

전광섬유형 8채널 DWDM용 광다중화기의 온도보상 특성

정희원 장진현*, 정진호**, 종신회원 김영권***

Temperature Compensation of 8 Channel DWDM Multiplexer Using All Optical Fiber Mach-Zehnder Structure

Jin Hyeon Chang*, Jin Ho Jung** *Regular Members*, Young Kwon Kim*** *Lifelong Members*

요약

온도보상 패키지를 적용하여 100GHz 채널간격을 갖는 DWDM용 8채널 광다중화기를 제작하였다. 8채널 광다중화기는 전광섬유형 Mach Zehnder 간섭계(MZI)를 3단으로 다단 연결하여 제작되었으며, 광다중화기 채널별 출력파장의 삽입손실을 균일하게 하기 위하여 파장에 대한 삽입손실변화가 적은 파장무의존형 커플러(WFC)를 이용하여 전광섬유형 MZI를 제작하였다. 전용 제작 장치를 이용하여, 전광섬유형 MZI를 제작하였으며, 미세한 파장을 조절하기 위해서, CO₂ 레이저를 이용하였다. 광다중화기의 출력중심파장이 주위온도변화에 영향을 받지 않도록 하기 위해서 별도의 외부 온도제어기를 사용하지 않은 온도보상 패키지가 적용되었다. 제작된 8채널 광다중화기는 평균 삽입손실 2.1dB, 5.5dB에서의 통과대역폭이 0.8nm 이며, 25dB의 채널 Crosstalk를 갖는 특성을 얻을 수 있었다. 이때 편광의존 손실은 0.06dB이며, 60°C 정도의 주위온도 변화에 대해서 출력파장 0.05nm이내에서 변화하도록 제작할 수 있다.

Key Words : DWDM, Optical Multiplexer, Temperature Compensation

ABSTRACT

In this paper, Passive Temperature Compensation Technology is apply to 8-channel Optical multiplexer with 100GHz channel spacing. The 8-channel multiplexer is fabricated by connecting three cascaded Mach Zehnder Interferometer(MZI) of optical fiber type, and each interferometer has the wavelength interval of 100GHz, 200GHz and 400GHz, respectively. Furthermore, to acquire uniform insertion loss, it is fabricated by using Wavelength Flatten Coupler(WFC) in which the variation of insertion loss is low. CO₂ laser to adjust precisely the wavelength. The optical fiber is very sensitive in the thermal variation around. Thus, When fabrication the prototype, it is applied a technique to compensate the optical thermal effect because the center wavelength at the output is shifted according to the thermal variation around. In summary, The prototype composed by eight cascaded MZI has an insertion loss of 5.5 dB, the bandwidth of 0.8nm at 0.5 dB point, and channel crosstalk of 25 dB. Furthermore, the loss dependent on polarization is measured as 0.06dB. Consequently, the output wavelength is shifted within 0.05 nm when the surrounding temperature varies until 60°C

I. 서론

미래의 기술로 각광받던 광통신 기술이 대용량

장거리용 분야에서 기술 성숙 및 포화로 인하여 점차 광가입자망과 같은 비교적 적은 데이터양에 적합한 최소비용의 광기술을 요구하고 있다. 그러나

* 한국정보통신기술대학 (fiberboy@paran.com), ** 호서대학교 전기정보통신공학부 (jhchang@icpc.ac.kr)

*** 후레정보통신대학교 (jhchang@icpc.ac.kr)

논문번호 : KICS2004-12-318, 접수일자 : 2004년 12월 16일

**이 연구는 한국정보통신기술대학 교내연구비와 중소기업청의 일부 연구비 지원으로 수행되었음.

최소한의 기능을 유지하면서 고 신뢰성을 갖는 제품을 제작하는 것은 매우 어려운 현실이다. 수동소자인 파장분할기 및 스프리터는 8채널 이상의 다분기 및 고밀도 파장분할기(Dense WDM)에서는 양산성과 제품 소형화면에서 장점을 갖는 평판 도파로형(Planar Lightwave Circuit) 기술을 이용한 제품이 주류를 이루었으며, 분기수가 작고 채널간격이 비교적 넓은 파장분할기에서는 광섬유 용융인장 방법을 사용한 전광섬유형 제품이 사용되었다^[1]. 따라서 현재까지 전광섬유형 광기술은 8채널 이상의 다분기를 제작하기 힘들고 좁은 파장을 분리하기가 어렵기 때문에 주로 단순한 기능성 소자의 제작에만 국한되었다^[2,4]. 그러나 두개의 3dB 스프리터 사이에 일정한 경로차를 갖도록 Mach-Zehnder 효과를 줌으로써 매우 좁은 채널간격을 갖는 필터를 제작할 수 있음이 보고 된 이후^[5], 전광섬유형 소자분야는 DWDM 분야에서 가장 활발히 진행되는 분야 중의 하나가 되었다. 본 논문에서는 DWDM에 사용되는 8채널 다중화기를 전광섬유형으로 제작하였으며, 기존의 외부 온도 제어를 이용한 방법과는^[6,8] 다르게, 핵심적인 수동 온도보상 패키지를^[9] 적용하여 가격과 제품 크기 면에서 탁월한 효과를 얻을 수 있다. 제작된 다중화기는 Long Haul 용 시스템과 WDM-PON(Passive Optical Network) 시스템에 핵심적인 DWDM 소자로 적용될 수 있다. 본 논문은 다음과 같은 구성을 가진다. 2장에서 전광섬유형 다중화기의 설계를 위한 Mach-Zehnder 간섭계(MZI)의 원리에 대해 알아보고 경로차에 따른 출력특성을 계산하였고 온도보상 이론을 소개하였다. 3장에서는 7개의 MZI를 3단으로 연결하여 8채널 다중화기를 실제로 제작하고 파장 출력 특성과 온도특성에 대해 논의하였으며, 온도 보상 패키지를 적용 시 별도의 외부 온도 제어기 없이 사용 가능한 온도보상 범위를 결정하였다. 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

