

구형렌즈를 사용한 초소형 광 스위치에서의 Simulation

이 두 원 김 호 성
 중앙대학교 전자전기공학부

The Simulation of Micro Optical Cross Connect Based On Ball Lens

Doowon Lee, Hoseong Kim
 Electrical and Electronic Engineering, School of Chung-Ang University

Abstract - The best simulation condition for the fiber collimator that uses ball lenses was investigated. This kind of fiber collimator can be used in a Micro-Optical-Cross-Connects(MOXC). MOXC is composed of collimating ball lenses, micro mirrors and single-mode fibers. In order to design a MOXC, it is very important to calculate beam path, beam radius, divergence angle that determines the insertion loss of the MOXC. Since the beam profile from the fiber facet is not exact Gaussian profile, it was found that the simulation condition in which beam waist exists on the fiber facet, ignoring Numerical Aperture(NA), gives best agreement with the experimental results. Beam radii were measured with conventional knife edge method.

크고 속도가 느리다는 단점이 있다. 최근 들어 연구 및 개발이 이루어지고 있는 초소형 전기기기식 광스위치(MOXC, Micro Optic Cross Connect)는 빛을 직접 스위칭하므로 전자식 스위치에 비해 전력소모가 100배 정도 적으며, data 전송속도는 16배 정도 빠르고, 광대역이고, 스위칭 손실이 적기 때문에 앞으로 그 사용이 폭발적으로 증가 될 것이라고 예상된다. MOXC는 optical switch(micro mirror)를 사용했기 때문에, 넓은 passband, 적은 loss, 짧은 광 경로의 이점이 있다. MOXC를 제작함에 있어서, simulation이 선행되어야 한다. fiber단면에서 나온 beam profile은 정확하게 Gaussian profile이 아니기 때문에, 본 논문에서는 simulation을 위한 최적의 조건에 대해 서술하고자 한다. 우선, fiber 단면에 나온 beam에 대해서 simulation결과와 실험결과를 비교하였고, 그 결과를 이용하여 fiber와 ball lens로 구성된 시스템에 대해 simulation결과와 실험결과를 비교하였다. beam waist가 fiber단면에 존재한다고 가정하였고, beam의 NA는 무시한 simulation을 하였다. 실험을 통해 위의 가정을 검증하였다.

1. 서 론

현대는 정보통신의 시대이며, 다양한 통신 방법 중에서 광통신은 미래 사회에서 더욱 큰 비중을 차지하게 될 것이다. 또한, 급격한 통신량의 증가에 따라 TDM(Time Division Multiplexing)방식에서 WDM(Wavelength Division Multiplexing)방식으로 변모하고 있다. 현재 사용되는 전자식 스위치는 광신호를 전자신호로 바꾸어 스위칭 한 후 다시 광신호로 변환하기 때문에 전력소모가

2. 본 론

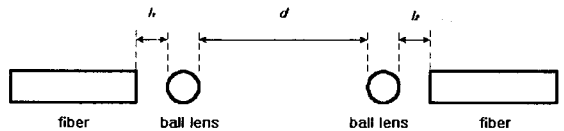


그림 2. 기본적인 coupling 개략도

2.1 Ball Lens Matrix, Gaussian Beam의 특성

그림 2는 그림 1중 한 개의 광 경로를 일직선으로 펼쳐 놓은 그림이다. 그림 2에서 l_1 은 발광 fiber와 ball lens사이의 거리이고, d 는 ball lens와 ball lens사이의 거리이고, l_2 는 ball lens와 수광 fiber사이의 거리이다.

기본적인 coupling구조(그림 2)를 간단하게 행렬 구조로 표현 할 수 있다. [1][4] ball lens의 전달행렬은 다음과 같다.

$$M_b = \begin{pmatrix} -\frac{2(n-1)}{Rn} & \frac{2-n}{n} \\ \frac{2-n}{n} & -\frac{2R}{n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_b & B_b \\ C_b & D_b \end{pmatrix} \quad (\text{식 1})$$

n =refractive index, R = Radius of Ball Lens.
 공기중의 전달행렬은

$$T = \begin{pmatrix} 1 & d \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (\text{식 2})$$

