

논문 2004-41SD-7-3

마이크로 광 시스템 구현을 위한 광학 부품의 위치 정밀도 허용오차 설계

(Tolerance design of position accuracy of optical components for micro optical system)

이 재 영*, 황 병 철*, 박 현 용*, 박 세 근*, 이 승 결*, 오 범 환*, 이 일 항*, 최 두 선**

(J. Y. Lee, B. C. Hwang, H. Y. Park, S. G. Park, S. G. Lee, B. H. O, I. H. Lee, and D. S. Choi)

요 약

미세 광학 벤치의 설계를 위해서 두 가지 테스트 벤치에 대해 결합효율을 계산하였다. 광섬유로 들어오고 나가게 되는 빛을 볼 렌즈를 통과한 것과 그렇지 않은 것으로 설계하였다. 미세 광학 벤치의 실제 제작 과정에서 발생할 수 있는 광소자들의 위치 에러를 고려하여 시뮬레이션을 하였고, 그것들의 허용오차를 -3 dB 조건으로 정하였다. 볼 렌즈가 없는 fiber-to-fiber에서는 lateral misalignment가 2.7 μm , 그리고 tilt 에러가 5.8 $^\circ$ 이내로 나타났다. 각각의 광섬유 앞단에 광의 집속을 위해 볼 렌즈가 놓여지면 working distance는 60 μm 로 확장되어지나, 각각의 광소자들이 놓여진 위치 파라미터 사이에 보다 강한 교호작용이 존재하기 때문에 tolerance design을 위해 교호작용을 함께 고려해야 한다.

Abstract

In order to set up the design of micro optical bench, optical coupling efficiencies of two sets of test benches are calculated. Simple linear connections of incoming and outgoing optical fibers with and without ball lenses are designed. Positional errors that are possible in actual fabrication processes are considered in the calculations and their tolerances are determined from -3 dB conditions. For a simple fiber-to-fiber connection, the lateral misalignment should be limited to 2.7 μm and tilt error 5.8 $^\circ$. In case of the fiber-to-fiber with ball lens, the working distance between fibers can be extended over 60 μm . The optical coupling efficiency depends strongly on the positional errors of ball lenses along the optical axis, and it is also found that the lateral and vertical positional errors should be considered simultaneously in order to keep the high coupling efficiency.

Keywords : Micro optical bench, Robustic design, Fiber-to-Fiber connection

I. 서 론

최근에 광 통신 산업은 급속도로 발전하고 있다. 이러한 광 통신 기술의 발전은 광 통신 소자와 모듈의 소

형화와 경량화, 그리고 낮은 제작비용을 원하게 된다. 광소자를 제작하고 개별적으로 패키징하여 모듈을 구성하는 기존의 방법은 부피, 신뢰성, 비용측면에서 문제점을 갖고 있었다. 이러한 문제점을 해결하기 위해, 하나의 기판 위에 여러 부품을 집적화하여 배치하는 미세광학 벤치에 대해 많은 연구가 진행되고 있는 중이다. 포토리소그래피 공정과 식각공정을 통하여 하나의 기판에 각 부품을 부착시킬 부위를 형성한 뒤에 해당 부품을 부착시키는 과정을 거치게 되며, 전체 시스템의 광학특성은 각각의 광소자나 부품들의 정렬정밀도에 크게 의존하게 된다.^{[1],[2]} 실제로는 포토리소그래피와 식각단계에서 공정변수의 원치 않는 변화로 인해 패턴간의 정렬

* 정회원, 인하대학교 정보통신공학부
(School of Information & Communication Engineering, Inha University)

** 정회원, 한국기계연구원 나노 공정그룹
(Nano Process Lab., Intelligence & Precision Machine Department. KIMM)

※ 본 논문은 2003년도 산업자원부의 지원에 의하여 연구되었음.

접수일자: 2003년3월26일, 수정완료일: 2004년6월14일

오차가 있다든지 패턴의 크기가 변하는 경우가 발생할 수 있으며, 광학벤치에 부품을 부착과정에서 위치에 대한 오차가 발생하여 여러 가지 광학특성, 특히 optical coupling 효율이 떨어질 수 있다. 이러한 위치오차의 허용한계를 설정하고 이를 설계규칙에 반영함으로써 신뢰성 높은 광학벤치를 제작할 수 있다고 본다.

따라서 본 연구진은 각각의 광소자들을 정렬시키는 데 있어, 설계와 공정 시에 발생할 수 있는 변수를 도출하고 이들에 의한 위치오차가 전체 모듈의 optical coupling efficiency에 미치는 영향을 분석하고, 각 부품의 위치 허용오차를 계산하여 미세 광학 벤치에 대한 설계 규칙을 제시하고자 하였다.^[3] 이를 위하여 입출력단의 광섬유를 연결하는 간단한 마이크로 광학벤치를 대상으로 각 부품의 위치허용오차를 관찰하되 구형 렌즈(ball lens)의 유무에 따른 두 가지 경우에 대하여 분석하였다. Optical coupling efficiency는 ray optics의 유한 광선추적법을 바탕으로 개발된 mMEMS-Win 시뮬레이터를 사용하여 계산하였다.

