

박막필터형 4-채널 파장분할 다중화 소자의 제작 및 평가

(Fabrication and Evaluation of Thin Film Filter Type 4-Channel Wavelength Division Multiplexing Device)

朴景鉉*, 徐完錫*, 鄭永萬**, 朴熙甲*, 馬東星*, 姜玟鎬*

(Kyung Hyun Park, Wan Seok Seo, Young Man Chung, Hee Gap Park,
Dong Sung Ma and Min Ho Kang)

要 約

광 가입자망에의 적용을 목표로 박막필터형 4-채널 파장분할 다중화 소자를 설계, 제작하였다. 제작된 소자는 다중모드 광섬유용으로 0.81 μm , 0.89 μm , 1.2 μm , 1.3 μm 의 파장분할을 가진다. 소자의 성능은 전체 채널간 삽입손실 1-2dB(커넥터 손실 제외), 누화감쇠 30~35dB로 평가되었다. 제작된 소자를 광대역 신호의 다중전송 실험에 적용한 결과 소자의 누화에 의한 SNR의 열화는 측정오차 이내로 평가되었다.

Abstract

Thin film filter type 4-channel wavelength division multiplexing(WDM) device was designed and fabricated for the application in optical subscriber loop system. It has multi-mode fiber pigtails and four wavelength division consisting of 0.81, 0.89, 1.2 and 1.3 μm . The evaluated performances are 1-2dB of insertion loss (connector loss excluded) and 30-35dB of crosstalk attenuation for all channels. The performance of the fabricated device was tested in the wide-band optical transmission experiment, where the SNR degradation due to the crosstalk of the device was found to be within a measurement error.

I. 서 론

광통신 시스템에 있어서 광 파장분할 다중화(wavelength division multiplexing; WDM)는 송신측에서 각각 다른 파장의 빛에 여러가지 정보를 실어서 한 가닥의 광섬유를 통하여 전송하고, 수신측에서 이것을 다시 파장별로 분리하여 원래의 정보를 수신하는 다중

화의 한 형식이다. 이러한 파장분할 다중화는 1970년에 개념이 형성되어 1977년 Bell 연구소의 Tomlinson에 의하여 여러가지 방식의 WDM 소자의 구조가 제시되었고¹⁾ 이어서 광통신 시스템에의 적용이 가능한 현실성 있는 WDM 소자들의 연구, 개발이 진행되어왔다.^{2,3,4,5)}

파장분할 다중화 전송 기술이 발전하게된 배경은 현재 석영계 광섬유의 사용 파장대역인 0.8~1.7 μm 대역에서 GaAlAs계의 단파장대, InGaAsP계의 장파장대의 광원의 개발과 Si계의 단파장대 및 Ge, InGaAs계의 장파장대 광검출기의 개발에 의해 임의의 파장분할이 가능해짐으로써 광섬유의 넓은 저손실 대역을 충분히 활용할 수 있었기 때문이다. 따라서 파장분할 다중화는 전기적인 다중화인 주파수분할 다중화(FDM)와

*正會員, 韓國電子通信研究所 光通信 開發部
(Optical Communication Section, ETRI)

**正會員, 韓國光學技術開發(株)
(Optechs Korea Co.)

接受日字: 1986年 11月 12日

(본 연구는 과기처 특정 연구과제의 일부로 수행한 것임.)

시간분할 다중화(TDM)에 비교하여 전송 시스템의 고압화, 중계기 간격의 단축, 광섬유 심선수의 증가없이 전송 용량의 증대 및 양방향 동시 전송을 가능케할 뿐만 아니라 이종(아날로그 및 디지털)의 신호를 동시에 전송할 수 있으며, 이미 포설된 광섬유에 새로운 서어비스 채널을 쉽게 수용할 수 있는 시스템적 유연성도 가지고 있다.⁶⁾

이와같은 파장분할 전송의 장점에 힘입어 디지털 국간 중계용 광전송 시스템의 전송 용량을 증가시키기 위한 2~3 개 채널의 WDM 전송 시스템이 상용화 단계에 와있을 뿐만 아니라, 전화 및 디지털 데이터의 협대역 서어비스와 영상등의 광대역 서어비스가 동시에 요구되고 한가닥의 광섬유를 통한 양방향 전송이 가능해야 하는 광 가입자망에 가장 적합한 다중화 방식으로 평가되어, 현재 2~4 채널의 광 가입자망용 WDM 전송 시스템이 외국에서 현장 시험되고 있으며⁷⁾ 우리나라에서도 연구의 필요성이 크게 부각되고 있다.

본 논문에서는 파장분할 다중화 전송 시스템의 핵심 소자인 WDM 소자를 박막필터와 GRIN(Graded index) 렌즈를 이용하여 설계, 제작하였고 또한 제작된 WDM 소자의 삽입손실 및 누화감쇠의 광학적 특성과 광대역 신호의 다중전송 특성을 측정하여 제작된 WDM 소자의 광 가입자망에의 적용성을 평가 하였다.

