

광섬유 Fabry-Perot필터에서 광섬유 단면의 모양과 배치에 따른 결합손실 변화*

김종호 · 예윤해

경희대학교 전자공학과, 레이저공학연구소

(1997년 3월 26일 받음)

광섬유의 단면을 적절한 곡률의 곡면으로 가공함으로써 종래 구조에 비해 우수한 특성의 광섬유 Fabry-Perot(FP) 간섭 필터를 제작할 수 있음을 이론적으로 분석하였다. 광섬유 단면의 가공된 오목거울의 곡률은 계단형 단일모드 광섬유의 도파 모드를 Gaussian빔으로 가정했을 때 광섬유에서 나와 일정거리의 자유공간을 진행한 빔의 파면의 곡률과 일치하여야 하며, 이때 거울의 기울기 0.2° , 곡률오차 $70 \mu\text{m}$, 공극거리 오차 $8 \mu\text{m}$, 광축의 횡편차 $0.5 \mu\text{m}$ 이내의 범위에서 이상적인 배치를 벗어난 경우에도 광섬유간의 거리가 $15 \mu\text{m}$ 일 때 0.5%이하의 결합손실을 가져 종래에 비해 훨씬 간단한 새로운 구조의 광섬유 FP필터가 제작될 수 있음을 확인하였다. 마지막으로 곡면가공된 광섬유 단면의 간섭과형을 통하여 광섬유 단면의 의도된 구조로 가공할 수 있음을 보였다.

I. 서 론

파장 가변형 필터는 광섬유의 전송 대역폭을 이용한 파장 분할 다중 통신(WDM)^[1,2], 광주파수 분할 다중 통신(OFDM)용 광원의 발전 파장 안정화^[3], 그리고 광섬유 Bragg회절격자를 이용한 광섬유 센서의 신호처리 구현^[4]에 있어서 핵심적인 소자이다. 이들 중 특히 광섬유 Bragg회절격자를 이용한 센서는 1989년 Morey 등^[5]에 의해 실용화된 것으로서 산업설비, 항공기, 교량 등 기간 구조물의 안전성을 실시간으로 확인할 수 있는 smart skin 및 structure의 달성을 위한 준분포형 다중화 센서 어레이로 각광 받고 있다.^[6,7]

파장 가변형 필터는 크게 능동형과 수동형으로 나눌 수 있으며, 능동형 파장가변필터로는 광섬유 증폭기 또는 양자우물 레이저 다이오드 증폭기를 들 수 있다.^[2,8] 광섬유 증폭기 또는 양자우물 레이저 다이오드 증폭기의 경우 FSR이 각각 최대 35 nm , 200 nm 의 것이 발표된 바 있으나 통과 파장의 안정성에 아직은 많은 문제가 있으며, 너무 고가이고 복잡하기 때문에 수동형 파장 가변 필터를 이용하는 방식이 주로 연구되고 있다. 수동 파장가변형 필터로는 회절 격자 또는 acousto-optic 효과를 이용하거나 PZT와 광섬유 Fabry-Perot 필터의 조합, 액정이나 강유전체와 Fabry-Perot 필터의 조합, ZnS를 이용한 온도조절형 필터 등이 있으나 이들 중 Fabry-Perot 간섭계형 필터가 다른 종류에 비해 간단한 구조와 우수한 필터특성으로 인해 널리 사용되고 있다.^[8]

Fabry-Perot 간섭필터^[8]는 평행한 두 거울 사이구간에서 다중 반사된 빔들의 간섭을 이용하는 장치로서 특히 유전체를 다층 코팅한 거울을 갖는 광섬유 단면이 서로 마주보는 fiber Fabry-Perot(FFP) 간섭필터는 광통신 및 광섬유 센서의 구현에 중요한 소자로서 현재 가장 널리 사용되는 간섭필터이다.

FFP필터가 광통신에서 일반적으로 요구되는 수십 nm 이상의 FSR(free spectral range)을 달성하기 위해서는 두 거울간의 간격이 $10 \mu\text{m}$ 정도로 유지되어야 하며, 이때의 회절손실은 광통신에서 요구되는 성능의 FFP필터가 현실적으로 불가능하게 한다. 따라서 종래의 FFP 필터는 요구되는 필터성능을 달성하기 위하여 두 거울사이에 수 μm 두께의 도파관을 삽입하는 복잡한 구조를 취하여 가격이 비싸고, 부피가 커서 access time 또한 수 ms로서 통신에의 응용에는 너무 느리다는 단점이 있다.^[8]

