

다중모드 광섬유결합기의 제조

김 명 옥, 최 상 삼
한국과학기술원 응용광학연구소

양 길 호, 박 단
금성전선주식회사 연구소

조 록

용융 인장에 의한 방법으로 1:1 결합시 손실 1 dB 이하의 2 x 2 다중모드 광섬유 방향성결합기를 제조하였다.

서 론

다중모드 광섬유 방향성결합기는 근거리 광통신망, 광섬유를 이용한 검지기등에 많이 이용된다. 방향성결합기는 크게 기존의 광학부품을 이용하는 방법과 광섬유를 이용하는 방법으로 나눌수 있고, 광섬유를 이용하는 방법에서는 기본원리에 따라 크게 분포결합형, 면적결합형, 광속결합형으로 구분할 수 있다.

본연구에서는 용융 인장에 의한 방법 (Fused Biconical Taper Coupler)으로 제조하였다. [1] 이방법은 분포결합형과 면적결합형을 동시에 포함한다. 이결합기는 두개의 같은 광섬유를 가운데 부분을 용융 인장하여 제조한다. 장력과 열에 의하여 두 광섬유의 클래딩 부분이 서로 녹아 붙으며 가늘어지게 된다. 결합기의 한광섬유에 들어간 빛은 광섬유가 가늘어지는 영역에서 코아밖으로 나오게 된다. 이빛은 코아로부터 방사되어 코아내에는 손실이 발생하지만 클래딩과 주위 공기와의 굴절율차가 크므로 클래딩내에 갇혀 있게 된다. 이 갇혀있는 빛들은 두 광섬유의 클래딩이 용융되어 있는 곳에서 섞이게 된다. 즉, 두광섬유에 이 클래딩에 갇혀있는 빛이 반분된다. 이들 빛들은 taper 가 굽어지는 부분을 지나면서 다시 코아내로 진행하게 된다. 이 방법으로 두개 이상의 광섬유를 이용한 N x N 결합기의 제조도 가능하다. 이 제조방법의 가장 큰 장점은 제조기술이 비교적 단순하다는 것이다. 제조시 결합비율을 계속 관찰하여 원하는 결합비율이 되었을 때 인장과 가열을 중단하여 결합을 고정시킨다. 한번 고정된 결합비율을 바꿀 수 없는 것과 taper 진 부분이 가늘어 기계적으로 약한 것이 단점이다. 본고에서는 통신에 사용되는 외경 125 μm , 코아경 50 μm , NA=0.2 인 광섬유의 방향성결합기의 제조시 실제적인 제조조건을 분석하고 제조하였다.

Taper의 계산

다중모드 광섬유에서의 taper의 부분을 진행하는 빛의 행동을 정확하게 표현하는 것은 매우 어렵다. 따라서 현실적으로 타당성이 있고 실제적인 가정으로 문제를 다루는 것이 유용하다. 그림 1과 같이 taper 각이 일정한 계단형 굴절을 분포를 갖는 광섬유를 가정한다. 이 모델에서의 taper 각에 따른 자세한 빛의 행동과 결합에 관해서는 참고문헌 [2], [3], [4]에서 다루고 있다. 본고에서는 보다 실제적으로 단순화 시켜 결합기 제조시 손실의 발생을 최소화 하기 위한 조건을 알아 본다. 그림 1에서 taper가 시작되는 부분에서 가장 먼저 빛이 코어를 빠져나가 클래딩에 존재하게 된다. 이 빛은 taper가 끝나는 부분 즉, 가장 가는 부분에서도 클래딩에 존재해야 된다.

Taper가 가늘어지기전의 입사각을 ϕ_0 라면 가늘어지는 taper 방향으로 진행할수록 입사각은 작아지게 된다. 이 경우 taper를 빠져나오는 마지막 각도 ϕ_n 는 근사적으로

$$\cos \phi_n = \frac{r_1 \cos \Omega}{r_2} \cos \phi_0 \quad (1)$$

r_1, r_2 : taper가 시작되는 지점과 끝나는 지점의 코아반경
 Ω : taper의 절반각
 n_0, n_1, n_2 : 공기, 코아, 클래딩의 굴절을