II. WDM 소자의 설계 및 제작

1. 설계 개요

WDM 소자는 각각의 분할된 파장의 빛에 정보를 실은 여러개의 입력 채널을 합쳐서 하나의 출력 채널로 출력시키는 기능을 가진 다중화기(multiplexer)와 원래의 분할된 파장에 해당하는 각각의 채널로 분리시키는 역다중화기(demultiplexer)의 쌍으로 구성되며 양방향 전송의 경우에는 하나의 WDM 소자가 두가지 기능을 함께 수행하게 된다. 여기서 WDM 소자는 광가입자망에의 적용을 고려할 때 분할과장, 다중도, 전송방향성, 삽입손실 및 누화감쇠등의 WDM 소자의 기능 및 성능이 광 가입자망의 요구를 만족시켜야 한다.

먼저 분할과장은 광원 및 광검출기의 개발 파장대역중에서 현재 광원으로 상용화되어 있는 0.81 μ m, 0.89 μ m, 1.2 μ m, 1.3 μ m 파장으로 결정했다. 따라서 본 WDM 소자의 다중도는 4-채널이 되는데 광 가입자에의 서어비스 측면에서 볼 때 디지털의 데이터 신호와 아날로그의 영상 신호를 실을 수 있는 두개의 채널 쌍을 양방향으로 전송할 수 있도록 WDM 소자를 설계하는 것이 가장 합리적이다.

그림 1에 본 논문의 WDM 소자를 적용한, 한가닥의

광섬유를 통하여 여러가지 서어비스를 주고 받을 수 있는 광 가입자망용 파장분할 다중전송 시스템을 제시하였다. 여기서 WDM 소자가 가져야할 성능으로, 삽입손실은 광 가입자망의 광섬유 전송로 길이가 대체적으로 짧은 것임을 고려할 때 광전송 시스템의 설계시 주어지는 system margin인 10dB 보다 작으면 되고¹¹⁾ 누화감쇠는 baseband 아날로그 신호 전송시 요구되는 30dB 보다 커야 한다.¹⁷⁾ 이와같은 WDM 소자의 성능을 만족시키기 위해 본 논문의 WDM 소자의 설계에는 파장분리용으로 유전체다층 박막에서의 빛의 간섭을 이용하는 박막필터를, 입, 출력 광섬유 사이의 광결합용으로 GRIN 렌즈를 사용하였다.

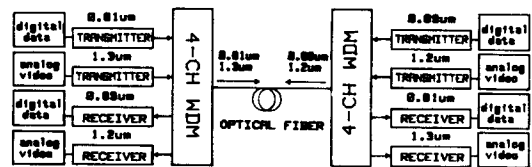


그림 1. 4-채널 WDM 소자를 적용한 광 가입자망용 파장분할 다중전송 시스템

Fig. 1. Wavelength Division Multiplexed Transmission System for Optical Subscriber Loop Adopting 4-Channel WDM Devices.

2. 박막필터

박막필터형 WDM 소자는 유전체 다층박막에서의 빛의 간섭에 의한 파장에 따른 선택적 투과 또는 반사 특성을 파장분리에 이용한다. 즉 역다중화기내에 다중반사 구조로 광경로를 구성하고 각 반사위치에 하나의 파장성분만을 투과시키고 나머지 분할과장 성분은 반사시키는 박막필터를 배치함으로써 다중화된 입력광이 다중반사 경로를 거치는 동안 각각의 분할과장으로 분리된다. 여기서 박막필터는 굴절율이 서로 다른 두가지의 박막물질을 특정의 광학적 두께로 기판위에 교대로 적층시킨 것으로 원하는 파장특성을 갖도록 한 것이다.

박막이론은 Maxwell 전자기 이론의 유전체 경계면에 대한 경계조건을 다층 박막계에 확장한 것으로서 각 박막층의 굴절율과 광학적 두께가 주어졌을 때 전체 다층 박막계의 파장에 따른 투과율 또는 반사율을 예측할 수 있게 한다.¹⁸⁾ m층의 박막층이 기판(m+1층) 위에 증착되어 공기중에서 놓여있을 때 이 박막필터의 파장특성은 다음과 같이 구할 수 있다. 먼저 임의의 j번째 박막층의 위, 아래 경계면에서의 전장과 자장의 접선성분은 다음과 같이 서로 연결된다.

$$\begin{pmatrix} E_{j-1} \\ H_{j-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \phi_j & iY_j^{-1} \sin \phi_j \\ iY_j \sin \phi_j & \cos \phi_j \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_j \\ H_j \end{pmatrix} \quad (1)$$

여기서 Y_j 는 j 번째 층에서의 admittance로서 S-편극에 대해서는 $n_j \cdot \cos \theta_j$, P-편극에 대해서는 $n_j \cdot \sec \theta_j$ 로 주어진다. n_j 와 θ_j 는 j 번째 층의 굴절율과 광파의 입사 각이고 ϕ_j 는 광파가 j 번째 층을 통과하는 동안 j 번째 층의 기하학적 두께 h_j 에 의한 위상변위로서 다음과 같이 주어진다.

$$\phi_j = (2\pi/\lambda) \cdot n_j h_j \cos \theta_j \quad (2)$$

(1)식의 2×2 matrix는 j 번째 박막층을 나타내는 characteristic matrix로 A_j 로 표시하기로 하면 전체 박막계를 각 박막층의 characteristic matrix의 곱으로 나타낼 수 있으므로 이 박막필터에 대한 입사전기장 (E_0), 반사전기장 (E_r) 및 투과전기장 (E_{m+1}) 사이의 관계는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{pmatrix} E_0 \\ E_r \end{pmatrix} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & Y_0^{-1} \\ 1 & -Y_0^{-1} \end{pmatrix} \prod_{j=1}^m A_j \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ Y_{m+1} \end{pmatrix} E_{m+1} \quad (3)$$

여기서 Y_0, Y_{m+1} 은 입사공기층과 기판의 admittance이다.

