

論文99-36D-11-10

광섬유격자필터의 온도보상 및 온도보상특성 측정

(Temperature Compensation and Characteristics of Fiber Bragg Grating Filters)

尹炯導*, 李漢諤*, 具滋鉉**, 張眞賢**, 林鍾勳***, 李景植***

(Hyung Do Yoon, Han Young Lee, Ja Hyon Ku, Jin Hyeon Chang, Jon Hoon Lim, and Kyung Shik Lee)

요 약

온도보상용 광섬유격자필터를 실현하기 위하여 서로다른 열팽창계수를 갖는 두물질을 이용하여 패키징을 한후 -10도부터 70도 사이에서 온도변화실험을 하였다. 그결과 0.03nm이하의 파장변화율을 보여 상기 온도 범위내에서 일반의 온도보상되지 않은 광섬유 격자에 비하여 약 30배의 온도보상 효과를 보였다.

Abstract

To temperature-compensate the Bragg wavelength of fiber grating filters two materials with different thermal expansion coefficients were deployed for packaging. After temperature-compensation packaging, the maximum difference of the Bragg wavelength in the temperature range of -10°C to 70°C was 0.03nm, which is only about one thirtieth of the Bragg wavelength shift of the temperature-uncompensated fiber grating filter.

I. 서 론

광섬유격자필터는 광통신에 있어서 중요한 소자로 사용되며 광섬유 코어부분에 주기적으로 굴절률 변화 일으켜 만듦으로서 구성된다^[1]. 예리한 반사공진은 DWDM(dense wavelength division multiplexer)시스템^[2], 레이저미러, 광센서등에 장점으로 적용할 수 있으며 공

진 파장이 격자를 따라 변하는 처프된 격자는 분산보상에 이용된다^[3]. 광섬유격자필터는 같은 기능을 하는 벌크 형태의 소자에 비하여 삽입손실이 적고 반사율이 크며 가격이 싸다는 장점을 가지고 있다. 또한 굴절률 변화, 길이, 격자주기, apodization등과 같은 파라미터 값들을 변화시켜줌으로써 원하는 스펙트럼 특성을 쉽게 갖도록 해줄 수 있는 융통성도 있다^[4]. 이러한 여러 가지 장점에도 불구하고 Bragg파장이 100°C 온도 범위에서 1nm가까이 변하는 것은 큰 문제점으로 대두되고 있다. 이러한 문제점을 극복하고자 일본 Sumitomo사의 yokohama Lab, Fujikura사의 Opto-electronics Lab, 호주의 시드니대학, 미국 루슨트 사의 Bell Lab 등에서 광섬유 필터 온도 안정화에 대한 연구가 계속적으로 진행되고 있다. 본 논문에서는 G.W.Yoffe, P.A.Krug,가 서로 다른 금속을 이용하여 Bragg 파장 안에서 온도변화를 줄일 수 있다는 것에^[5] 기초를 두고 금속을 이용한 온도보상 패키징용 하우징을 제작한 후에 광섬유필

* 正會員, 電子部品研究院 通信部品研究센터
(Korea Electronics Technology Institute, KETI)

** 正會員, 斗一電子通信(株) 光開發팀
(Dewell Elecom, Inc)

*** 正會員, 成均館大學校 電子工學科
(Sung kyun kwan Univ., School of Elec. Eng.)

※ 본 연구는 1998년도 산업자원부 공업기반기술사업의 연구비 지원으로 이루어 졌습니다.

接受日字: 1999年6月23日, 수정완료일: 1999年10月12日

터를 고정시켜 온도보상특성을 분석하였다.

$$\lambda_B(T) = \lambda_B(25^\circ\text{C}) + \lambda_B(25^\circ\text{C}) (\tau_1 + \tau_n) \Delta T + \lambda_B(25^\circ\text{C}) \tau_1 \tau_n (\Delta T)^2 \quad (7)$$

II. 온도보상용 광섬유격자필터

광섬유격자에 빛을 입사시키면 코어 내에서 굴절률 차이로 인하여 Bragg조건을 만족하는 파장의 빛은 반사되어 나오고 나머지 파장대의 빛은 그대로 투과시키는 성질을 가지게 되므로 특정파장대의 빛만을 선택할 수 있다. Bragg조건에 의해 결정되는 광섬유격자의 반사파장은 다음 식과 같이 광섬유격자의 주기와 코어의 유효굴절률로 정의된다.

$$\lambda_B = 2n_{eff} \Lambda / m \quad (1)$$

여기서, λ_B 는 반사되는 중심파장, n_{eff} 는 격자의 유효굴절률, Λ 는 광섬유격자의 격자주기, m 은 정수이다.

