

논문 2004-41SD-12-6

고밀도 파장분할용 전광섬유형 인터리버의 수동 온도보상 (Passive Temperature Compensation for All Optical Fiber Type DWDM Interleaver)

장 진 현*, 김 영 권**

(Jin Hyeon Chang and Yung Kwon Kim)

요 약

Mach Zehnder 간섭계의 원리를 이용하여 두개의 광섬유 커플러를 연결시 두 연결 포트사이의 길이차를 발생시킴으로써 DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexer)에 사용할 수 있는 전광섬유형 인터리버(Interleaver)를 제작하였으며 CO_2 레이저를 이용하여 미세 파장조절을 하였다. 광다중화기의 출력중심파장이 주위온도변화에 영향을 받지 않도록 하기 위해서 외부 온도제어기를 사용하지 않은 수동온도보상 패키지가 적용되었다. 열광학 효과를 보상하기 위해서 인터리버 패키지 재질 보다 열팽창계수가 큰 기판을 선택하여 온도보상이 되게 하였고 온도보상의 정도는 두 광섬유 커플러 사이의 위치조절을 통하여 이루어 졌다. 결과적으로 $60^\circ C$ 정도의 주위온도 변화에 대해서 출력파장 0.05nm이내에서 변화도록 제작 할 수 있다.

Abstract

In this paper, we report Mach Zehnder Interleaver of optical fiber type is fabricated by the fabrication system only for interferometer design, and it is used CO_2 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. it can be done by applying a substrate with high thermal expansion coefficient as well as an adjusting the position between two optical fiber couplers. Consequently, the output wavelength is shifted within 0.05 nm when the surrounding temperature varies until $60^\circ C$

Keywords : Mach-Zehnder Interference, DWDM, Optical Fiber, Temperature Compensation, Passive Component

I. 서 론

현재 광통신 분야는 보다 많은 정보를 동시에 전송하기 위해서 다중화 방식이 필요하며, 다중화 방식 중에서 파장분할 다중화 방식이 널리 사용된다. 정보량이 급

격히 커짐에 따라 시스템의 용량이 커지고 광증폭기를 통하여 전달하는 광 채널수가 급격히 증가하게 되었다. 따라서 매우 밀접한 채널간격을 갖는 광 신호를 다중화하기 위한 핵심적인 광소자가 필요하며, 현재까지 상품화된 제품으로는 PLC(Planar Lightwave Circuit) 기술을 이용한 AWG(Arrayed Waveguide Grating)와 다층 박막 코팅 기술을 이용한 간섭박막필터(Interference filter technology)를 이용한 제품, FBT (Fused Biconical Taper)기술과 Mach Zehnder 원리를 이용한 전광섬유형 인터리버가 있다. PLC형은 대량 양산에 용이하나 시설 투자가 많이 들며, 간섭박막필터 방식은 열특성이 우수하며 비교적 우수한 양산성을 가지지만 채널간격을 50GHz 이하로 채널 간격을 줄이기가 매우 힘든 실정이며 채널

* 정회원, 한국정보통신기술대학 광통신설비학과
(Dept. of Optical Communication Engineering,
Korea Information & Communication Polytechnic
College)

** 평생회원, 후레정보통신대학교
(Huree Institute of Information & Communication
Technology)

※ 이 연구는 한국정보통신기술대학 교내 연구비와 경기 중소기업청의 일부 연구비 지원으로 수행되었음.
접수일자: 2004년6월28일, 수정완료일: 2004년12월2일

수가 증가할 수록 패키징이 복잡해진다^[1]. 마지막으로 전 광섬유형 인터리버는 두개의 광섬유 커플러를 연결시 두 출력 포트간에 경로차를 발생시킴으로써 매우 좁은 채널 간격의 필터를 만들 수 있음이 실험적으로 보고된 후 많은 주목을 받았으나 채널수가 많은 경우 생산성의 저하로 인하여 주로 100GHz이하의 파장을 기수와 우수로 분리해 주는 두 채널 다중화/역다중화기로 사용하고 있는 실정이다^{[2]-[5]}. 본 논문에서는 DWDM에 사용되는 전광섬유형 인터리버를 제작하고, 단점으로 지적된 온도특성을 이론적으로 해석하고 외부의 온도 조절기 없이 수동적으로 온도 보상한다. 이를 위해 II장에서 전광섬유형 인터리버의 기본적인 동작원리를 알아보고 III장에서는 온도특성을 개선시키기 위해서 온도보상의 원리를 설명한다. IV장에서 온도보상 패키지를 적용한 인터리버를 제작하여 그 특성을 알아본다. V장에서는 수동 온도보상을 적용한 패키지에 대한 온도특성을 고찰하여 실제 사용 가능한 온도범위를 결정하고 실험식을 유도 하였으며 이와 유사한 연구결과는 아직까지 보고되지 않았다.

