

論文98-35D-3-7

# 평탄한 통과대역 특성을 갖는 새로운 구조의 광도파로열 격자 라우터

## (A New Arrayed Waveguide Grating Router with Flat Passband)

金男勳\*, 鄭榮哲\*

(Nam-Hoon Kim and Young-Chul Chung)

## 요 약

광도파로열 격자 라우터는 차세대 WDM(Wavelength Division Multiplexing) 전광 네트워크(All Optical Network)를 실현하는데 있어서 매우 중요한 핵심소자이다. 일반적인 광도파로열 격자 라우터의 주파수 특성은 포물선 모양을 나타내므로 대역폭이 제한받게 된다. 실제 시스템에서 광원의 주파수가 중심주파수에서 벗어날 가능성이 존재하므로 시스템을 신뢰성있게 운영하기 위해서는 광 필터의 주파수 특성이 가능한 평탄하여야 한다. 이러한 특성을 얻기 위하여 본 논문에서는 푸리에 광학의 개념을 이용하여 평탄한 주파수 특성을 갖는 새로운 구조의 광도파로열 격자 라우터를 설계하였다. BPM을 이용한 전산모사 결과 평탄한 주파수 특성을 갖는 새로운 구조의 광도파로열 격자 라우터는 1550nm 파장대에서 인접한 채널간의 간격이 1.6nm(200 GHz)일때 6 dB 이하의 전송손실과 0.8 nm의 평탄한 주파수 특성을 얻을수 있었으며, 각각의 채널에 대해 -23 dB 이하의 누화를 가짐을 확인하였다.

## Abstract

One of the key components to accomplish a WDM all-optical network is an arrayed waveguide grating router. The spectral characteristic of the typical arrayed waveguide grating router has parabolic shape, hence the bandwidth is limited. The spectral response of an optical filter should be as flat as possible for the reliable operation of the system, because the center frequency of the optical source could be deviated in the actual system. In order to acquire these characteristics, we propose and design a new type of the arrayed waveguide grating router with a flat passband using the Fourier optics concept. The BPM simulation results of the new arrayed waveguide grating router with the flat passband show that the bandwidth is 0.8 nm at -1 dB, insertion loss about 6 dB, and the crosstalk less than -23 dB for each channel, which is 1.6 nm(200 GHz) separated from the adjacent channel around 1550 nm wavelength range.

## I. 서 론

음성, 영상, 데이터 등 멀티미디어 서비스에 대한 수요가 급증함에 따라 대용량의 정보를 적시에 공급하

기 위한 전광 네트워크(All Optical Network)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 다양한 요구는 점점 더 많은 채널을 요구하게 되었으며, 이러한 문제를 해결하기 위하여 광통신 분야에서 새로운 다중화 방식으로 파장 분할 다중화 방식(WDM:Wavelength Division Multiplexing)이 제안되었다. WDM 시스템을 실현하기 위해서는 동조 가능한 DBR(Distributed Bragg Reflector) 반도체 레이저와 수

\* 正會員, 光云大學校 電子通信工學科

(Department of Electronic Communications Engineering Kwangwoon University)

接受日字:1998年2月9日, 수정완료일:1998年3月6日

동 필터 등이 필요하며 그 중에서도 광도파로열 격자 라우터(Arrayed Waveguide Grating Router)는 multi/demultiplexing, optical path routing과 add/drop 필터 등과 같은 중요한 역할을 수행한다. 일반적인 광도파로열 격자 라우터의 주파수 특성은 중심주파수에서 출력이 최대로 되고, 중심 주파수의 주변주파수에서는 출력이 감소하는 특성을 나타낸다<sup>[1] [2]</sup>. 하지만 실제 시스템에서 사용되는 광원의 주파수는 중심주파수에서 벗어날 가능성이 존재하므로 광도파로열 격자 라우터의 주파수 특성이 평탄하게되면 신뢰성이 높아지게 된다. 본 논문에서는 푸리에 광학의 개념을 적용하여 평탄한 주파수 특성을 갖는 새로운 구조의 광도파로열 격자 라우터를 제안하고 설계하였으며, 그 가능성을 시뮬레이션을 통하여 확인하였다<sup>[3] [4] [5] [6]</sup>.