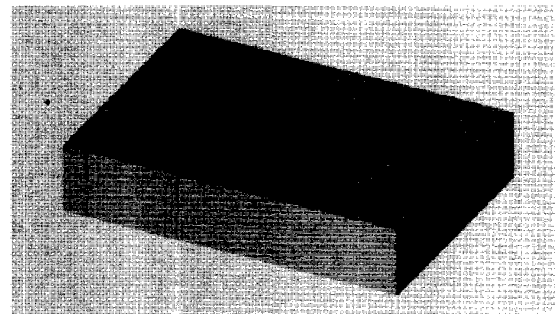
II. 광학벤치의 설계와 분석

1. 광학벤치의 설계와 광결합 효율 계산

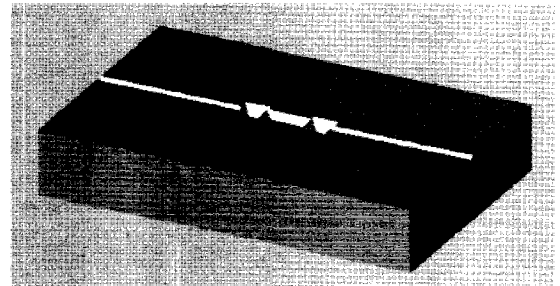
첫 번째 분석대상은 단순히 두개의 광섬유를 직접 연결하기 위한 광학벤치로써 ball lens가 없는 설계가 [그림 1]에 나타나 있다. Groove의 폭을 차이 나게 하여 광섬유 끝의 위치를 정한 구조를 볼 수 있다. 두 번째 설계를 ball lens를 양단에 배치한 것으로써 광섬유간의 거리를 보다 크게 하여 다른 광 부품을 그 사이에 위치시킬 수 있는 유연성이 있다. 기판위에 광섬유를 정렬하기 위한 V-groove와 빛이 지나갈 수 있는 경로, 그리고 ball lens를 위치시키기 위한 홈을 한번의 포토리소 그래피와 한번의 습식식각으로 동시에 만들어 준다.^{[4],[5]} 따라서 설계상에서의 위치 정렬오차는 없는 것이다. [그림 2]는 볼 렌즈가 있는 fiber-to-fiber의 제작 과정을 단계별로 보여주고 있다. 볼 렌즈가 들어가서 정렬될 수 있는 micro pit과 광섬유의 V-groove 및 광 경로 통과 영역을 보여주고 있다.^[6] Micro pit의 크기와 깊이가 V-groove와 다르기 때문에 opening size control을 적용하여 layout mask를 디자인하였다. 시뮬레이션에 사용한 볼 렌즈의 focal length는 0.56mm이며 working distance는 0.05mm이다. 또한 광섬유는 Corning사의 SMF-28 모델 규격을 사용하였다.



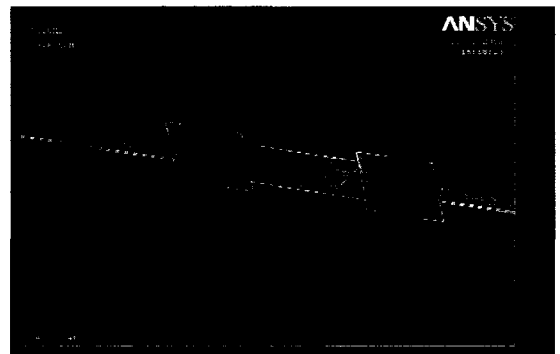
그림 1. 볼 렌즈가 없는 fiber-to-fiber
Fig. 1. Design of fiber-to-fiber without ball lens.



(a)



(b)



(c)

그림 2. 볼 렌즈가 있는 fiber-to-fiber
(a) 기판 (b) V-groove와 micro pit 식각 (c) 광섬유와 볼 렌즈 조립

Fig. 2. Design of fiber-to-fiber with ball lenses.
(a) Substrate (b) After etched V-groove and micro pit on substrate (c) After assembled fiber and ball lens on V-groove and micro pit

2. 광 결합효율 계산을 위한 Optical simulator
: mMEMS-Win TM [7],[8]