본 논문에서는 두 거울 사이에 도파관을 사용하지 않음으로써 종래의 FFP필터^[1]에 비해 간단한 구성을 취하는 새로운 구조의 FFP필터를 제안하고, 이 구성이 갖게 될 특성을 현 구성과 비교함과 동시에 제작과정에서 발생될 수 있는 비이상적인 요인들의 영향을 정량적으로 분석함으로써 새로운 구조의 실현가능성을 밝히고자 하였다. 새로운 구조의 FFP필터는 절단된 광섬유 단면에 고 반사율의 반사막을 코팅한 광섬유 2개를 별도의 도파관을 사용함이 없이 V홈과 같은 정렬용 보조기구를 이용하여 나란히 배치하는 형태로 구성되며, 여기에 통과파장의 가변을 위해 광섬유간의 간격을 조절할 수 있는 장치만 부가한 형태로서 비교적 단순한 공정에 의해 제작될 수 있는 것으로 정의되었다. 이러한 새로운 FFP필터의 제작과정에서 발생될 수 있는 비이상적인 요인들은 광섬유를 절단하거나 연마하는 과정에서 발생될 수 있는 광섬유 단면의 경사각, 광섬유 제조과정에서 발생될 수 있는 클래딩 직경의 불균일성 및 코어와 클래딩간의 오프셋에 의한 횡편차, 그리고 광섬유 2개를 나란히 배치하는 단계에서 발생될 수 있는 오프셋과 두 광섬유축간의 경사각을 들 수 있다. 따라서 FFP의 제작과정에서 발생될 수 있는 비이상적인 요인으로는 0.2° 이내의 광섬유 단면의 경사각과 $1 \mu\text{m}$ 이내의 횡편차로 요약될 수 있으며, 본 논문에서 제시한 구조를 취하는 경우 오목거울의 곡률 오차와 공극거리 오차가 부가될 수 있다.

FP 간섭필터에 사용된 거울의 반사율이 100%에 가까울 때

*본 논문은 '94년도 경희대학교 교비지원과 '95년도 한국학술진흥재단의 대학부설연구소 연구과제 연구비에 의해 연구되었음.

1차측에서 2차측 광섬유로 직접 결합되는 성분보다는 다중반사 성분이 간섭계의 특성을 좌우하므로 두개의 거울에서 반사된 후(1회 왕복 반사) 두번째 광섬유의 전송모드와 결합을 최대로 할 수 있도록 배치 구성되어야 한다. 앞에서 열거된 제 요인들의 영향을 정량적으로 계산하기 위해 1차적으로 Marcuse 등^[9]에 의해 시도된 단일모드 계단형 광섬유(step-index singlemode fiber, 이하 SMF로 표기함)-SMF 구조에 대한 해석을 반복한 후 이 결과를 토대로 두번째 거울의 단면이 오목거울로 가공된 SMF-CSMF(오목거울 처리된 단일모드 광섬유) 구조에 대하여 1회 왕복반사 후 두번째 광섬유의 전송모드와 결합하지 못한 성분으로 정의한 결합손실을 계산하였다.

이 계산을 위해 SMF 도파모드의 전기장 분포를 Gaussian 함수로 근사^[10]하였으며, 중심파장 1.5 μm, FSR(free spectral range) 100 nm이하, 통과대역폭(BW) 1 nm이하, 그리고 삽입 손실이 3 dB이하인 파장가변 필터^[8]를 구현하기 위해 공극거리가 15 μm내외, 코팅거울의 반사율 97%이상, 코팅거울의 손실을 포함한 결합손실 1%이하를 중심으로 고찰하였다.

II. SMF-SMF 구조

그림 1은 광섬유의 광축에 수직이 되게 연마한 단면에 고반사율의 다층박막 거울을 코팅한 광섬유 2개가 거울이 서로 마주보게 나란히 배치된 광섬유 FFP간섭필터의 구조를 그린 것이다. 광섬유 FP간섭필터의 입사 광섬유(광섬유 I)에서 나와 수신 광섬유(광섬유 II)까지 진행한 후 수신 광섬유의 거울에 의해 반사되어 입사 광섬유로 되돌아와 입사 광섬유의 도파모드에 결합되어 되돌아가는 빛을 생각할 때 두번째 거울의 실효반사율은 다층 박막의 반사율, 그리고 반사광과 광섬유 도파 모드간의 결합효율과의 곱으로 나타나며, cavity 모드의 실효투과율은 코팅 막의 투과율, 그리고 cavity모드와 수신 광섬유의 도파모드와의 결합효율의 곱으로 나타낼 수 있다.

따라서 원하는 특성의 FFP 간섭필터를 제작하기 위해서는 다층코팅의 설계 뿐만 아니라 FFP간섭필터를 이루는 광섬유-광섬유의 배치, 광섬유 코팅거울의 구조 등이 고려되어야 한다. 우선 해석상의 편이를 위해 단일모드 광섬유에 도파되는 모드의 전기장 분포를 Gaussian빔으로 근사하고, 이상적인 경우를 가정한 상태에서 유전체 코팅 거울의 구조와 배치방법에 따른 결합손실을 계산한 후 다음 단계로 이상적인 배치를 벗어나게 하는 각 요인들이 결합손실에 미치는 영향을 계산해봄으로써 종래의 FFP필터에 비해 성능이 개선된 새로운 구조의 FFP간섭필터의 가능성 및 새로운 필터의 설계변수가 취할 수 있는 허용오차에 대한 개념을 구축하고자 하였다.

