

## 포토폴리머 위상 격자를 이용한 파장 역다중화 구조 및 특성 분석

최원준<sup>1</sup> · 안준원 · 김 남

충북대학교 전기전자컴퓨터공학부

Ⓣ 361-763 충북 청주시 개신동 산 48번지

이권연

순천대학교 전자공학과

Ⓣ 540-742 전남 순천시 매곡동 315번지

(2001년 10월 9일 받음, 2001년 12월 21일 수정본 받음)

포토폴리머에 형성된 홀로그래픽 부피 위상 격자를 이용한 새로운 구조의 파장 역다중화기를 제안하고, 입증하였다. WDM 용 역다중화 소자로의 적용을 위해 격자의 파장선택성, 공간적 채널 거리, 채널 대역폭에 대한 이론적, 실험적 분석을 통해 응용 가능성을 증명하였다. 실험결과 각 채널의 대역폭은 0.21 nm이고, 채널간격이 0.8 nm일때 채널누락특성은 26 dB였다.

주제어 : diffraction, optical networks.

### I. 서 론

현재 기하 급수적으로 증가하고 있는 고속, 대용량의 통신 수요에 대처하기 위한 가장 효과적인 방법으로 수십 THz에 이르는 광섬유의 넓은 주파수 대역폭을 활용하기 위한 파장분할 다중(WDM : wavelength division multiplexing) 광통신 방식이 활발히 연구되고 있으며, 이를 구현하기 위한 가장 핵심적인 기술 중의 하나가 파장 다중화 및 역다중화 기술이다. 이 기술은 광통신 분야에서 현존하는 전송 시스템의 추가 설치 부담 없이 용량을 증가시키거나 시스템을 간단하게 확장시킬 수 있기 때문에 미래 지향적 서비스 제공을 위한 필수 기반기술로 인식되고 있다. 이러한 WDM 방식의 광전송을 위해서는 여러 개의 파장을 다중화하고, 역다중화하기 위한 다채널 파장 다중화기(MUX: multiplexer) 및 역다중화기(DEMUX: demultiplexer)의 개발이 필수적이다. 일반적으로 WDM에 적용되고 있는 다채널 파장 MUX/DEMUX 는 배열 도파로 격자(AWG: arrayed waveguide grating), 간섭필터, 콤팩트플러와 페브리-페로 필터(FPF: Fabry-Perot filter)의 결합, 광섬유 브래그 격자(FBG: fiber Bragg grating) 등을 이용하는 방식이 있다.<sup>[1,2]</sup> 이중 AWG를 이용하는 방식의 경우 집적화 및 높은 파장 분해능 등과 같은 이점을 가지고 있는 반면 선택되는 중심 파장이 도파로 길이와 주위 온도에 매우 민감하게 반응하기 때문에 온도에 대한 안정성 문제를 해결해야 하며, 광섬유-도파로 결합으로 인해 큰 삽입손실 및 편광 의존성을 갖는 단점이 있다. FBG의 경우 광섬유에 기록된 격자로부터 특정 파장만을 반사시키는 원리를 이용한 방법으로 저손실, 협대역, 낮은 편광 의존성 등과 같은 이점을 가지고 있지만 채널수의 증가에 따라 광 서클레이터(circulator)나 마흐-젠더(Mach-

Zehnder) 간섭계와 같은 부가적인 장치기 필요하게 되어 제작 비용이 많이 소요되고, 채널 수가 증가할 수록 손실도 비례하여 증가하는 단점을 가지고 있다. 가장 최근에는 광굴절 (photorefractive) 결정이나 포토폴리머(photopolymer) 등과 같은 홀로그래픽 매질에 형성된 부피형 위상격자의 각-파장 선택성 및 고회절효율 특성을 적용한 새로운 구조의 WDM 통신용 광필터나 파장 MUX/DEMUX에 대한 연구결과가 발표되고 있다.<sup>[3,4]</sup>

본 논문에서는 홀로그래픽 기록매질 중 높은 회절효율, 안정성, 가격 등의 측면에서 매우 우수한 매질로 알려져 있는 포토폴리머를 이용해 WDM 광통신에 적용하기 위한 새로운 형태의 DEMUX 구조를 제안하고 입증한다. 그리고 파장 DEMUX로의 응용 가능성을 증명하기 위해 격자의 파장 선택성, 공간적 채널간 거리, 각 채널의 대역폭 등에 관한 이론적 분석을 제공하며, 광학적 검증을 통해 DEMUX로 적용하기 위한 조건을 제시한다.