본 연구에서 사용한 mMEMS-Win 시뮬레이터는 마이크로 광소자의 분석 및 최적 설계에 활용할 수 있는 것이다. 이 시뮬레이터는 미세 광소자(micro-optic device) 특성평가 및 최적설계를 위해 ray optics의 유한 광선추적법을 이용하여 개발되었으며 상(image) 형성뿐 아니라 에너지 결합효율 계산도 할 수 있다. 일반적으로 광선추적법은 전달과정과 굴절과정을 거치면서 진행되는 이미지 파트(image part)를 추적하며, 전달과정은 광선의 진행면이 좌표와 광선의 광학적 방향여현을 이용해서 후속면과의 교점을 구하게 되며, 굴절과정은 광학적 방향여현과 진행면의 좌표를 이용해서 굴절후의 광학적 방향여현을 구하게 된다. 분석 가능한 소자는 미세 광소자(micro optic device)이며, 3차원 부품에 대하여 계산할 수 있게 개발되었다.[7],[8]

III. 위치오차에 따른 광 결합효율

1. 볼 렌즈가 없는 fiber-to-fiber 연결

볼 렌즈가 없는 경우에 광섬유간의 연결은 제작된 마이크로 벤치의 V-groove에 광섬유를 고정시킬 때에 발생하는 위치오차에 의해 그 결합효율이 결정된다. [그림 3]은 볼 렌즈가 없는 fiber-to-fiber용 광학벤치에서 결합효율에 영향을 줄 수 있는 위치의 인자들을 표시하였다. 그 인자로서 결합효율에 영향을 주는 것은 광섬유 사이의 간격(d), 광섬유 중심축의 상대적 정렬오차(lateral misalignment, ΔX), 그리고 기준 축으로부터의 오차각도 (angular misalignment, $\Delta\theta$)등이 있다.[9],[10] 이들 오차는 광학벤치 제작 중에서 포토리소그래피의 현상공정이나 식각공정에서 공정조건의 변화로 인하여 패턴들이 설계사양보다 over-sized 또는 under-sized 되면서 발생하거나 광섬유를 광학벤치에 부착하면서 발생할 수 있다.

[그림 4]에 ΔX 나 $\Delta\theta$ 의 값이 0일 때, 광섬유 사이의 거리(d)의 변화에 따른 결합효율의 손실을 나타내었다. 광섬유 사이의 거리가 멀어질수록 결합효율이 감소하게 되어 광섬유간의 거리가 100 μm 가 되면 결합효율은 -3 dB 수준이 된다. 만일 -3 dB 값을 허용되는 최소 결합손실의 기준으로 한다면 광섬유간의 거리는 100 μm 이하로 유지되어야한다는 것을 의미한다.

공정 시 발생할 수 있는 또 다른 인자인 상대적 정렬오차, ΔX 에 대해 결합효율을 계산하여 [그림 5]에 나

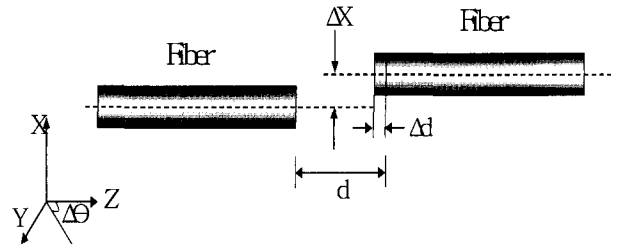


그림 3. 볼 렌즈가 없는 fiber-to-fiber에서의 위치 오차 변수

Fig. 3. A variable of position error of fiber-to-fiber without ball lens.

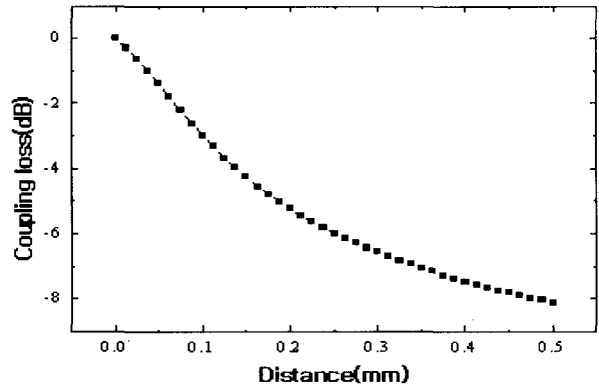


그림 4. 광섬유 거리(d) 변화에 따른 결합효율

Fig. 4. Coupling efficiency as a function of fiber distance.

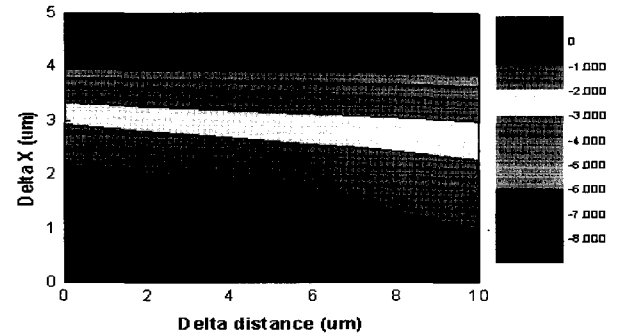


그림 5. Δd , ΔX 변화에 따른 결합효율

Fig. 5. Coupling efficiency as a function of Δd and ΔX .

