 조건은 다음과 같다. 기록빔은 514.5nm의 아르곤 레이저(argon laser)이며, 기록시킨 후 격자 소거 방지 및 안정적인 회절빔을 위해 온도제어에 의한 격자고정 처리를 하였다. 그리고, 결정 내에 기록된 광필터의 특성을 조사하기 위한 판독빔(reading beam)으로는 632.8nm, 514.5nm, 496.5nm의 세 파장을 사용하였으며, 기록 조건과 판독빔의 조건에 따라 거리차를 계산하고, 계산된 결과에 따라 LCD에 부여될 그레이 레벨 값을 선정 한 후, 파장별로 분리되는 특성을 관찰하였다. 또한, 0.01° 간격으로 회전 가능한 스텝 모터(step motor)를 이용해 각 판독빔에 대한 필터의 통과대역을 측정하고, 이론적인 예측값과 비교하였다.

기록빔으로 이용된 514.5nm의 빔은 정상 편광(ordinary polarization) 상태로 12.5°의 외부 입사 반각으로 결정에 입사시켰으며, 결정 내부로 입사되는 각은 5.6206°이다. 광필터의 특성을 조사하기 위해사용된 세 파장은 그림 5에서  $\lambda_1 = 496.5\text{nm}$ ,  $\lambda_2 = 514.5\text{nm}$ ,  $\lambda_3 = 632.8\text{nm}$ 이다. 이러한 조건에서  $\lambda_n$ 의 내부 입사각( $\theta_{in}$ )은  $\theta_{in1} = 5.4233^\circ$ ,  $\theta_{in2} = 5.6206^\circ$ ,  $\theta_{in3} = 6.9188^\circ$ 이며, 외부 입사각( $\theta'_{in}$ )은 각각  $\theta'_{in1} = 12.055825^\circ$ ,  $\theta'_{in2} = 12.499975^\circ$ ,  $\theta'_{in3} = 15.438878^\circ$ 이다. 이러한 계산 결과로부터 그림 5에서 나타난  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ 는 각각  $\theta_1 = \theta'_{in3} - \theta'_{in1} = 3.383053^\circ$ ,  $\theta_2 = \theta'_{in3} - \theta'_{in2} = 2.938903^\circ$ 이며, 입사각 보상을 위해 사용된 렌즈의 초점거리  $f = 500\text{mm}$ 일 때,  $d_1 = 29.557\text{mm}$ ,  $d_2 = 25.669\text{mm}$

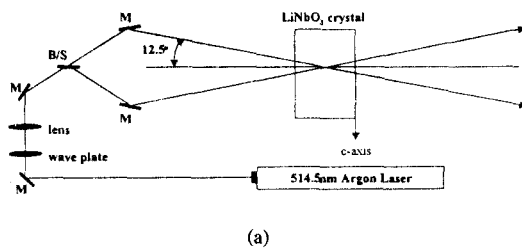
이다. 이러한 조건에서 세 판독빔에 대한 광필터의 통과대역은 각각  $BW_1 = 1.93\text{nm}$ ,  $BW_2 = 2.03\text{nm}$ ,  $BW_3 = 2.02\text{nm}$ 로 예측된다. 위에서 설계한 광필터를 표 1에 요약하였다.

표 1. 설계된 광필터

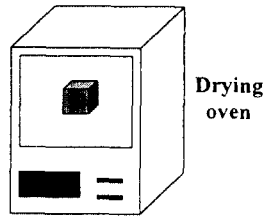
Table 1. Designed optical filter

기록조건	광필터 설계 결과					예측되는 통과대역
	판독빔 파장	내부입사 반각	외부입사 반각	외부입사각 차이	거리차	
$\lambda_w = 496.5\text{nm}$	5.4233°	12.055825°	3.383053°	29.557mm	1.93nm	
$514.5\text{nm}$	5.6206°	12.499975°	2.938903°	25.669mm	2.03nm	
$\theta_w = 5.6206^\circ$	632.8nm	6.9188°	15.438878°	기준	0	2.02nm