II. 전광섬유형 인터리버

두 개의 3 dB 커플러와 그 사이의 비대칭 간섭계로 구성된 전광섬유형 인터리버는 그림 1과 같다. 여기서, 커플러들은 인터리버의 입력신호 세기 분할기(Power Splitter)로서의 역할을 한다.

그림 1의 입출력 특성은 다음과 같이 각각의 3dB 커플러와 위상천이부의 곱으로 표현할 수 있다^[6].

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

이때, 3dB 커플러는 식 (2)와 같이 표현된다.

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

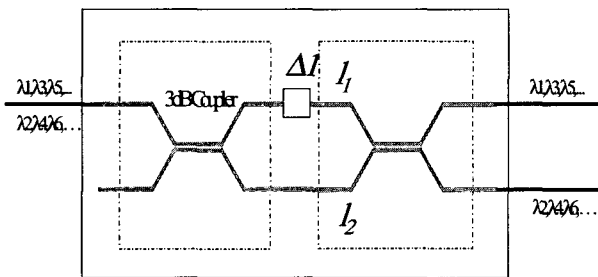


그림 1. 경로차를 갖는 전광섬유형 인터리버
Fig. 1. Length difference of All Optical Fiber Type Interleaver.

위상천이부의 입출력 특성은 식 (3)으로 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 식 (4)로 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 식 (5)와 같이 광섬유의 굴절률과 길이로 정의된다.

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

따라서, 위상차는 식 (6)과 같이 유효 길이차와 전파상수의 항으로 표현 할 수 있다.

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

이제 식 (1)을 정리하여 다시 표현하면 식 (7)과 같이 된다.

$$\begin{aligned} M_{MZI} &= \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 2j \cdot \sin\left(k \frac{\Delta L_{eff}}{2}\right) & 2j \cdot \cos\left(k \frac{\Delta L_{eff}}{2}\right) \\ 2j \cdot \cos\left(k \frac{\Delta L_{eff}}{2}\right) & -2j \cdot \sin\left(k \frac{\Delta L_{eff}}{2}\right) \end{bmatrix} \\ &= j \begin{bmatrix} \sin\left(k \frac{\Delta L_{eff}}{2}\right) & \cos\left(k \frac{\Delta L_{eff}}{2}\right) \\ \cos\left(k \frac{\Delta L_{eff}}{2}\right) & \sin\left(k \frac{\Delta L_{eff}}{2}\right) \end{bmatrix} \quad (7) \end{aligned}$$

입력되는 두 광신호를 각각 $E_{in1}(\lambda_1)$ 와 $E_{in2}(\lambda_2)$ 라 하고 식(7)을 식(1)에 대입하면, 출력되는 광 신호는 식 (8)과 같이 표현된다.

$$\begin{bmatrix} E_{out1} \\ E_{out2} \end{bmatrix} = j \begin{bmatrix} \sin\left(k \frac{\Delta L_{eff}}{2}\right) & \cos\left(k \frac{\Delta L_{eff}}{2}\right) \\ \cos\left(k \frac{\Delta L_{eff}}{2}\right) & \sin\left(k \frac{\Delta L_{eff}}{2}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{in1} \\ E_{in2} \end{bmatrix} \quad (8)$$

최종적으로, 광신호의 세기 P_{out1} 과 P_{out2} 는 식 (9)로 표현된다.

$$\begin{aligned} P_{out1} &= (E_{out1})^2 \\ &= \sin^2\left(k_1 \frac{\Delta L_{eff}}{2}\right) \cdot P_{in1} + \cos^2\left(k_2 \frac{\Delta L_{eff}}{2}\right) \cdot P_{in2} \quad (9) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{out2} &= (E_{out2})^2 \\ &= \cos^2\left(k_1 \frac{\Delta L_{eff}}{2}\right) \cdot P_{in1} + \sin^2\left(k_2 \frac{\Delta L_{eff}}{2}\right) \cdot P_{in2} \quad (10) \end{aligned}$$

여기서, 전파상수 $k_1 = \frac{2\pi}{\lambda_1} = \frac{2\pi f_1}{c}$, $k_2 = \frac{2\pi}{\lambda_2}$ 이다. 따라서, 간섭계 구조에서 두 전파상수가 차이가 나게 하거나 ($\delta\beta * L$), 길이 차($\beta * \delta L$)가 발생하게 하는 두 가지 방법으로 구현이 가능하다^[2].