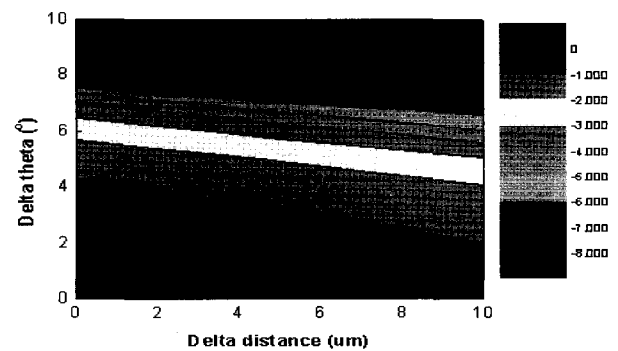


그림 6. Δd , $\Delta\theta$ 변화에 따른 결합효율

Fig. 6. Coupling efficiency as a function of Δd and $\Delta\theta$.

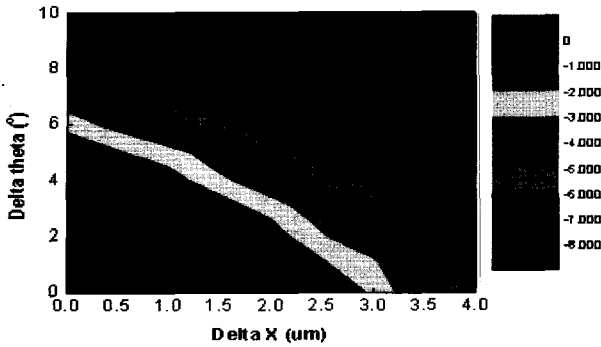


그림 7. ΔX , $\Delta\theta$ 변화에 따른 결합효율
 Fig. 7. Coupling efficiency as a function of ΔX and $\Delta\theta$.

타내었다. 이때 광섬유 사이의 거리를 $d=50\text{ }\mu\text{m}$ 로 설계한 경우에 대하여 이 거리에 대한 오차(Δd)의 여러 값에 대해 결합효율을 알아보았다. $\Delta d=0\text{ }\mu\text{m}$ 인 경우에는 -3 dB 이내의 결합 효율을 만족하는 ΔX 의 허용오차가 $3.3\text{ }\mu\text{m}$ 정도인데 비하여, $\Delta d=10\text{ }\mu\text{m}$ 에서는 ΔX 의 허용오차가 $3.0\text{ }\mu\text{m}$ 정도로 다소 좁아졌다.

[그림 6]은 출력단의 광섬유가 기준 축으로부터 θ 만큼 tilt 되어 있을 때, 광섬유 사이의 거리오차 Δd 에 대해 결합효율의 변화를 나타낸 것이다. [그림 5]와 마찬가지로 설계된 거리는 $d=50\text{ }\mu\text{m}$ 으로 고정하였으며, 광섬유의 부착과정에서 실제로 발생할 수 있는 오차인 Δd 와 $\Delta\theta$ 의 관계를 보인 것이다. $\Delta d=0\text{ }\mu\text{m}$ 인 경우에는 -3 dB 이내의 결합 효율을 만족하는 $\Delta\theta$ 의 허용오차가 6.2° 정도인데 비하여, $\Delta d=10\text{ }\mu\text{m}$ 에서는 $\Delta\theta$ 의 허용오차가 6.0° 이하로 역시 다소 좁아졌다. [그림 7]은 결합효율에 크게 영향을 미치는 ΔX 와 $\Delta\theta$ 의 교호작용에 대해 시뮬레이션을 한 결과이다. 결합효율이 -3 dB 가 되는 허용오차 범위를 결정함에 있어서 두 가지 인자를 동시에 고려해야함을 보여주고 있다. 즉, $\Delta X=0\text{ }\mu\text{m}$ 일 경우에는 $\Delta\theta=6^\circ$ 까지 허용되지만, $\Delta X=3.0\text{ }\mu\text{m}$ 일 경우에는 $\Delta\theta=1.5^\circ$ 정도까지 허용됨을 보여주고 있다. 이로부터 $\Delta X + \Delta\theta \leq n$ (여기에서 $n=5 - 6$)의 관계를 도출할 수 있다. 이때 ΔX 의 단위는 μm 이고 $\Delta\theta$ 의 단위는 $^\circ$ 이다. 즉 두 가지 오차인 ΔX 와 $\Delta\theta$ 를 동시에 고려하여야 한다.