### II. 포토폴리머를 이용한 파장 역다중화기

그림 1은 포토폴리머에 기록된 위상형 회절격자를 이용한 DEMUX의 기본 구성도이다. 광섬유를 통해 전송된 다파장 신호는 시준렌즈(collimating lens)를 통해 일정한 폭 D를 갖는 평행광으로 변환된다. 평행광은 두께가 L이고 격자 간격이 d인 회절격자에 관측각  $\theta_0$ 로 입사되며, 이때 관측각  $\theta$ 는 DEMUX의 동작 스펙트럼 영역을 결정한다. 일반적으로 관측각  $\theta$ 에 대한 회절격자의 브래그 조건은<sup>[5,6]</sup>

$$\theta_0 = \sin^{-1}(\lambda_R \sin \theta_m / \lambda_m) \quad (1)$$

로 표현되고, 여기서  $\theta_m$ 는 기록빔의 입사 반각,  $\lambda_m$ 는 기록빔의 파장,  $\theta$ 는 관측각에 대한 브래그 각이다. 그림 1의

<sup>1</sup>E-mail: wjchoi@osp.chungbuk.ac.kr

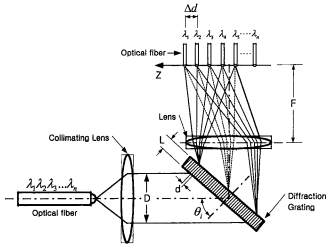


그림 1. 포토폴리머를 이용한 역다중화 구조.

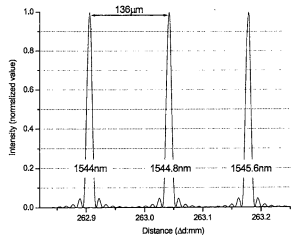


그림 2. 파장별 공간적 세기 분포.

구조에서 렌즈 방향으로 회절되는 빛의 파장영역은 회절격자의 파장선택성  $\Delta\lambda$ 에 의해 결정되고, 격자로부터 서로 다른 각도로 회절된 빛들은 렌즈에 의해 초점면 Z에서 각 파장별로 공간적으로 서로 다른 위치에 순차적인 스폿(spot)배열을 발생시킨다. 따라서 서로 다른 채널들은 공간적으로 분리되므로, 렌즈의 초점거리 F만큼 떨어진 초점면 상에 적절한 간격  $\Delta d$ 로 광섬유를 배열하면, 각각의 광섬유는 서로 다른 파장을 수신하게되어 DEMUX로의 적용이 가능해진다.<sup>[7]</sup>

일반적으로 그림 1과 같은 DEMUX의 경우 동작 가능 파장 영역은 회절격자의 파장선택성에 의해 결정된다. 즉, 식 (1)에 의해 특정한 입사각  $\theta_i$ 로 격자에 입사될 경우 브래그 조건을 만족하는  $\lambda_n$ 을 기준으로  $\lambda_{\pm 1/2}$ 의 스페트럼 범위에서 동작하는 소자로서 작용하게 되며, 동작 가능한 총 스페트럼 영역은  $\Delta\lambda$ 로 제한된다. 회절격자의 파장선택성  $\Delta\lambda$ 는 판독빔의 파장, 판독사, 그리고 매질의 두께 L 및 굴절률 n에 의존하는 파라미터로서 Kogelnik의 결합 파동 방정식으로부터 식 (2)와 같이 쓸 수 있다.<sup>[6]</sup>

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2 \cos \theta_i}{2L n \sin^2 \theta_i} \quad (2)$$

