

비대칭 플라스틱 광섬유 커플러의 성능

Performance of the asymmetric Plastic Fiber Coupler

김덕기, 박규하, 양병철, 문남일, 김광택
 호남대학교 광전자공학과
 ktkim@honam.ac.kr

플라스틱 광섬유는 근거리 통신용 뿐 만아니라 광센서로도 많이 이용되고 있다. 특히 입력광에 의해 형성된 반사광이나 형광을 관측하기 위해 종종 광커플러가 필요하다. 이러한 커플러는 입력광은 센서에 손실 없이 전달되며 센서부에서 형성된 반사광, 혹은 새로운 형광은 광검출부만 전달되는 것이 바람직하다. 즉 입력광과 출력광(반사광, 형광)은 분리되어야한다. 이러한 요구를 만족하기 위한 비대칭 결합기가 그림 1에 제안되어 있다. 끝단이 경사지게 연마된 광섬유와 측면이 일부 연마된 광섬유가 결합된 구조이다. 일반적으로 끝단이 기울어져 연마된 광섬유의 코어 구경이 더 작다. 이 두 광섬유를 소구경 광섬유와 대구경 광섬유로 구분한다. 이러한 소자는 고출력 광섬유 증폭기에 이용되는 빔 콤파인너 구조^(1,2)와 거의 유사하지만 이용되는 방식은 다르다.

본 논문에서는 이러한 결합기의 성능을 개선하기 위한 연구를 수행하였다. 순방향 결합 효율은 소구경 광섬유로부터 대구경 광섬유로 광 파워의 결합 효율을 의미하여 역방향 결합효율은 그 반대를 의미한다. 순방향 및 역방향 결합효율에 결합각(γ)과 두 광섬유를 결합시키기 위한 접촉제의 굴절률(n_2)이 어떠한 영향을 미치는지 분석하였다. 순방향 결합효율은 다음과 같은 수식으로 주어진다. 두 광섬유의 코어는 광섬유 파장에 비해 매우 커서 기하광학으로 소자를 해석 할 수 있다.

$$\eta_{forward} = \frac{E_{coupled}}{E_{whole}} = \frac{\int_0^{\arcsin(NA_A/n_1)} \int_0^{2\pi} E(\theta, \phi) T(\theta, \phi, \gamma) F(\theta, \phi, \gamma) d\phi d\theta}{\int_0^{\arcsin(NA_A/n_1)} \int_0^{2\pi} E(\theta, \phi) d\phi d\theta} \quad (1)$$

여기서 $E(\theta, \phi)$ 는 단면 연마 광섬유 내에서 광파워 분포를 나타내며, $T(\theta, \phi, \gamma)$ 는 에폭시 층에서 광투과 계수, 그리고 $F(\theta, \phi, \gamma)$ 는 "0" 아니면 "1"로서 입사되는 광선의 입사각(θ)이 대구경 광섬유의 임계각 보다 크면 "1", 같거나 작으면 "0"이다. 수식(1)을 이용하여 결합각(γ)과 에폭시 접촉제의 굴절률(n_2)에 따른 순방향 결합 효율이 그림 2에 나타나 있다. 최적의 결합 효율을 얻기 위한 에폭시의 굴절률은 광섬유 코어의 굴절률과 같을 때 이다. 결합각이 커지면 결합 효율이 감소하는데 이는 대구경 광섬유에서 입사광이 전반사 조건을 만족하지 못하는 광선의 수가 증가하기 때문이다. 한편 소구경 광섬유 굴절률이 에폭시의 굴절률 보다 작은 경우 첫째 경계면에서 광선이 전반사로 입사되지 못하는 경우가 있으며 n_2 이 클수록 더 많은 광선이 첫째 경계면에서 전반사를 일으켜 결합 효율을 감소시킨다.