## II. 일반적인 광도파로열 격자 라우터의 구성과 동작 특성

일반적인 광도파로열 격자 라우터는 빛의 회절성을 이용하여 WDM 소자로써 동작되도록 되어있다. 일반적인 광도파로열의 격자 라우터의 구성은 다음과 같다. 광파가 입력되는 입력 도파로와 입력된 광파를 분기시키는 첫 번째 슬랩 도파로(first slab waveguide), 일정한 경로차를 갖는 광도파로열(arrayed waveguide), 그리고 각각 분기되면서 일정한 경로차를 겪은 광파를 출력단의 한 점에 맺히게 하는 두 번째 슬랩 도파로(second slab waveguide), 그리고 출력도파로들로 구성되어있다. 그림 1은 일반적인 광도파로열 격자 라우터의 구성을 나타내고 있다<sup>[1] [2]</sup>.

이러한 구성을 가진 광도파로열 격자 라우터의 입력 도파로를 통과하여 입사된 광파는 첫 번째 슬랩 도파로를 통과하면서 일정한 양으로 분기가 된다. 이때 분기된 광파는 인접한 도파로와 일정한 경로차이를 갖는 광도파로열에 입사되어 각 도파로들을 통과한 후에 인접 도파로간의 특정한 위상차이를 갖게 된다. 이때 첫 번째 슬랩 도파로를 통과한 후의 광파의 분포는 대략적으로 가우시안 분포가 된다. 그림 2는 광도파로열 격자 라우터의 첫 번째 슬랩 도파로를 통과한 후의 광파의 분포를 나타내고 있다. 광도파로열 격자 라우터(AWG Router)에서 인접 도파로간의 특정한 위상차이는 두 번째 슬랩 도파로에서 집속되는 광파의 방향

에 영향을 주게 되고, 같은 입력 도파로에 여기된 다른 파장의 광파는 파장에 따라 다른 출력 도파로에 출력되게 된다.

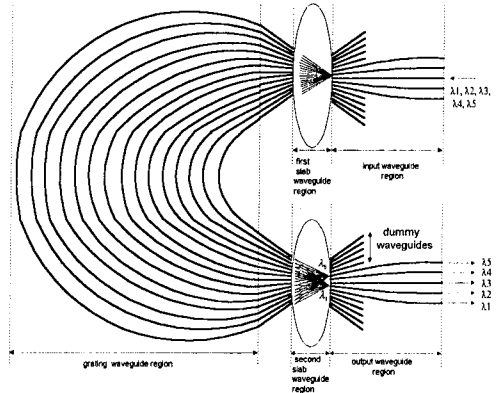


그림 1. 슬랩 도파로와 광도파로열로 구성된 일반적인 광도파로열 격자 라우터

Fig. 1. Typical arrayed waveguide grating router composed of slab waveguide and arrayed waveguide.

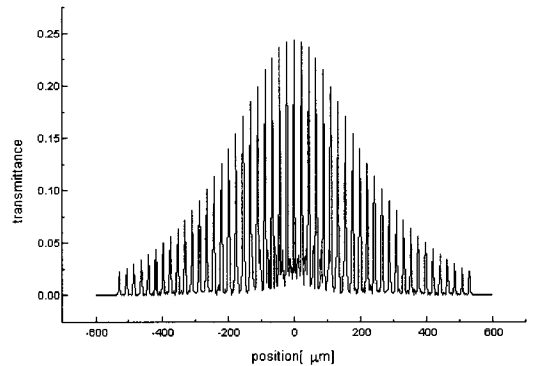


그림 2. 첫 번째 슬랩 도파로를 통과한 후의 광파의 분포

Fig. 2. Distribution of lightwave passing the first slab waveguide.