(3)식에서 반사율과 투과율은

$$R = |(E_r/E_0)|^2 \quad (4)$$

$$T = (Y_{m+1}/Y_0) |(E_{m+1}/E_0)|^2 \quad (5)$$

으로 주어진다.

그림 1의 파장분할을 위한 박막필터로서 장, 단파장 대역 분리용 ($0.81\mu\text{m} - 0.89\mu\text{m} / 1.2\mu\text{m} - 1.3\mu\text{m}$) 장파장 투과필터와 각 파장대에서의 인접파장 분리용 ($0.81\mu\text{m} / 0.89\mu\text{m}, 1.2\mu\text{m} / 1.3\mu\text{m}$) 대역투과필터가 사용되는데 이들 박막필터의 성능에 의해 WDM 소자의 누화감쇠값이 결정되고, 삽입손실도 크게 영향을 받으므로 박막필터의 설계와 제작은 대단히 중요하다. 특히 대역투과필터는 광원 (laser diode; LD)의 발진 중심파장 이동폭인 $\pm 250 \text{ \AA}$ ($1.2\mu\text{m}, 1.3\mu\text{m}$), $\pm 125 \text{ \AA}$ ($0.81\mu\text{m}, 0.89\mu\text{m}$)을 포함하면서 평탄한 투과특성을 가져야 하고 인접한 파장의 광원의 발진 파장대역은 완전히 반사해야 하는 설계조건을 만족시켜야 한다.⁹⁾ 이와같은 파장특성의 박막필터는 구형(矩形)의 대역투과필터로서 대역투과필터의 일반형인 단일 Fabry-Perot 구조로는 설계가 불가능하고 spacer가 여러개인 다중 Fabry-Perot 구조이어야 한다. 따라서 본 논문에서는 직관적인 이해가 가능한 단일 Fabry-Perot 구조를 단계적으로 결합시켜 원하는 구형 대역투과 필터를 설계하는 방법을 이용하였다.¹⁰⁾

그림 2에 본 논문의 박막필터 조건을 만족시키는, 3개의 spacer를 가지는 $1.2\mu\text{m}$ 파장용 대역투과필터를 3단계로 나누어서 설계하는 과정을 나타내었다. 그림에서 S는 기판, H와 L은 박막물질중 굴절율이 높

은 것과 낮은 것의 설계 중심파장($\lambda_0 = 1.21\mu\text{m}$)에 대한 $\lambda_0/4$ 의 광학적 두께를 가지는 박막층을, $2L$ 은 $\lambda_0/2$ 의 광학적 두께의 박막층으로 spacer를 나타낸다. 설계원리는 낮고 완만한 투과곡선을 가지는 단일 Fabry-Perot 구조로부터 갈수록 구형에 가까워지고 높은 투과율을 갖도록 spacer를 중심으로 앞단계의 박막계와 새로운 박막계를 결합시켜 나간다. 그림 2의 대역투과 필터는 반치폭이 600 \AA 이면서 $1.3\mu\text{m}$ 대역을 완전히 분리시키는 특성을 보이고 있다. 또한 그림 2의 필터는 같은 박막구조 일 때 설계중심파장을 변화시킴으로써 임의의 파장대역에서 동일한 형태의 투과곡선과 설계 중심파장에 비례하는 반치폭을 가지도록 할 수 있는데, 예를들어 설계중심 파장을 $0.81\mu\text{m}$ 로 할 경우 반치폭은 단파장 광원의 발진중심파장 이동폭을 모두 포함하는 400 \AA 이 되고 $0.89\mu\text{m}$ 파장대역을 완전히 분리할 수 있는 대역투과필터를 얻을 수 있다.

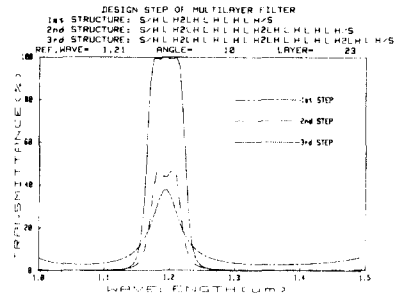


그림 2. 대역투과필터의 설계
Fig. 2. Design of Band Pass Filter.

그림 3은 그림 2의 설계에 따라 제작된 박막필터의 파장특성으로 설계시와 같은 조건(WDM 소자내에서 굴절을 정합이 될 경우)에서는 최대 투과율이 5% 정도 증가하고 투과곡선도 평탄해지게 되므로 그림 2의 세번째 단계의 설계와 잘 부합하고 있음을 보여준다. 그림 3의 박막필터를 WDM 소자제작에 사용할 경우 박막필터에 의한 $1.2\mu\text{m}$ 채널의 삽입손실은 이 파장에서의 박막필터의 투과율이 90% 이상이므로 0.5dB 이하, $1.3\mu\text{m}$ 채널에 대한 누화감쇠는 박막필터에서 $1.3\mu\text{m}$ 파장성분은 99.9% 이상이 반사되므로 30dB 이상이 될 것으로 예상된다.