이 식에서 알 수 있듯이 판독빔의 파장이 증가하거나 판독각  $\theta_i$ 가 작을수록 넓은 파장선택성을 얻을 수 있으며, 넓은 파장선택성을 갖는 회절격자를 이용할수록 이용 가능한 파장영역이 넓어지므로 다채널 DEMUX로 적용하기에 더욱 유리함을 예측할 수 있다. 식 (1)과 식 (2)의 조건을 통해 격자로부터 회절된 빛은 렌즈의 초점면에 파장에 따라 공간적으로 서로 다른 위치에 스폿 배열을 이루게되며, 이때 특정 중심파장에 대한 빔의 공간 세기분포 (spatial intensity distribution)  $I_d$ 는 다음과 같이 쓸 수 있다.<sup>[5]</sup>

$$I_d(z) = I_i \text{sinc}^2 \left[ \frac{\pi D}{\lambda_i} \left( \frac{z}{F} - d \right) \right] \quad (3)$$

여기서  $I_i$ 는 입사빔의 세기,  $\lambda_i$ 는 각 채널의 중심파장, F는 렌즈의 초점거리이다. 그리고 초점면 상에서 인접 채널간의 공

간 거리  $\Delta d$ 는 격자 간격 d와 렌즈의 초점거리 F에 관계되며 다음과 같이 쓸 수 있다.<sup>[5]</sup>

$$\Delta d = \frac{(\lambda_n - \lambda_{n+1})F}{d} \quad (4)$$

여기서  $\lambda_n - \lambda_{n+1}$ 는 인접 채널간의 채널간격  $d\lambda$ 이다. 따라서, 렌즈의 초점거리가 길고 격자간격이 작을수록 공간적 채널간격리는 더욱 커지는 반면 인접채널간 누화(crosstalk)배열은 억제되는 효과를 얻을 수 있다.

그림 2는  $D = 7.5$  mm,  $\lambda_w = 532$  nm,  $F = 175$  mm이고, 채널 중심파장  $\lambda_i$ 가 각각 1544 nm, 1544.8 nm, 1545.6 nm, 채널간격이 0.8 nm일 때 예측되는 공간 세기 분포를 식 (3), (4)를 이용해 계산한 결과이다. 그림 2 및 식 (3)에서 알 수 있듯이 0.8 nm의 채널 간격을 갖는 DEMUX 구성을 위해서는 렌즈의 초점면에 위치한 광섬유 코어 사이의 간격이 136  $\mu$ m를 만족해야 함을 예측할 수 있다. 일반적으로 사용되는 광섬유의 경우 직경이 약 125  $\mu$ m이므로, 계산시 사용된 조건을 이용한다면 실제 시스템 적용시 적당한 값으로 생각되며, 인접채널간 누화특성도 매우 우수한 소자의 구성이 가능함을 예측할 수 있다. 또한, 식 (4)에서 나타난 바와 같이 렌즈의 초점거리 및 격자 간격을 변화시킴으로써 인접채널간 공간 거리를 변화시킬 수 있으므로, 앞의 동작 파라미터 및 수신단의 광섬유 어레이를 적절하게 설계하면 WDM용 MUX/DEMUX로 적용이 가능할 것으로 생각된다.

그림 3은 식 (4)를 이용해 렌즈의 초점거리와 기록각도의 변화에 따라 요구되는 공간적 채널간 거리  $\Delta d$ 를 계산한 것이다. 여기서 채널간격  $\Delta\lambda$ 는 ITU-T의 권고안에 따라 0.8 nm(100 GHz)로 적용했으며, 렌즈의 초점거리는 100-300 mm 범위에서 변화시켰다. 그림에서 보던 식 (4)에서 예측된 바와 같이 렌즈의 초점거리가 클수록 동일한 채널 분리를 위해 요구되는 공간적 채널간 거리가 증가하며, 격자 기록시 적용된 기록각도  $\theta_g$ 가 클수록 격자 간격은 좁아지기 때문에 동일한 초점거리의 렌즈에 대해 요구되는 공간적 채널간 거리가 증가됨을 알 수 있다.

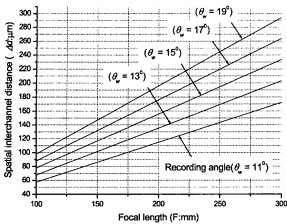


그림 3. 초점거리에 따른 공간적 채널간 거리.

이러한 공간적 거리는 앞에서 언급한 바와 같이 채널간 누화특성과 관련 있다. 즉,  $\Delta d$ 가 넓을수록 광섬유를 통해 검출되는 신호법의 누화특성은 우수한 반면,  $\Delta d$ 가 좁을 수록 상대적으로 누화특성이 저하된다. 그러나 회절격자의 파장 선택성은 제한되므로  $\Delta d$ 가 넓어질수록 수용할 수 있는 채널수는 감소하게된다. 따라서 DEMUX 구성시 시스템 사양에 따라 누화특성을 고려한 적절한  $\Delta d$ 가 선택되어야 한다.