그림 2에서 보인 광파의 분포는 광도파로열을 통과한 후 가우시안 형태로 두 번째 슬랩 도파로에 입사하게 된다. 일정한 경로차이를 겪으면서 두 번째 슬랩 도파로에 입사된 광파들은 두 번째 슬랩 도파로를 통과하여 출력단의 한 점에 광파의 초점이 맺히게 된다. 이 때의 광도파로열 격자 라우터의 주파수 특성은 중심 주파수에서 출력이 최대로 되고, 중심 주파수에서 벗어남에 따라 출력단의 초점의 위치가 변화하게 되므로 대역폭이 제한되는 특성을 갖게 된다. 즉 일반적인

광도파로열 격자 라우터의 주파수 특성은 그림 3에서 보인 바와 같이 포물선 모양을 갖게 된다<sup>[1]</sup>. 하지만 실제 시스템에서 사용되는 광원의 입력 주파수가 각 채널의 중심 주파수에서 벗어날 가능성이 존재하므로 주파수 특성을 개선하는 것이 새로운 과제로 대두되게 되었다<sup>[3] [5] [6]</sup>.

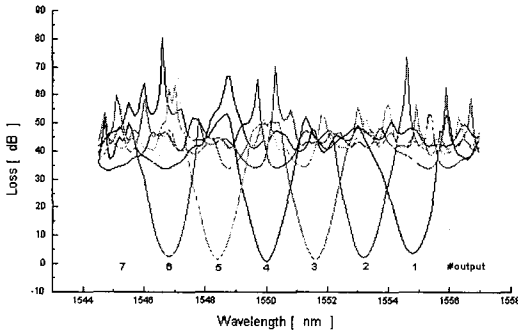


그림 3. 일반적인 광도파로열 격자 라우터의 주파수 응답

Fig. 3. Spectral response of typical arrayed waveguide grating router.

과장 만큼의 광도파로를 추가하여 위상이 반전되도록 하였다. 싱크함수 형태의 광파의 분포를 갖고 두 번째 슬랩 도파로에 입사된 광파는 두 번째 슬랩 도파로를 통과하여 출력단의 한 점에 광파의 초점이 맺힐 때 구형파 형태(rectangular function)형태가 된다. 결국 파장의 변화에 따라 구형파 함수의 위치가 이동함으로써 주파수 특성이 평탄하게 된다.

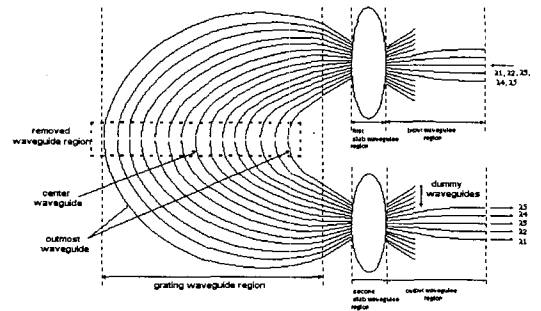


그림 4. 평탄한 주파수 특성을 갖는 새로운 구조의 광도파로열 격자 라우터

Fig. 4. New arrayed waveguide grating router with flat passband.

### III. 새로운 구조의 광도파로열 격자 라우터의 동작원리

새로운 구조의 광도파로열 격자 라우터는 광파가 입사되는 입력 도파로(input waveguide)와 입력된 광파를 분기시키는 첫 번째 슬랩 도파로(first slab waveguide), 일부 구간의 도파로를 제거한 광도파로열(arrayed waveguide), 그리고 두 번째 슬랩 도파로(second slab waveguide)와 출력 도파로(output waveguide)로 구성되어 있으며, 그 구성도를 그림 4에 나타내었다. 또한 평탄한 주파수 특성을 얻기 위하여 싱크 함수(sinc function)의 푸리에 변환은 구형파 함수(rectangular function)가 되는 성질을 이용하였다. 그러한 푸리에 변환의 관계를 그림 5에 나타내었으며, 그림 6은 광도파로열에서 광파의 파워를 감쇄시키는 방법을 나타내었다. 첫 번째 슬랩 도파로를 통과한 가우시안 분포의 광파를 광도파로열 중간에서 도파로를 적절히 제거함으로써 두 번째 슬랩 도파로에 입사될 광파의 파워를 싱크 함수 형태로 감쇄시켰다. 그림 6에서 영역 2(region 2)는 두 번째 슬랩 도파로에 입사된 광파가 싱크 함수 형태가 되도록 하기 위해 위상을 180° 반전시키는 영역이므로 이 영역에서는 반