전파상수와 경로 차에 대해서 출력 파장의 스펙트럼 간격의 관계를 구해보면, 어느 한 port에서 $f_1 = 1$ 이고, $f_2 = 0$ 이 되기 위한 조건은 식 (11), 식(12)와 같다.

$$k_1 \Delta L_{\text{eff}} = 2 m_1 \pi \quad (11)$$

$$k_2 \Delta L_{\text{eff}} = (2 m_2 + 1) \pi \quad (12)$$

여기서, m_1 과 m_2 는 정수이다.

ΔL_{eff} 을 구하기 위해, $m_1 = m_2$ 로 놓고 식(11)와 식 (12)으로 부터 식 (13)이 구해진다.

$$(k_1 - k_2) \Delta L_{\text{eff}} = \pi \quad (13)$$

여기서, 두 전파상수의 차는

$$k_1 - k_2 = 2\pi \left(\frac{f_1 - f_2}{c} \right) = 2\pi \frac{\Delta f}{c} \quad (14)$$

이므로, 식(14)을 식(13)에 대입하면, 경로 차를 얻을 수 있다.

$$\Delta L_{\text{eff}} = \frac{c}{2 \Delta f} \quad (15)$$

$$\Delta L = \frac{\Delta L_{\text{eff}}}{n} = \frac{c}{2 n \Delta f} \quad (16)$$

결과적으로 식 (14)와 식 (16)에 의해서 원하는 채널 간격을 얻고자 할 때 조절해야 하는 전파상수차와 경로 차를 정량적으로 구할 수 있다. 식(14)와 같이 서로 다른 전파상수를 갖도록 하기 위해서 인터리버의 한쪽 경로에 테이퍼를 주어야 한다. 이러한 구조에서 전파상수는 광섬유 반경의 함수가 된다. 길이 L에 대해서 광섬유 반경이 서서히 감소되었다고 가정하면, 식 (14)에서의 주기적인 파장 간격은 식 (17)과 같이 표현된다.

$$\Delta \lambda = \frac{2\pi}{L} \frac{1}{d(\delta x) / d\lambda} \quad (17)$$

여기서, L은 테이퍼 길이 이고, $\delta x = \kappa(\text{untapered}) - \kappa(\text{tapered})$ 이다. 이때, 파장간격은 테이퍼 길이에 의해서 결정된다. 식(16)과 같은 경로차가 다른 구조를 갖는 광섬유형 인터리버의 출력 스펙트럼은 식 (18)과 같

다.

$$I_0(\lambda) = I_i(\lambda) \sin^2 \left(\frac{\pi}{\lambda} n (l_1 - l_2) \right) \quad (18)$$

또한, 이때의 채널간격은 식 (19)와 같이 된다.

$$\Delta \lambda = \frac{\lambda^2}{n(l_1 - l_2)} \quad (19)$$

III. 온도 보상 이론

온도에 따른 인터리버의 파장 스펙트럼 변화는 온도 변화에 따라서 광섬유의 굴절률이 변화하기 때문이다^[7].

이때, 중심파장 위치는 식 (20)과 같이 표현된다.

$$\frac{n(l_1 - l_2)}{\lambda} = N \quad (20)$$

온도에 따른 파장 위치변화는 식 (21)과 같다.

$$\frac{dn}{dT} \frac{(l_1 - l_2)}{\lambda} - \frac{d\lambda}{dT} \frac{n(l_1 - l_2)}{\lambda^2} = 0 \quad (21)$$

식 (21)에서 온도에 따른 파장 이동은 식 (22)와 같이 나타낼 수 있고,

$$\frac{d\lambda}{dT} = \frac{dn}{dT} \frac{\lambda}{n} \quad (22)$$

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

$$\frac{d\lambda}{dT} = 0.0085 \text{ nm}/^\circ\text{C} \quad (23)$$

온도 증가시 중심파장이 장파장으로 이동하는 이유는, 두 광 경로중에서 긴쪽을 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 (24)와 같이 된다.

$$\begin{aligned} n\Delta l &= n(l_2 - l_1) \\ &= \frac{dn}{dT} (l_2 - l_1) + n \left(\frac{dl_2}{dT} - \frac{dl_1}{dT} \right) \end{aligned} \quad (24)$$

여기서, 열 팽창계수 $\frac{1}{L} \frac{dL}{dT}$ 를 C라고 정의하면, 식 (25)

와 같이 표현될 수 있다.