ϕ 가 용융영역에서 코아면에 대한 입사각이라면 근사적으로

$$\cos \phi_a = \frac{r_1 \cos \Omega}{r_2} \cos \phi_0 \quad (2)$$

taper 부분에 입사하기전에 균일한 코아에 의해 빛이 진행되므로 ϕ_0 는

$$\cos \phi_0 < \frac{n_1}{(n_1^2 - n_2^2)^{1/2}} \quad (3)$$

를 만족해야한다. 용융영역에서 ϕ_a 가 작다면 빛은 공기-클래딩간의 경계를 빠져 나가게 된다. 이조건을 피하기 위해서는 ϕ_a 는

$$\cos \phi_a < \frac{n_1}{(n_1^2 - n_0^2)^{1/2}} \quad (4)$$

를 만족해야 한다. 식 (2)와 (4)을 합하면

$$\cos \phi_0 < \frac{r_2}{r_1 \cos \Omega} \cdot \frac{(n_1^2 - n_2^2)^{1/2}}{n_1} \quad (5)$$

로 표현되고, 이것은 가늘어지는 taper 를 진행한 뒤 주변매질로 빠져나가지 않을 즉, 용융영역에서 최소한 클래딩에 남아 있을 초기조건이다. 또한 taper 영역을 진행한 뒤 용융영역에서 빛이 코아내에 남아 있을 조건은

$$\cos \phi_0 = \frac{r_2}{r_1 \cos \Omega} \cdot \frac{(n_1^2 - n_2^2)^{1/2}}{n_1} \quad (6)$$

으로 표현된다. 식 (3), (5), (6) 에 의해 균일한 광섬유에서 가늘어지는 taper 로 진행하는 초기 입사각 ϕ_0 의 최소값 ϕ_{CM} , 빛이 계속 코아에 남아 있을 최소값 $\phi_{CM'}$, 공기-클래딩 경계를 빠져나가지 않을 최소값 $\phi_{CM''}$ 을 구하면

$$\cos \phi_{CM} = \frac{(n_1^2 - n_2^2)^{1/2}}{n_1} \quad (7)$$

$$\cos \phi_{CM'} = \frac{r_2}{r_1 \cos \Omega} \cdot \frac{(n_1^2 - n_2^2)^{1/2}}{n_1} \quad (8)$$

$$\cos \phi_{CM''} = \frac{r_2}{r_1 \cos \Omega} \cdot \frac{(n_1^2 - n_0^2)^{1/2}}{n_1} \quad (9)$$

로 표시된다. 이들 각들이 $\phi_{CM''} \leq \phi_{CM}$ 의 조건을 만족할 경우, 즉

$$r_2 < r_1 \cos \Omega \left(\frac{n_1^2 - n_2^2}{n_1^2 - n_0^2} \right)^{1/2} \quad (10)$$

의 상태에서는 초기조건 입사각 ϕ_0 가 ϕ_{CM} 와 $\phi_{CM''}$ 사이에 있는 빛들은 공기-클래딩 경계를 빠져나가게 된다. 또한 $\phi_{CM''} > \phi_{CM}$ 의 조건을 만족할 경우, 즉

$$r_2 > r_1 \cos \Omega \left(\frac{n_1^2 - n_2^2}{n_1^2 - n_0^2} \right)^{1/2} \quad (11)$$

의 상태에서는 균일한 광섬유내를 진행하는 빛은 광섬유내를 빠져나가지 않

고 모두 가늘어지는 taper 부분을 진행한다. 이와 같은 가정으로부터 현재 널리 쓰이고 있는 통신용 다중모드 광섬유의 경우 taper 는 경사각이 3° 이하, taper 의 중심부분의 굵기가 $12\ \mu\text{m}$ 정도되어야 한다.

이와 같이 taper 진 두광섬유간의 결합은 복잡하지만 [4], 실제의 광섬유를 이용하여 제조하는 경우 클래딩의 두께가 상당히 두껍기 때문에 면적분할형으로서만 고려할 수 있고 코아간의 결합을 무시한 Szarka [5]의 가정이 더욱 실제적이다. 따라서 같은 직경의 광섬유의 경우 클래딩으로 빠져나온 빛만 용융부분의 면적비로 분할되므로 50% 이상의 결합비를 얻을 수 없다.

결합기의 제조

그림 3에 제조장치의 개략도를 나타낸다. taper 의 제조를 가열과 인장 두요소로 나눌 수 있다. 가열은 taper 의 형태를 결정짓는 요소이다. 가열영역이 넓을수록 경사각이 작다. 가열원으로서의 조건은 첫째 실리카 광섬유를 녹일 수 있는 $1,300 - 1,600^\circ\text{C}$ 의 고온을 낼 수 있어야 한다. 둘째 가열부분의 광섬유를 오염시키지 않아야 한다. 셋째 가열되는 광섬유의 광축에 심각한 변형을 주지 않아야 한다. 본실험에서는 가열원으로 부탄-산소 토치를 사용했다. 토치의 크기는 taper 의 경사각과 인장시 광섬유에서의 손실을 관찰하여 가열원의 크기가 알맞게 정한다. 인장에 사용한 장치는 미세이동장치를 이용하여 가열부분 양쪽으로 인장되도록 했다. 이 부분에서 중요한 요소는 광섬유축과 인장방향과의 일치이다. 일치하지 않으면 광섬유축을 틀어지게 하여 손실을 증가시킨다.