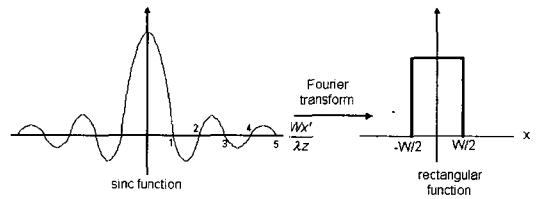


그림 5. 싱크 함수와 구형파 함수의 푸리에 변환 관계( $\lambda$ 는 파장이고,  $Z$ 는  $x$  좌표계와  $x'$  좌표계 사이의 거리이다)

Fig. 5. Fourier transform relation between the sinc function and rectangular function. ( $\lambda$  is the wavelength and  $Z$  is length between  $x$  coordinate and  $x'$  coordinate)

그림 7은 광도파로열에서 도파로 제거 길이(length)에 따른 광파의 감쇄 정도를 나타내고 있으며, 이를 토대로 각 도파로에서의 제거길이를 정하였다. 이때 도파로 제거영역을 통과한 광파는 도파로 제거 길이(length)에 따른 위상오차를 겪게 된다. 그림 8에 나타난 위상오차는 도파로 제거길이에 따른 상대적 위상오차이며, 이러한 상대적 위상오차는 광도파로열에서 도파로를 제거하지 않았을 때와 비교한 상대적인 위상오차이다.

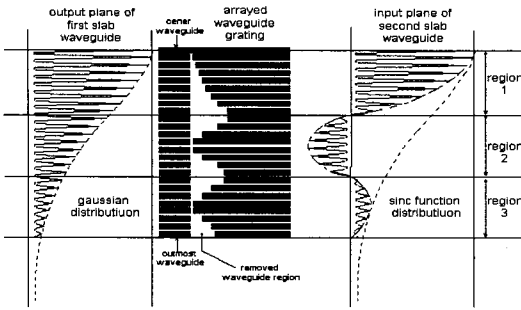


그림 6. 새로운 구조의 광도파로열 격자 라우터에서 sinc 함수와 유사한 형태의 광파 분포를 형성하기 위하여 광파의 파워를 감쇄시키는 방법의 개략도(region 2에서 반파장 만큼의 도파로를 삽입하거나 굴절률 tuning에 의하여 region 1,3에 비하여 위상이 반전되도록 한다)

Fig. 6. Schematic diagram showing power attenuation method in order to acquire light-wave distribution, which is similar to sinc function in the new arrayed waveguide grating router.(We reverse phase in region 2, using half wavelength waveguide insertion or refractive index tuning)

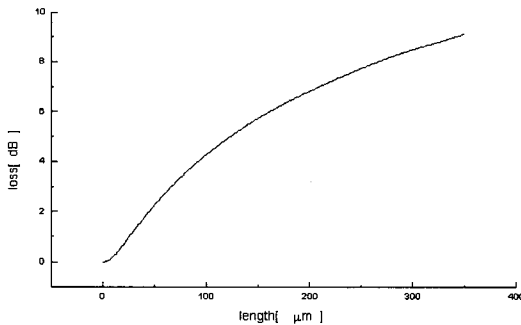


그림 7. 광도파로열 영역에서 도파로 제거길이에 따른 광파의 감쇄정도

Fig. 7. Lightwave's attenuation removing the waveguide in arrayed waveguide

이러한 위상오차를 없애기 위해서는 위상오차 만큼의 도파로를 광도파로열에 삽입하여 주면 된다. 위상 오차에 의해 삽입되는 도파로 길이는 식 (1)에 의하여 구할수 있다.

$$\Delta L = \frac{\lambda}{2\pi n_{eff}} \Delta\phi \quad (1)$$

식 (1)에서  $\Delta L$  은 상대적 위상오차에 의해 삽입되는 도파로 길이이고,  $n_{eff}$  는 광도파로열에서의 유효

굴절률,  $\lambda$  는 중심 파장,  $\Delta\phi$  는 광도파로열에서 도파로를 제거하지 않았을 때와 도파로를 제거했을 때의 변화한 위상차이다.