DEMUX의 주요 특성중의 하나인 각 채널의 대역폭 BW는 각 파장법의 공간 세기 분포, 격자로 입사되는 평행광의 폭 D 및 각 채널에서 검출되는 중심파장  $\lambda_c$ 와 관련되며, 일반적으로 다음과 같이 표시된다.<sup>[8]</sup>

$$BW = \frac{\lambda_c^2}{2D \sin \theta} \quad (5)$$

따라서, 채널의 중심파장이 작고, 격자로 입사되는 빛의 직경과 각도가 클수록 채널 대역폭은 상대적으로 작아지게되어 동일한 스펙트럼 영역에서 채널수의 용이한 확장이 가능하다. 그림 4는  $\lambda_c = 532 \text{ nm}$ ,  $\theta_w = 15^\circ$ , 격자로 입사되는 빛의 직경이 각각 2.5, 5.5, 7.5, 10.5 mm일 때 400~1600 nm 중심파장 영역에서 예측되는 채널 대역폭을 계산한 것이다. 그림에서 보

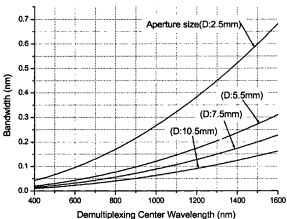


그림 4. 파장과 개구면 크기에 따른 대역폭.

면 중심파장대역이 1500 nm이고 D=7.5 mm인 경우 예측되는 채널 대역폭은 약 0.2 nm로서 이 조건을 이용할 경우 0.4 nm의 채널간격을 갖는 소자 구성이 가능함을 알 수 있다. 따라서 본 구조의 경우 현재 광통신 시스템에서 활발히 연구되고 있는 DWDM(dense wavelength division multiplexing) 시스템으로의 적용도 가능할 것으로 예상된다.

### III. 포토폴리머를 이용한 파장 역다중화기 설계 및 특성 실험

앞절에서 설명한 바와 같이 본 논문에서 제안한 역다중화기의 경우 렌즈의 초점거리, 회절격자의 간격에 따라 요구되는 공간적 채널간 거리 및 채널 대역폭이 변화되고, 격자에 입사되는 빛의 직경 및 기록각에 따라 채널 대역폭 제어가 가능하다. 따라서, 이러한 성능 결정 파라미터의 적절한 선택에 따라 원하는 성능 및 사양을 갖는 역다중화 소자 구성이 이루어진다. 표 1은 F=175 mm, D=7.5 mm,  $\lambda_w = 532 \text{ nm}$ ,  $\lambda_d = 1544 \text{ nm}$ ,  $n = 1.52$ ,  $\delta\lambda = 0.8 \text{ nm}$ 일때, 회절 격자의 기록각도에 따른 소자 특성을 식 (2)-(5)를 이용하여 나타낸 것이다. 일 예로, 격자의 기록각이 15°인 경우 136.221  $\mu\text{m}$ , 각 채널 대역폭은 0.212 nm로 예상된다. 또한, 표에서 볼수 있는바와 같이 기록각도가 클수록 동차 스펙트럼 영역(파장선택성)은 좁아져 동일한 채널간격에 대해 구현 가능한 채널 수는 감소하게된다.

본 절에서는 본 논문에서 제시한 구조에서 렌즈 초점면 상에서의 공간적 이동에 따른 중심파장 차이, 격자의 기록각도 변화에 따른 중심파장 차이, 렌즈의 초점거리 변화에 따른 중심파장 차이, 매질 두께에 따른 중심파장 차이 그리고 회절격자에 입사되는 편독빛의 직경에 따른 대역폭 변화를 측정함으로써 앞절에서 제시한 이론값과의 비교·분석을 제시한다. 또한, 인접한 두 파장사이의 채널간격 0.8 nm인 경우와 0.4 nm인 경우에 대한 역다중화 특성을 관찰함으로써 WDM 광통신 시스템용 역다중화기로의 적용 가능성을 증명한다.