3. GRIN rod 렌즈의 평가

GRIN rod 렌즈는 굴절율이 중심축으로부터 방사상 방향으로 갈수록 작아지는 포물선형 굴절율 분포를 가지며 특정의 파장에 대해 주어진 pitch가 되는 길이의 막대형 렌즈이다. 여기서 렌즈내를 진행하는 광선의

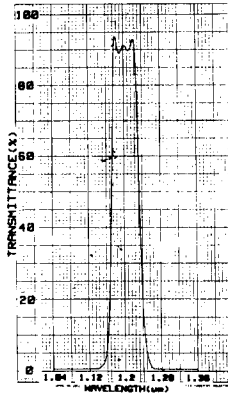


그림 3. 제작된 대역투과필터의 파장에 따른 투과특성
Fig. 3. Spectral Characteristics of Fabricated Band Pass Filter.

한 주기가 1pitch가 되는데 1/4 pitch의 길이의 GRIN 렌즈는 렌즈 한쪽면에 발산 광원이 있을 때 반대면에서 평행광이 출사되고, 역으로 평행광이 입사할 때 반대쪽 렌즈면에 초점이 맺히는 collimating, focusing 기능을 가진다.

본 논문에서는 1/4 pitch GRIN 렌즈를 광섬유에 결합시킴으로써 광섬유로부터 나온 발산광을 평행광화하거나, 평행광을 다시 광섬유로 집속되도록 하여 소형이면서 안정성 높은 WDM 소자를 제작했다. 여기서는 GRIN 렌즈내에서의 광선 추적법(raytracing)¹¹⁾을 이용하여 WDM 소자의 제작에 사용된 GRIN 렌즈의 collimating, focusing 특성을 평가해 보고자 한다.

GRIN 렌즈의 굴절률 분포는 다음과 같다.

$$n(r) = n_0(1 - Ar^2/2) \quad (6)$$

$n(r)$: 중심축에서 r만큼 떨어진 곳의 굴절률

n_0 : 렌즈 중심축상의 굴절률

A : 굴절률 분포상수

위와 같은 비균일 굴절률 분포를 가지는 매질내에서의 광선의 궤적은 Fermat의 최소 작용의 원리를 따른다. 여기서 좌표계를 직각 좌표계로 잡고 렌즈의 굴절률 변화가 없는 축방향을 z축으로 두면 z축을 따라서 진행되는 광선에 대한 x축, y축상의 좌표와 기울기는 다음과 같이 주어진다.

$$x(z) = x_0 \cos(\sqrt{A}z/c) + p_0 \frac{c}{\sqrt{A}} \sin(\sqrt{A}z/c) \quad (7)$$

$$y(z) = y_0 \cos(\sqrt{A}z/c) + q_0 \frac{c}{\sqrt{A}} \sin(\sqrt{A}z/c) \quad (8)$$

$$p(z) = p_0 \cos(\sqrt{A}z/c) - x_0 \frac{c}{\sqrt{A}} \sin(\sqrt{A}z/c) \quad (9)$$

$$q(z) = q_0 \cos(\sqrt{A}z/c) - y_0 \frac{c}{\sqrt{A}} \sin(\sqrt{A}z/c) \quad (10)$$

$x, y : z=0$ 일때 광선의 x, y축상 좌표점
 $p, q : z=0$ 일 때 광선의 x, y축상 기울기
 $c = \sqrt{1 - A(x^2 + y^2)} \cdot \cos \theta$
 $\theta : z=0$ 일 때 광선이 z축과 이루는 각

NA가 0.2인 다중모드 광섬유로부터 GRIN 렌즈에 입사한 입사광의 발산각을 4 등분하고, 각각의 발산각의 동심원을 45°의 방위각(azimuth angle)으로 나눈 전체 33광선에 대한 광선추적 결과를 computer로 계산하여 렌즈 출사면에 spot으로 나타내었다.

그림 4는 1/4 pitch GRIN 렌즈를 통과한 광선의 spot diagram으로 출사점은 직경1mm 내에서 균일하게 분포하고 있고 기울기는 0.1° 이내로 평행광화 되어 있음을 보여준다. 여기서 입사광의 위치가 렌즈 중심축으로부터 벗어나는 경우에는 평행 출사광의 좌표점은 변동이 없으나 기울기는 렌즈 중심축에 대해 크게 어긋나는 특성을 보였다.

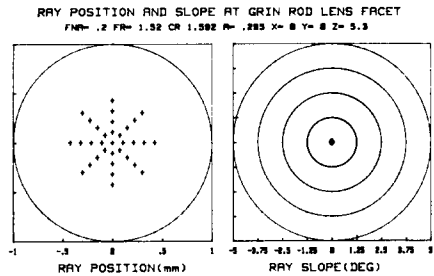


그림 4. 1/4 pitch GRIN 렌즈를 통과한 광선의 spot diagram
Fig. 4. Spot Diagram of Rays Passgd Through 1/4 Pitch GRIN Lens.