2. 볼 렌즈가 있는 fiber-to-fiber의 연결

[그림 8]은 두개의 볼 렌즈(그 간격은 20 mm 로 고정 시킴)와 2개의 광섬유로 구성된 시스템으로서 광학벤치의 제작과정에서 발생할 수 있는 공정조건의 변화에 의한 패턴의 왜곡이나 크기의 변화, 그리고 광학부품의 assembly과정에서 발생하는 위치오차와 정렬오차를 보

여주고 있다. 이들은 결국 광 결합효율에 영향을 주는 것으로써, 설계된 광섬유와 볼 렌즈 사이의 거리(L_1, L_2)에 대한 위치오차($\Delta L_1, \Delta L_2$)와 기준 광섬유의 정렬 축으로부터 벗어난 볼 렌즈의 정렬오차($\Delta X_1, \Delta X_2$) 등이 있다.

[그림 9]는 볼 렌즈와 광섬유간의 거리를 모두 $60\text{ }\mu\text{m}$ (즉, $L_1=60\text{ }\mu\text{m}, L_2=60\text{ }\mu\text{m}$)으로 고정시킨 경우에 대하여, 실제 공정시 발생할 수 있는 위치오차 ΔL_1 과 ΔL_2 의 여러 경우에 대해 결합효율을 계산한 결과를 보여주고 있다. 이 결과로부터 입력단의 거리(L_1)에 대한 위치오차(ΔL_1)의 허용범위가 출력단의 거리(L_2)에 대한 위치오차(ΔL_2)의 허용범위가 좁은 것을 알 수 있다. 즉 $-15\text{ }\mu\text{m} \leq \Delta L_1 \leq 20\text{ }\mu\text{m}$ 이면 ΔL_2 는 $-40\text{ }\mu\text{m} \leq \Delta L_2 \leq 40\text{ }\mu\text{m}$ 의 오차를 갖더라도 -3 dB 이내에 들어올 수 있다. 다시 말하면, 입력의 위치오차 ΔL_1 이 출력의 위치오차 L_2 보다 결합효율에 보다 큰 영향을 주고 있다고 볼 수 있다. [그림 10]의 데이터는 $60\text{ }\mu\text{m}$ 으로 설계된 L_1 과 L_2 에 대한 위치오차가 없다고 가정한 경우에 대하여 볼 렌즈의 정렬오차 (각각 $\Delta X_1, \Delta X_2$)의 정도에 따른 결합효율을 살펴본 결과이다. 입력단의 볼 렌즈의 정확도가 $-1.6\text{ }\mu\text{m} \leq \Delta X_1 \leq 1.6\text{ }\mu\text{m}$ 이내 이면서 동시에 출력단의 정렬오차가 $-2.5\text{ }\mu\text{m} \leq \Delta X_2 \leq 2.5\text{ }\mu\text{m}$ 이내에 들어야함을 보여주고 있다. 또한 동시에 입출력단의 오차는 서로 교호작용 (interaction)을 보이고 있음을 알 수 있다. 즉, $\Delta X_1=-1\text{ }\mu\text{m}$ 일 때에는 ΔX_2 의 허용오차는 $-1.5\text{ }\mu\text{m}$ 에서 $+2.6\text{ }\mu\text{m}$ 이지만 $\Delta X_1=+1\text{ }\mu\text{m}$ 일 때에는 ΔX_2 의 허용오차는 $-2.6\text{ }\mu\text{m}$ 에서 $+1.5\text{ }\mu\text{m}$ 이다. 동시에 입력단의 정렬오차에 대한 허용범위가 출력단보다 더 좁은 것도 알 수 있다.

계속하여 L_1 과 L_2 의 범위에 따라 ΔX_1 과 ΔX_2 의 허용한계를 보기위한 계산을 하였다. [그림 11(a)]에는 $L_1=60\text{ }\mu\text{m}, L_2=73\text{ }\mu\text{m}$ 인 경우에 대하여, [그림 11(b)]에는 $L_1=60\text{ }\mu\text{m}, L_2=85\text{ }\mu\text{m}$ 인 경우에 대하여, [그림 11(c)]에는 $L_1=85\text{ }\mu\text{m}, L_2=60\text{ }\mu\text{m}$ 인 경우에 대하여, 그리고 [그림 11(d)]에는 $L_1=85\text{ }\mu\text{m}, L_2=85\text{ }\mu\text{m}$ 인 경우에 대하여 각각 계산 된 결과이다. 즉 L_1 과 L_2 는 $60\text{ }\mu\text{m}$ 를 기준으로 오차 정도에 따라 $73\text{ }\mu\text{m}$ 와 $85\text{ }\mu\text{m}$ 로 변화시킨 경우에 해당되며, 이러한 경우에 볼 렌즈의 오차변화에 대한 결과를 구한 것이다.