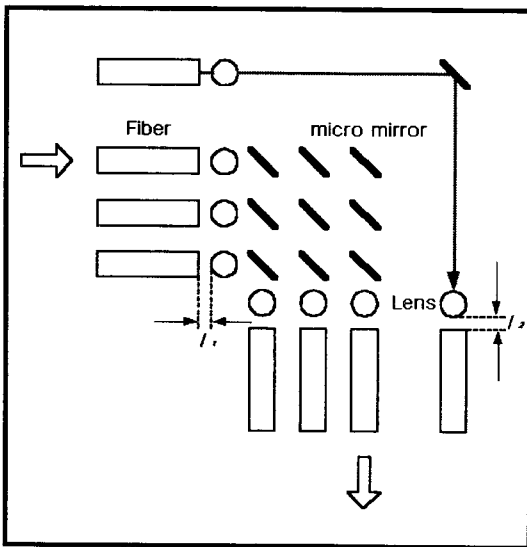


그림 1. MOXC 의 간략한 구조도

이고, 그림 2의 lens to lens 전달행렬은, 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$M_{lens-lens} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} =$$

$$\begin{pmatrix} A_b^2 + B_b C_b + A_b C_b d & A_b B_b + B_b D_b + A_b D_b d \\ A_b C_b + C_b D_b + C_b^2 d & B_b C_b + D_b^2 + C_b D_b d \end{pmatrix} \quad (식 3)$$

Gaussian beam의 특성(w_1 : beam radius, R_1 : 곡경)은 complex curvature parameter q_1 에 의해 구할 있다. [4]

$$\frac{1}{q(z)} = \frac{1}{R(z)} - j \frac{\lambda}{\pi w^2(z)} \quad (식 4)$$

(식 4)를 ABCD law에 적용시키면 다음과 같다.

$$q_2(z) = \frac{Aq_1(z) + B}{Cq_1(z) + D} \quad (식 5)$$

beam waist의 위치를 $z=0$ 라 하면, $R(0) = \infty$ 이고 시스템을 통과한 후의 beam radius는 (식 6)과 같이 수 있다.

$$w_1 = w_0 \sqrt{A^2 + B^2 (\lambda/\pi w_0^2)^2} \quad (식 6)$$

w_0 는 입력 beam waist이며, w_1 은 lens to lens 전달행렬을 지나서 나온 beam radius이다.

2.2 Simulation의 조건

Gaussian beam의 beam waist 와 NA(Numerical Aperture)의 관계식은 다음과 같다. [4]

$$\theta_0 = \frac{\lambda_0}{\pi n w_0} \quad (식 7)$$

Single-mode fiber에서 나온 빛은 정확하게 Gaussian Beam의 형태를 갖지 않으므로, fiber에서 나온 빛의 w_0 와 θ 는 식 (7)을 만족시키지 않는다. simulation에서는 beam waist 값과 NA값을 동시에 적용 할 수가 없다. 그래서, 아래의 그림 3과 같이 두 가지로 simulation 조건을 사용할 수 있다.

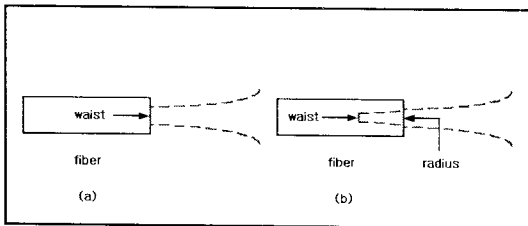


그림 3 fiber에서의 simulation 조건

그림 3(a)는 simulation의 beam waist가 fiber 단면에 위치한다고 가정했을 때이다. 그리고, Beam waist의 크기를 fiber의 MFD/2로 가정하였다. 이 때, fiber에서 나온 beam의 NA와 simulation NA 값은 무시한다.

그림 3(b)는 simulation의 beam waist가 fiber 내부에 있다고 가정한 것이며, simulation에서 나온 NA와 실제

fiber의 NA를 일치시킨 것이다. 이 때, 기준면의 beam radius는 fiber의 MFD/2크기이다. 그림 3(a), 그림 3(b) 조건하에서 simulation과 실험을 시행하였다.