그림 5는 포토폴리머를 이용한 위상 격자 기록 특성을 조사

표 1. 기록각도 변화에 따른 역다중화기의 특성설계 결과

기록 각도 ( $\theta_w$ )	격자 간격 (d)	공간적채널간거리 ( $\Delta d$ : mm)	대역폭 (BW : nm)	동작가능 스펙트럼 영역 (DI : nm)	편독 각도 ( $\theta$ )
11°	1.394	100.426	0.287	144.792	33.626°
12°	1.279	109.427	0.263	120.185	37.115°
13°	1.182	118.395	0.243	101.017	40.758°
14°	1.1	127.327	0.226	85.781	44.597°
15°	1.028	136.221	0.212	73.461	48.691°
16°	0.965	145.072	0.199	63.351	53.127°
17°	0.91	153.88	0.187	54.94	58.053°
18°	0.861	162.641	0.177	47.859	63.747°

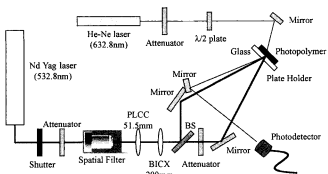


그림 5. 위상 격자 기록을 위한 실험 구성도.

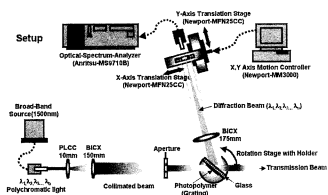


그림 6. 포토폴리머를 이용한 파장 여다중화 특성을 위한 실험 구성도.

하기 위한 실험 구성도이다. 격자 기록을 위해 파장이 532 nm 인 Coherent 사의 Nd-Yag 레이저를 이용했고, 포토폴리머에 입사되는 두 기록빔(신호빔과 기준빔)의 출력은 1 mW/cm<sup>2</sup>로 고정하였다. 이 입사빔의 세기에서 100초동안 매질을 노출시킨 후 UV-Lamp로 격자를 고정하였다. 본 논문에서 사용된 포토폴리머 격자의 회절효율은 통상 90% 이상이다.<sup>16,91</sup>

그림 6은 포토폴리머를 이용한 여다중화 구조의 실험 구성도이다. 여다중화기 특성을 조사하기 위해 1520~1600nm대역의 파장성분을 갖는 광대역 광원(EDFA)을 판독빔으로 사용하였으며, 판독빔은 두 렌즈의 조합에 의해 평행광으로 변환된 후 빔 크기 변화용 개구면(aperture)을 통해 격자에 입사된다. 그리고, 격자에서 회절된 각 파장빔들은 서로 다른 각도로 회절되어 렌즈를 통과하고, 초점면에서 각 파장에 따라 서로 다른 공간적 위치에 스폿 배열을 형성한다. 렌즈의 초점면에서 광섬유를 통해 검출되는 신호빔은 Anritsu사의 MS9710B 광파수 분석기(optical spectrum analyzer)를 이용하여 파장을 관측하였고, Newport사의 모터 제어용 MFN-25CC 선형 XY 스테이지를 사용하여 공간적으로 이동하면서 중심파장 천이를 측정하였다. 회절격자는 Dupont 사의 포토폴리머 매질 HRF150-38과 HRF150-100을 이용하였으며, 좀더 넓은 스펙트럼 선택성을 얻기 위해 주로 38 μm의 두께를 갖는 매질을 이용하여 측정하였다.

그림 7(a)는 매질의 두께와 공간적 거리이동에 따른 중심파장 천이를 측정 한 실험 결과이다. 회절격자로 입사되는 광원

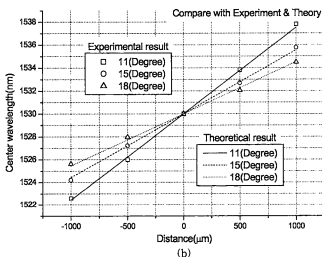
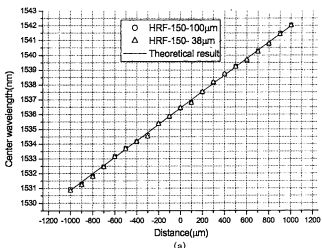


그림 7. 매질 두께와 격자 기록각도에 따른 중심파장 비교.