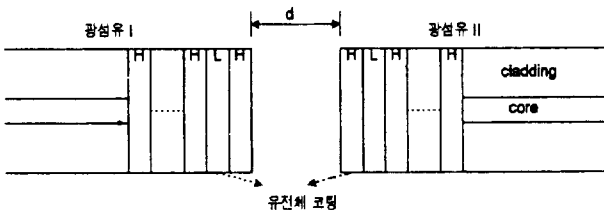


그림 1. SMF-SMF 구조.

SMF의 도파모드를 Gaussian빔으로 근사할 경우 광섬유 단면에서 광섬유의 축방향으로 z, 광축 상에서 ρ만큼 떨어진 지점에서 전기장의 분포는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_G(\rho, z) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{1}{W(z)} \times \exp\left[-\frac{\rho^2}{W^2(z)}\right] \exp\left[-jkz - jk\frac{\rho^2}{2R(z)} + j\xi(z)\right] \quad (1)$$

식(1)에서 Gaussian빔 변수는 식(2)~식(5)과 같이 주어지며,

$$W(z) = W_0 \left[1 + \left(\frac{z}{z_0}\right)^2\right]^{1/2} \quad (2)$$

$$R(z) = z \left[1 + \left(\frac{z_0}{z}\right)^2\right] \quad (3)$$

$$\xi(z) = \tan^{-1} \frac{z}{z_0} \quad (4)$$

$$W_0 = \left(\frac{\lambda z_0}{\pi}\right)^{1/2} \quad (5)$$

k는 진공 중에서의 전파상수이다. 그림 1에서 공극거리, d가 $d \ll z_0$ 또는 $d \rightarrow \infty$ 이면 식(3)의 Gaussian빔 파면의 곡률, R은 ∞가 되어 광섬유 II의 거울에서의 전기장은 평면파로 근사될 수 있으며, 그 외의 경우에는 Gaussian빔 파면의 곡률을 고려해 주어야 한다.

SMF의 도파모드는 식(1)에서 z=0인 경우에 해당하여 광섬유 I의 출구에서 빔의 전기장 분포는 다음 식과 같이 주어지며, W_0 는 Gaussian 빔의 waist radius이다.

$$E_0 = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{1}{W_0} \exp\left[-\frac{\rho^2}{W_0^2}\right] \quad (6)$$

그림 1의 광섬유 I에서 출발한 E_0 가 광섬유 II의 거울에서 반사된 후 광섬유 I에 다다른 전기장의 세기는 광섬유 II 거울의 반사계수 $\gamma(\rho)$ 에 의해 결정되며, 일반 통신용 광섬유의 경우 광섬유 출력광의 발산각이 제한되어 있는 점을 고려하여 반사계수를 상수 γ 로 근사할 경우 식(7)에 $z = 2d$ 를 대입함으로써 계산된다.

$$E_I(\rho, z) = \gamma \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{1}{W_I(z)} \exp\left[-\frac{\rho^2}{W_I^2(z)}\right] \times \exp\left[-jkz - jk\frac{\rho^2}{2R_I(z)} + j\xi(z)\right] \quad (7)$$

여기서 W_I 와 R_I 는 광섬유 II의 거울에서 반사된 전기장이 광섬유 I에 도달했을 때의 Gaussian빔 변수이다. 반사광과 광섬유 I의 도파모드의 결합계수, c는 다음과 같이 정의되며,

$$c = \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^{2\pi} \rho E_I(\rho, 2d) E_0^* d\rho \quad (8)$$

반사된 빛이 광섬유 I에 재입사할 때 발생될 결합손실은 다음 식으로 표현된다.

$$L = 1 - |c|^2 \quad (9)$$

SMF-SMF구성에서 광원의 파장이 1.52 μm이고, W_0 가 4.72 μm일 때 공극거리, d의 함수로서 계산한 결합손실을 그

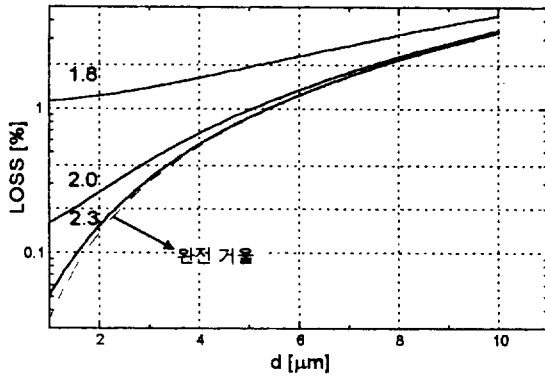


그림 2. H층의 굴절률에 따른 d 대 결합손실 (SMF-SMF 구조의 경우).