이 Bragg 조건에 의하면 반사되는 빛의 중심파장은 광섬유격자의 유효굴절률과 격자주기에 비례하는 값을 갖는다. 만약 광섬유격자의 온도가 변하게 되면 thermo-optic 효과에 의해서 유효굴절률이 변하고 thermal expansion 효과에 의해서 격자주기가 변하게 되어 Bragg 조건이 바뀌기 때문에 반사되는 빛의 중심파장도 달라지게 된다. 즉 온도에 따른 Bragg 파장은

$$\lambda T = 2n_{eff}(\tau) \Lambda(T) \quad (2)$$

25°C 에서의 유효굴절률과 격자주기를 각각 $n_{eff}(25^\circ\text{C})$, $\Lambda(25^\circ\text{C})$, 그리고 25°C 로 부터의 온도변화를 ΔT 라고 하면

$$n_{eff}(T) = n_{eff}(25^\circ\text{C}) + \tau_n \cdot \Delta T \quad (3)$$

$$\Lambda(T) = \Lambda(25^\circ\text{C}) + \tau_\Lambda \cdot \Delta T \quad (4)$$

여기에서 τ_n 과 τ_Λ 는 온도변화에 따른 굴절률 변화 계수, 열팽창계수를 나타낸다.

즉

$$\tau_n = 1/n_{eff}(25^\circ\text{C}) \cdot \Delta n / \Delta T \quad (5)$$

$$\tau_\Lambda = 1/\Lambda(25^\circ\text{C}) \cdot \Delta \Lambda / \Delta T \quad (6)$$

식 (3)과 식 (4)를 식 (2)에 대입하면

우변의 세 번째 항은 첫 번째, 두 번째 항에 비해 무시할 수 있으므로 온도변화 ΔT 에 의한 브래그 파장변화 $\lambda_B(T) - \lambda_B(25^\circ\text{C})$ 는 다음과 같이 표시된다.

$$\Delta \lambda_B(T) = \lambda_B(25^\circ\text{C})(\tau_\Lambda + \tau_n) \Delta T \quad (8)$$

위식에 의하면 중심파장은 온도변화에 대해 thermal expansion 상수 값과 thermo-optic 상수 값의 합에 비례하여 변하는 것을 알 수 있다. 온도의 변화에 따라서 변하는 반사 중심파장을 온도 변화에 대해서도 일정하게 유지하는 온도 안정화 방법으로 지금까지 연구되어 온 방법으로는 다음과 같은 방법들이 있다. 첫 번째는 1995년 호주의 시드니 대학에서 제안한 방법으로 광섬유격자를 thermal expansion 상수가 작은 물질로 감싸고 보정물질로서 열팽창계수가 광섬유격자필터를 둘러싼 물질보다 큰 물질을 이용하여 고정점을 만든 뒤 패키징하는 방법이다. 온도가 상승하게 되면 광섬유격자와 그를 둘러싼 물질이 팽창하게 되는데 고정점을 갖고 수축시키는 역할을 하는 금속물질의 thermal expansion 상수가 크므로 전체적으로는 광섬유격자는 수축시키게 된다. 따라서 온도가 상승하여도 광섬유격자가 수축하여 격자간격이 줄어들게 되므로 반사 중심파장을 일정하게 유지시킬 수 있다. 두 번째 방법은 1997년 일본의 opto-electronics 연구실에서 제안한 방법으로 boron과 Ge이 첨가된 광섬유를 사용하여 광섬유격자를 만드는 방법이다^[6]. 일반적인 물질의 경우 thermo-optic 상수는 양의 값인데 반하여 B_2O_3 의 경우 thermo-optic 상수는 음의 값이다. 따라서 boron이 첨가된 광섬유로 제작된 광섬유격자의 경우 온도가 상승하면 유효굴절률이 줄어들게 되고 이를 이용하면 thermal expansion 효과에 의한 격자간격의 증가를 보상하여 반사 중심파장이 일정하게 유지시킬 수 있다.

