

막대 형태를 가지는 비구면 렌즈를 이용한 광통신용 시준기의 설계 및 분석

Design and Analysis of the Rod-Type Aspheric Lens Optical Collimator

강석봉, 강은경, 황보창권

인하대학교 물리학과

purify80@gmail.com

광학 시준기는 발산하는 광선을 평행광선으로 바꾸어 주거나, 이와 반대로 평행광선을 수렴하는 광선으로 변화시켜 한 점에 모아주는 역학을 한다⁽¹⁾. 현재 광통신용 시준기는 주로 볼렌즈 또는 GRIN 렌즈를 사용하여 제작하고 있다. 볼렌즈는 유리나 플라스틱을 구의 형태를 가지도록 성형하여, 구의 마주보는 두 면이 굴절면이 되는 형태의 렌즈이다. 볼렌즈는 렌즈의 형태가 구를 이루어야 한다는 조건에 구속되어 있으므로 렌즈의 특성을 마음대로 조절할 수 없으므로 특정 상황에 맞추어 렌즈를 설계할 수 없기에 높은 성능을 기대할 수 없다. GRIN 렌즈의 경우 렌즈의 특성을 조절하여 설계할 수 있지만, 이를 국내에서 제작할 수 없어 특정 GRIN 렌즈 제작사에서 만들어진 몇 종류의 렌즈에서 선택하여야 한다는 문제를 가지고 있다.

이러한 문제를 해소하기 위해 구면의 굴절면을 가지는 C-렌즈를 사용할 수 있지만, 일반적으로 구면의 굴절면이 가지는 수차는 GRIN 렌즈에 비해 크므로 GRIN 렌즈를 이용한 시준기에 비해 높은 성능을 기대하기 힘들다.

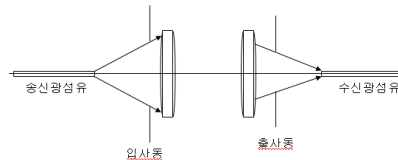


그림 1. 광섬유 결합시스템

광 시준기의 효율을 분석하기 위해 그림 1과 같은 광섬유 결합시스템을 생각할 수 있다. 이때 두 광섬유간 결합 효율은 광 시준기의 성능에 의해 결정되며 결합효율 T는

$$T = \left| \frac{\Psi_S'}{\Psi_R} \right|^2$$

와 같이 나타낼 수 있다⁽²⁾. 이 때 Ψ_S' 과 Ψ_R 은 각각 두 시준렌즈에 의해 결상된 송신 광섬유의 모드, 수신 광섬유의 고유 모드를 나타낸다. 이러한 결합효율은

$$T = \frac{\left| \iint PSF_{mode} dx dy \right|^2}{\iint PSF PSF^* dx dy \iint mode^2 dx dy}$$

와 같이 나타낼 수 있으며, 이때 PSF는 광학계의 점 퍼짐함수(point spread function), mode는 광섬유의 고유 모드를 나타낸다. 이때 PSF는 광학계가 가지는 수차의 함수이므로, 결합효율 T는 광학계의 수차에 의해 결정되는 양임을 알 수 있다⁽²⁾.

광 시준기로 구성된 광섬유 결합 시스템의 경우 물체가 되는 송신 광섬유의 모드 크기와 수신 광섬유 끝단에 형성되는 상의 크기는 수 마이크로미터로서 매우 작다는 특성에 따라 광섬유 결합시스템의 수차는 구면수차

가 다른 수차에 비해 매우 크게 나타난다. 따라서 광 시준기용 렌즈의 굴절면을 구면에서 비구면으로 대체하면 수차를 대부분 제거할 수 있으며 시준기의 성능을 크게 향상할 수 있게 된다.

비구면 렌즈의 설계는, 기존 GRIN 렌즈를 사용하던 시준기 시스템에 곧바로 적용할 수 있도록 막대 형태를 가지도록 설계하였으며, 각 굴절면을 비구면으로 설계하여 광학계의 구면수차를 크게 낮추었다. 볼렌즈, GRIN 렌즈 그리고 설계한 비구면렌즈를 사용한 광섬유 결합 시스템의 수차량들과 결합효율은 표 1과 같으며, 비구면 렌즈를 사용한 시준기의 경우 제일 적은 손실을 가짐을 볼 수 있다.

