

Rod형 비구면 렌즈를 사용한 광통신용 collimator의 성능 계산

Analysis of the Performance of the Rod Type Aspheric lens collimator

강석봉, 강은경, 황보창권, *강상도, **김종섭

인하대학교 물리학과, *AG광학, **한국광기술원

purify80@gmail.com

광통신용 콜리메이터 렌즈(collimator lens)는 광통신 시스템에서 광섬유의 송신단과 수신단에 사용되는 핵심 부품으로 집광 및 발산의 기능을 지니며, 광회로 부품과 광섬유의 결합 효율을 향상시켜 낮은 손실로 결합할 수 있게 해 준다. 현재 콜리메이터용 렌즈로는 볼렌즈(ball lens)와 GRIN렌즈, 비구면 렌즈(aspheric lens)등이 사용되고 있는데, 실제 광통신용 콜리메이터의 제작에는 생산이 용이한 볼렌즈와 높은 결합 효율을 이끌어 낼 수 있는 GRIN렌즈가 많이 사용되고 있는 반면, 비구면 렌즈의 경우 가공이 어렵기 때문에 콜리메이터용 렌즈로 많이 사용되지 않는다. 하지만 요즘 들어 GMP(glass molding press)기법을 이용하여 좋은 품질의 초소형 비구면 렌즈를 저가 및 대량으로 제작할 수 있다⁽¹⁾. 현재 GRIN 렌즈는 전량 수입에 의존하고 있는 현실을 생각해 본다면, 높은 성능을 가지는 비구면 렌즈 콜리메이터의 개발은 높은 경제적 효과를 기대할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 비구면을 가지는 rod형태의 렌즈를 설계하여 콜리메이터를 구성하고, 그 성능을 평가하기 위해 두개의 콜리메이터를 이용한 광섬유 결합 시스템을 구성하여 두 광섬유의 결합효율을 보았으며, 콜리메이터를 구성하는 광학계의 특성이 결합효율에 어떠한 영향을 미치는지에 대하여 계산해 보았다.

콜리메이터를 이용한 두 광섬유의 결합 시스템은 그림 1과 같이 나타낼 수 있다. 콜리메이터를 이용한 결합 시스템은 신호를 발산해 주는 송신측 광섬유와 송신측 광섬유에서 나온 신호를 받아들이는 수신측 광섬유, 그리고 송신측 광섬유에서 발산되어 나오는 빛을 한 점에 모아주는 결상 광학계로 이루어져 있다.

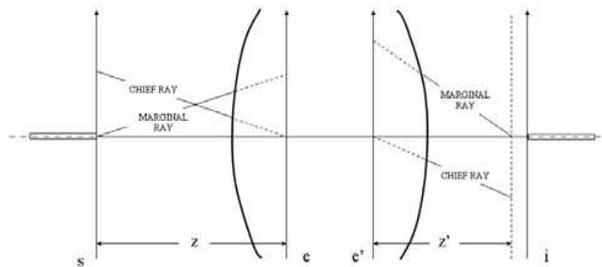


그림 1. 콜리메이터를 이용한 두 광섬유의 커플링 시스템.

콜리메이터에 의한 광섬유의 결합시스템은 결상 광학계에 의해 재생된 송신측 광섬유의 모드의 상이 수신측 광섬유의 모드와 일치할수록 높은 결합효율을 가지게 되며, 이러한 결합효율의 변화에 영향을 미치는 광학계의 특성은 수차(aberration)이며, 수차에 따른 결합효율의 변화는 다음과 같은 수식으로

알려져 있다⁽²⁾.