$$n\Delta l = \frac{dn}{dT} (l_2 - l_1) + n(l_2 C - l_1 C) \quad (25)$$

열 광학계수 $\frac{dn}{dT}$ 는 $8 * 10^{-6}$ 이고 열 팽창계수 C는 $0.5 * 10^{-6}$ 이므로 주로 열 광학계수에 의해 의존된다. 그러므로, 온도가 증가함에 따라 열 광학계수 만큼 장파장으로 이동한다. 열 광학계수에 의존하여 중심파장이 장파장으로 천이되는 것을 보상하기 위해서 커플러가 장착되는 기관 재질을 커플러의 보호재질보다 열팽창계수가 큰 것으로 선택 한다. 이러한 구조에서는 온도가 증가함에 따라 기관이 많이 늘어나기 때문에 두 커플러 사이에서 tension을 발생시킨다. 이때 짧은 쪽이 긴 쪽에 비해서 tension에 민감하며, 온도상승으로 인하여 두 커플러 사이의 거리 L이 더 벌어졌을 때 $L = L + \Delta L$ 이 되며, 각각의 경로에 대해서 영향을 살펴보면, $l_2 = l_2 + \Delta l_2$, 가 되고 $l_1 = l_1 + \Delta l_1$ 가 된다. 이때 tension 에 의한 영향으로 실제 $\Delta l_1 > \Delta l_2$ 이 되며, $\Delta l_1, \Delta l_2$ 의 차는 L이 넓어질수록 더욱 증가 한다.

따라서 $l_2 - l_1$ 은 $(l_2 - l_1) + (\Delta l_2 - \Delta l_1)$ 이 되고, 여기서 $(\Delta l_2 - \Delta l_1)$ 은 영보다 작게 되므로 경로차가 줄어드는 효과를 발생한다.

결과적으로, $L = L + \Delta L$ 이 되었을 때 단파장 쪽으로 이동하게 된다. 위에서 알 수 있듯이 기관이 온도에 따라서 늘어나기 때문에 ($L = L + \Delta L$), 자연스럽게 단파장 쪽으로 이동하여 온도보상 효과가 있다.

IV. 전광섬유형 인터리버 제작 및 특성

전광섬유형 인터리버를 제작하기 위해서는 두개의 광대역 커플러 (Wavelength Flatten Coupler)가 필요하며, 이 때 사용된 커플러는 1529.32nm에서 1561.32nm에서 0.2dB 이하의 파장 균일성과 3.3dB이하의 삽입손실을 갖는다. 두 커플러 사이의 길이조절을 통한 파장간격 조절에는 CO₂ 레이저와 커플러 위치조절용 전용

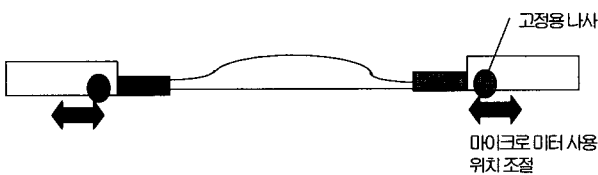


그림 2. 미세 파장간격조절을 위한 전용지그장치
Fig. 2. Manufacturing zig for fine wavelength tuning.

지그가 사용되며, 기구적으로 온도에 따른 영향을 줄이기 위해서 thermal stripper를 이용하여 탈피한 후 인터리버를 그림 2와 같은 전용지그에 장착한다. 그림 2에서 마이크로미터를 이용하여 두 커플러의 위치를 조절할 수 있게 하였고 위치조절이 끝나면 고정용 나사를 이용하여 두 커플러 사이의 위치를 고정시켰다.

1. 미세 파장 조절

양쪽의 커플러를 고정후 전광섬유형 인터리버를 광스펙트럼 분석기에 연결하고, 파장간격을 확인한다. 이후 광섬유에 CO₂ 레이저를 조사하여 광섬유 길이를 변화시킨다. 이때 광섬유의 길이차 정확도는 $\pm 3 \mu m$ (파장간격: $\pm 0.002nm$) 이내로 조절한다. 이때 CO₂ 레이저의 조사조건은 레이저 빔의 spot size가 3mm, 레이저 파워는 6W, 레이저의 조사시간은 30초이었다.

파장간격 조절 후, 양쪽 커플러의 위치가 온도 보상되는 위치 (광스펙트럼 분석기에서 커플러의 위치에 따른 파장 이동이 $0.1nm/15 \mu m$ 인 위치)에 양쪽 커플러를 고정시킨다. 온도보상 위치를 찾을 때 커플러 위치 조정 지그의 마이크로미터를 돌려 광 스펙트럼 분석기의 파장위치를 관찰하며 찾는다. 이때 커플러 사이의 간격이 좁아짐에 따라 파장이 장파장으로 이동한다.