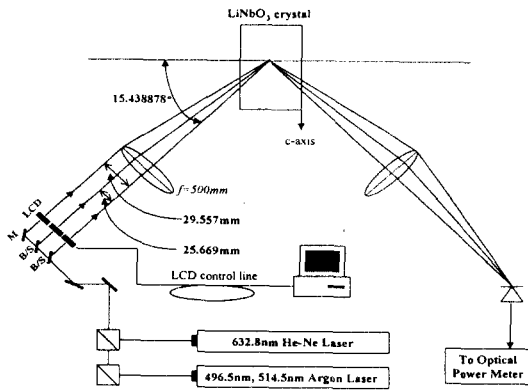
그림 6은 위에서 설계된 광필터를 광학적으로 구현하기 위한 실험 절차 및 구성도이다. 전체적인 실험 절차는 격자 기록 과정, 격자 고정 처리 과정, 광필터 구현 과정으로 나뉜다. 첫 번째 과정으로서 격자 기록 과정은 그림 6(a)에 나타난 것과 같이 514.5nm의 아르곤 레이저를 사용하였으며,  $2/\lambda$  wave plate를 이용해 정상 편광으로 조절해 12.5°의 외부 입사 반각으로 기록시켰다. 앞 절에서 언급한 바와 같이 격자를 기록시키기 위한 빔을 계속적으로 입사시킬 경우 광굴절 결정의 에너지 교환 특성으로 인해 회절되는 빔의 세기가 일정치 못한 결과를 얻게되고, 시간이 지날수록 격자가 소거된다. 이러한 특성을 개선하기 위해 그림 6(b)에서 보인 것 같이 온도 제어에 의한 격자 고정 처리 과정을 통해 안정된 특성을 갖고, 영구적으로 이용할 수 있는 회절격자를 이용하였다. 그림 6(c)는 본 논문에서 제시한 새로운 메커니즘을 적용해 광필터의 특성을 조사하기 위한 실험 구성도이다. 그림에서 광굴절 결정 내로 입사되는 세 경로의 빔은 632.8nm, 514.5nm, 496.5nm의 빔이 동일한 경로로 합쳐져 입사되며 렌즈의 중심을 통과하는 빔은 632.8nm의 빔을 선택해 내기 위한 입사 반각인 15.438878°이다. 빔 경로차를 통한 입사각 보상을 위한 렌즈는 필터 설계시에 적용한 초점거리  $f = 500\text{mm}$ 이며, 회절되는 부분에 또 다른 렌즈를 위치시킴으로써 동일한 위치에서 세 파장의 신호를 검출 할 수 있도록 하였다. 가변성을 부여하기 위한 LCD는 PC를 통해 제어되며, 빔이 통과되는 위치의 그레이 레벨을 조절함으로써 선택하고자 하는 빔의 파장 조절이 가능하다.



(a)



(b)



(c)

그림 6. 광필터 실험절차 및 실험구성도 (a) 격자 기록 (b) 격자 고정 (c) 광필터 실험 구성도  
Fig. 6 Experimental procedure and setup of optical filter (a) write of grating (b) fixing of grating (c) experimental setup of optical filter

그림 7은 구성된 회절격자의 각도 선택성 측정을 통해 필터의 통과대역을 구하기 위한 실험 구성도이다. 스텝 모터는 PC와 제어판(motor control board)를 통해 제어되며, 모터 위에 위치한 광굴절 결정은 그림 6의 (a), (b)의 과정을 거친 것이다. 그림과 같이 구성해 놓은 후 모터를 0.01° 간격으로 회전시켜가면

서 각도 변화에 따른 회절빔의 세기를 측정하였으며, 이때 측정된 각도 특성을 파장으로 환산해 구성된 필터의 통과 대역을 구할 수 있다. 그림 8은 그림 7에서 보인 실험 장치도에서 관독빔의 파장이 632.8nm 일 때, 입사각의 변화에 따른 회절효율을 나타낸 것이다. 그림에서 'x'로 표시한 지점이 실험값이며, 최대 회절효율의 반에 해당하는 FWHM(full width half maximum)은 각도로 약 0.06°, 파장으로 환산하면 약 2.399nm 에 해당된다.