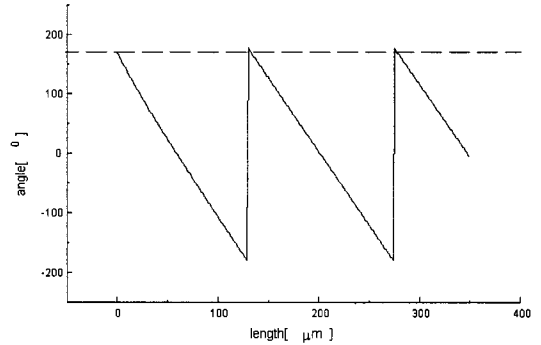


그림 8. 광도파로열에서 도파로 제거길이에 따른 상대적 위상차

Fig. 8. Relative phase difference removing the waveguide in the arrayed waveguide.

두 번째 슬랩 도파로에 입사된 싱크 함수와 유사한 형태의 광파는 두 번째 슬랩 도파로를 통과한 후 구형파 형태를 띠면서 출력면에 상이 멎히게 된다. 이때 두 번째 슬랩 도파로에 입사한 싱크 함수 형태의 광파에서 위상 반전이 발생하는 영역을 찾아보면, 중심으로부터 첫 번째로 위상 반전이 일어나는 점(first zero crossing point)은 식 (2)를 이용하여 구할수 있다.

$$x_0 = \frac{\lambda z}{W n_{eff}} \quad (2)$$

여기서  $x_0$  는 중심으로부터 첫 번째로 위상 반전이 일어나는 점,  $\lambda$  는 중심 파장이고,  $W$  는 구형파의 폭,  $z$  는 두 번째 슬랩 도파로의 초점거리( $f$  : focal length)가 되며,  $n_{eff}$  는 슬랩 도파로의 유효 굴절률이다.

#### IV. 전산 모사 실험

본 논문에서 제안한 구조의 가능성을 설명하기 위하여 그림 9와 같은 도파구조를 예를 들어서 설계과정 및 전산 모사 결과를 보이고자 한다. 그림 9는 본 논문의 전산 모사에서 고려된 단위 도파로의 횡단면 굴절률 분포를 나타낸 것이다. InP 기판에  $0.35 \mu m$  -InGaAsP (1.2Q)의 코어층을 형성하고 다시 InP를 성장시켜 슬랩 도파로를 형성하였다. 그리고 측방향

구속력을 주기 위하여 위층의 InP를 0.2  $\mu\text{m}$ 까지 식각을 시켜 ridge 형 도파로를 형성하였으며 이때 유효굴절률법을 이용해 조사된 index contrast는 0.5% 이다. 그리고 도파로 폭은 2  $\mu\text{m}$ 로 하였다.

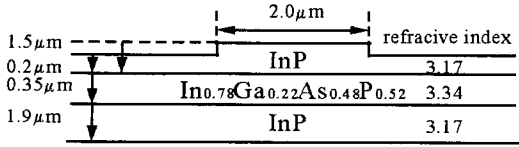


그림 9. 제안된 광도파로열 격자 라우터에 고려된 단위 도파로의 횡단면 굴절률 분포

Fig. 9. Refractive index profile of cross section in the proposed arrayed waveguide grating router.