2. 중심 파장 조절

기관에 올려 고정된 전광섬유형 인터리버의 길이차를 준 광섬유들중 하나에 CO₂ 레이저를 조사하여, 중심파장을 변화시킨다. 레이저가 조사된 광섬유의 코어가 확장되어 실제적인 광 경로차가 변화하여 중심파장이 변화한다. CO₂ 레이저의 조사조건은 레이저 빔 spot size가 3mm, 레이저 파워는 3W, 조사시간은 5분/0.2nm이었다. 이때, 너무 레이저의 세기가 강하면 광섬유가 휘어져 손실의 원인이 된다. 짧은 길이의 광섬유에 레이저를 조사할 경우 파장이 장파장으로 이동하고, 긴 쪽의 광섬유에 조사 시에는 파장이 단파장으로 이동하였다.

3. 패키징

커플러를 제작한 후 사각 켈츠 봉(quartz tube)에 패키징 한다. 여기서 사각 켈츠 봉을 사용한 이유는 기관과의 고정이 용이하고 뚜껑을 사용하여 밀봉함으로써, 외부환경과 차단하는 효과가 있으며, 켈츠 봉의 양단에 실리콘 접착제로 처리시 광섬유가 안정적으로 고정되기 때문이다. 패키징시 사용되는 에폭시 특성을 정리해 보

면, 첫째 작은 열 팽창계수를 가져야 한다

($2.0 \times 10^{-6} m/도$). 둘째 쿨츠 붐, 광섬유와 접착력이 커야 한다 (1500psi 이상). 세 번째로 경화되는 시간이 짧아야 하고 내습성이 커야 한다. 네 번째로 점도가 커서 흐름성이 없어야 한다. 마지막으로 경도가 커야 한다 (Shore D hardness : 85 이상). 실리콘 접착제를 사용하여 쿨츠 붐 양단을 고정시킬 때 사용되는 접착제는 모두 3가지를 사용하였다. 이때 사용된 기판재질은 AL (CTE 23×10^{-6})과 Acryle (CTE 68×10^{-6})에 대해서 적용하였고 고정 접착제는 Epotek OG-205, Tracon LX 90050 와 상온 경화제인 Visible Epoxy (LCR 3050)을 사용하였다. 위와 같이 최종 패키지까지 제작이 완료된

전광섬유형 인터리버의 파장 특성을 알아보기 위해서 그림 3에 50GHz 채널간격과 100GHz 채널간격을 갖는 전광섬유형 인터리버를 나타내었다.

그림 3(a)는 100GHz 주파수 간격 즉, 0.8nm 간격의 파장간 간격을 가지는 인터리버 스펙트럼 특성을 나타낸 것으로 1529.32nm에서 1561.32nm 사이의 총 32nm 사이에 0.8nm 파장간격으로 40개의 채널이 존재함을 알 수 있고 그림 3(b)에서는 50GHz 주파수 간격의 인터리버 스펙트럼 특성을 나타낸 것으로 동일한 파장 범위인 1529.32nm에서 1561.32nm 사이의 총 32nm 사이에 0.4nm 파장간격으로 80개의 채널이 실릴 수 있음을 알 수 있다. 이때 중심 주파수는 ITU grid에 따라 1552.52nm (193.1THz)이며, 삽입손실 0.8dB 이하, 파장 균일도 0.2dB 이하, 채널 분리도 25dB, PDL은 0.2 dB, 파장 온도 민감도는 시작품 5개에 대하여 최대 $2pm/^\circ C$, 최소 $0.5pm/^\circ C$ 이었다.

V. 수동온도보상 실험고찰

그림 4는 두 커플러 사이의 거리를 점차 좁게 이동시켜서 전광섬유형 인터리버의 tension을 변화시킬 때, 움직인 이동 거리에 대한 중심파장의 변화를 실험한 결과를 나타낸 데이터이다. 전광섬유형 인터리버의 짧은 쪽 경로가 완전히 평행이 된 상태를 영으로 지정하였고, 두 커플러 사이의 간격이 점점 좁혀져서 발생된 움직임 정도를 음의 값으로 나타내었다.