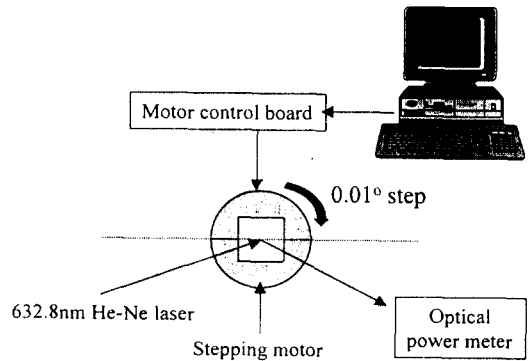


그림 7. 대역폭 측정을 위한 실험 구성도  
Fig. 7 Experimental setup for bandwidth measurement

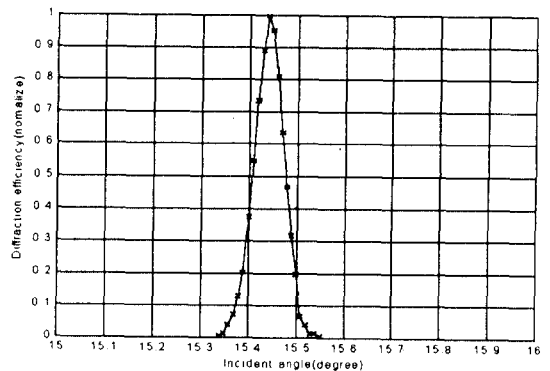


그림 8. 대역폭 측정 실험결과  
Fig. 8 Experimental results of bandwidth measurement

그림 9는 그림 6의 실험 구성도에서 LCD의 디스플레이 상태와 선택되는 파장에 따라 회절되는 면에서 볼 수 있는 빔의 위치 및 그림 7의 과정을 통해 각 관독빔의 파장에 대한 통과대역을 측정한 결과이다.

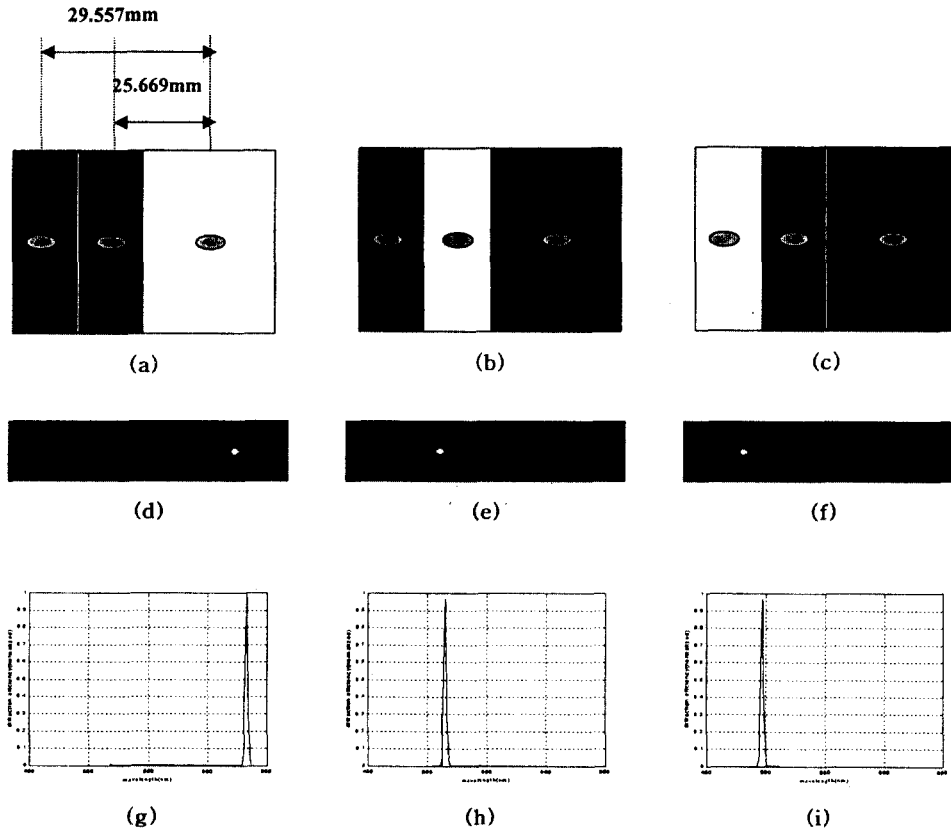


그림 9. 창 제어 기법을 이용한 가변 파장 선택 필터 실험 결과  
 Fig. 9 Experimental results of tunable wavelength selective filter using window control method

그림에서 (a), (d), (g)는 판독빔의 파장이 632.8nm, (b), (e), (h)는 514.5nm, (c), (f), (i)는 496.5nm인 경우이다. 또한, 그림 9(a), (b), (c)에서 세부분의 창(window)으로 나뉘어진 LCD의 중심 부분에 작은 원으로 표시한 것은 빔이 투과되는 지점을 나타낸 것이다. 실험 결과 앞에서 예측한 바와 같이 LCD 제어를 통해 선택하고자 하는 파장을 실시간적으로 임의의 조절이 가능했으며, 본 논문에서 가변 속도 개선을 위해 제시한 창 제어 기법의 설계절차 및 메커니즘의 타당성을 증명하였다. 또한, 통과대역 측정결과에서 보면, 판독빔의 파장이 496.5nm, 514.5nm, 632.8nm인 경우 각각에 대한 통과대역은 약 2.399nm, 2.399nm, 2.399nm로 이론적으로 예측한 값과 큰 차이 없이 거의 일치하였다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 광굴절 결정을 이용한 파장 선택 필