그림 5는 그림 4에서 평행광화된 beam이 다시 1/4 pitch GRIN 렌즈를 통과한 후의 spot diagram으로 점 광원으로 대치한 입력 광섬유의 상이 직경 2μm으로 퍼져 있음을 보여주고 있으며 기울기는 입력 광섬유의 발산각에 해당하는 값을 보여주고 있다. 여기서 GRIN 렌즈에 의한 완전한 결상을 얻을 수 없는 이유는 굴절률 분포가 근축광선과 작은 입사각의 자외광선에 대해서만 최적 결상 조건을 만족하기 때문으로 분석된다.

본 광선 추적결과 두개의 1/4 pitch GRIN 렌즈를 사용하여 광섬유간의 광결합을 할 경우 두 렌즈간의 거리가 10cm일 때 1dB이하로 광결합 손실을 줄이기 위해서는 렌즈 중심축 사이의 횡변위는 수십 μm 범위에 들면 되지만 광섬유와 렌즈 중심축 사이의 횡변위는 수 μm 이내로 정밀하게 정렬되어야함을 알 수 있었다. 본 광선 추적에 사용된 GRIN 렌즈는 중심축의

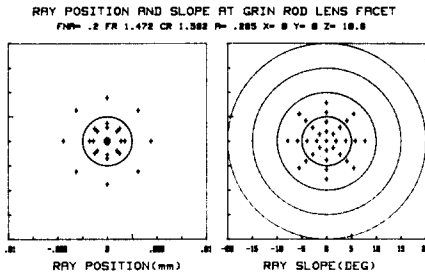
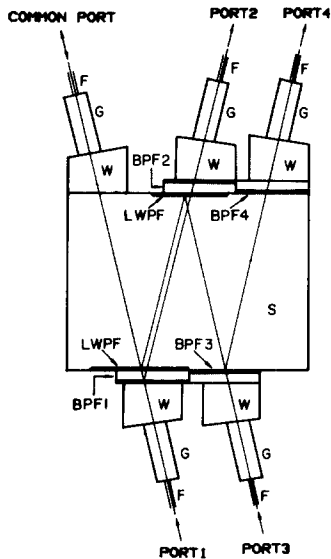


그림 5. 1/2 pitch GRIN 렌즈를 통과한 광선의 spot diagram
 Fig. 5. Spot Diagram of Rays Passed Through 1/2 Pitch GRIN Lens.

굴절율이 1.592이고 굴절율 분포 상수값은 0.1으로써 1pitch의 길이는 21.2mm이고 직경은 2mm이다.

4. 박막필터형 4-채널 WDM 소자의 설계

4 채널의 다중도와 양방향 전송이 가능한 다중반사 방식의 박막필터형 WDM 소자의 구조를 그림 6에 나타내었다. 그림으로부터 본 WDM 소자는 각 분할과장의 port와 common port간의 광경로 구성을 위한 다중 반사용 기관, 각 port에 주어진 박막필터, 기관으로부터 경사지게 입, 출사하는 beam을 GRIN 렌즈면에 수직으로 입, 출사시키기 위한 wedge(wedge각 10°) 및



F : optical fiber G : GRIN rod lens
 W : wedge S : substrate
 BPF : band pass filter
 LWPF : long wavelength pass filter

그림 6. 박막필터형 4-채널 WDM 소자의 구조
 Fig. 6. Structure of Thin Film Filter Type 4-Channel WDM Device.

1/4 pitch GRIN 렌즈로 구성된다.

여기서 각 입, 출력 port에 대한 파장배치는 다음과 같다. 먼저 장파장 투과필터에 의해서 (port1, port2)에는 1.2 μ m, 1.3 μ m의 분할파장이 주어지며, (port3, port4)에는 0.81 μ m, 0.89 μ m의 분할파장이 주어지게 되는데 그림 1과 같이 각 분할과장의 전송방향이 주어져 있으므로 송신측 장, 단파장 쌍은 port1, port3에 수신측 장, 단파장 쌍은 port2, port4에 위치하도록 각각의 대역투과필터의 투과중심파장을 결정했다. 따라서 그림 1의 광 가입자망용 파장분할 다중전송 시스템을 구성하기 위해서는 그림 6의 WDM 소자 구조에서 송, 수신 파장 쌍이 서로 대칭인 WDM 소자 한쌍이 필요하며 이때 각 WDM 소자는 송신측의 두 파장을 다중화하고 수신측의 두 파장을 역다중화하는 기능을 동시에 수행하게 된다.

여기서 그림 1과 같이 양방향 전송용으로 WDM 소자의 각 입, 출력 port의 분할파장 배치와 전송방향을 고정하면 본 논문의 목표인 광가입자망에의 적용성을 높임과 아울러 다음과 같은 이점이 있다. 먼저 송, 수신측의 전송방향에 의해 한 WDM 소자내에서의 송, 수신측 파장간의 근단누화가 없어지고 수신측의 두 파장간에도 다중반사 경로차에 의해 원단누화가 크게 감소된다. 또한 수신측 port쪽의 대역투과필터를 제거해도 누화에는 거의 영향을 미치지 않으므로 삽입손실을 감소시킬 수 있다.