그림 4에서의 길이변화에 대한 중심파장 이동의 그

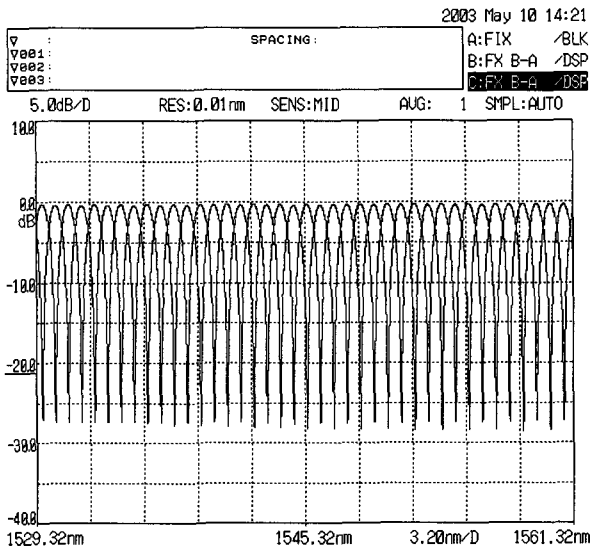


그림 3(a). 100GHz 채널간격시의 스펙트럼 특성
Fig. 3(a). Output spectrum of 100GHz channel spacing.

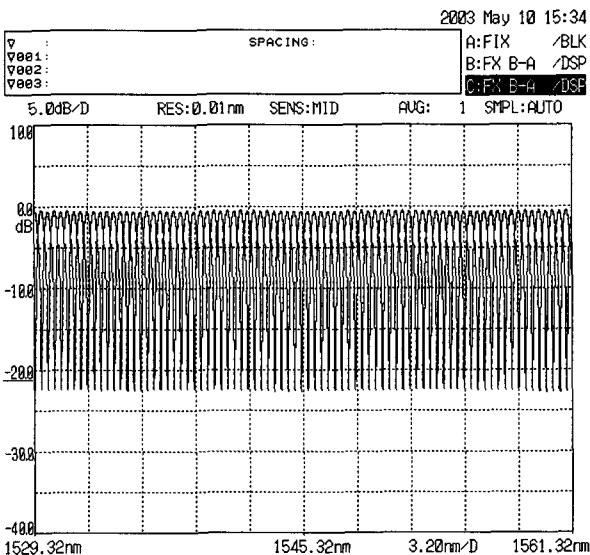


그림 3(b). 50GHz 채널간격시의 스펙트럼 특성
Fig. 3(b). Output spectrum of 50GHz channel spacing.

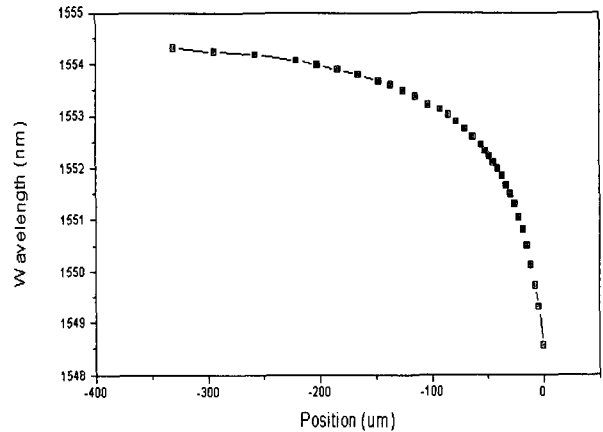


그림 4. 두 커플러 간격 감소에 의한 파장 민감성
Fig. 4. Wavelength Sensitivity due to distance of couplers.

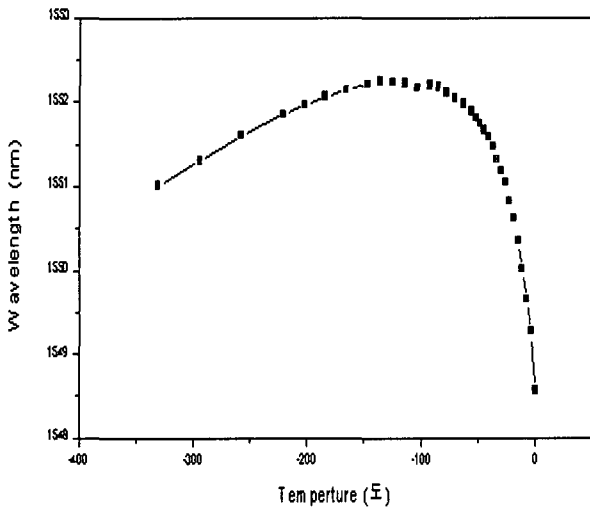


그림 5(a). 두 커플러 간격감소에 의한 온도민감성 (넓은 범위)
Fig. 5(a). Temperature Sensitivity due to distance of couplers. (Wide Temperature range)

