

통계적 실험 계획법을 이용한 광학 부품의 위치 정밀도 허용오차 설계

Tolerance Design of Position Accuracy of Optical components by Statistical Design of Experiment

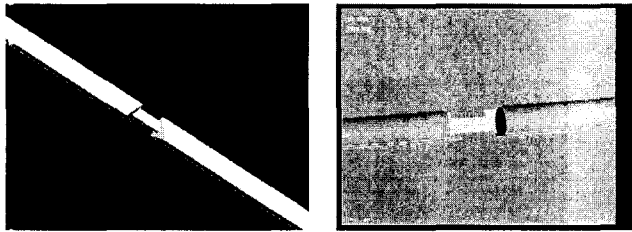
황병철*, 박헌용, 이재영, 이승걸, 오범환, 이일향, 박세근 최두선¹⁾
 인하대학교 정보통신공학부 마이크로 포토닉스 센터, ¹⁾한국 기계 연구원
 knight-chul@orgio.net

최근 광통신의 발전은 광 통신 소자의 제작시 집적화, 소형화, 경량화 그리고 저가격화를 원하게 되었다. 이러한 문제점을 해결하기 위해, 기판 위에 광소자를 집적하는 미세 광학 벤치 (Micro Optical Bench)⁽¹⁾에 대한 많은 연구가 진행되고 있는 중이다. MEMS(Micro Electro Mechanical System) 공정 기술인 벌크(bulk) 마이크로 머시닝 기술을 이용함으로써 하나의 기판 위에 광소자들을 조립하는 미세 광학 벤치를 구현 할 수 있다. 미세 광학 벤치 설계 규칙을 설정하기 위해 하나의 마스크에 one step etching을 이용한 fiber-to-fiber 그리고 fiber-ball lens-ball lens-fiber의 구조에 대하여 분석 하였다. 그림 1, 그림 2 와 같이 미세 광학 벤치는 각각의 광소자를 하나의 chip위에 집적하게 되므로 광소자들의 정렬(align)이 매우 중요하게 된다. 따라서 각각의 광소자들을 정렬하는데 있어, 공정시, 그리고 정렬시 발생할 수 있는 오차에 영향을 미치는 변수들을 결정하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 효율적인 통계적 실험 방법⁽²⁾을 통해 발생할 수 있는 오차정도를 전산모사를 통해 실제 제작하고자 하는 미세 광학 벤치 설계에 대한 규칙을 결정하고자 하였다.

다음 그림 3, 그림 4 는 발생할 수 있는 오차변수를 나타낸 것이다. 오차 정도에 따른 변수들은 통계적 실험 계획법인 다구찌 방법을 이용해 나열하여 사용하였다. 다구찌 방법을 통하여 제어할 수 있는 영향력이 큰 인자를 찾아내 이 인자들의 영향력을 최대로 함으로서 잡음의 영향력을 최소로 하는 신뢰설계(robustic design) 기법을 사용하였다. 그러한 신뢰설계를 하기 위하여 잡음으로 간주 할 수 있는 공정상의 오차와 미세 광학 벤치에서 광소자들의 정렬오차들에 대해 유한광선추적법 (Finite ray tracing)을 이용⁽³⁾하여 결합손실을 조사하였다. 결합손실에 따른 미세 광학 벤치의 오차 한계를 정해 주고 잡음을 제어함으로써 신뢰설계가 가능하게 된다.

그림 5는 ball lens 가없는 경우 거리에 따른 손실을 나타낸 것이며, 대략 두 fiber사이의 거리가 100 um에서 결합손실이 3dB 였다. 표 1은 광섬유 사이에 볼 렌즈가 위치할 때 광섬유 간의 정렬오차에 대한 전산모사결과이며, ball lens와 fiber 사이의 거리를 40um 로 고정시키고 입력단 fiber와 ball lens 사이의 거리를 $L_1=20um$, $L_2=40um$, $L_3=60um$ 로 변화 시키며 오차 한계에 맞는 $\Delta X_1, \Delta X_2$ 를 계산해 본 것이다. ball lens 가없는 경우 fiber 사이의 거리 d보다 fiber 중심축으로부터의 정렬오차 Δx 와 tilt에 의한 정렬오차가 결합 효율에 보다 큰 영향을 주는 것을 확인할 수 있었으며 $\Delta x = 2.7um$, $\Delta \theta = 5.8^\circ$ 이하에서 결합효율을 만족하게 됨을 알 수 있었다. 결과적으로 ball lens가 있는 경우 ball lens 사이의 거리는 20mm까지 가능 하였으며 입력 쪽의 변수($L_1, \Delta L_1, \Delta X_1$)가 출력 쪽의 변수($L_2, \Delta L_2, \Delta X_2$) 보다 결합효율에 보다 더 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.