터에 가변성을 부여할 경우 기계적인 구조로 인해 문제가 되었던 느린 가변 속도를 향상시키기 위해 새로운 구조의 창 제어 기법을 적용하여, 광학적으로 구현함으로써, 전체적 메커니즘 및 설계절차의 타당성을 증명하였다. 제시된 가변 파장 선택 필터는 PR 필터가 가지고 있는 모든 이점을 그대로 소유할 뿐 아니라 실시간 광학 소자인 공간 광학 변조기를 사용해 가변성을 부여함으로써 가변 속도를 전자적인 속도로 향상시켰다. 실험에 사용된 기록빔으로는 514.5nm의 아르곤 레이저이며, 외부 입사 반각은 12.5°이다. 구성된 회절 격자로부터 필터 특성을 조사하기 위해 이용한 판독빔은 496.5nm, 514.5nm, 632.8nm의 세 파장이며, 제시된 수식을 이용해 입사각을 보상하기 위한 거리차를 계산하고 실험에 적용하였다. 계산된 값을 실험에 적용한 결과 각각의 파장이 예측한 바와 같이 분리되는 특성을 볼 수 있었으며, 통과 대역폭도 이론적인 예측값과 거의 일치함을 확인하였다.

참고문헌

1. E. Erdogan and V. Mizrahi, "Fiber grating technology grows," IEEE LEOS Newsletters, pp. 14-17, Feb. 1993.
2. W. W. Morey, G. A. Ball and G. Meltz, "Photo-induced Bragg gratings in optical fibers," Optics & Photonics News, pp. 8-14, Feb. 1994.
3. F. T. S. Yu, S. Wu, A. W. Mayers and S. Rajan, "Wavelength multiplexed reflection matched filters using LiNbO<sub>3</sub>," Opt. Comm., vol. 81, no. 6, pp. 343-347, Mar. 1991.
4. V. Leyva, G. A. Rakuljic and B. O'Conner, "Narrow bandwidth volume holographic optical filter operating at the Kr transition at 1547.82nm," Appl. Phys. Lett., vol. 65, no. 9, pp. 1079-1081, Aug. 1994.
5. G. T. Sincerbox and G. Roosen, "Opto-optical light deflection," Appl. Opt., vol. 22, no. 5, pp. 690-697, Mar. 1983.
6. J. Zhang, F. T. S. Yu and D. K. McMillen, "Coupling kinetics of the photorefractive hologram," Appl. Opt., vol. 35, no. 14, pp. 2355-2359, May 1996.
7. R. Hofmeister, A. Yariv and S. Yagi, "Spectral response of fixed photorefractive grating interference filters," J. Opt. Soc. Am. A, vol. 11, no. 4, pp. 1342-1351, April 1994.
8. J. H. Hong and R. Saxena, "Diffraction efficiency of volume holograms written by coupled beams," Opt. Lett., vol. 16, no. 3, pp. 180-182, Feb. 1991.
9. G. Pauliat, J. P. Herriau, A. Delboulbe, G. Roosen and J. P. Huignard, "Dynamic beam deflection using photorefractive gratings in Bi<sub>12</sub>SiO<sub>20</sub> crystals," J. Opt. Soc. Am. B, vol. 3, no. 2, pp. 306-314, Feb. 1986.
10. R. T. B. James, C. Wah, K. Iizuka and H. Shimotahira, "Optically tunable optical filter," Appl. Opt., vol. 34, no. 35, pp. 8230-8235, Dec. 1995.

안 준 원 (Jun-Won An)

한국통신학회논문지 제23권 제4호 참조

정회원



김 정 회 (Jung-Hoi Kim) 정회원

1997년 2월 : 순천대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1997년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 대학원 정보통신공학과 재학

<연구분야> Photorefractive crystal, Optical data storage, Optical device, Optical communication

김 남 (Nam Kim)

한국통신학회논문지 제23권 제4호 참조

정회원

이 권 연 (Kwon-Yeon Lee)

한국통신학회논문지 제23권 제4호 참조

정회원

이 명 현 (Myung-Hyun Lee)

1962년 1월 22일생

1985년 2월 : 서울대학교 공과대학 금속공학과 졸업(공학사)

1987년 2월 : 서울대학교 대학원 금속공학과 졸업(공학석사)

1993년 1월 : Oxford Univ. 광전자재료 전공(공학박사)

1993년 3월 ~ 1998년 6월 : 한국전자통신연구원, 광교환연구실

1998년 6월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원, 광대역전송연구부

정회원