II. 전광섬유형 다중화기 설계

2.1 MZI의 제작 원리

1nm 이하의 매우 좁은 채널 간격으로 광신호를 분리하기 위해서는 두 개의 3dB 커플러를 Mach-Zehnder 구조를 갖도록 연결하여 제작한다. 이러한 방식에 의해 제작된 DWDM은 편광의존특성이 매우 낮으며, 출력되는 스펙트럼의 파장간격이 간섭계의 경로차에 의해서 결정된다^[5,6]. 두 개의 3dB

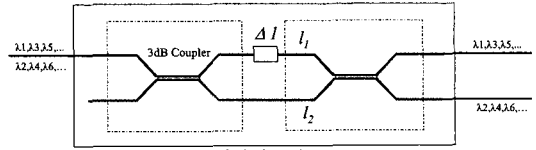


그림 1. 경로차를 갖는 전광섬유형 MZI
Fig. 1. Length difference of All Optical Fiber Type Mach Zehnder Interferometer.

커플러와 그 사이의 비대칭 간섭계로 구성된 전광섬유형 MZI는 그림 1과 같다. 여기서, 커플러들은 MZI의 입력신호 세기 분할기(Power Splitter)로서의 역할을 한다. 그림 1의 입출력 특성은 다음과 같이 각각의 3dB 커플러와 위상천이부의 곱으로 표현할 수 있다^[10].

이때, 3dB 커플러는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{bmatrix} E_{out1} \\ E_{out2} \end{bmatrix} = M_{3dB} M_{shift} M_{3dB} \begin{bmatrix} E_{in1} \\ E_{in2} \end{bmatrix} = M_{MZI} \begin{bmatrix} E_{in1} \\ E_{in2} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$M_{3dB} \equiv \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & j \\ j & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

위상천이부의 입출력 특성은 다음 식으로 표현되며,

$$M_{shift} \equiv \begin{bmatrix} e^{j\Delta\phi} & 0 \\ 0 & e^{-j\Delta\phi} \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서, 위상차 $\Delta\phi$ 는 다음 식으로 정의된다.

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} n_1 L_1 - \frac{2\pi}{\lambda} n_2 L_2 \quad (4)$$

광섬유에서의 유효길이(Effective Length)는 다음 식과 같이 광섬유의 굴절률과 길이로 정의된다.

$$L_{eff} = n \cdot L \quad (5)$$

따라서, 위상차는 다음 식과 같이 유효길이차와 전파상수의 항으로 표현할 수 있다.

$$\Delta\phi = k \Delta L_{eff} \quad (k = \frac{2\pi}{\lambda}) \quad (6)$$

결과적으로 식 (1)을 정리하여 MZI에서 출력되는 광신호의 세기 P_{out1} 과 P_{out2} 를 표현하면 다음 식으로 된다.

$$\begin{aligned} P_{out1} &= (E_{out1})^2 \\ &= \sin^2\left(k_1 \frac{\Delta L_{eff}}{2}\right) \cdot P_{in1} + \cos^2\left(k_2 \frac{\Delta L_{eff}}{2}\right) \cdot P_{in2} \end{aligned} \quad (7)$$

$$P_{out2} = (E_{out2})^2 = \cos^2\left(k_1 \frac{\Delta L_{eff}}{2}\right) \cdot P_{in1} + \sin^2\left(k_2 \frac{\Delta L_{eff}}{2}\right) \cdot P_{in2} \quad (8)$$

여기서, 전파상수 $k_1 = \frac{2\pi}{\lambda_1} = \frac{2\pi f_1}{c}$, $k_2 = \frac{2\pi}{\lambda_2}$ 이다. 경로차에 대해서 출력 파장의 스펙트럼 간격은 다음과 같이 구해진다.

$$\Delta L = \frac{\Delta L_{eff}}{n} = \frac{c}{2n\Delta f} \quad (9)$$

식 (9)와 같은 경로차가 다른 구조를 갖는 광섬유형 다중화기의 출력 스펙트럼은 다음 식과 같다.

$$I_0(\lambda) = I_i(\lambda) \sin^2\left\{\frac{\pi}{\lambda} n(l_1 - l_2)\right\} \quad (10)$$

또한, 이때의 채널간격은 다음 식과 같이 된다.