림 2에 보였다. 광섬유 II상의 다층코팅은 첫번째 층은 고 굴절률(H층, 굴절률 n_H)로, 두번째 층은 저 굴절률(L층, 굴절률 $n_L=1.45$ 로 고정)로, 세번째는 다시 H층, ...의 순서로 반복되고, 마지막이 H층인 총 21층의 다층 박막을 가정하였으며, H층의 굴절률에 따라 d와 결합손실의 관계를 광섬유 II상의 거울이 완전 거울일 때와 비교하였다.

그림 2로부터 d가 증가함에 따라 손실은 급격히 증가하며, 공극거리 d가 5 μm 에서 이미 결합손실이 1%를 초과하게 되어 그림 1의 SMF-SMF구조로는 앞에서 제시된 특성의 FFP 필터를 구현할 수가 없음을 알 수 있다. 따라서 현재 시판중인 파장가변 FFP간섭필터의 경우에는 그림 1의 공극내에 두께가 수 μm 내외인 광섬유 도파관을 삽입하여 회절손실을 줄이고, 공극에서 빈 공간을 index-matching grease로 채움으로써 단면에서의 원치않는 반사를 피하고 있다. 따라서 시판중인 FFP필터는 제작공정이 복잡하고, 필터의 크기와 질량이 커서 스위칭 시간이 길다는 등의 단점이 있다.

III. SMF-CSMF 구조

다층 거울의 profile에 적절한 곡률을 가하여 공극거리의 증가에 의한 회절손실의 증가를 줄이기 위해 그림 3의 SMF-CSMF구조를 고려할 수 있다.

곡률을 가진 거울에 의한 반사파는 식(10)의 전달함수를 식(1)과 convolution함으로써 계산되며, 결합손실은 이 값은 식(8)의 E_i 에 대체하여 구할 수 있다(이하에서 결합손실의 계산 과정은 여기서와 동일한 과정의 반복이므로 생략한다).

$$t_c(\rho) = \exp(jk \frac{\rho^2}{R_c}) \quad (10)$$

따라서 곡률을 가진 거울에 입사하는 Gaussian 빔의 곡률(R)과 거울의 곡률(R_c)이 일치할 경우 입사파와 반사파의 파면은 거울과 일치하게되고, 따라서 반사파는 입사파와 동일한 경로를 따르게 되어 공극거리에 따른 빔폭의 증가가 상쇄될 수 있을 것이다. 그림 4는 입사 광섬유의 단면으로부터의 거리에 따른 Gaussian빔 파면의 곡률 변화를 보인 것으로 d에 따른 수신 광섬유 단면의 최적곡률을 이로부터 결정할 수 있다.

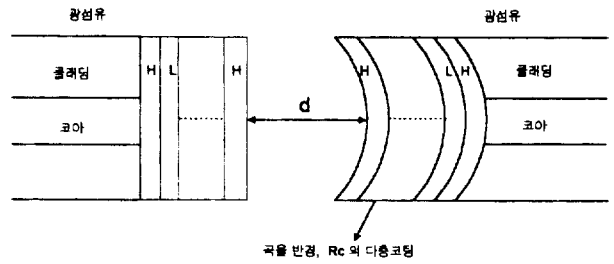


그림 3. SMF-CSMF 구조.

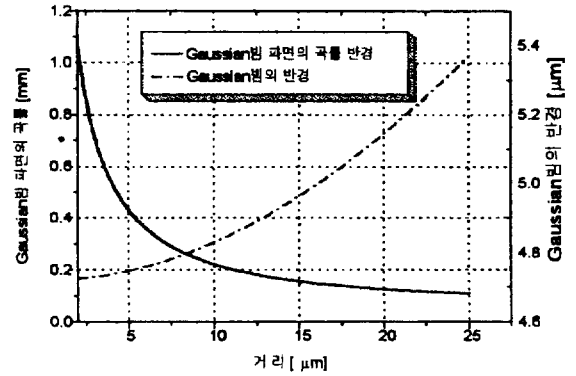


그림 4. d에 따른 Gaussian빔 파면의 곡률과 빔 반경.

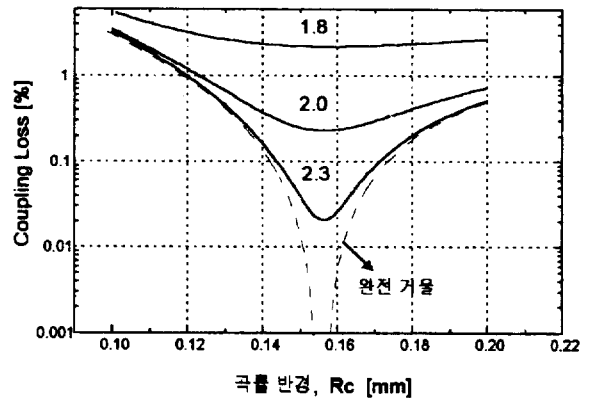


그림 5. SMF-CSMF 구조에서 n_H 에 따른 R_c 대 결합손실 ($d=15 \mu\text{m}$ 일때).