차후, mirror, filter, GRIN lens, LD, PD등과 같은 여러 광부품이 모듈화되어있는 마이크로 광소자에 대한 신뢰설계를 위해서는 위에서 제안한 기본적인 모델에서의 설계규칙과, 통계적 실험 계획법을 이용하는 것이 효과적 일 것이다.



(a) (b)
그림 1. ball lens가 없는 경우의 fiber-to-fiber 정렬

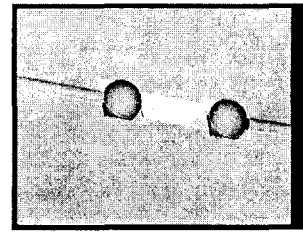


그림 2. ball lens가 있는 경우의 fiber-to-fiber 정렬

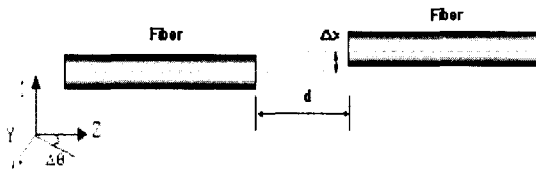


그림 3. ball lens가 없는 경우의 오차변수

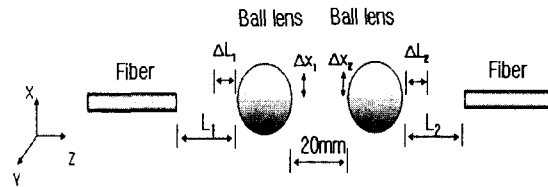


그림 4. ball lens가 있는 경우의 오차변수

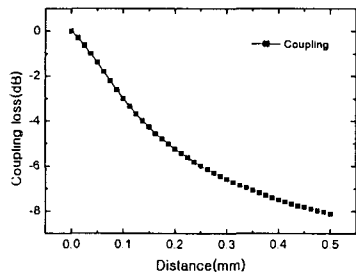


그림 5. Fiber 사이거리(d)에 따른 결합효율

	ΔX_1	ΔX_2
$L_1=20\mu\text{m}$	$0 \leq \Delta X_1 \leq 1.8\mu\text{m}$	$0 \leq \Delta X_2 \leq 2\mu\text{m}$
$L_2=40\mu\text{m}$	$0 \leq \Delta X_1 \leq 1.6\mu\text{m}$	$0 \leq \Delta X_2 \leq 2\mu\text{m}$
$L_3=60\mu\text{m}$	$0 \leq \Delta X_1 \leq 1.2\mu\text{m}$	$0 \leq \Delta X_2 \leq 2\mu\text{m}$

표 1. ball lens가 있는 경우의 정렬 오차에 따른 오차한계

감사의 글

본 연구는 산업자원부가 지원하고 있는 차세대 신기술 개발 사업 중 한국기계연구원이 주관하는 고기능 초미세 광열유체 마이크로부품 기술개발 사업의 세부과제로서 수행중이며, 이에 관계자 여러분들께 감사의 말씀을 올립니다.

참고 문헌

1. L. Y. Lin, J. L. Shen, S. S. Lee, G. D. Su, and M. C. Wu, IEEE, MEMS' 97, pp. 43-48, 1997.
2. Madhav S. Phadke, "Quality Engineering using Robust Design," Prentice-Hall, pp. 51-59, 1989.
3. 박현용, 김명진, 조경곤, 이승걸, 오범환, 이일향, Photonics Conference 2001, pp. 211-212, 2001.