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{n(l_1 - l_2)} \quad (11)$$

경로차의 정도에 따른 출력중심파장을 나타내면 그림 2와 같다. 경로차가 커질수록 중심파장이 장파장 쪽으로 이동함을 알 수 있다.

그림 3에 경로차가 0.5mm와 0.125mm일 경우의 전광섬유형 MZI의 출력을 나타내었다.

접선이 0.5mm의 경로차를 갖는 경우이며, 실선이 0.125mm의 경로차를 갖는 경우이다. 그림 3의 비교를 통하여 경로차가 큰 경우가 작은 경우보다 파장간격이 좁다는 것을 알 수 있다.

다채널 다중화기를 구성하기 위해서는 그림 4와 같은 방법으로 개별적인 MZI들을 다단으로 연결하여야 한다. 8채널 다중화기는 3단으로 연결하기 때문에 7개의 전광섬유형 MZI가 소요된다.

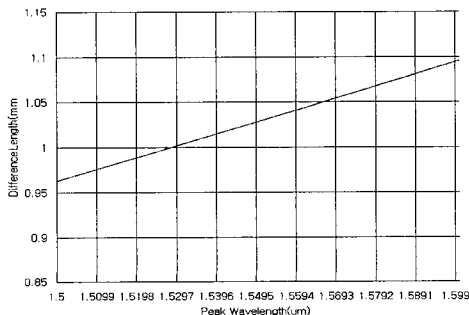


그림 2. 경로차에 따른 출력중심파장
Fig. 2. Center wavelength shift due to different path.

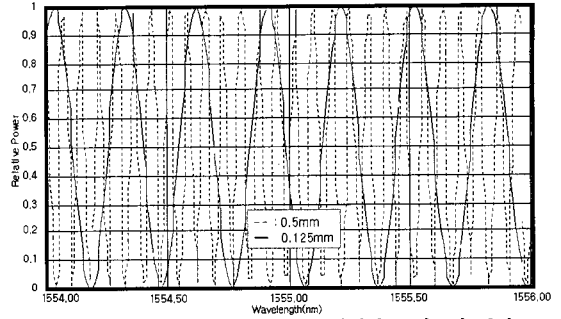


그림 3. 경로차가 0.5mm와 0.125mm일때의 스펙트럼 특성
Fig. 3. Comparison of two different path difference.
($\Delta l_1 = 0.5\text{mm}$, $\Delta l_2 = 0.125\text{mm}$).

2.2 온도보상 이론

온도에 따른 인터리버의 파장 스펙트럼 변화는 온도 변화에 따라서 광섬유의 굴절률이 변화하기 때문이다.

이때, 중심파장 위치는 다음 식과 같이 표현된다.

$$\frac{n(l_1 - l_2)}{\lambda} = N \quad (12)$$

온도에 따른 파장 위치변화는 다음 식과 같다.

$$\frac{dn}{dT} \frac{(l_1 - l_2)}{\lambda} - \frac{d\lambda}{dT} \frac{n(l_1 - l_2)}{\lambda^2} = 0 \quad (13)$$

식 (13)에서 온도에 따른 파장 이동은 다음 식과 같이 나타낼 수 있고,

$$\frac{d\lambda}{dT} = \frac{dn}{dT} \frac{\lambda}{n} \quad (14)$$

여기서, $\frac{dn}{dT}$ 는 광섬유의 열광학 계수로써 8×10^{-6} 을 갖는다. 따라서, 온도변화에 따른 파장천이 정도는 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$\frac{d\lambda}{dT} = 0.0085 \text{ nm} / ^\circ\text{C} \quad (15)$$

온도 증가시 중심파장이 장파장으로 이동하는 이유는 다음과 같다. 두 광 경로중에서 긴 쪽을 l_2 , 짧은 쪽을 l_1 이라고 하면 온도변화에 따라 영향을 받는 항을 굴절률과 길이의 곱인 $n\Delta l$ 라고 표현할 수 있고, 각각의 두 경로에 대해서 온도에 의한 영향을 구하면 식 (16)과 같이 된다.

$$n\Delta l = n(l_2 - l_1) = \frac{dn}{dT} (l_2 - l_1) + n\left(\frac{dl_2}{dT} - \frac{dl_1}{dT}\right) \quad (16)$$

여기서, 열팽창계수 $\frac{1}{L} \frac{dL}{dT}$ 를 C 라고 정의하면, 다음 식과 같이 표현될 수 있다.

$$n\Delta l = \frac{dn}{dT} (l_2 - l_1) + nC(l_2 - l_1) \quad (17)$$

열광학계수 $\frac{dn}{dT}$ 는 8×10^{-6} 이고 열팽창계수 C 는 0.5×10^{-6} 이므로 주로 열광학계수에 의해 의존된다. 그러므로, 온도가 증가함에 따라 열광학계수 만큼 장파장으로 이동한다.