은 직경 D가 7.5 mm, 초점거리가 175 mm, 판독각이 48.7°인 조건으로 입사되며, 렌즈의 초점면상에는 광섬유 결합기 및 모터제어용 X 스테이지에 광섬유를 위치시켜 100 μm간격으로 이동시키면서 각각에 대한 중심파장을 측정하였다. 실험결과 두 매질에 대하여 0.8 nm 중심파장 이동시 요구되는 공간 이동 거리는 평균 130 μm이고, 매질 두께와는 거의 무관한 특성을 볼 수 있다. 그림 7(b)는 회절격자의 기록각도가 각각 11°, 15°, 18°인 세 개의 격자를 이용해 격자 간격의 변화에 따른 중심파장 천이 정도를 측정한 것이다. 실험 조건은 그림 7(a)의 실험과 동일하며, 0.8 nm의 중심파장 이동에 대해 요구되는 공간 이동 거리는 11°에서 98 μm, 15°에서 130 μm, 18°에서 161 μm를 얻었다. 실험결과는 식 (4)에서 예측한 바와 같이 기록각도가 클수록 공간적 거리 이동에 따른 중심파장 변화 폭은 좁아져 동일한 채널간격에 대해 요구되는 공간적 이동 거리가 넓어지는 특성을 나타낸다.

그림 8은 0.8 nm의 채널 분리를 위해 요구되는 공간 이동거리와 렌즈 초점거리간의 상관관계를 측정한 실험결과와 이론값이다. 이론값은 개구면의 크기가 7.5 mm, 판독각이 48.7°, 기록매질의 두께가 38 μm, 격자의 기록각이 15°인 조건에서

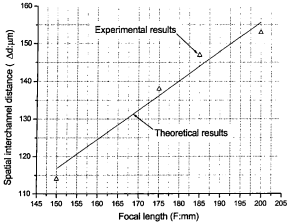


그림 8. 초점거리에 따른 공간적 채널간 거리.

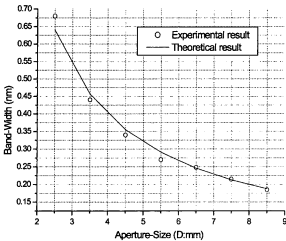


그림 9. 판독빔의 직경에 따른 대역폭.

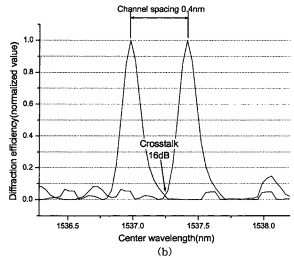
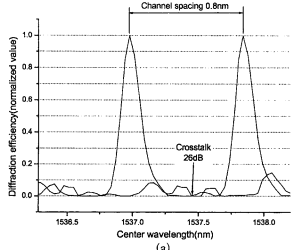


그림 10. 채널간격(0.8 nm, 0.4 nm)에 따른 역대중화기 실험결과.

식 (4)를 이용해 계산되었으며, 실험시 사용된 렌즈의 초점거리는 150 mm, 175 mm, 185 mm, 200 mm이다. 실험결과 0.8 nm의 파장 변화를 위해 요구되는 이동거리는 렌즈의 초점거리가 150 mm일 때는 114 μm, 175 mm일 때는 138 μm, 185 mm일 때는 147 μm, 200 mm일 때는 153 μm인 결과를 보였다. 그림에서 보듯이 실험결과는 이론값과 거의 일치하며, 앞절에서 예측한 바와 같이 초점거리가 길면 공간적 이동 거리가 커지고, 초점거리가 짧아지면 공간적 이동 거리가 작아지는 특성을 보인다. 이는 렌즈의 초점거리에 따른 공간 이동 거리의 존성을 보여주는 결과로, 초점거리의 조정을 통해 수신단에 위치한 광섬유 어레이 배열에 맞는 설계가 가능함을 나타낸다. 그러나 초점거리를 지나치게 크게 할 경우 역대중화기 전체 부피가 증가하는 문제가 있으므로 소자 크기와 채널간 거리를 적절히 고려하여야 한다. 이러한 문제를 해결하기 위한 것 중 하나가 홀로-렌즈(holo-lens)를 이용하여 렌즈에 의한 부피를 줄이는 방법도 고려되고 있다.