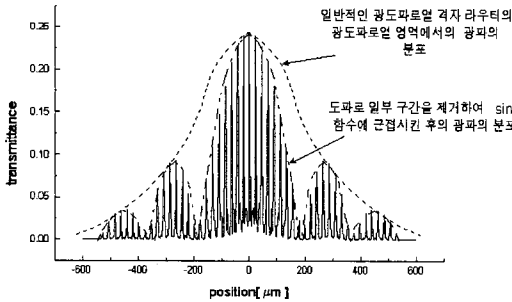


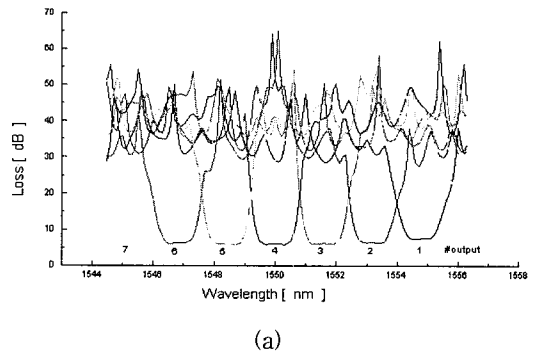
그림 10. 광도파로열에서 파워를 감쇄시킨 싱크 함수 형태

Fig. 10. Sinc function shape which attenuated the power in arrayed waveguide.

평탄한 주파수 특성을 갖는 광도파로열 격자 라우터를 설계하기 위해서는 두 번째 슬랩 도파로에 입사되는 광파의 분포가 싱크 함수이어야 한다. 그러므로 싱크 함수 형태가 되도록 하기 위하여 광도파로열의 도파로 제거영역에서 도파로를 적절히 제거하여 특정한 진폭을 가지는 정현파 함수에 근접하도록 광파의 파워

를 감쇄시켰다. 도파로 제거영역에서의 도파로 제거길이를 표 1에 나타내었으며, 광파의 파워를 감쇄시킨 후의 결과를 그림 10에 나타내었다. 구형파의 폭(W)을 8.73  $\mu\text{m}$ 로 하였으며, 초점거리(z)는 1500  $\mu\text{m}$ 로 하였다. 결과적으로 중심으로부터 첫 번째로 위상 반전이 일어나는 점(first zero crossing point)은 대략 82.5  $\mu\text{m}$ 가 된다. 즉 광도파로열을 거쳐 두 번째 슬랩 도파로에 입사 될 때의 도파로 간의 간격을 10  $\mu\text{m}$ 로 하였을 때 중심으로부터 8 개의 도파로를 주기로하여 위상 반전이 되도록 설계하였다. 위상 반전이 일어나는 영역은 그림 6에서 영역 2(region 2)에 해당하고, 이 영역은 8 개의 도파로를 포함하고 있으며 이 영역에 반파장 만큼의 도파로를 추가로 삽입하여 싱크 함수와 유사한 형태를 갖도록 하였다.

본 논문에서 제안한 새로운 구조의 7x7 광도파로열 격자 라우터를 수치적으로 확인하기 위하여 FD-BPM (Finite Difference Beam Propagation Method)을 이용하였다. 전산모사 결과에 의한 새로운 구조의 7x7 광도파로열 격자 라우터의 평탄한 주파수 특성을 그림 11에 나타내었다<sup>[7]</sup>. 그림 11의 (a)와 (b)에서 광파가 입사되는 입력 도파로가 달라지면 채널이 이동됨을 알 수 있다.



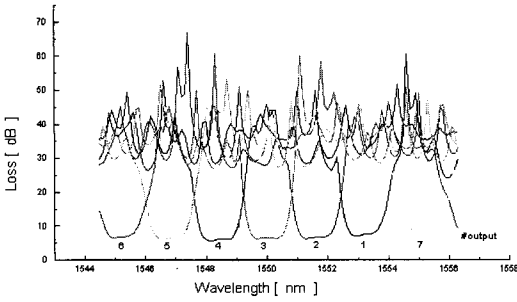
(a)

표 1. 도파로 제거 영역에서 도파로 제거길이(도파로 번호 "0" 과 "24" 은 각각 광도파로열에서 중심 도파로와 가장 바깥쪽 도파로이다)

Table 1. Length of removed waveguide in the removed section.(waveguide number "0" and "24" is center waveguide and outermost waveguide in the array)

도파로 번호	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
도파로 제거길이[ $\mu\text{m}$ ]	0	6	14	23	32	44	200	317	690	780	255	75	18
도파로 번호	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
도파로 제거길이[ $\mu\text{m}$ ]	14	6	50	780	1140	255	75	23	0	0	50	270	

참 고 문 헌



(b)