이상과 같은 열광학계수에 따라서 중심파장이 장파장으로 천이되는 것을 보상하기 위해서 커플러가 장착되는 기판 재질을 커플러의 보호 재질보다 열팽창계수가 큰 것으로 선택해야 한다. 이러한 구조에서는 온도가 증가함에 따라 기판이 많이 늘어나기 때문에 두 커플러 사이에서 tension을 발생시킨다. 기판재질의 종류에 따른 온도보상 정도의 결정은 다음 장에서 실험을 통하여 알아보도록 하겠다.

2.3 전광섬유형 8채널 광다중화기의 구성

8채널 광 다중화기의 구성방법은 그림 4와 같으며, 정해진 채널간격에 따라 제작된 개별적인 단위 소자인 전광섬유형 MZI를 다단계접속 방법에 의하여 조합하여 제작한다.

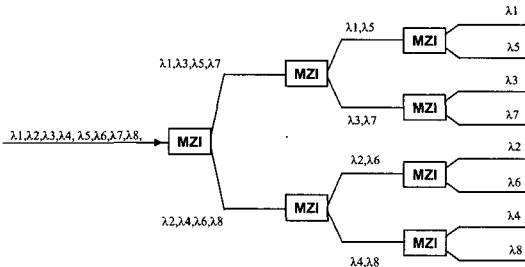


그림 4. 다단계접속에 의한 광 다중화기 구성
Fig. 4. Schematic diagram of DWDM multiplexer.

전광섬유형 MZI는 두 출력이 주기적으로 대칭이 되는 원리를 이용하고 첫 번째 단의 채널간격이 $\Delta\lambda$ 일 때 연결되는 두 번째 단의 채널간격은 $2\Delta\lambda$, 세 번째단은 $4\Delta\lambda$ 로 단수가 증가할 때마다 주기가 배수가 되도록 채널간격을 설정해 주어야 한다. 그림 4에서 입력된 파장은 광섬유형 MZI를 거치면서 홀수와 짝수 파장으로 분리되어 나간다. 즉, $\Delta\lambda$ 의 주기를 갖는 첫 번째 MZI에 입력된 파장은 양쪽 출력으로 주기적으로 대칭이 되어 분리된다. 한쪽 출력 포트로는 $\lambda_1, \lambda_3, \lambda_5, \lambda_7$ 이 나가고, 다른 출력

포트로는 $\lambda_2, \lambda_4, \lambda_6, \lambda_8$ 이 나간다. $2\Delta\lambda$ 의 주기를 갖는 두 번째 MZI에 입력된 $\lambda_1, \lambda_3, \lambda_5, \lambda_7$ 는 또다시 λ_1, λ_5 와 λ_3, λ_7 로 나누어지고 $4\Delta\lambda$ 의 주기를 갖는 세 번째 MZI에 입력된 λ_1, λ_5 는 λ_1 와 λ_5 로 각기 분리되며 그림 5와 같은 출력특성을 갖는다.

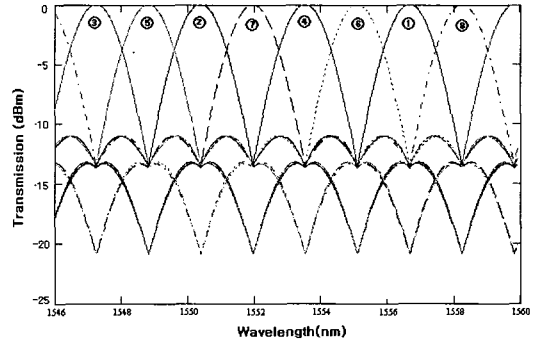


그림 5. 8채널 다중화기 출력 스펙트럼
Fig. 5. 8 channel DWDM output spectrum.

III. 전광섬유형 다중화기 제작

전광섬유형 다중화기를 제작하기 위해서는 먼저 각각의 연결단에 적합한 채널간격을 갖는 개별적인 MZI가 필요하며, 또한 각각의 MZI들은 두개의 WFC로 구성된다. 이때, 사용된 커플러는 1529.32nm에서 1561.32nm에서 0.2dB 이하의 파장 균일성과 3.3dB 이하의 삽입손실을 갖는다. 양쪽의 커플러를 고정후 전광섬유형 MZI를 광 스펙트럼 분석기에 연결하고, 파장간격을 확인한다. 이후 광섬유에 CO₂ 레이저를 조사하여 광섬유 길이를 변화시킨다. 이때, 광섬유의 길이차 정확도는 $\pm 3 \mu m$ (파장간격: $\pm 0.002 nm$) 이내로 조절하고, CO₂ 레이저의 조사조건은 레이저 빔의 spot size가 3mm, 레이저 파워는 6W, 레이저의 조사시간은 30(second)초였다.