광섬유의 가열부분의 코팅을 수 cm 정도 벗겨내고 벗겨진 부분의 표면을 세척하여 세척된 광섬유 두가닥의 가열될 부분 양쪽을 미세이동장치 위의 V자홈에 고정시킨다. 이때 가열될 부분이 한번정도 꼬이게 하여 가열시 접착이 계속 유지되게 하여 용융이 잘되게 한다. 다음 광섬유 한쪽에 광원을 입사시킨다. 본연구에서는 2mw He-Ne 레이저를 이용하였으며 다른 한쪽 끝에 광검지기로 광량을 측정하면서 입사량이 최대가 되도록 광섬유의 위치 조절기를 조정한다. 입사단에서 조금 떨어진 위치에서 클래딩 모드를 제거한다. 부탄과 산소의 밸브를 각각 조절하여 불꽃이 가능한한 작고 안정되게 한 다음 서서히 광섬유의 가열할 부분에 접근시킨다. 이때 광섬유의 가열부분을 잘 관찰한다. 광섬유가 가열되면 광섬유에서 빛을 발하게 된다. 이러한 상태가 되면 토치의 접근을 멈춘다. 이때부터 출력단의 광량을 초기광량과 비교하면서 미세이동장치의 마이크로미터 손잡이를 조금씩 돌린다. 계속 광량을 관찰하면서 광섬유를 늘린다. 원하는 광량비가 얻어지면 가열과 인장을 멈춘다. 인장시 양쪽을 동시에 당기는 것이

대칭성을 확실하게 하는 장점이 있다. 본실험에서는 양쪽을 순차적으로 당겨도 손실에서 큰 차이를 느끼지 못했다.

제 조 결 과

광섬유직경 $125\mu\text{m}$, 코아직경 $50\mu\text{m}$, $NA=0.2$ 의 언덕형 굴절률분포 광섬유로 가열원의 폭이 약 1cm , 인장길이 14mm 정도에서 결합비 50%, 편차 0.5dB 이내, 과잉손실 1dB 미만의 결합기를 제조하였다. 이때 taper의 경사가 최대가 되는 곳의 각도는 1° 였다. 코아직경 $62.5\mu\text{m}$, $NA=0.29$ 인 광섬유로는 50% 결합시 0.9dB 의 손실의 결합기를 제조하였다.

표 1. 클래딩직경 $125\mu\text{m}$, 코아직경 $50\mu\text{m}$, $NA=0.2$ 의 언덕형 굴절률분포 광섬유 결합기의 실험결과

	입력	출력 1	출력 2	(dBm)
# 1	-4.9	-8.4	-8.9	
# 2	-5.3	-9.3	-10.3	
# 3	-5.6	-9.4	-9.7	
# 4	-3.6	-7.4	-7.4	
# 5	-6.9	-11.0	-11.2	

참 고 문 헌

- [1] B.S. Kawasaki and K.O. Hill, Appl. Opt., 16, 1794(1977)
- [2] Yi-Fan Li and John W.Y. Lit, J. Opt. Soc. Am. A, 2, 462(1985)
- [3] D. Bertilone and C. Pask, Appl. Opt., 26, 1189(1987)
- [4] Yi-Fan Li and John W.Y. Lit, J. Opt. Soc. Am. A, 2, 1301(1985)
- [5] F. Szarka and A. Lightstone, Fiber and Integrated Optics, 3, 285(1980)