그림 5는 d가 15 μm 일때 H층의 굴절률에 따른 거울의 곡률과 결합손실의 관계를 계산한 결과를 보인 것으로 거울의 곡률이 $W_0=4.72 \mu\text{m}$, $d=15 \mu\text{m}$ 일 때 오목거울에 입사하는 빔의 곡률인 0.156 mm에 접근함에 따라 결합손실이 최소가 됨을 알 수 있으며, 결합손실을 1% 이내로 유지하기 위해서는 거울면의 곡률 및 공극거리 오차가 각각 70 μm 와 8 μm 이내로 유지되어야 함을 알 수 있다.

IV. 제작과정에서의 오차요인에 의한 영향

앞에서 언급된 바와 같이 FFP를 제작하는 과정에서 발생할 수 있는 오차 요인으로는 0.2°이내의 광섬유 단면의 경사각과 1 μm 이내의 횡편차를 들 수 있다. 본 절에서는 이들 요인이 SMF-SMF구조와 SMF-CSMF구조의 결합손실에 미치는 영

향을 정량적으로 분석함으로써 두 구조의 특성 비교, 그리고 SMF-CSMF구조를 가진 FFP필터의 실현가능성을 논하고자 한다.

4.1. 경사각이 결합손실에 미치는 영향

SMF-SMF 구조 : 그림 6은 a만큼의 각으로 경사지게 절단된 광섬유 단면에 반사막이 코팅된 경우를 나타낸 것으로 이 구성에 대한 전달함수는 식(11)과 같다.

$$t(\rho, \phi) = \exp[j2k\rho \tan(a) \cos(\phi)] \tag{11}$$

수신 광섬유상의 거울을 완전 거울로 가정하고, 공극거리를 매개변수로 계산한 경사각 대 결합손실의 관계는 그림 7과 같다. 경사각이 0.2°일 때 d가 1 μm인 경우에도 결합손실은

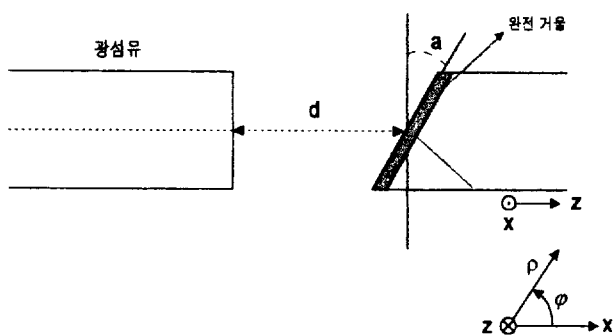


그림 6. 경사지게 절단된 광섬유의 SMF-SMF 구조.

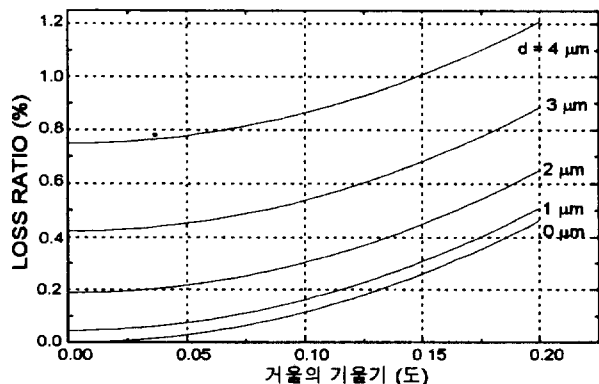


그림 7. 거울의 경사각 대 결합 손실 (SMF-SMF).

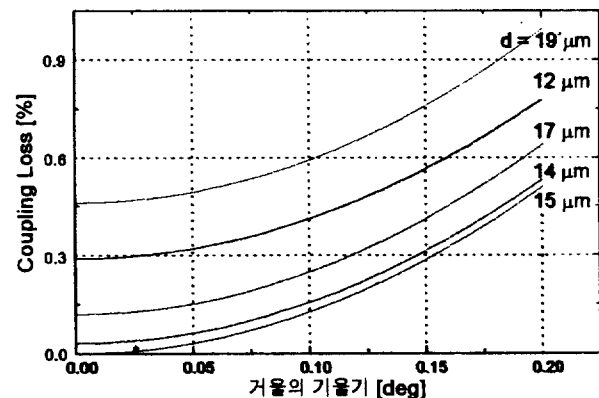


그림 8. 경사각 대 결합 손실(SMF-CSMF, Rc=0.156 mm)

0.46%에 달하며, d가 5, 10, 15 μm일 때 경사각만에 의한 결합손실이 2%, 5%, 10%에 이르고, 결합손실의 경사각에 대한 의존성 또한 매우 높음을 알 수 있다.