Contour에서 보이듯이, ΔL_1 이 고정된 상태에서 ΔL_2 의 오차정도가 커짐에 따라 결합 효율이 줄어드는 것을 볼 수 있다. 또한 ΔL_1 의 오차 정도와 ΔL_2 의 오차정도가 차이가 많이 나면 더욱 결합 효율이 떨어지는 것을

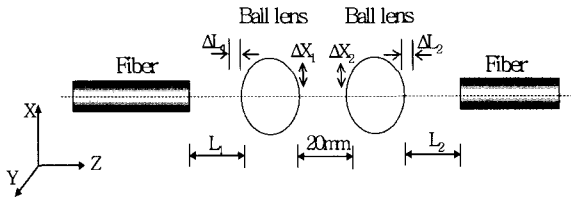


그림 8. 볼 렌즈가 있는 fiber-to-fiber에서의 위치오차 변수

Fig. 8. A variable of position error of fiber-to-fiber with ball lenses.

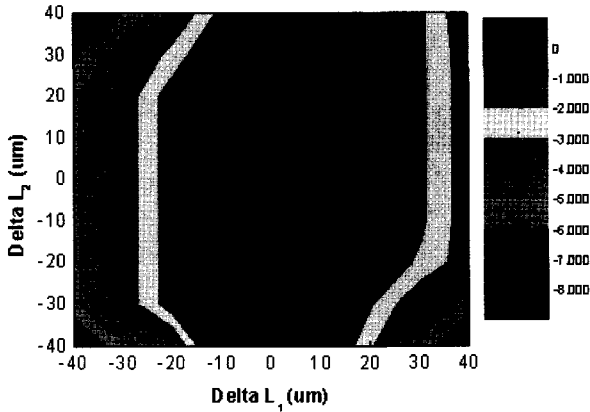


그림 9. ΔL1, ΔL2 변화에 따른 결합효율
Fig. 9. Coupling efficiency as a function of ΔL1 and ΔL2.

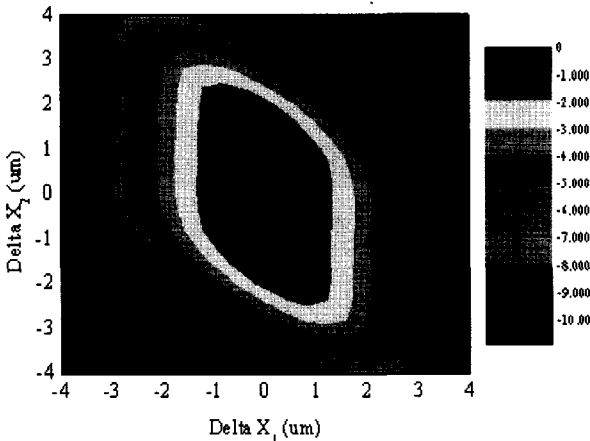


그림 10. ΔX1, ΔX2 변화에 따른 결합효율(L1, L2= 60 um)
Fig. 10. Coupling efficiency as a function of ΔX1 and ΔX2 (L1=L2=60 um).

확인할 수 있었다. 결합효율은 입력 볼 렌즈의 변위(ΔX1)와 출력 볼 렌즈의 변위(ΔX2)의 관계에 의해서 크게 영향을 받는다. 또한 입력단의 오차가 보다 크게 결합효율에 작용하는 것도 볼 수 있다. 이러한 경향과 또 오차간의 교호작용을 고려하며 아래와 같이 허용오차의 크기에 대한 관계를 제시해 볼 수 있다.

$$\text{Coupling efficiency} \propto \frac{1}{|a\Delta X_1 + X_2|} \quad (1)$$

..... (1 < a < 2)

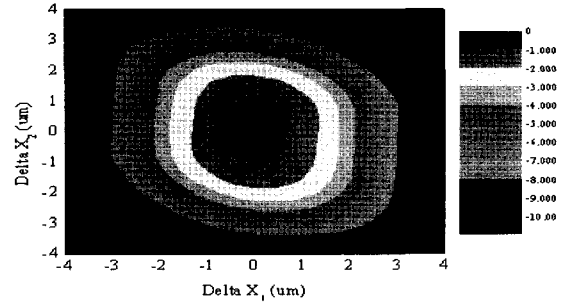
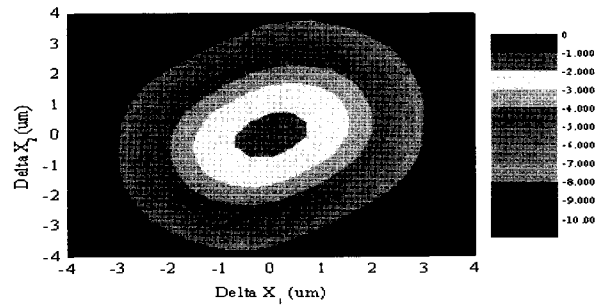