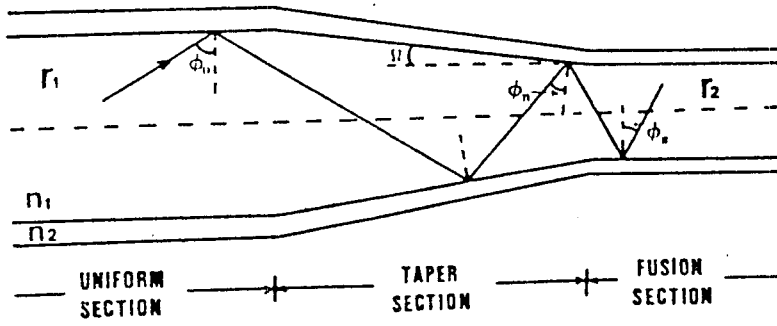


그림 1. 단순화된 taper 의 개략도와 빛의 진행

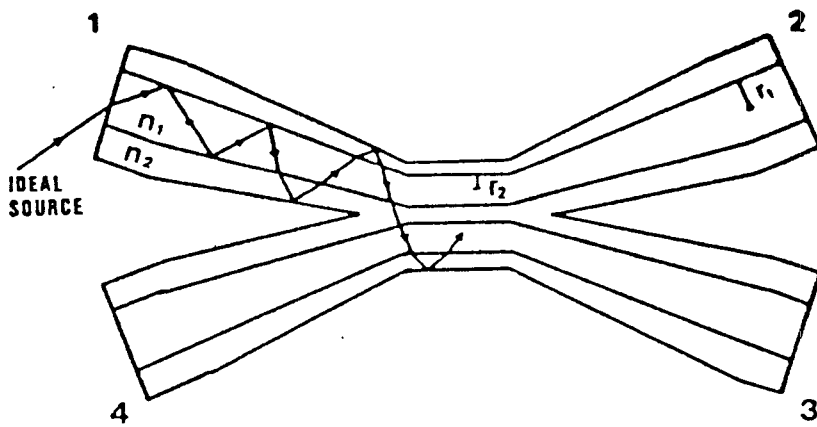


그림 2. Fused Bbiconical Taper 결합기의 개략도

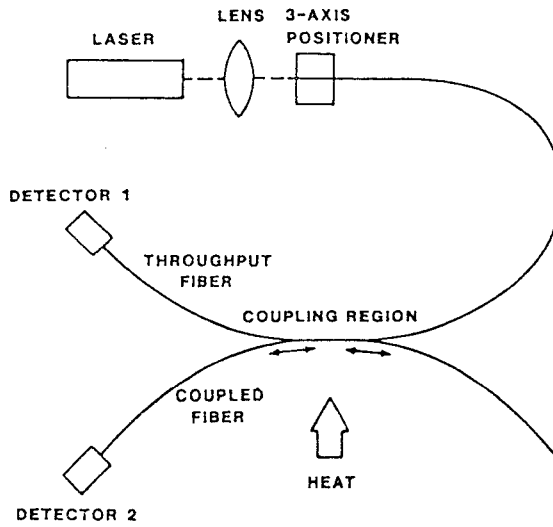


그림 3. 제조장치의 개략도

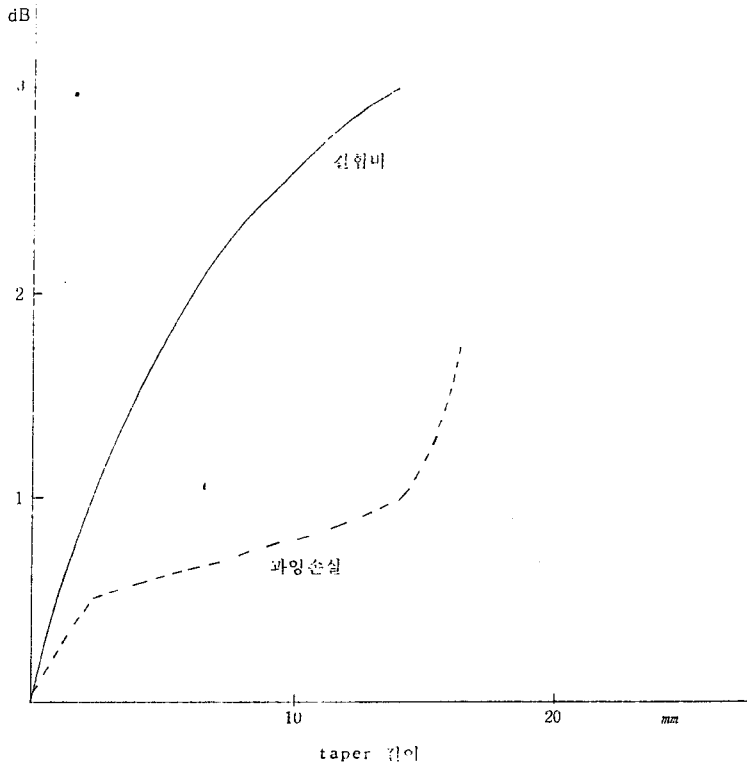


그림 4. 제조된 결합기의 인장길이에 따른 결합비와 손실의 변화