그림 9는 판독빔의 직경에 따른 채널 대역폭을 측정한 결과로, 격자의 기울각도가 15°, 초점거리가 175 mm, 매질 두께가 38 μm, 판독각이 48.7°일 때, 판독빔의 직경을 2.5 mm~8.5 mm

범위에서 1 mm 간격으로 변화시키며 측정하였다. 측정결과, 판독빔의 크기가 2.5 mm일 경우 BW는 0.68 nm이고, 반면 판독빔의 크기가 8.5 mm로 커질 경우에는 0.18 nm의 값을 얻었다. 그림의 실험 결과는 식 (5)에서 예상한 것과 같이 판독빔의 직경이 작을수록 더 큰 대역폭을 갖는 소자 구성이 가능함을 나타내며, 판독빔 직경을 제어함으로써 채널 대역폭을 조정할 수 있음을 나타낸다.

그림 10(a)와 (b)는  $D = 7.5$  mm,  $L = 38$  μm,  $\theta = 48.7^\circ$ ,  $F = 175$  mm일 때, 채널 간격이 각각 0.8 nm, 0.4 nm인 역대중화기 구성시 예측되는 채널 특성을 보인 것이다. 그림 10(a)에서 보인 각 채널 대역폭은 0.21 nm이고, 채널간 간섭은 약 26 dB로서 현재 이용되고 있는 AWG나 케브리-페로 간섭필터와 비교해 경쟁력있는 소자 구성이 가능할 것으로 예측되며, 3 dB의 채널간 균일도를 고려할 때, 약 90채널의 역대중화 특성 갖는 소자의 구성이 이루어질 것으로 생각된다. 그림 10(b)는 그림 10(a)와 동일한 조건에서 채널간격이 0.4 nm일 때 예측되는 채널 분리 특성을 보인 것으로 약 16 dB의 채널 간섭 특성을 볼 수 있다. 따라서, 채널간섭 특성 개선을 위한

아포다이징(apodizing) 기법<sup>[10]</sup>등을 적용하거나, 렌즈의 초점거리 및 격자 간격등을 조절해 인접 채널간 분리 능력을 향상시킨다면 약 180채널을 갖는 역다중화 소자로의 적용도 가능할 것으로 예측된다.

#### IV. 결 론

포토폴리머에 형성된 홀로그래픽 부피형 회절격자를 이용한 새로운 구조의 파장 역다중화기를 제안하고, 역다중화 소자로의 적용을 위한 기초 실험 결과를 제시하였다. 제시된 구조는 포토폴리머에 형성된 회절격자를 이용하므로 가격이 저렴하고 고효율의 특성을 갖는 소자의 구성이 가능하며, 격자에 입사되는 빔 폭 및 격자 기폭각도, 그리고 렌즈의 초점거리등을 변화시켜 역다중화 특성을 용이하게 제어할 수 있는 장점을 갖는다. 즉, 채널 대역폭은 렌즈의 초점거리 및 격자에 입사되는 편도빔의 폭을 변화시켜 조절할 수 있으며, 인접채널간 누화 및 공간적 이동 거리는 격자 기폭각 및 렌즈의 초점거리에 의해 제어 가능하다. 홀로그래픽 매질 두께는 이용 가능한 파장 영역을 결정해 두께가 작을수록 구성 가능한 채널 수 확장이 가능함을 볼 수 있으며, 채널 분리를 위한 공간적 거리 이동에는 영향이 없음을 볼 수 있었다. 또한, 기폭각도에 따른 채널 분리 특성을 측정해 결과 기폭각도가 클수록 동일한 거리 이동에 대한 파장 변화가 작기 때문에 채널 분리를 위해 더 많은 공간적 이동이 요구되는 특성을 보였다. 그리고, 편도빔의 직경이 클수록 대역폭이 좁아져 협대역 특성을 갖는 필터 및 역다중화기 구성이 이루어짐을 확인하였다. 이러한 기초적인 실험결과를 바탕으로 0.4 nm와 0.8 nm의 채널간격을 갖는 역다중화기 구성시 예측되는 채널 분리 특성을 관찰하기 위해 각각의 채널 간격에 대한 역다중화 스펙트럼 분포를 측정하였다. 실험 결과 0.8 nm의 채널간격을 갖는 역다중화기 구성시 0.21 nm의 채널대역폭과 26 dB의 채널 누화 억제 특성을 갖는 90채널의 역다중화 특성을 예측할 수 있었으며, 0.4 nm의 채널간격을 갖는 소자에 대해서는 16 dB의 채널 누화 억제 특성을 보였다. 따라서, 0.4 nm 채널 간격을 갖는 역다중화 소자 구성시 렌즈의 초점거리 및 격자 간격을 조절해 채널 분리 특성을 향상시키거나, 아포다이징 기법등을 적용한 특성 향상 방안이 요구됨을 알 수 있었다. 이상의 실험결과로부터 제시된 역다중화기 구조의 적용 가능성을 확인하였으며, 채널