그러나 본 논문에서는 각 채널의 전송방향을 임의로 선택할 수 있는 시스템적인 유연성을 주기위해 각 분할과장에 해당하는 네개의 대역투과필터를 그대로 두었다. 설계된 WDM 소자의 예상 성능은 다음과 같다. 삽입손실은 손실요인으로 박막필터에 의한 것이 0.5dB, GRIN 렌즈쌍에 의한 것이 0.8dB로 평가되므로 전체 1~2dB로 예상된다. 누화감쇠는 양방향 전송의 경우에는 정확한 예상치를 구할 수 없기 때문에 4-채널 단일방향 전송의 경우를 보면 박막필터의 파장분리도로부터 각 채널간 30dB 이상으로 예상된다.

5. WDM 소자의 제작

WDM 소자의 제작 순서는 다음과 같다. 먼저 다중 반사용 기관(재료 : BK-7)을 준비하여 그림 6에 표시된 위치에 장파장 투과필터를 진공증착한다. 장파장 투과필터는 ZnS(굴절율 2.3)와 ThF₄(굴절율 1.5)의 박막층을 0.86 μ m(설계중심파장)파장으로 박막두께 monitoring 하면서 (H/2 L H/2)⁹ 구조(H, L은 각각 ZnS와 ThF₄의 0.86 μ m/4의 광학적 두께의 박막층을 나타낸다)로 진공증착한 것이다. 다음으로 두께 1mm의 기관위에 그림 2에서 설계한 박막구조로 대역투과필

터를 증착했다. 이때 박막물질은 ZnS(H)와 chiolite (L, 굴절률 1.38)로써 진공증착시 박막두께 monitoring 파장을 각각 0.82 μ m, 0.9 μ m 1.21 μ m, 1.315 μ m로 하여 4 채널 WDM 소자의 분할파장에 해당하는 대역 투과필터를 각각 제작했다. 제작된 대역투과필터와 wedge를 그림 6 과 같이 접착한 다음 각 입,출력 port 의 GRIN 렌즈와 광섬유를 접착시킨다. 여기서 높은 광결합을 얻기위해 먼저 common port의 GRIN 렌즈와 광섬유를 접착한 다음 가변파장 광원과 결합시켜 하나의 분할파장 성분을 입사시키면서 해당 port의 GRIN 렌즈와 광섬유를 결합되는 광출력을 monitoring 하면서 접착한다. 이때 광출력 monitoring 용으로 GRIN 렌즈에 접착시킨 광섬유를 GRIN 렌즈를 접착시킨 후 떼어내고 새로운 광섬유를 최대의 광결합이 얻어지는 GRIN 렌즈면의 위치에 재접착했다.

그림 7 은 완성된 4-채널 WDM 소자의 사진이다.

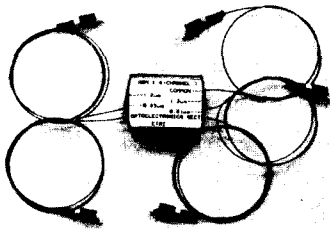


그림 7. WDM 소자의 사진
Fig. 7. Photograph of Cased WDM Device.

III. WDM 소자의 성능 평가

1. 광학적 특성 평가

WDM 소자를 평가하는 대표적인 광학적 특성으로 삽입손실(insertion loss)과 누화감쇠(crosstalk attenuation)가 있다. 여기서 삽입손실은 광전송 시스템에서 파장 다중 전송을 하기 위해 다중화기와 역다중화기의 WDM 소자를 시스템에 삽입했을 때 부가되는 광손실을 의미하며 누화감쇠는 역다중화기에서 파장 분리를 할 때 인접한 채널의 파장성분이 섞여서 noise로 작용하는 것을 감시시키는 정도를 의미한다.

본 논문에서 제작된 WDM 소자의 삽입손실 및 누화감쇠 성능을 4-채널의 단일 방향 전송시 역다중화기의 경우에 대해서 측정했다.

백색광원에 분광기를 결합한 가변파장 광원과 common port를 결합시킨 후 각 출력 port에 대해 전체 파장분할대역(0.75 μ m-1.35 μ m)에서의 투과 광출력 특성을 측정한다. 다음으로 cut back의 방법으로 com-

mon port로 들어오는 광출력을 측정했다. Cut back 방법으로 측정한 광출력에서 먼저 측정한 각 출력 port의 광출력을 파장별로 뺀으로써 파장에 따른 광원의 발광특성, 광검출기의 수광 특성이 보정된 전체 파장 분할 대역에서의 common port와 각 출력 port간의 상대적인 광손실 특성을 얻었다. 이와같이 구해진 각 출력 port의 파장에 따른 상대적인 광손실 특성중에서 각 port에 해당하는 파장에서의 광손실이 각 port의 삽입손실이 되고, 인접한 port의 광손실과의 차가 인접한 port에 대한 누화감쇠값이 된다. 각 출력 port(채널)의 상대적인 광손실 특성을 한 그래프에 그려 삽입손실과 누화감쇠를 알기 쉽게 표시한 것이 그림 8에 나와있다.