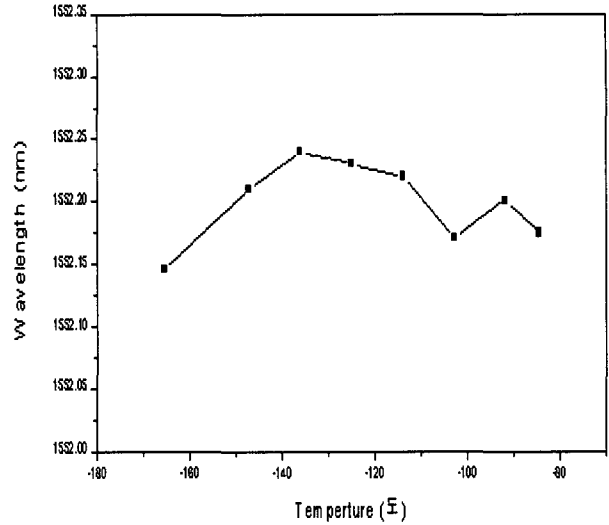


그림 5(b). 두 커플러 간격감소에 의한 온도민감성
Fig. 5(b). Temperature Sensitivity due to distance of couplers. (Narrow Temperature range)

래프를 온도에 대한 중심파장으로 표현하기 위해서 길이 L과 온도 T와의 관계를 살펴 보면 식(26)과 같다.

$$\frac{1}{(L_0 + L)} \times \frac{d(L_0 + L)}{dT} \cong \frac{1}{L_0} \times \frac{dL}{dT} = C \quad (26)$$

여기서 C는 열 팽창 계수이다. 위 식에서 $dL = L_0 C dT$ 의 관계를 가지므로 길이 L을 식(27)과 같이 표현 할 수 있다. 따라서 식(27)과 같이 길이 변화를 온도의 함수로 바꿀 수 있다.

$$L = CL_0 \times (T - T_0) + K \quad (27)$$

여기서, T_0, K 는 기판을 고정시키는 온도와 위치에 따라 결정되는 상수이다.

따라서, 중심파장의 위치와 온도와의 관계를 나타내기 위하여, 그림 4에서의 커플러 사이의 거리조절에 따른 파장 변화를 $\Delta\lambda_{PO} = F(L)$ 라고 정의하고, 광섬유의 온도에 따른 굴절률 변화에 의한 파장변화를 $\Delta\lambda_{TE}$ 라고 하면 식(28)와 같이 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned} \lambda &= \lambda_0 + \Delta\lambda_{PO} + \Delta\lambda_{TE} \\ &= \lambda_0 + F(L) + \alpha \times \frac{\lambda_0}{n \times (T - T_0)} \quad (28) \end{aligned}$$

식 (27)을 이용하여 길이 L을 온도 T로 치환하면, 식 (28)은 식 (29)과 같다.

$$= \lambda_0 + F(L) + \alpha \times \frac{\lambda_0}{n \times (T - T_0)} \quad (29)$$

결과적으로 식 (29)을 그래프로 나타내면 그림 5과 같이 나타낼 수 있다. 그림 4와 마찬가지로 온도에 대한 부호가 음의 값으로 표기된 이유는 그림 4의 지정된 한 위치에서 다른 위치로 이동함에 따른 거리의 변화가 점차 좁아지기 때문이다. 그림 5(b)에서 중심파장의 변화가 비교적 평탄한 구간을 확대하여 나타내었다.

이때 약 $60^\circ C$ 의 온도범위에 걸쳐 온도보상이 이루어지는 조건이 있음을 알 수 있다. 결과적으로 커플러 사이의 거리조절에 의해서 수동적으로 온도 보상을 시킬 때 움직이는 거리의 정도에 따라서 $60^\circ C$ 범위의 온도변화에 대해 효과적으로 온도보상이 되는 조건이 있음을 확인 할 수 있다.

VI. 결론 및 추후 연구

DWDM용 광다중화기로 사용할 수 있는 전광섬유형 인터리버에 대한 이론적인 배경을 소개하고 수동 온도 보상 이론을 제시하였다. 두 개의 광섬유 커플러 사이의 경로차에 따른 출력 파장간격의 변화를 통해 100GHz, 50GHz 주파수 채널 간격을 갖는 전광섬유형 인터리버를 전용 제작장치를 이용하여 제작하였으며, 미세한 파장을 조절하기 위해서, CO_2 레이저를 이용하였다.