간 누화 억제 기술 및 소자의 패키징 기술을 적용한다면 현재 이용되고 있는 DWDM 광전송 시스템으로의 이용이 가능할 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2001-00324)지원으로 수행되었음.

#### 참고문헌

- [1] A. Locco, H. G. Limberger, and R. P. Salathe, "Bragg grating fast tunable filter," *Elec. Lett.*, vol. 33, no. 25, pp. 2147-2148, Dec. 1997.
- [2] J. Hubner, D. Zauner, and M. Kristensen, "Strong sampled Bragg grating for WDM applications," *IEEE Photonics Tech. Lett.*, vol. 10, no. 4, pp. 552-554, Apr. 1998.
- [3] L. Eldada and L. W. Shacklett, "Advances in polymer integrated optics," *IEEE J. of Selected Topics in Quantum Electronics*, vol. 6, no. 1, pp. 54-68, 2000.
- [4] L. Eldada, S. Yin, C. Poga, C. Glass, R. Blomquist, and R. A. Norwood, "Integrated multi-channel OADMs using polymer Bragg grating MZIs," *IEEE Photonics Tech. Lett.*, vol. 10, pp. 1416-1418, 1998.
- [5] M. G. Cohen and E. I. Gordon, "Acoustic beam probing using optical techniques," *Bell Syst. Tech. J.* vol. 44, pp. 693-721, 1965.
- [6] H. Kogelnik, "Coupled wave theory for thick hologram grating," *Bell Syst. Tech. J.* vol. 48, no. 9, pp. 2909-2947, 1965.
- [7] S. V. Kartalopoulos, "Introduction to DWDM technology," *Opt. Eng. Press & IEEE Press*, p. 252, USA, 2000.
- [8] J. E. Ludman, "Approximate bandwidth and diffraction efficiency in thick holograms," *Am. J. Phys.*, vol. 50, pp. 244-246, 1982.
- [9] 김은석, 김남, "반사형 광 폴리머의 효율 안정을 한 편광특성 분석," 한국전자공학학회지, 제37권 SD편 제6호, pp. 36-42, 2000.
- [10] S. J. Mihailov, F. Bilodeau, K. O. Hill, D. C. Johnson, J. Albert, and A. S. Holmes, "Apodization technique for fiber grating fabrication with a halftone transmission amplitude mask," *Appl. Opt.*, vol. 39, no. 21, pp. 3670-3677, 2000.

## **Analysis of structure and properties of wavelength demultiplexing using photopolymer phase grating**

Won-Jun Choi<sup>†</sup>, Jun-Won An, and Nam Kim

*School of Electrical & Computer Engineering, Chungbuk National University, Chungbuk 361-763, KOREA*

*<sup>†</sup>E-mail: wjchoi@osp.chungbuk.ac.kr*

Kwon-Yeon Lee

*Department of Electronic Engineering, Suncheon National University, Chonnam 540-742, KOREA*

(Received October 9, 2001 ; revised manuscript received December 21, 2001)

A new wavelength demultiplexing scheme using holographic volume phase grating formed in photopolymer is proposed and demonstrated. Through the analysis and experiments of the design parameters such as wavelength selectivity, operating spectral range, spatial channel distance and spatial intensity distribution of each channel, we proved that the proposed demultiplexing scheme is promising for wavelength division multiplexing (WDM). From the experimental results, the 3 dB bandwidth of 0.21nm and the crosstalk level of 26 dB for a 0.8 nm channel spacing are observed.

*Classification codes* : D1.010, OC.020.