세 번째 방법은 1997년 일본의 Yokohama 연구실에서 제안한 방법이 있다. 이 방법은 광섬유격자를 thermal expansion 상수가 음의 값인 liquid crystalline polymer(LCP) 튜브로 감싸는 방법이다^[7]. LCP 튜브의 경우 thermal expansion 상수가 음의 값을 가지므로 온도가 증가하면 수축하게 되는데 이를 이용하여 온도보상을 하는 방법이다.

본 연구에서는 첫 번째 방법과 같은 원리를 이용하여 외부하우징을 설계가공한후 격자필터를 제작하여 패키징한후에 온도안정성을 측정하였다. 온도보상을 위한 패키징재료로는 낮은 열팽창계수 α 를 갖는 invar나 silica ($\alpha = 5 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$)를 사용하고 높은 팽창계수를 갖는 알루미늄 ($\alpha \approx 2.5 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$)나 stainless ($\alpha \approx 1.7 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$)가 적합하다. 온도변화와 strain에 의한 중심파장 의존은 둘다 거의 선형적으로 변화하므로 원리적으로 온도보상은 온도변화에 대응하여 일정한 비율로 strain을 변화시켜 보상할thermooptic 효과에 의한 유효 굴절률의 변화를 보상하면 반사 중심파장을 일정하게 유지시킬 수 있다.

이와 같은 방법으로 격자가 형성된 광섬유가 에폭시 혹은 solding방식 등에 의하여 외부패키징의 고정점아래 부착되어 있다면 온도가 상승하는 만큼 strain은 점차적으로 줄어나간다. strain을 감소(수축)시킴으로서 굴절률이 증가하는 것을 보상하고 중심파장을 지속적으로 유지할 수 있다.

III. 온도보상용 광섬유격자필터제작 및 특성

온도보상용 광섬유격자 패키징을 실현하기 위하여 낮은 팽창계수를 갖는 물질로서 invar튜브를 사용하였으며 보정물질 상대로 Al튜브를 사용하였다. 그림 1에 원통형의 패키지 개략도를 보였다. 에폭시에 의해 광섬유 격자가 고정되는 고정점은 실제 invar튜브 길이의 72%로 하였다. 온도가 증가하는 경우에는 invar메탈은 증가하게되고 알루미늄에 고정되어 있는 광섬유는 수축하여 고정점사이의 거리가 감소하게 되며, 반대로 온도가 감소하게 되면 invar메탈은 수축하며 알루미늄에 고정되어 있는 광파이버는 고정점사이가 증가하게 된다.

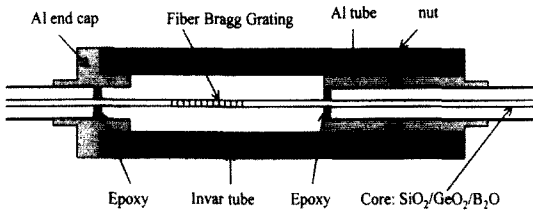


그림 1. 온도보상패키지 개략도
Fig. 1. Schematic cross section of the temperature compensating package.

패키징할 때 격자 각끝의 광파이버는 에폭시와 함께 금속재질의 한쪽부분에 부착된다. 부착에 사용되는 에폭시는 열팽창계수가 작아야 하며 하우징에 사용되는 금속과 광섬유 소재인 실리카 계열간의 부착점을 높일 수 있는 특성을 갖는 에폭시를 선정하는 것이 중요하다. 대량생산 및 더 나은 안정성을 위해서는 에폭시 대신 laser welding machine등을 사용하여 광파이버와 하우징금속간을 metallize하는 기술이 필요하다. Invar 튜브는 Al end cap과 Al튜브 사이에 위치하며 나사 홈이 있어 상호간의 조립이 가능하다. Invar튜브는 내경 8mm, 외경10mm크기의 튜브를 사용하였으며 Al튜브는 이보다 작은 내·외경 크기를 갖는 튜브를 이용하였다. 그림 2는 실제 제작된 온도보상용 광섬유필터의 사진 도이다.