그림 11. 새로운 구조의 7x7 광도파로열 격자 라우터의 주파수 응답 (a) 네 번째 입력 도파로 여기서 (b) 다섯 번째 슬랩 도파로 여기서

Fig. 11. Spectral response of new structural 7x7 arrayed waveguide grating router.  
(a) When 4-rd input port is excited (b) When 5-rd input port is excited

BPM을 이용한 전산모사 결과 채널 간격 1.6 nm(200 GHz)에서 6 dB 이하의 전송 손실과 0.8 nm의 평탄한 주파수 특성을 얻을 수 있었으며, -23 dB 이하의 누화를 갖는 구조가 가능함을 확인하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 일반적인 광도파로열 격자 라우터의 구조 중 광도파로열에서 일부 구간의 도파로를 제거하여 광파의 감쇄를 인위적으로 유도하여 두 번째 슬랩 도파로의 출력면에 광파가 맺힐 때 평탄한 주파수 특성을 갖도록 하였다. 이러한 평탄한 주파수 특성은 광원의 주파수가 통신 시스템의 여러 가지 제약으로 인하여 중심주파수에서 벗어나게 되는 문제를 극복하는데 매우 유용하다. 본 논문에서 제안한 새로운 구조의 광도파로열 격자 라우터를 수치적으로 확인하기 위하여, 7x7 광도파로열 격자 라우터를 설계하였고, BPM을 이용한 전산모사 결과 1.6 nm의 파장 채널 간격에서 6 dB 이하의 전송손실과 0.8 nm의 평탄한 주파수 특성을 얻을 수 있었으며, -23 dB 이하의 누화를 갖는 구조가 가능함을 보였다.

감사의 글

※ 본 논문은 한국 과학재단의 핵심 전문 연구(981-0914-072-2) 지원에 의한 것임

[ 1 ] C. Dragone et al, "Integrated Optics NxN Multiplexer on Silicon", IEEE Photon. Technol. Lett, vol. 3, no. 10, pp. 896-899, 1991.

[ 2 ] 문성욱, 정영철 "성형결합기로 구성된 광도파로 격자 라우터의 설계방법에 관한 연구", 한국통신학회, 제21권, 제9호, pp. 2526-2532, 1996

[ 3 ] M.R. Amersfoort, C.R. de Boer, F.P.G.M. van Ham, M.K. Smit, P. Demeester, J.J.G.M. van der Tol and A. Kuntze, "Phased-array wavelength demultiplexer with flattened wavelength response", Electron. Lett, vol. 30, no. 4, pp. 300-303, 1994

[ 4 ] J.B. D. Soole, M.R. Amersfoort, H.P. LeBlanc, N.C.Andreadakis, et al. "Use of Multimode Interference Couplers to Broaden the Passband of Wavelength-Dispersive Integrated WDM Filters", IEEE Photon.Technol.Lett., vol. 8, no. 10, pp. 1340-1342, 1996.

[ 5 ] M.K. Smit, and Cor van Dam, "PHASAR-Based WDM-Devices: Principles, Design and Applications", IEEE J. Quantum Electron., vol. 2, no. 2, pp. 236-250, 1996.

[ 6 ] K. Okamoto and A. Sugita, "Flat spectral response arrayed-waveguide grating multiplexer with parabolic waveguide horns", Electron. Lett. vol. 32, no. 18, pp. 661-662, 1996.

[ 7 ] Youngchul Chung and Nadir Dagli, "An Assessment of Finite Difference Beam Propagation Method", IEEE J. Quantum. Electron., vol. 26, no. 8, pp. 1335-1339, 1990.

## 저 자 소 개



金 男 勳(正會員)

1969년 7월 17일생. 1989년 ~ 1996년 광운대학교 전자통신공학과(공학사). 1996년 ~ 1998년 현재 광운대학교 전자통신공학과(석사과정). 관심분야는 광소자 설계, 광전송 시스템

鄭 榮 哲(正會員) 第 33卷 A編 第 8號 參照

현재 광운대학교 전자공학부/전자통신 공학과 부교수. 광운대학교 신기술 연구소 연구원