Aberration Type	Ball Lens Collimator	GRIN Lens Collimator	Aspheric Lens Collimator
W_{040}	0.188719 [wave]	0.033029 [wave]	-0.001464 [wave]
W_{131}	-0.000446 [wave]	-0.000307 [wave]	0.000006 [wave]
W_{222}	0.000207 [wave]	0.0000013 [wave]	0.000120 [wave]
W_{220}	0.000095 [wave]	0 [wave]	0.000090 [wave]
W_{311}	-0.000004 [wave]	-0.000208 [wave]	-0.000001 [wave]
coupling Loss	-0.1759 [dB]	-0.09646 [dB]	-0.07867 [dB]

표 1. 렌즈 종류별 수차량 및 결합효율

광 시준기 설계치의 분석에서 중요하게 고려하여야 할 다른 것은, 실제 조립시 발생할 수 있는 제작 오차에 따른 결합효율 저하가 있다. 실제 시준기 제작시 렌즈들과 광섬유들은 약간의 정렬오차가 발생할 수 있으며 발생할 수 있는 정렬오차는 크게 종초점이동과 횡초점이동이 있다. 종초점이동의 경우 수신 광섬유의 위치가 광축을 따라 잘못 놓여져 있을 경우이며, 횡초점이동의 경우 수신 광섬유의 위치가 광축과 수직하게 잘못 놓여져 있을 경우이다. 이러한 정렬오차는 1차 수차로 표현할 수 있으며 이는 3차 수차와 서로 상쇄되거나 더해져서 결합효율에 영향을 미치게 된다. 이러한 정렬오차에 따른 결합효율의 변화는 그림 2와 같이 나타난다.

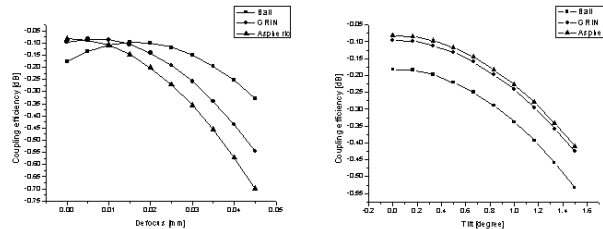


그림 2. 정렬오차에 따른 결합효율의 변화

그림 2에 나타난 것과 같이 횡초점이동에 따른 결합효율의 변화는 비구면렌즈를 사용한 경우 다른 종류의 렌즈에 비해 보다 작음을 볼 수 있으며, 종초점이동에 대한 경우는 다른 종류의 렌즈에 비해 더 좁은 구간을 가지지만, 종초점이동의 경우 제작 공정시에 쉽게 제어를 할 수 있는 부분이므로 크게 중요한 문제라고 볼 수 없다.

위와 같이 비구면렌즈를 사용한 광 시준기는 기존에 사용되는 볼렌즈 및 GRIN 렌즈 시준기에 비해서 높은 결합효율을 가짐을 알 수 있으며, 정렬오차에 대한 결합효율의 변화는 횡초점이동의 경우 보다 넓은 구간의 정렬오차 허용구간을 가지게 되며, 종초점이동의 경우 기존의 렌즈에 비해 적은 구간을 가지지만, 이는 쉽게 제거할 수 있는 정렬오차이므로, 비구면렌즈를 이용한 시준기는 기존 시준기에 비해 높은 효율로 작동함을 알 수 있다.

1. 김명진, 이승걸, “광통신용 박막필터형 광소자 분석을 위한 최적화 모델링과 특성분석”, 한국광학회지, 14, 306-311, (2003)
2. R. E. wagner and W. J. Tominson, "Coupling efficiency of optics in single-mode fiber components", Appl. Opt. 21, 2671 - 2688, (1982)