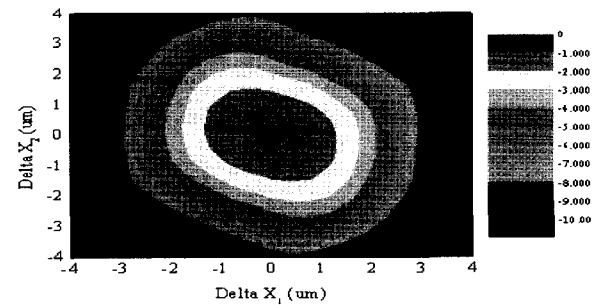
그림 11. (a) ΔX1, ΔX2 변화에 따른 결합효율 (L1=60 um, L2= 73 um)

Fig. 11. (a) Coupling efficiency as a function of ΔX1 and ΔX2 (L1=60 um, L2=73 um)



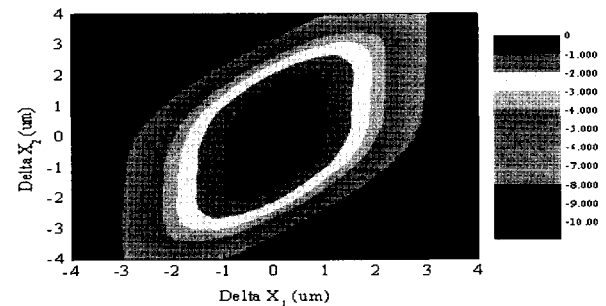
(b) ΔX1, ΔX2 변화에 따른 결합효율 (L1=60 um, L2= 85 um)

(b) Coupling efficiency as a function of ΔX1 and ΔX2. (L1=60 um, L2=85 um)



(c) ΔX1, ΔX2 변화에 따른 결합효율 (L1=85 um, L2=60 um)

(c) Coupling efficiency as a function of ΔX1 and ΔX2. (L1=85 um, L2=60 um)



(d) ΔX1, ΔX2 변화에 따른 결합효율 (L1=85 um, L2= 85 um)

(d) Coupling efficiency as a function of ΔX1 and ΔX2. (L1=85 um, L2=85 um)

IV. 결 론

본 연구진은 미세 광학 벤치를 설계함에 있어, 위치 정밀도를 제시하고자 볼 렌즈가 없는 fiber-to-fiber와 볼 렌즈가 있는 fiber-to-fiber를 설계하고 결합 효율을 측정하였다. 볼 렌즈가 없는 fiber-to-fiber에서 두 개의 광섬유 사이의 거리 d 보다 광섬유 중심축으로부터의 misalignment(ΔX)와 tilt에 의한 misalignment($\Delta\theta$)가 보다 더 결합효율에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 결과적으로 $\Delta X=2.7 \mu\text{m}$, $\Delta\theta=5.8^\circ$ 이하에서 결합효율을 만족하게 된다. 볼 렌즈가 있는 fiber-to-fiber에서는 광섬유와 볼 렌즈의 거리 L_1 , L_2 , 그것의 위치 오차 ΔL_1 , ΔL_2 , 그리고 볼 렌즈들이 가지는 중심축으로부터의 위치오차 ΔX_1 , ΔX_2 에 대해 결합효율을 측정하였다. 특히 ΔX_1 , ΔX_2 의 교호작용이 결합효율에 영향을 미치는 것을 알 수 있었고, 입력 쪽의 변위 ΔX_1 이 출력 쪽의 변위 ΔX_2 보다 결합효율에 영향을 준다. 즉, $|\Delta X_1^2 - \Delta X_2^2|$ 의 값이 커짐에 따라 결합효율은 작아짐을 볼 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] M.C. Wu, L.Y. Lin, S.S. Lee, and K.S.J. Pister, "Micromachined free-space integrated micro-optics," *Sensor and Actuator A*, vol. 50, p.127, 1995.
- [2] L.Y. Lin, S.S. Lee, K.S.J. Pister, and M.C. Wu, "Micro-machined three-dimensional micro-optics for integrated free-space optical system," *IEEE Photonics Tech. Lett.*, vol. 6, no. 12, p.1445, 1994.
- [3] E. Bisillon, D.F. Brosseau, T. Yamamoto, M. Mony, E. Bernier, D. Goodwill, D.V. Plant, and A.G. Kirk, "Free-space optical link with spatial redundancy for misalignment tolerance," *IEEE Photonics Tech. Lett.*, vol. 14, no. 2, p.242, 2002.
- [4] M.H. Choi, H.J. Koh, E.S. Yoon, K.C. Shin, and K.C. Song, "Self-aligning silicon groove technology platform for the low cost optical module," 49th Electronic Components and Technology Conference, p.1140, 1999.
- [5] R. Cann, P. Harrison, and D. Spear, "Use of silicon vee groove technology in the design and volume manufacture of optical devices," *SPIE*, vol. 3004, p.170, 1997.
- [6] S.S. Lee, L.S. Huang, C.J. Kim, and M.C. Wu, "Free-space fiber-optic switches based on MEMS vertical torsion mirrors," *J. Lightwave Technol.*, vol. 17, p.7, 1999.
- [7] 박현용, 이재영, 황병철, 김명진, 이승걸, 오범환, 이일향, 박세근, "광통신용 마이크로 광소자 분석에서 입력광원 모델링 방식에 따른 영향," *Proceedings of photonics conference*, p.595, 2002.
- [8] S.G. Lee "User manual for the micro-MEMS simulator," Inha university, Incheon, 2002.
- [9] B.E.A. Saleh and M.C. L Teich, "Fundamental of Photonics," John Wiley & Sons, Inc., New York, 1991.
- [10] J.V. Collins, I.F. Lealman, P.J. Fiddymment, C.A. Jones, P.G. Waller, L.J. Rivers, K. Cooper, S.D. Perrin, M.W. Nield, and M.J. Harlow, "Passive alignment of a tapered laser with more than 50% coupling efficiency," *Electron. Lett.*, vol. 31, no. 9, p.730, 1995.