SMF-CSMF 구조 : 경사지게 절단된 광섬유 단면을 곡률 Rc의 오목거울로 가공한 다음 완전거울을 코팅한 경우에 대한 전달함수는 식(12)와 같이 주어지며, 여기서 ρ는 광섬유의 광축으로부터의 거리로 정의되었다. 경사각이 a이고, 오목거울의 곡률 Rc이 156 μm일 때 d에 따른 경사각 대 결합손실의 관계를 그림 8에 보였다.

$$t(\rho, \phi) = \exp[jk \frac{\rho^2}{R_c} + j2k\rho \tan(a) \cos(\phi)] \tag{12}$$

그림 8에서와 같이 오목거울 형태의 다층박막을 가진 광섬유가 입사광섬유에 대해 0.4° 기울었을 경우에도 결합손실은 0.5%에 불과하며, 결합손실이 경사각에 대해 급격히 증가하지만 d=15 μm에서도 결합손실은 1%이하로 유지됨을 알 수 있다.

4.2. 횡편차가 결합손실에 미치는 영향

SMF-SMF 구조 : 그림 9는 FFP를 이루는 두 광섬유의 광축이 일치하지 않은 경우를 그린 것으로 수신 광섬유상의 거울을 완전 거울로 가정한 상태에서 입사 광섬유와 수신 광섬유상의 거울사이의 거리(d)에 따라 횡적 편차, δ의 함수로서 결합손실을 계산하여 그림 10에 나타내었다.

위 결과를 보면 d=2 μm에서도 0.5 μm의 오프셋은 1.2%의 결합손실 증가요인이 되며, 횡편차가 일정한 경우 결합손실은 광섬유간의 거리 d에 따라 급격히 증가하여 d가 15 μm일

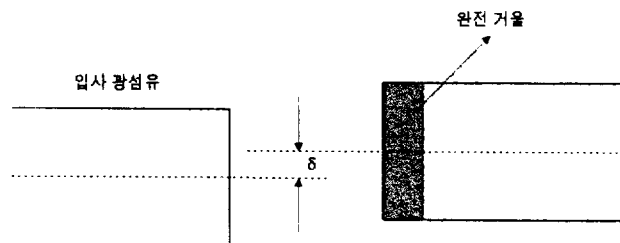


그림 9. 횡편차(δ)를 갖는 SMF-SMF 배치.

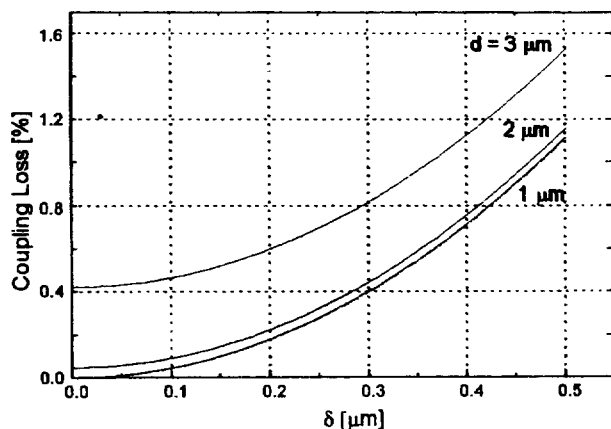


그림 10. 광섬유간의 거리에 따른 횡편차 대 결합손실 (SMF-SMF).

때 10%이상으로 증가하는 것을 알 수 있었다. 이는 FFP를 위한 광섬유의 배치에서 횡편차가 광섬유 배치의 경사각과 함께 결합손실에 큰 영향을 미친다는 것을 말해주며, 따라서 회절손실의 제한 범위내에서 원하는 성능의 FFP필터를 제작하기 위해서는 횡편차와 경사각을 최소화할 수 있는 가공기술을 병행하여 개발해야함을 알 수 있다.

SMF-CSMF 구조 : 그림 11(a)는 오목거울로 단면처리된 광섬유가 입사광섬유에 대해 횡방향으로 편차를 가진 경우를 나타낸 것이다. 이 때의 결합손실을 구하기 위해서는 입사광섬유에서의 출력광이 수신 광섬유상의 오목거울에 의해 반사된 후 입사광축과 이루게 되는 각도, 그리고 입사광섬유 단면에서 반사광의 패턴과 입사광섬유로부터의 출력광 패턴간의 횡편차를 동시에 고려하여야 한다. 그림 11(b)는 이를 위해 그림 11(a)를 확대하여 그린 것으로 각도 a 는 오목거울의 곡률이 R_c 인 경우 다음과 같이 계산된다.

$$a = \sin^{-1}\left(\frac{\delta}{R_c}\right) \quad (13)$$

따라서 곡률 R_c 의 오목거울로 단면처리된 광섬유가 횡방향으로 편차를 갖고 배치된 경우의 결합손실은 경사배치의 SMF-CSMF구조에 대한 해석에서 E_o 를 식(14)와 같이 변형시킨 후 계산함으로써 구해진다.