파장간격 조절 후, 양쪽 커플러를 고정시킨다. 커플러 위치 조정 지그의 마이크로미터를 돌려 광 스펙트럼 분석기의 파장위치를 관찰하며 찾는다. 이때 커플러 사이의 간격이 좁아짐에 따라 파장이 장파장으로 이동한다. 마지막으로 짧은 길이의 광섬유에 레이저를 조사할 경우 파장이 장파장으로 이동하고, 긴 쪽의 광섬유에 조사시에는 파장이 단파장으로 이동하는 원리를 이용하여 중심파장을 조절하였다.

3.1 수동온도보상 패키지

그림 6은 두 커플러 사이의 거리를 점차 좁게 이동시켜서 전광섬유형 MZI의 tension을 변화시킬 때,

움직이는 이동 거리에 대한 중심파장의 변화를 실험한 결과 데이터이다. 전광섬유형MZI의 짧은 쪽 경로가 완전히 평행이 된 상태를 0으로 지정하였고, 두 커플러 사이의 간격이 점점 좁혀지기 때문에 움직인 정도를 음의 값으로 나타내었다.

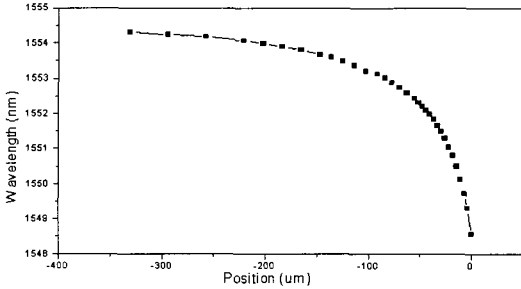


그림 6. 두 커플러 간격 감소에 의한 파장 민감성
Fig. 6. Wavelength Sensitivity due to distance of couplers.

위 그림 6에서 길이변화에 대한 중심파장 이동의 그래프를 온도에 대한 중심파장으로 표현하기 위해서 길이 L 과 온도 T 와의 관계를 살펴보면 다음과 같다.

$$\frac{1}{(L_0 + L)} \times \frac{d(L_0 + L)}{dT} \cong \frac{1}{L_0} \times \frac{dL}{dT} = C \quad (18)$$

여기서, C 는 열팽창계수이다. 위 식에서 $dL=L_0CdT$ 의 관계를 가지므로 길이 L 을 식 19와 같이 표현할 수 있다. 따라서 길이변화를 온도의 함수로 바꿀 수 있다.

$$L = CL_0 \times (T - T_0) + K \quad (19)$$

여기서 T_0, K 는 기판을 고정시키는 온도와 위치에 따라 결정되는 상수이다. 따라서 중심파장의 위치와 온도의 관계를 나타내기 위해 첫 번째로, 그림 6에서 커플러 사이의 거리조절에 따른 파장 변화를 $\Delta\lambda_{PO}=F(L)$ 라고 정의하고, 두 번째로 광섬유의 온도에 따른 굴절률 변화에 의한 파장변화를 $\Delta\lambda_{TE}$ 라고 하면, 식 (20)과 같이 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned} \lambda &= \lambda_0 + \Delta\lambda_{PO} + \Delta\lambda_{TE} \\ &= \lambda_0 + F(L) + \alpha \times \frac{\lambda_0}{n \times (T - T_0)} \quad (20) \end{aligned}$$

식 (20)을 이용하여 길이 L 을 온도 T 로 치환하면, 식 (20)은 식 (21)과 같다.

$$\lambda_0 + F(CL_0 \times (T - T_0) + K) + \alpha \times \frac{\lambda_0}{n \times (T - T_0)} \quad (21)$$

결과적으로 식 (21)을 그래프로 나타내면, 그림 7과 같이 나타낼 수 있다. 그림 6과 마찬가지로 온도에 대한 부호가 음의 값으로 표기된 이유는 그림 7의 지정된 한 위치에서 다른 위치로 이동함에 따른 거리의 변화가 점차 좁아지기 때문이다. 이때 약 $60^\circ C$ 의 온도 범위에서는 온도보상이 이루어지는 조건이 있음을 알 수 있다. 그러므로 커플러 사이의 거리조절에 의해서 수동적으로 온도 보상을 시킬 때 움직이는 거리의 정도에 따라서 $60^\circ C$ 범위의 온도변화에 대해 효과적으로 온도보상이 되는 조건이 있음을 확인할 수 있다.

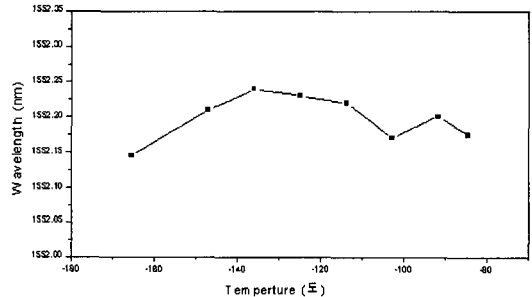


그림 7. 두 커플러 간격감소에 의한 온도민감성
Fig. 7. Temperature Sensitivity due to distance of couplers.