저 자 소 개



이 재 영(정회원)
 2001년 단국대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 2003년 인하대학교 전자재료
 공학과 석사 졸업.
 <주관심분야: 반도체 재료 및 부
 품, 광통신>



박 세 근(정회원)
 1974년 서울대학교
 전자공학과 학사
 1981년 Univ. of Texas at Austin
 전자공학과 석사
 1985년 Univ. of Texas at Austin
 (박사-전자공학)
 1977년~1979년 전자통신연구소 연구원
 1986년~1988년 LG반도체 MOS기술부장
 1992년~1993년 CALTECH 방문교수
 1997년~2001년 평판 디스플레이개발사업
 (G7사업)운영위원장
 1998년~2003년 시스템 IC 개발사업 장비재료
 전문위원
 1998년~현재 인하대학교 반도체 및 박막기술
 연구소장
 <주관심분야: 반도체 소자 및 공정>



황 병 철(정회원)
 2002년 인하대학교 전자재료
 공학과 학사 졸업
 2004년 인하대학교 정보통신
 공학부 석사 졸업
 2004년 1월~현재 SKC 중앙연구소
 광통신소재개발2팀 연구원

<주관심분야: 광통신 소재 개발 및 전자재료 분
 야>



이 승 걸(정회원)
 1982년 인하대학교
 응용물리학 학사
 1984년 KAIST 물리학 석사
 1987년 KAIST 광학 박사
 1991년~1992년 미 Northwestern
 교환교수
 2000년~현재 인하대학교 정보통신공학부 교수
 <주관심분야: 광정보처리, 광계측>



박 헌 용(정회원)
 2001년 청주대학교 광학공학과
 학사 졸업
 2004년 인하대학교 정보통신
 공학부 박사과정 재학 중
 <주관심분야: 반도체 재료 및 부
 품, 광통신>

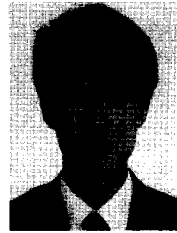


오 범 환(정회원)
 1985년 서울대학교 물리학 학사
 1987년 서울대학교
 통계물리학 석사
 1993년 Univ. of Texas at Austin
 고체전자학 박사
 1993년~1994년 Univ. of Texas at
 Austin(박사후 과정 연구원)
 1995년~1998년 전자통신연구원, 표준과학연구원/
 초빙교수
 2002년~2003년 Univ. California of San Diego
 1995년~현재 인하대학교 정보통신공학부교수
 <주관심분야: 광회로, 광전자, 반도체레이저, 플라
 즘 응용, 응집물질물리,Magnetism>

저 자 소 개



이 일 항(정회원)
 1970년 서울대학교 전기공학과 학사
 1973년 미국, YALE 대학교 응용물리학과 석사
 1977년 미국, YALE 대학교 응용물리학과 박사
 1978년~1980년 미국, YALE/PRINCETON 대학교(Fellow) 연구, 교육
 1987년~1984년 미국, MONSANTO 반도체중앙연구소(연구 과학자)
 1984년 미국, NORTH CAROLINA 주립대 교수초빙
 1984년~1990년 미국, AT&T사 BELL연구소 (연구팀장)
 1992년 한국 KAIST 초빙교수
 1990년~1998년 한국, 한국전자통신연구원 (연구단장, 연구소장)
 1999년~현재 인하대학교 정보통신공학과 교수
 2003년~현재 집적형 광자기술 연구센터장
 <주관심분야: 광통신, 광자공학, 광전자, 광소자, 광자재료, 반도체>



최 두 선(정회원)
 1985년 영남대학교 기계설계공학과 학사
 1989년 영남대학교 기계설계공학과 석사
 2002년 연세대학교 기계공학과 박사
 1989년~1990년 LG 이노텍 연구원
 1990년~현재 한국기계연구원 책임연구원