$$E_o = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{1}{W_o} \exp\left[-\frac{(x+\delta)^2}{W_o^2}\right] \exp\left[-\frac{y^2}{W_o^2}\right] \quad (14)$$

수신 광섬유상의 오목거울이 완전 거울이고, 곡률이 0.156 mm일 경우($d=15 \mu\text{m}$ 에서의 최적 R_c)를 가정한 후 광섬유와

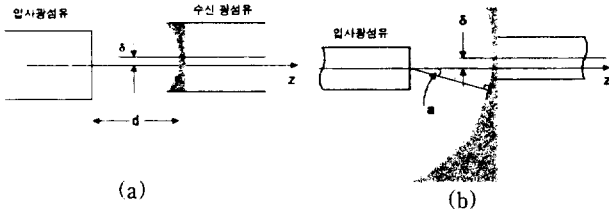


그림 11. 횡편차를 가진 SMF-CSMF 배치

거울사이의 거리에 따른 횡편차, δ 의 함수로서 계산한 결합손실은 그림 12와 같다.

그림 12로부터 d 가 $15 \mu\text{m}$ 인 경우 횡편차가 $0.1 \mu\text{m}$ 일 때에는 결합손실이 0.1%이하이며, 횡편차가 $0.5 \mu\text{m}$ 일 때에도 결합손실은 1%에 불과하므로 SMF-SMF구성에 비해 결합손실이 훨씬 작은 것을 알 수 있다.

V. SMF-SMF와 SMF-CSMF구조

이상의 계산 결과를 토대로 결합손실의 측면에서 본 SMF-SMF구조와 SMF-CSMF구조의 특성을 표 1에 정리하였다. 표 1은 d 가 $15 \mu\text{m}$ 일 때의 결합손실로서 SMF-CSMF구조에서 곡면처리된 유전체 코팅의 곡률은 $156 \mu\text{m}$ 로 가정하였다.

표 1에서와 같이 수신측 광섬유의 단면에 적절한 곡률을 가함으로써 $d=15 \mu\text{m}$ 에서도 광섬유 단면의 경사나 횡방향의 편차에 지나친 제약이 없으므로 종래와 같은 복잡한 구조를 취하지 않고도 원하는 성능의 FFP필터를 구현할 수 있음을 알 수 있다.

SMF-CSMF구조는 현재보다 훨씬 단순한 구조의 FFP필터가 제작될 수 있음을 보여준다. 그러나 이를 위해서는 그림 3에 보인 광섬유 단면을 구현하기 위한 장치와 가공 공정이 먼저 개발되어야한다. 통신용 광섬유의 코어부근에 원하는 곡률로 일정 두께의 코팅막을 원하는 수만큼 올리기 위한 토대를 마련하기 위해 직경 $125 \mu\text{m}$ 의 광섬유 단면에 이심률(eccentricity) $0.5 \mu\text{m}$ 이하, 깊이 $10 \mu\text{m}$ 전후의 원하는 곡률을 가진 광학품질의 오목거울을 달성하는 공정, 그리고 고반사

표 1. SMF-SMF구조와 SMF-CSMF구조의 결합손실 비교

결합손실	SMF-SMF 구성	SMF-CSMF 구성
회절만에 의한 손실	9.6%	0%
광축이 0.1° 경사진 경우	9.7%	0.13%
$0.1 \mu\text{m}$ 의 횡편차를 가진 경우	17%	0.1% 이하

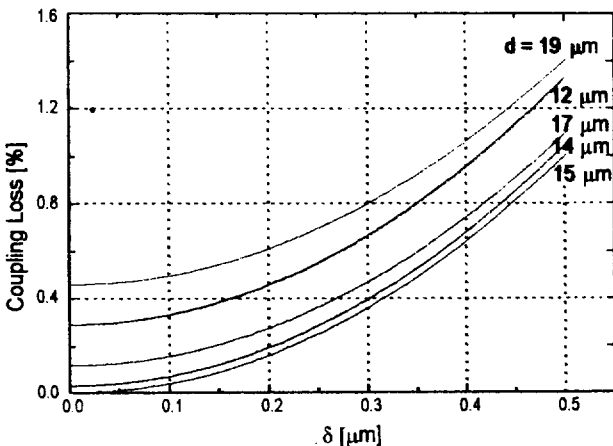


그림 12. 광섬유간의 거리에 따른 횡편차 대 결합손실 (SMF-CSMF, $R_c=0.156 \text{ mm}$)

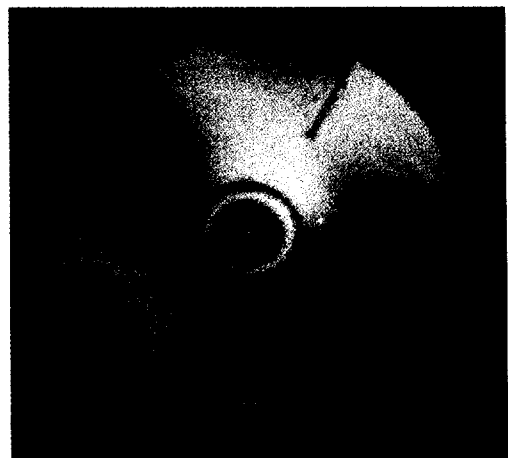


그림 13. 곡면가공된 광섬유 단면의 간섭패턴

울의 유전체 코팅막을 동시에 얻어야 하는 것을 의미한다.