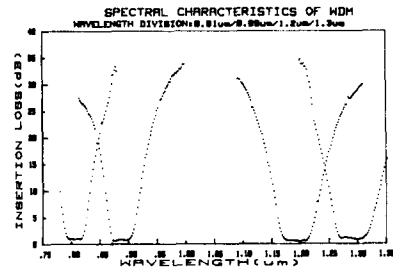


그림 8. 제작된 WDM 소자의 광학적 특성 평가
Fig. 8. Evaluation of Optical Characteristics of Fabricated WDM Device.

그림 8로부터 제작된 WDM 소자의 삽입손실은 1-2dB, 누화감쇠는 30-35dB를 나타내고 있고 최소 삽입손실 대역은 장, 단파장 광원의 발진 중심파장 이동 폭을 완전히 포함하고 있다. 이러한 광학적 특성은 지금까지 발표된 같은 구조와 방식의 WDM 소자의 성능인 삽입손실 1-2dB, 누화감쇠 30-60dB와 비교할 때 같은 수준이라고 할 수 있다. 그림 8은 4 채널의 단일 방향 전송의 경우에 대한 성능평가로 설계에서처럼 2 채널씩의 양방향 전송의 경우에는 인접한 파장간의 전송방향이 반대가 되므로, 누화감쇠(60dB 이상)는 측정이 불가능하게 된다. 여기서 측정된 WDM 소자의 성능은 가변파장 광원이 반치폭이 10nm로써 LD와 같은 특성을 가지므로 실제 광전송 시스템에서도 동일한 성능을 가진다.

2. 광대역 신호의 다중 전송 특성평가

본 논문에서 제작된 WDM 소자의 실용성을 알아보기 위해 광대역의 영상 전송시스템을 그림 9와 같이 구성하여 영상 전송시 파장분할 다중전송이 영상의 SNR에 미치는 영향을 측정하였다.

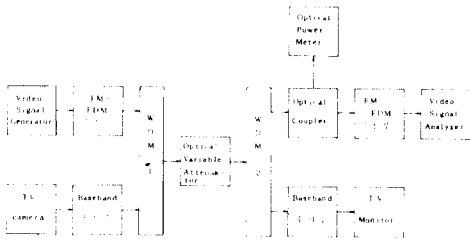


그림 9. 광대역 영상 신호의 파장 다중 전송 실험 구성도

Fig. 9. Block Diagram of WDM Transmission Experiment of Video Signal.

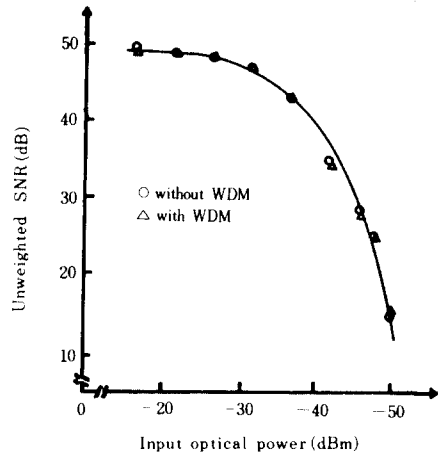
그림 9에서는 0.89 μm (LD)와 1.3 μm (LED)의 두파장을 단일방향으로 전송하도록 했는데 이는 그림 1의 양방향 전송 구성도와 그림 6의 다중화기/역다중화기 내에서의 광의 진행방향을 고려할 때 두 파장간에는 누화가 거의 없기 때문이다. 이와같이 양방향 전송시 서로 영향을 미치지 않는 두 파장을 선택하여 단일방향으로 전송시험을 함으로써 제작된 WDM 소자의, 지정된 파장의 지정된 전송방향의 조건이 없는, 전반적인 경우에서의 성능을 평가할 수 있다.

실험 방법으로는 WDM 1으로 FM-FDM(30/70 MHz) 영상신호와 baseband 영상신호를 다중화하고 가변 광 감쇠기를 통과시킨 후 WDM2로 역다중화시켜 주어진 광 감쇠값에서의 영상특성을 측정하였다. 또한 FM-FDM장치와 baseband 장치를 서로 바꿔서 baseband 영상의 전송 특성을 측정하였다. 여기서 다중화기로 쓰인 WDM1은 장/단파장대의 2 채널 WDM 소자(NEC 제품)이고, WDM2는 본 논문에서 제작된 4-채널 WDM 소자로서 1.3 μm , 0.89 μm 의 두 채널만 사용한 것이다.

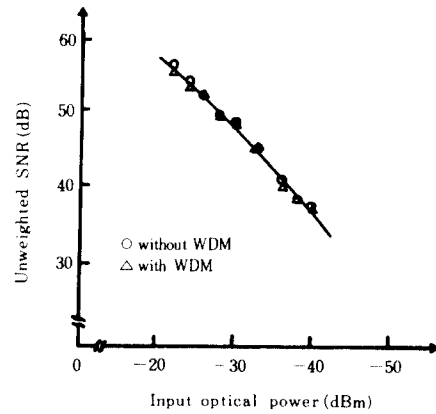
그림 10에 FM-FDM 장치에서 측정된 채널1($f_c=30\text{MHz}$) 및 채널2($f_c=70\text{MHz}$)의 입력 광출력대 영상 신호의 SNR을 나타내었다. 그림으로 부터 WDM을 사용한 경우의 특성과 사용하지 않은 경우의 특성 사이에는 WDM 소자를 삽입했을 때의 부가되는 손실외에는 별 차이가 없음을 알 수 있다. 즉 그림에서 나타난 두 경우의 차이는 1dB이하로 측정오차의 범위에 들고 있었다.