3.2 최종 8채널 광다중화기 파장 특성

그림 8에서 100GHz 채널간격을 갖는 MZI의 파장 특성을 나타내었고, 전체 1546.02nm에서 1559.02nm의 파장에서 대해서 나타냈으며, 3개 지점의 중심파장을 나타내면 첫 번째, 중심파장은 1546.220nm이었고 7번째와 8번째는 각각 1555.640nm, 1557.220nm의 중심파장을 갖는 것을 알 수 있다.

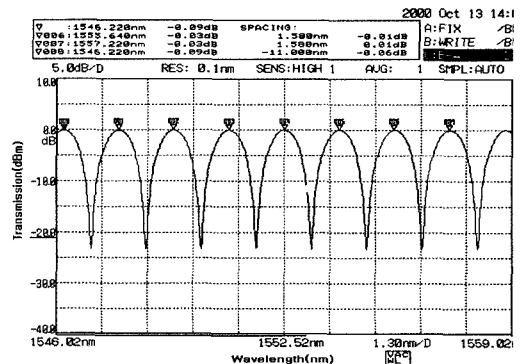


그림 8. 100GHz 채널간격시의 스펙트럼 특성
Fig. 8. Output spectrum of 100GHz channel spacing.

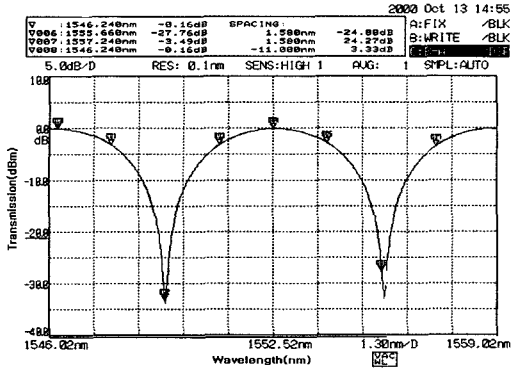
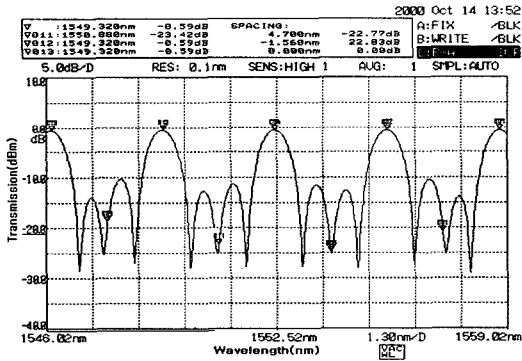
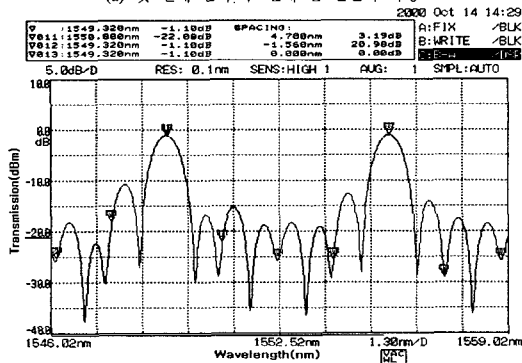


그림 9. 400GHz 채널간격시의 스펙트럼 특성
Fig. 9. Output spectrum of 400GHz channel spacing.

두 번째 단은 200GHz 채널간격을 갖는 광섬유형 MZI를 사용하였고, 마지막으로 세 번째 단에 사용하기 위해 400GHz 채널간격을 갖는 광섬유형 MZI를 그림 9에 나타내었다. 각 단에 사용되는 광섬유형 MZI의 파장특성 중 파장간격이 넓을수록 조금씩 Isolation이 증가하는 것을 알 수 있다. 첫 번째



(a) 첫 번째 단과 두 번째 단 연결시 파형

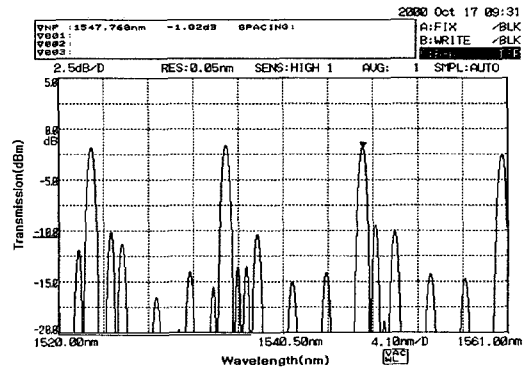


(b) 세 번째 단에서의 파형

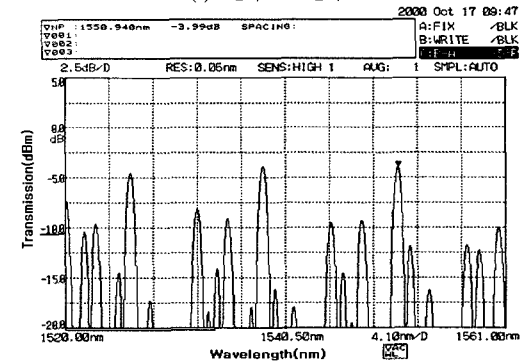
그림 10. 다단접속에 의한 광 다중화기 필터구현
Fig. 10. Filtering characteristics of multiplexers by cascading.
(a) Combination of first and second filter,
(b) Combination of first, second and third filter.