인터리버의 출력 중심파장이 주위 온도 변화로 인한

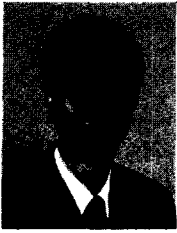
영향을 받지 않도록 하기 위해서 수동 온도보상 패키지가 적용되었다. 광섬유 특성상 주위온도 변화에 따라서 열광학 효과가 발생하며 DWDM용으로 사용되는 광소자는 이러한 온도변화에 대하여 중심파장이 흔들리지 않도록 특수하게 패키지를 제작해야만 한다. 열 광학효과를 보상하기 위해서 커플러 패키징 재질보다 열팽창 계수가 큰 기판을 선택하여 자연스럽게 온도보상이 되도록 하였고 온도보상의 정도는 두 광섬유 커플러 사이의 위치조절을 통하여 이루어졌다. 그 결과 60°C 정도의 주위온도 변화에 대해서는 출력파장이 0.05nm 이내에서 변화도록 제작할 수 있었으며 이때, 평균 삽입손실 2.1dB , 채널 분리도 25dB , PDL은 0.2 dB 이하였다. 그러나 모든 온도 범위에 대해서 온도보상을 할 수는 없었는데, 이는 열 광학계수는 선형적으로 증가하지만 커플러 사이의 거리조절을 이용한 온도보상의 기술기는 비선형적이기 때문이다.

향후 보다 연구되어야 할 부분은 보다 넓은 온도범위인 $-20 \sim 60^{\circ}\text{C}$ 의 온도범위에서 사용할 수 있도록 패키지가 개선되어야만 할 것이다. 이를 위해서는 광섬유 자체의 열광학계수를 조절하여 주위 온도변화에 덜 민감한 광섬유를 제작하여 이를 이용하면 보다 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] DWDM Filter Module Global Market Forecast, ElectroniCast 1997.
- [2] J. Bures, S. Lacroix, "All fiber dense Wavelength Division Multiplexers", Proc. ICOESE'94
- [3] F.Gonthier, "Fused coupler technology for WDM applications", Fiberoptic Product News, 9, 1998.
- [4] Joseph C. Chon, H. Luo, C. H. Huang, "Expandable 50 GHz and 100 GHz dense wavelength division multiplexers based on unbalanced and cascaded fiber Mach Zehnder architectures," pp. 232-237, NFOEC'99, 1999.
- [5] C. H. Huang, Yuan Li, Jin Chen, "Low loss flat top 50 GHz DWDM and add/drop modules using all fiber Fourier filter", NFOEC 2000, pp.313-316, 2000.
- [6] PAUL E. Green, "Fiber Optic Networks", Printice Hall, pp .123-127, 1993.
- [7] Guo J. Z. Y., Kannan S. and Lemaire P. J., "Thermal stability of optical add/drop gratings for WDM systems," in Tech. Digest of OFC'97, paper ThJ6, pp. 285, 1997.

저 자 소 개



장진현(정회원)
 1993년 2월 호서대학교
 전자공학과 졸업(공학사)
 1995년 2월 호서대학교 대학원
 전자공학과 졸업(공학석사)
 2001년 2월 건국대학교 대학원
 전자공학과 졸업(공학박사)
 1995년 3월~2000년 6월 두일전자통신(주)
 광소자 개발팀장
 2000년 6월~2001년 9월 청호정보통신(주)
 광사업팀 선임연구원
 2001년 9월~2004년 1월 (주)지누스
 광통신사업본부 광연구소장
 2004년 2월~현재 한국정보통신기술대학
 광통신설비학과 전임강사
 <주관심분야: 수동 광부품 패키지, PON시스템>



김영권(평생회원)
 1958년 3월 연세대학교 이공대학
 전기공학과 졸업(공학사)
 1961년 2월 연세대학교 대학원
 전기공학과 석사과정 졸업
 (공학석사)
 1970년 2월 연세대학교 대학원
 전기공학과 박사과정 졸업
 (공학박사)
 1968년 9월~1971년 6월 경희대학교 공과대학
 부교수
 1971년 3월~1972년 6월 연세대학교 공과대학
 전자공학과 부교수
 1972년 6월~1976년 6월 광운전자 공과대학 학장
 1980년 8월~1981년 8월 미국오레곤 과학원
 객원교수
 1983년 3월~1988년 9월 건국대학교
 전자계산소 소장
 1991년 3월~1994년 8월 건국대학교 산업대학원
 원장, 상허기념도서관장
 1992년 2월~1992년 12월 사단법인 대한전자공학회
 회장
 1996년 1월~2000년 12월 사단법인 한국전기전자
 학회(IEEE Korea Council) 회장
 1977년 3월~2001년 1월 건국대학교 공과대학
 전자공학과 교수
 2001년 2월~현재 건국대학교 명예교수
 1997년 7월~현재 학교법인 감리교신학대학교 이사
 2001년 3월~현재 몽고 후레정보통신대학교 총장
 <주관심분야: 대기광통신, 집적광학>