광섬유 단면을 원하는 곡률의 오목거울로 가공하기 위한 수단으로 기계적 드릴링, 연마법(polishing), 아크 가공법, 녹인 후 가공하는 법 등이 제안되었으나 본 연구에서는 연마법이 현실성이 가장 높은 것으로 결론짓고, 이를 위한 장치를 부분적으로 완성하여 광섬유 단면 가공을 해오고 있다. 그림 13의 사진은 제작된 가공장치를 이용하여 가공한 광섬유 단면을 광섬유 간섭계(Norland Products사, model 25110)를 이용하여 촬영한 간섭패턴을 보인 것으로 광섬유의 중앙에 원하는 곡률의 패턴을 형성하는 것이 가능함을 증명하고 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 파장분할 광통신 및 광섬유 센서에 많은 수요가 기대되고 있는 통과 파장가변형 FP필터를 개발하기 위한 연구의 첫 단계로 기존의 설계에 비해 단순한 FFP필터의 구조를 개발하기 위하여 광섬유-광섬유간의 결합손실을 이론적으로 분석하였다.

적용시스템이 요구하는 성능의, 즉 FSR이 100 nm이상, BW가 1 nm이하, 그리고 삽입손실이 3 dB이하인 FFP간섭필터를 위해서는 결합손실이 1%이내로 제한되어야 하나 회절손실, 광섬유 단면이 갖는 경사각, 그리고 횡편차 등의 영향 때문에 SMF-SMF구조만으로는 이를 실현하는 것이 불가능하며, 따라서 결합손실을 줄이기 위해 종래의 구조에서와 같이 공극내에 도파관을 삽입하는 등의 방법을 이용하여야함을

알 수 있었다. 이에 반해 수신광섬유를 일정곡률의 오목거울로 가공한 SMF-CSMF구조의 경우에는 회절손실을 근본적으로 없앨 수 있고, 광섬유 단면이 경사지거나 횡편차를 가진 경우에도 SMF-SMF구조에 비해 결합손실이 작은 것으로 분석되었다. 결론적으로 SMF-CSMF구조를 이용하면 종래의 FFP에 비해 간단한 구조의 FFP가 제작될 수 있을 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] C. M. Miller and F. J. Janniello, *Electron. Lett.* **26**, 2122 (1990).
- [2] 심창섭, *전자공학회지* **21**, 204 (1994).
- [3] G. Y. Lyu and C. S. Park, *Electron. Lett.* **31**, 121 (1995).
- [4] A. D. Kersey, T. A. Berkoff, and W. W. Morey, *Opt. Lett.* **18**, 1370 (1993).
- [5] G. Meltz, W. W. Morey and W. H. Glenn, *Opt. Lett.* **14**, 823 (1989).
- [6] C. G. Askins, M. A. Putnam, G. M. Williams, and E. J. Friebele, *Opt. Lett.* **19**, 147 (1994).
- [7] M. G. Xu, H. Geiger, J. L. Archambault, L. Reekie, and J. P. Dakin, *Electron. Lett.* **29**, 1510 (1993).
- [8] P. E. Green, *Fiber Optic Networks* (Prentice-Hall Int'l Co., London, 1993) pp. 108-118.
- [9] D. Marcuse and J. Stone, *J. Lightwave Technol.* **4**, 377 (1986).
- [10] D. Marcuse, *J. Opt. Soc. Am.* **68**, 103 (1978).

Coupling loss variation as the shape of fiber ends and the fiber arrangement in a fiber Fabry-Perot filter

Jong Ho Kim and Yunhae Yeh

*Dept. of Electronic Engineering and Institute for Laser Engineering,
Kyung Hee University, Yongin 449-701, Korea*

(Received : March 26, 1997)

Coupling loss variation as the shape of fiber ends and the fiber arrangement in a fiber Fabry-Perot cavity, formed with two optical fibers with dielectric mirror coatings on their ends, is analyzed. For the intended features it is assumed that one of two fibers is processed to have a concave mirror whose curvature is the same as that of the wavefront of the Gaussian beam from the first fiber. In this assumption, it was turned out that the coupling loss at the cavity length of 15 μm is less than 0.5% even with tilt angle of 0.2°, curvature error of 70 μm , cavity length error of 8 μm , and lateral alignment error of 0.5 μm . Thus, low loss and high-finesse fiber Fabry-Perot filters whose cavity length is greater than several μm can be obtained easily if the receiving fiber end is properly formed.