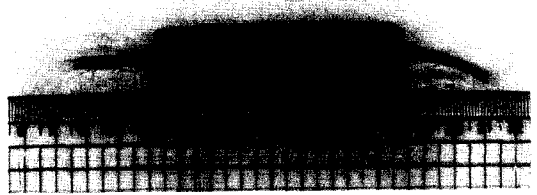


그림 2. 온도보상용광섬유격자필터
Fig. 2. A temperature-compensating packaged fiber Bragg grating filter.

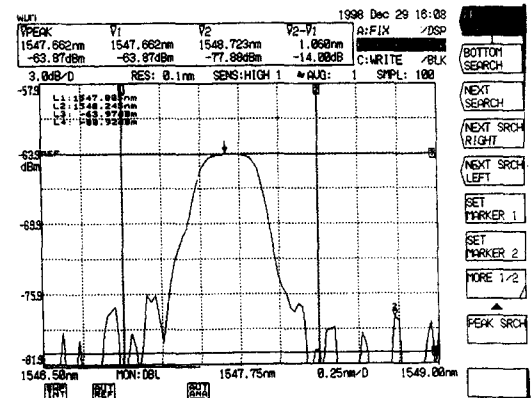


그림 3. 광섬유격자필터 반사율
Fig. 3. Reflectivity of fiber grating filter.

온도보상패키징 실현을 위하여 KrF(248nm) 엑시머 레이저를 이용하여 repetition rate: 2Hz, HV: 125mJ 조건에서 8분30초간 노광하여 길이 25mm, 중심파장 1547.6nm, 반사율 30dB이상의 광섬유 격자를 제작하였

다. 그림 3은 제작된 광섬유필터의 반사율을 2×1커플러를 사용하여 측정된 그래프로 파워가 감소하여 나타난 그래프이다.

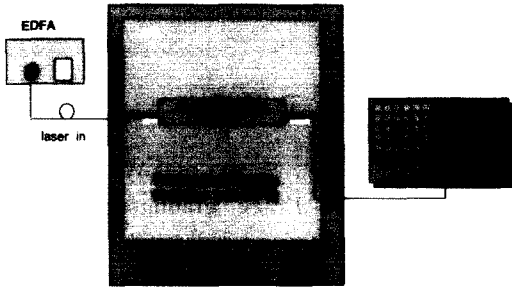


그림 4. 온도변화에 따른 중심파장측정실험도
Fig. 4. A test setup for the measurement of the center wavelength shift with temperature.

그림 4는 온도보상을 위하여 광섬유필터를 패키징한 후 온도변화에 따라 중심파장이 변하는 것을 측정하기 위한 실험세트의 개략도이다. 광원으로는 EDFA를, 중심파장 검출기능으로 광스펙트럼분석기를 이용하였으며 온도감압챔버는 독일사의 Votch VC7020을 사용하였으며 -10도에서 70도 온도변화 사이에서 중심파장 변화를 측정하였다.

온도사이클링은 아래 그림 5의 그래프와 같이 실온(22℃)에서 시작하여 70도까지 상승시킨 후 -10℃까지 하강시키고 다시 실온으로 상승하였다. 전구간에서 상승온도는 분당 2℃씩, 하강온도는 분당 1.3℃씩 하였고, 더 정확한 데이터를 추출하기 위하여 10℃단위마다 15분씩 온도유지 시간을 주었고 이온도의 중간시간에 데이터를 출력하였다.