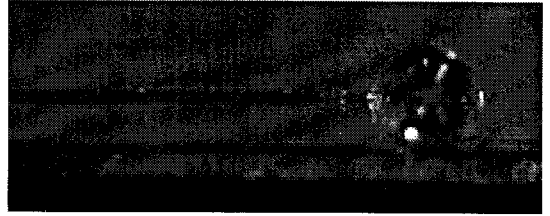


그림 4 fiber에서 나온 beam이 lens를 통과하는 사진

그림 4는 Ball lens와 fiber를 옆면에서 찍은 사진이다. 이때, 사용한 laser는 He-Ne이며, ball lens의 직경은 1mm이고, ball lens의 물질은 사파이어이다.

2.3 Experimental Setup 및 결과

Gaussian profile을 가진 beam radius의 power는 전체 power의 86.5%이다. 원형의 beam radius를 정확하게 측정하는 것은 힘들다. 그래서, 측면측정방법인 knife edge

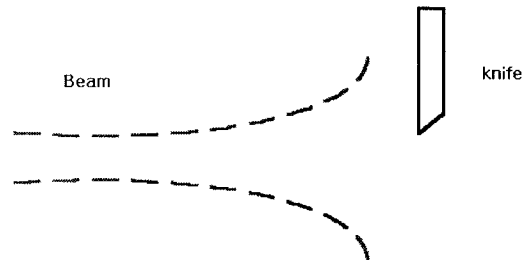


그림 5. 측면에서 본 knife edge 방법 방법을 사용하였다. 그림 5는 측면에서 본 knife edge 방법을 그린 그림이다.

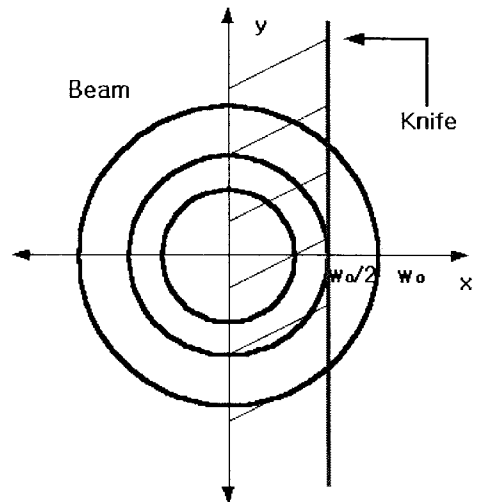


그림 6. 정면에서 본 knife edge 방법

그림 6은 정면에서 본 knife edge방법을 그린 그림이다. knife edge방법은 knife가 beam을 가려서, beam radius를 만족하는 power의 거리를 찾는 것이다. beam의 가운데서 beam radius까지의 power는 50%에서 97.725%가 된다. 즉, knife가 전체 power의 50%에서 97.725%까지 이동한 거리를 찾으면 된다.

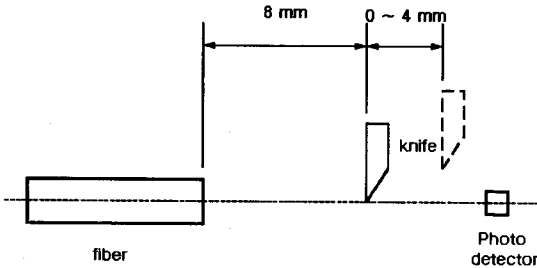


그림 7. 실험 구성도

기본적인 실험 구성도는 그림 7과 같다. fiber에서 나온 beam이 photo detector에 입사되고, fiber와 photo detector 사이에 knife를 위치시키고, knife edge 방법으로 beam radius를 측정하였다. 또, fiber와 knife 사이에 ball lens(직경 1 mm)를 삽입 한 후 knife edge방법으로 beam radius를 측정하였다. simulation은 그림 3(a), 그림 3(b)의 조건하에서, ZEMAX란 소프트웨어를 사용하였다. 실험을 해 본 결과, 실험치가 simulation(그림 3(a))에 더 가까운 것으로 나타났다.