단과 두 번째 단의 광섬유형 MZI 조합에 의한 필터링특성을 그림 10(a)에 나타냈으며 세 번째 단을 통과한 후의 출력을 10(b)에 나타내었다.

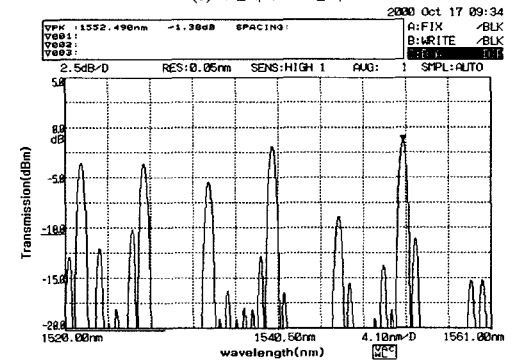
8채널 광 다중화기를 구현한 후 각각의 출력포트에서 파장 특성을 알아보기 위해서 2번 출력과 4번 출력, 5번 출력에서의 특성을 그림 11(a), 11(b)와 11(c)에 나타내었다. 그림 11(a)에서 2번째 출력에 해당하는 파장이 주기적으로 출력됨을 알 수 있고



(a) 2번째 포트 출력



(b) 4번째 포트 출력



(c) 5번째 포트 출력

그림 11. 광 다중화기의 출력 제작특성
Fig. 11. Channel Output Spectrum of Multiplexer. (a) Second channel output port, (b) 4-th channel output port, (c) 5-th channel output port

앞서 정의한 1546.02nm에서 1559.02nm의 파장대에서 보면 1547.76nm에서 중심파장이 발생됨을 알 수 있다.

그림 11(b)는 8채널 광 다중화기의 4번째 출력 포트에서의 출력 파장을 나타낸 결과로서 1546.02nm에서 1559.02nm의 파장범위에서 중심파장이 1550.940nm에서 발생됨을 알 수 있다. 따라서 2번 출력 포트의 중심파장 차이는 3.2nm로 정확히 채널간격을 만족한다. 그림 11(c)는 8채널 광 다중화기의 5번째 출력 포트에서의 출력 파장을 나타낸 결과로서 1546.02nm에서 1559.02nm의 파장 범위에서 중심파장이 1552.490 nm에서 발생됨을 알 수 있다.

실제로 제작이 완료된 8채널 다중화기의 중심파장 변화를 보기 위해서 온도 테스트 결과를 그림 12에 나타내었다. 이때 온도 변화는 상온 10~70°C 이었으며 이때 최대 파장 천이는 0.05nm 이하였다. 따라서 위에서 유도한 온도보상 실험식인 식 (21)과 결과 그림 7을 만족함을 확인할 수 있었다.

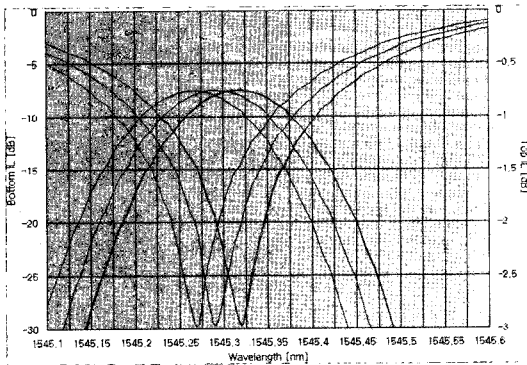


그림 12. 온도변화에 따른 광 다중화기의 중심파장 천이 정도
Fig. 12. Center wavelength drift due to Temperature variation.

IV. 결론

광섬유 용융인장 방법에 의해서 100GHz 채널간격을 갖는 DWDM용 8채널 다중화기를 제작하였다. 8채널 광 다중화기는 총 7개의 광섬유형 MZI를 3단으로 다단 연결하여 제작되었으며, 첫 번째 단은 100GHz, 두 번째 단은 200GHz, 세 번째 단은 400GHz 파장간격을 갖는 광섬유형 MZI를 사용하였다. 또한, 광 다중화기 채널별 출력파장의 삽입손실을 균일하게 하기 위하여 파장에 대한 삽입손실 변화가 적은 WFC를 이용하여 광섬유형 MZI를 제작하였다. 광 다중화기를 구성하는 전광섬유형 MZI를 제작함에 있어서 경로차에 따른 출력 파장간격