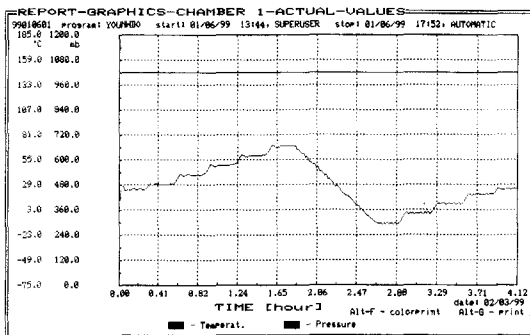


그림 5. 시간에 따른 온도변화그래프
Fig. 5. A temperature cycling for the center wavelength shift measurement.

표 1은 온도사이클링동안에 각온도에서의 중심파장 변화율을 보여주고 있다. 패키징한후 처음측정하기전 실온(22℃)에서는 1548.64nm이었고, 30℃에서는 1548.64nm, 50℃에서는 1548.62nm, 70℃에서는 1548.62nm, -10℃에서 1548.61nm를 나타내었으며 사이클링이 끝난 후 실온상태로 되돌아 왔을 때 1548.64nm를 나타내었다.

표 1. 온도변화에 따른 중심파장 변화
Table 1. The center wavelength variation during temperature cycling.

	온도(℃)	중심파장
온도상승(2℃/min)	22(실온)	1548.64
	30	1548.64
	40	1548.63
	50	1548.62
	60	1548.62
온도하강(1.3℃/min)	70	1548.62
	30	1548.61
	20	1548.61
	10	1548.61
온도상승(2℃/min)	0	1548.62
	-10	1548.61
온도상승(2℃/min)	22	1548.64

-10도에서 70도 온도범위 사이에서 온도보상특성을 측정한 실험결과 일반의 광섬유 격자필터에 비하여 30배정도 온도보상이 된 특성을 나타내었다.

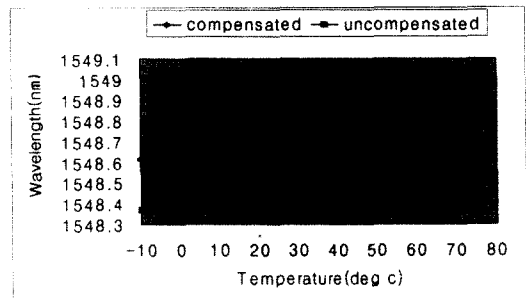


그림 6. 온도 보상된 광섬유 격자필터실험결과
Fig. 6. The temperature dependence of the Bragg wavelength of the fiber grating filters when temperature-compensating packaged and not.

그림 6에 일반광섬유격자필터와 온도 보상된 광섬유 필터의 온도변화에 따라 중심파장이 변하는 것을 비교

하여 그래프로 나타내었다. 일반 광섬유필터는 온도가 상승 혹은 하강함에 따라 중심파장이 일정한 크기를 갖고 파장이 큰 방향 혹은 작은 방향으로 이동하나 온도 보상된 광섬유필터는 온도가 변하여도 일정한 파장 영역대 안에서만 미소한 이동을하고 있음을 알 수 있다.

표 2에 본 연구에서 제작된 온도보상용 광섬유필터의 일반적 특성을 표시하였다. 중심파장은 광파이버 유효 굴절률 및 광섬유인장범위에 따라 1543~1553nm까지 조정가능하며, 반사율, FWHM등도 제작시간 및 격자깊이를 변경함으로써 조절할 수 있다.

표 2. 온도보상용 광섬유격자필터의 일반특성
Table 2. The characteristic of the temperature compensated FBG.

PARAMETER	FBG-TC 1550RF		
	Minimum	Typical	Maximum
Center wavelength λ_c	1543nm	1548nm	1553nm
Center wavelength accuracy at 20°C	-	$\pm 0.05\text{nm}$	$\pm 0.1\text{nm}$
Reflectivity at λ_c	-	30dB	-
FWHM	-	0.35nm	-
Insertion Loss	-	0.1dB	0.3dB
PDL of reflected power	-	-	0.1dB
Stability of λ_c -10°C to 70°C	-	0.03nm	-
Operating temperature	-10°C	-	70°C