역방향 결합 효율은 다음과 같다. 역방향 결합 효율은 대구경 광섬유 단면적(D)와 소구경 광섬유의 단면적(A)의 비에 절대 의존한다. 역방향 결합 효율은 다음과 같이 주어진다.

$$\eta_{backward} = \frac{E_{coupled}}{E_{whole}} = \frac{1}{\sin \gamma} \frac{A}{D} \frac{\int_0^{\arcsin(NA_A/n_3)} \int_0^{\pi} E(\Psi, \phi') T_{32} T_{21} F'(\Psi, \phi', \gamma) \tan \theta' \sin \phi' d\phi' d\Psi}{\int_0^{\arcsin(NA_A/n_3)} \int_0^{2\pi} E(\Psi, \phi') d\phi' d\Psi} \quad (2)$$

대구경 광섬유에서 역방향으로 진행하던 일부 광선은 소구경 광섬유와 측면 결합된 영역과 부딪치고 일부 광파워는 소구경 광섬유로 결합된다. 이때 대구경 광섬유와 소구경 광섬유의 코어 지름의 비를 2:1로 가정하였다. 역방향 광결합효율은 결합각이 증가할수록 감소한다. 그림 3는 결합비는 n_1 , 과 n_3 모두 1.49로 가정한 경우의 계산결과이다. 이러한 분석을 바탕으로 플라스틱 광섬유를 제작하였다. 에폭시는 1.49를 가진 SK2 를 이용하였다. 사용된 플라스틱 광섬유의 코어의 지름은 각각 3mm와 1.5 mm 이다. 표1에 제시된 실험결과를 분석하면, 순방향 결합각은 이론적 예측과 마찬가지로 결합각이 증가하면서 순방향 결합비는 감소하였다. 그러나 이론적 예측보다 약간 작게 나타났는데 이런 연마된 표면에서 산란손실, 제작과정의 오차 등에서 나오는 것으로 사려 된다. 역방향 결합비도 이론적 예측보다 다소 작게 나타났다.

본 논문에서는 비대칭 플라스틱 커플러의 순방향 및 역방향 결합효율을 분석하였다. 이론 및 실험 결과 결합각과 접착제의 굴절률을 제어하여 원하는 결합효율을 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

결합 각 (도)	순 방향 결합비	역 방향 결합비
8	0.64	0.075
12	0.43	0.026
16	0.22	0.014
20	0.15	0.025

표 1 측정된 순방향결합비 및 역방향 누설비.

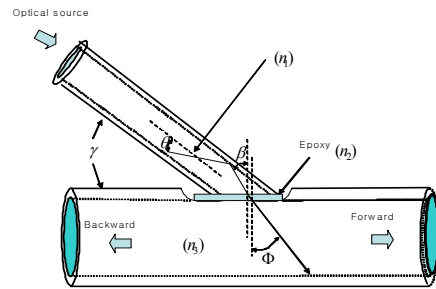


그림 1 비대칭 결합기 소자 구조

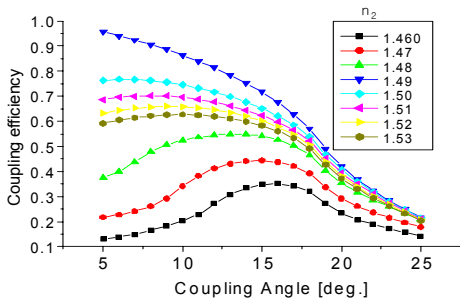


그림 2 결합각과 접착제의 굴절률에 따른 순 방향 결합 효율 계산결과

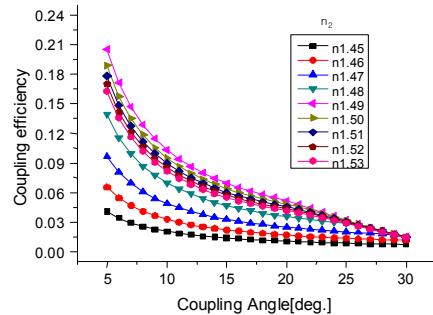


그림 3 결합각과 접착제의 굴절률에 따른 역 방향 결합 효율 계산결과

참고문헌

- (1) P. Ping Yan, M. G. Weniou Wei, " Coupling efficiency of angle-polished method for side-pumping technology," Opt. Eng. vol. 43, no. 4, pp.816-821, 2004.
- (2)P. Ou, P. Yan, M. gong, W. Wei, Y. Yuan, "Studies of pump light leakage out of couplers for multi-coupler side-pumped Yb-doped double-clad fiber lasers, " Opt. Commun. vol.239, pp. 421-428, 2004.

감사의 글

본 논문은 전남대학교 광소재부품연구센터(R/2-2002-054)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.