$$T = \left| \int \Psi_S \exp[-ikW] \Psi_L da \right|$$

위 수식에서 T는 결합효율, W는 3차 파면수차 다항식, Ψ_S 는 송신측 광섬유가 형성하는 모드, Ψ_L 은 수신측 광섬유의 모드를 나타낸다. 위의 수식에서 보여 지듯이 결합효율은 광학계의 3차 수차에 영향을 받음을 볼 수 있으며, 광통신용 콜리메이터 시스템의 경우 송신측 광섬유가 형성하는 모드의 크기가 수 μm 정도로 다른 광학계를 구성하는 요소에 비해 작으며 광축상에 형성되기 때문에 3차 파면수차량 중 구면수차항만이 결합효율에 유효한 영향을 미치게 된다. 따라서 볼렌즈나 GRIN 렌즈에 비해서 적은 구면수차를 가지도록 설계할 수 있는 비구면 렌즈를 사용하여 콜리메이터를 구성할 경우 기존의 콜리메이터에 비하여 보다 높은 성능을 기대할 수 있다. 실제 광학계 설계 소프트웨어인 CODE-V를 이용한 결합효율의 계산에서 볼 렌즈의 경우 $-0.4061dB$ 의 결합효율을 보였으며, GRIN 렌즈의 경우 $-0.09646dB$, 비구면 렌즈의 경우 $-0.09045dB$ 의 결합효율을 가짐을 보았으며 비구면 렌즈의 경우 가장 좋은 결합효율을 가짐을 볼 수 있다.

좋은 콜리메이터의 조건으로 실제 콜리메이터의 제작 시에 각 광학 요소들의 정렬 오차에 대한 결합효율의 저하가 적어야 한다. 이러한 정렬 오차의 종류로는 그림 2에 나타난 3가지를 선택하였다. 즉, 두 콜리메이터 모듈간의 광축 방향 멀어짐(z-axis displacement), 콜리메이터 렌즈의 각 방향 기울어짐(tilt), 광축의 수직방향으로의 어긋남(y-axis displacement)이다.

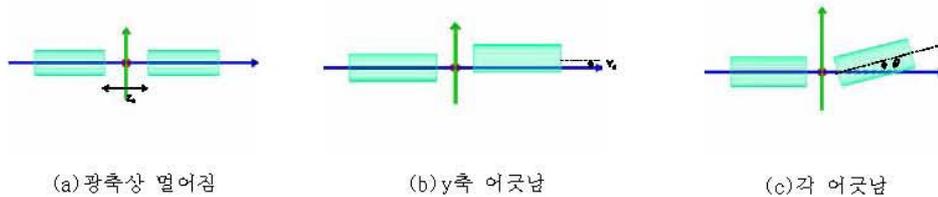


그림 2. 콜리메이터 커플링 시스템에서의 정렬 오차

위와 같은 세가지 종류의 정렬오차를 임의로 주었을 경우 볼 렌즈를 이용한 콜리메이터의 경우 GRIN 렌즈와 비구면 렌즈를 사용한 콜리메이터에 비해 상당히 나쁜 정렬 오차 범위를 가졌으며, 비구면 렌즈를 사용한 콜리메이터와 GRIN 렌즈를 사용한 콜리메이터의 경우 각 방향 어긋남을 제외한 광축상 멀어짐이나 y축 어긋남의 경우 비구면 렌즈를 사용한 콜리메이터가 더 좋은 정렬 오차 범위를 가짐을 볼 수 있었다.

비구면 렌즈를 사용한 콜리메이터의 경우 기존에 사용되던 볼 렌즈/GRIN 렌즈 콜리메이터에 비하여 상당히 높은 결합효율을 가지며, 임의의 정렬오차의 경우에서도 보다 우수한 공차범위를 가짐을 알 수 있었다. 하지만 GRIN 렌즈를 이용한 콜리메이터 보다는 각 방향 기울어짐에 대한 공차범위는 상대적으로 좋지 않았으며 이는 실제 제작 공정시 유의해야 할 사항이 되어야 한다.

1. 선화영 외4인, “렌즈에 따른 광콜리메이터 성능 비교 분석”, 韓國精密工學會 2002年 秋季學術大會論文集 (2002).
2. R. E. Wagner and W. J. Tomlinson, "Coupling efficiency of optic in single-mode fiber components", Appl. opt. 21, 2671, (1982).