IV. 결 론

일반적인 광섬유 필터를 제작한 후 서로 다른 열팽창계수를 가진 두 물질인 invar와 Al을 수동지지대로 사용함으로써 광섬유격자필터의 온도보상에 응용하였다. 제작된 광섬유 필터는 중심파장 1548nm, 중심파장에서 반사율 30 dB, FWHM 0.35nm, 삽입손실 0.1dB의 특성을 나타내었다. 온도보상 패키지를 위하여 invar와 Al을 가공하여 외부 하우징을 제작하였고, 열팽창률이 작으면서 메탈과 실리카 계열과 결합성이 강한 에폭시를 이용하여 온도보상 패키지를 수행하였다. 온도 변화 챔버를 이용한 온도 down-up 사이클링 실험 결과로부터 -10°C에서 70°C 사이에서 0.03nm이하의 중

심파장 이동 변화를 보여 온도보상이 되지 않은 일반 광섬유필터에 비하여 상기 온도 범위내에서 30배정도의 온도보상된 특성을 나타내었다. 여러개의 샘플을 제작하여 측정된 결과 유사한 특성을 보여 제작 및 패키징에 재현성이 있음을 증명하였다.

참 고 문 헌

- [1] G. Meltz, W. W. Morey, and W. H. Glenn, "Formation of Bragg gratings in optical fibers by a transverse holographic method," Opt. Lett. 14, 823-825(1989).
- [2] V. Mizrahi, T. Erdogan, D. J. DiGiovanni, P. J. Lemaire, W. M. MacDonald, S. G. Kosinski, S. Cabot, and J. E. Sipe, "Four channel fibre grating demultiplexer," Electron. Lett. 30, 780-781(1994).
- [3] F. Ouellette, "Dispersion cancellation using linearly chirped Bragg grating filters in optical waveguides," Opt Lett. 12, 847-849 (1987).
- [4] 이경식, 조상연, 이종훈 "광섬유격자기술: 격자원리 및 응용" 전기학회지 제46권 12호, 41-47, 1997
- [5] G. W. Yoffe, Peter A. Krug, F. Ouellette, and D. A. Thorncraft, "Passive temperature-compensating package for optical fiber gratings," Applied Optics. Vol. 34, 6859-6861 (1995).
- [6] K. Shima, K. Himeno, T. Sakai, S. Okude, A. Wada and R. Yamauchi, "A novel temperature-insensitive long-period fiber grating using a boron-codoped-germano-silicate-core fiber", OFC'97 Tech. Digest, FB2, pp. 347-348, 1997.
- [7] T. Iwashima, A. Inoue, M. Shigematsu, Y. Hattori, "Temperature compensation technique for fibre Bragg gratings using liquid crystalline polymer tubes," Electron letters. Vol. 33, 417-419(1997).

저 자 소 개

尹 炯 導(正會員)

1966년 5월 7일생. 1997년 3월 성균관대학교 전자공학과 박사과정 입학. 현재 전자부품연구원 전자소자연구센터 선임연구원. 주관심분야는 광변조기 및 광송신모듈, WDM수동소자, 광패키징 및 신뢰성분석

張 眞 賢(正會員)

1998년 12월 건국대학교 박사과정수료. 1995년-현재 두일전자통신 광소자 개발팀장. 주관심분야는 광섬유응용소자, 색분산보상

李 景 植(正會員) 第 35卷 D編 第 8號 參照

李 漢 諫(正會員)

1962년 05월 18일생. 1991년 2월 서강대학교 전자공학과 졸업. 1993년 1월 맨체스터공대 전자재료 석사학위 취득. 1996년 10월 맨체스터공대 전자재료 박사학위 취득. 1997년-현재 전자부품연구원 전자소자연구센터 선임연구원. 주관심분야는 MSW 및 WDM 수동소자, 광스위치 및 광집적소자

具 滋 鉉(正會員)

1997년 2월 아주대학교 재료공학과 졸업. 1997년-현재 두일전자통신(주) 광개발팀. 주관심분야는 PLC, 광소자 패키징

林 鍾 勳(正會員) 第 35卷 D編 第 8號 參照