의 변화를 시뮬레이션을 통하여 알아보았다. 전용 제작 장치를 이용하여, 광섬유형 MZI를 제작하였으며, 미세한 파장을 조절하기 위해서, CO₂ 레이저를 이용하였다. 출력 중심파장이 주위온도 변화로 인한 영향을 받지 않도록 하기 위해서 온도보상 패키지가 적용되었다. 광섬유 특성상 주위온도 변화에 따라서 열광학 효과가 발생하며 DWDM용으로 사용되는 광소자는 이러한 온도 변화에 대하여 중심파장이 흔들리지 않도록 특수하게 패키지를 제작해야만 한다. 열광학 효과를 보상하기 위해서 커플러 패키징 재질보다 열팽창계수가 큰 기판을 선택하여 자연스럽게 온도보상이 되도록 하였고, 온도보상의 정도는 두 광섬유 커플러 사이의 위치조절을 통하여 이루어졌다. 그 결과 60°C 정도의 주위온도 변화에 대해서는 출력파장이 0.05nm 이내에서 변화도록 제작할 수 있었으며, 양산성면에서 광섬유형 광 다중화기는 8채널 이하의 광 다중화기에서 경쟁성을 가질 수 있다. DWDM용 8채널 광 다중화기를 제작하여 평균 삽입손실 2.1dB, 5.5dB에서의 통과 대역폭이 0.8nm이며, 25dB의 채널 Crosstalk를 갖는 특성을 얻을 수 있었고, 편광의존 손실은 0.06dB였다. 그 결과 60°C 정도의 주위온도 변화에 대해서는 출력파장이 0.05nm 이내에서 변화도록 제작할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] DWDM Filter Module Global Market Forecast, Electroni Cast, 1997.
- [2] J. Noda, I. Yokohama, K. Okamoto, "Single mode fiber devices", Optoelectronics Devices and Technologies, vol. 1, pp. 175-194, 1986.
- [3] D. B. Mortimore: "Wavelength flattened 8 * 8 single mode star coupler", Electron. Lett., Vol. 22, pp. 1205-1206, 1986.
- [4] V. J. Tekippe, "Passive fiber optic components made by the fused biconical taper process", Fiber Integr. O pt., Vol. 9, pp. 97-123, 1990.
- [5] J. Bures, S. Lacroix, "All fiber dense Wavelength Division Multiplexers", Proc. ICOESE'94.
- [6] F.Gonthier, "Fused coupler technology for DWDM applications", Fiberoptic Product News, 9, 1998.
- [7] 신동호, 장진현 "100GHz 채널간격의 전광섬

유형 DWDM 설계 및 제작, Photonics Conference 2000 pp.435-436, 2000.

- [8] 장진현, 강덕근 “광섬유 용융인장 방법에 의한 DWDM용 광다중화기의 제작”, 한국정보통신설비학회 논문지 제 3권 2호 pp.51-60, 2004.
- [9] 장진현, 김영권 “고밀도 파장분할용 전광섬유형 인터리버의 수동온도보상”, 대한전자공학회 논문지 제41권 SD편12호 pp.35-42, 2004.
- [10] PAUL E. Green, “Fiber Optic Networks”, Printice Hall, pp .123-127, 1993.

장진현 (Jin Hyeon Chang)

정회원



1993년 2월 호서대학교 전자공학과(공학사)
 1995년 2월 호서대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 2001년 2월 건국대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
 1995년 3월~2000년 6월 두일

전자통신(주) 광소자 개발팀장

- 2000년 6월~2001년 9월 청호정보통신(주) 광사업팀 선임연구원
- 2001년 9월~2004년 1월 (주)지누스 광통신사업본부 광연구 소장
- 2004년 2월~현재 한국정보통신기술대학 광통신설비과 전임강사
- <관심분야> 수동 광부품 패키지, PON시스템

정진호 (Jin Ho Jung)

정회원



1980년 2월 건국대학교 전자공학과(공학사)
 1982년 2월 건국대학교 전자공학과(공학석사)
 1989년 2월 건국대학교 전자공학과(공학박사)
 2003년 1월~2004년 1월 미

테네시 주립대학교 방문교수

- 1987년 3월~현재 호서대학교 전기정보통신공학부 전자공학과 교수
- <관심분야> 광무선통신, WDM 광통신, 광전자공학, 집적공학, 광센서공학

김영권 (Young Kwon Kim)

중신회원



1958년 3월 연세대학교 이공대학 전기공학과(공학사)
 1961년 2월 연세대학교 대학원 전기공학과(공학석사)
 1970년 2월 연세대학교 대학원 전기공학과(공학박사)
 1968년~1971년 경희대학교 공

과대학 부교수

- 1971년~1972년 연세대학교 공과대학 전자공학과 부교수
- 1972년~1976년 광운전자 공과대학 학장
- 1980년~1981년 미국오레곤 과학원 객원교수
- 1983년~1988년 건국대학교 전자계산소 소장
- 1991년~1994년 건국대학교 산업대학원 원장 상허기념도서관장
- 1992년 사단법인 대한전자공학회 회장
- 1996년~2000년 사단법인 한국전기전자학회(IEEE Korea Council) 회장
- 1977년~2001년 건국대학교 공과대학 전자공학과 교수
- 2001년~현재 건국대학교 명예교수
- 1997년~현재 학교법인 감리교신학대학교 이사
- 2001년~현재 몽고 후레정보통신대학교 총장
- <관심분야> 대기광통신, 집적광학