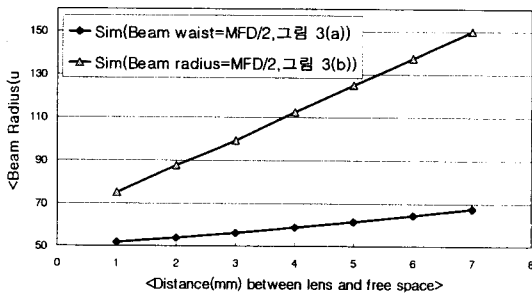


그림 8. 그림 3(a)과 그림 3(b)의 simulation

그림 8은 그림 3(a), 그림 3(b)의 조건하에서 simulation을 한 그래프이다. beam waist가 fiber 단면에 있는 것이 beam radius가 fiber 단면에 있는 것 보다, beam의 반경이 작음을 알 수 있다. 그림 9는 fiber에서 나온 beam의 반경을 측정 한 그래프이다. fiber단면에서 8mm 떨어진 곳에서 12 mm까지 이동한 각 점에서 측정(beam radius)한 것이다. 이 그래프에서 실험치는 그림 3(a)의 simulation에 근사하다는 것을 보여 주고 있다. 그림 10는 fiber에서 나온 beam이 직경 1 mm ball lens를 지나서 beam 반경을 측정 한 그래프이다. ball lens에서 2 mm 떨어진 곳에서 7 mm까지 이동한 각 점에서 측정 한 그래프이다. 이 그래프의 결과도, 그림 3(a)의 simulation에 근사하다는 것을 보여 주고 있다.

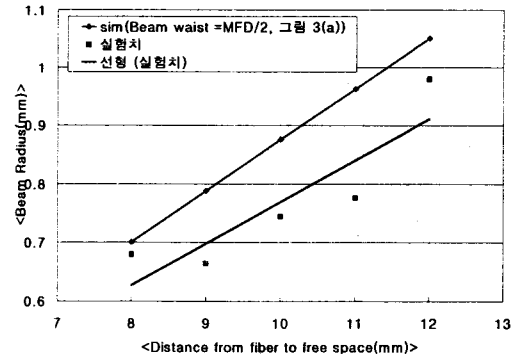


그림 9. 그림 3(a)의 simulation과 실험결과

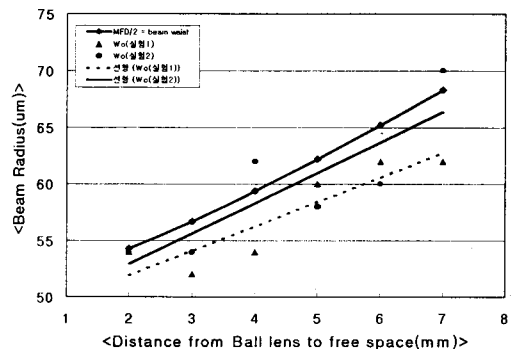


그림 10. ball lens를 삽입한 simulation과 실험결과

3. 결 론

본 논문에서 ball lens를 사용한 fiber 집광기의 최적의 simulation관하여 연구하였다. MOXC는 집광 lenses, micro mirrors, single-mode fibers로 구성되어 있다. MOXC를 제작함에 있어서, loss를 결정하는 beam 반경, beam divergence, 광 경로를 계산하는 것이 중요하다. 실제 fiber 단면에 나오는 beam은 정확하게 Gaussian profile을 갖지 않지 때문에, 실험을 통해서 최적의 simulation 조건을 구하였다. simulation의 최적의 조건은, fiber 단면에서 beam waist가 존재하고, NA는 무시되어야 한다. 위와 같은 최적의 조건을 찾아내면, loss에 관한 simulation을 할 수 있다.

(참 고 문 헌)

- [1] Wel Sheng Hu, Qing Ji Zeng, "Reduction of co loss in many to many collimating system for optomech matrix switch", Optical Engineering, 1998
- [2] Shi-Sheng Lee, Long-Sun Hung, Chang-Jin Kim Ming C. Wu, "Free-Space Fiber-Optic Switch Base MENS Vertical Torsion Mirrors", Journal of Light Technology, Vol 17, No 1, January, 1999
- [3] L.Y.LIN, E.L. Goldstein and R.W. Track, "Sen Free-Space Micromachined Optical Switches O Networking", IEEE Journal of selected topic Qu Electronics", Vol 5, No 1, January/February, 1999
- [4] Kelin J. Kuhn, "Laser Engineering", 101-122