Baseband 전송의 경우 영상신호의 SNR은 광출력이 -38dBm일 때 WDM을 사용한 경우는 38.6dB, 사용하지 않은 경우는 38.6dB, 광출력이 -40dBm일 때는 각각 37.8dB, 38.1dB였다. 이 장치에서도 WDM에 의한 SNR 변화는 거의 없는 것으로 나타났다.

결론적으로 본 실험의 결과로부터 제작된 WDM 소



(a) Channel 1 ($f_c=30\text{MHz}$)



(b) Channel 2 ($f_c=70\text{MHz}$)

그림 10. FM-FDM 광영상 전송 장치의 SNR 특성
Fig. 10. SNR Characteristics of FM-FEM Optical Video Transmission Experiment.

자를 영상전송 시스템에 별 어려움없이 이용할 수 있음을 확인하였고 나아가서 광대역 가입자망에 효율적으로 응용할 수 있으리라 기대된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 장차 가입자용 광통신망에서 전송방식의 근간이 될 파장분할 다중화 전송기술의 확립을 위하여 WDM 소자를 설계, 제작하였으며, 제작된 소자를 사용하여 한 가닥의 다중모드 광섬유를 통한 광대역 광 전송망을 구성하여 시험하였다. WDM 소자의 제작에 있어서 다중화된 빛의 파장별 분리는 박막필터를 사용하였으며 이때 요구되는 박막필터의 조건은 단

계적인 설계법으로 구형 대역투과 특성을 가지는 필터를 설계, 제작함으로써 만족시켰다. 또한 광선 추적법에 의한 GRIN rod 렌즈의 평가를 기초로 광섬유사이의 광결합에 GRIN 렌즈를 도입함으로써 소형이며 안정성있는 소자를 제작할 수 있었다.

제작된 다중모드 광섬유용 WDM 소자는 다중반사 구조의 박막필터형으로 0.81 μm , 0.89 μm , 1.2 μm , 1.3 μm 의 4-채널의 다중도를 가지며 성능은 삽입손실1-2dB, 누화감쇠 30-35dB로 평가되었다. 제작된 WDM 소자의 시스템적인 실용성을 평가하기 위해 WDM 소자의 누화특성 및 삽입손실이 영상신호의 전송품질에 미치는 영향을 시험한 결과 파장 다중 전송된 영상의 SNR의 열화는 측정오차 이내임을 확인했다.

본 연구결과 광 가입자망용 WDM 소자의 구조를 제시하고 이를 제작했으며 제작된 WDM 소자가 광 가입자망용 광대역신호 전송 시스템에 적용될 수 있음을 보였다.

본 연구의 WDM 소자는 다중모드 광섬유용의 개별형 소자로서 설계, 제작된 것으로, 앞으로의 광통신의 발전 추세가 단일모드화, 집적화하고 있으므로 WDM 소자도 광도파로에 적용될 수 있고 광검출기와 집적화도 가능한 방향으로 개발되어야 할 것이다.

參 考 文 獻

- [1] W. Tomlinson, "Wavelength division multiplexing in multimode optical fibers," *Appl. Opt.*, vol.18, no.8, pp.2180-2194, Aug. 1977.
- [2] Y. Fujii et al., "Practical two wavelength multi-demultiplexer: design and performance," *Appl. Opt.*, vol.22, no.19, pp.3090-3097, Oct. 1983.
- [3] R. Watanabe et al., "Optical multi/demultiplexer for single mode fiber transmission," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol.QE-17, no.6, pp.974-981, June 1981.
- [4] B.D. Metcalf and J.F. Providakes, "High-capacity wavelength demultiplexer with a large diameter GRIN rod lens," *Appl. Opt.*, vol.21, no.5, pp.794-796, Mar. 1982.
- [5] G. Winzer, "Wavelength multiplexing components-a review of single mode devices and their applications," *IEEE J. Lightwave Tech.*, vol. LT-2, no.4, pp.369-378, Aug. 1984.
- [6] T. Miki and H. Ishio, "Viabilities of the wavelength division," *IEEE Trans. on COM.*, vol.COM-26, no.7, pp.1082-1087, July 1978.
- [7] H. Ishio et al., "Review and status of wavelength division multiplexing technology and its application," *IEEE J. Lightwave Tech.*, vol.LT-2, no.4, pp.448-463, Aug. 1984.
- [8] H.A. Mcleod, "Thin film optical filters," *American Elsevier CO. INC.*, N.Y., 1969.
- [9] J. Minowa and Y. Fujii, "Dielectric multilayer thin film filters for WDM transmission systems," *IEEE J. Lightwave Tech.*, vol. LT-1, no.1, pp.116-121, Mar. 1983.
- [10] 김석원, 박경현, 한성홍, 공홍진, 이상수, "다중 Fabry-Perot 간섭필터의 구조를 지닌 광대역 투과필터의 설계, 제작 및 해석," *새물리* vol. 125, no. 2, pp.193-201, June 1985.
- [11] E.W. Merchand, "Gradient index optics," *Academic press, N.Y.*, p.35, 1978.