

# 광 네트워크 용 Spot - Size Converter 설계 최적화 설계

석재혁\* · 김응수\*\*

Design of Spot - Size Converter for optical network

Jae-Hyuk Seok\* · Eung-Soo Kim\*\*

## 요 약

광통신네트워크를 효율적으로 연결 시키기 위해 단순화 된 Spot-Size Converter 구조를 제안하였다. Spot-Size Converter를 설계하기 위해 수치해석으로 모드필드를 확인하고, 빔 전송법을 통해 최적화 설계를 도출하였다. 최적화 된 구조는 직선도파로와 Taper된 도파로를 조합하여 설계하였으며, 이를 시뮬레이션 한 결과 효율이 약 99%이상이 됨을 확인하였다.

## ABSTRACT

The simplified spot-size convert for optical network has been suggested. We have analyzed the mode field distribution and optimized the spot-size converter using beam propagation method. The designed structure was consisted of straight waveguide and taper waveguide using polymer. The efficiency of the designed spot-size converter was over 99%.

## 키워드

Spot-Size Converter, optical network, beam propagation method, waveguide  
Spot-Size Converter, 광 네트워크, 빔 전송 법, 도파로

## 1. 서 론

최근 들어 HDTV, 3D 콘텐츠 등 멀티미디어 데이터의 증가와 인터넷기술의 발달에 따라 FTTH(fiber to the home)와 같은 광 가입자망에 관심이 집중되고 있다[1]. 또한 초고속망을 통한 대용량데이터 전송이 정보화사회에서 요구되어지고 있으며, 이러한 통신네트워크가 가정 내의 디지털 전자기기의 네트워크로 확대되고 있는 추세이다. 그래서 home 네트워크에도 광기술을 적용하고 있으며, home 네트워크 산업 및

관련기술에 대한 관심이 높아지고 있고[2,3], 산업용 통신망에서도 광통신과 산업용 이더넷을 융합하는 노력이 증가되고 있다[4]. 가정의 가전기기를 연결하는 home 네트워킹을 위해서는 전력선, 동축케이블, 이더넷, IEEE1394 및 광네트워크를 이용하는 방법이 있다[5]. 이 중에서 EMI특성이 좋고 기기간 간섭이 적으며, 고속으로 대용량전송이 가능한 광home 네트워크가 많은 주목을 받고 있으며, 관련시장은 점점 커지고 있다. 광섬유를 이용하여 광 네트워크를 구성하기 위해서는 광섬유가택내에 들어오기 전까지 단일모드 광

\* 부산외국어대학교 전자컴퓨터공학과(yjphs@nate.com)

\*\* 교신저자 :부산외국어대학교 디지털미디어 학부(eskim@pufs.ac.kr)

접수일자 : 2012. 04. 26

심사(수정)일자 : 2012. 05. 25

게재확정일자 : 2012. 06. 07

섬유를 통해 광이 전송되어 지고 있으며, 이 후 맥내에 들어와서는 플라스틱 파이버(POF)를 통해 신호를 전송하게 된다. 플라스틱 파이버의 경우 광신호가 전송되는 광섬유 코어 직경이 크고 결합 효율이 좋은 장점이 있다. 또 실리카 광섬유 네트워크 구성에 사용되어지는 부품에 비해 플라스틱 파이버 네트워크 구성에 사용되어지는 부품 비용이 저렴하고 제조공정이 간단하여 광통신망 구축에 필요한 부품과 설치비가 저가격으로 가능하다. 그러나 광 전송 손실이 크고, 내열성 등이 실리카 광섬유 보다 좋지 않은 단점이 있지만, 가정이나 사무실 등의 배선구간이 짧은 근거리 통신용 매체로 적합하여 구내 간선계, 건물 간선계 및 수평 배선계에 적용하여 사용되어 지고 있다. 플라스틱 파이버를 이용하여 광 홈 네트워크를 실현하기 위해서는 실리카 파이버와 플라스틱파이버를 연결 할 수 있는 연결 소자가 필요하다. 이러한 연결소자로 taper형태의 광섬유, lensed fiber, microlense를 이용한 능동 정렬 방식과 스위칭소자 및 전자적으로 모드를 변화시키는 모드변환기가 사용되고 있다. 그러나 microlense를 사용하여 광 결합 효율을 높이는 방법은 lens들을 각각 별도로 실장하여야 하며, lensed fiber를 사용하는 방법은 고가의 장비없이 간단히 제작할 수 있고 매우 좋은 광결합 효율을 보인다는 장점이 있으나, 광결합 효율이 횡축 및 종축방향의 정렬오차에 대해 민감하게 반응하는 단점이 있다. 또한 능동 정렬방식의 경우 소자 제작 비용이 비싸며, 광결합 효율이 정렬 오차에 의해 영향을 받는 단점이 있다. 또 전자적으로 모드를 변환하는 방법의 경우는 가격이 비싸므로 home 네트워크를 구성하는데 가장 큰 장애요인이 되고 있다[6]. 본 논문에서는 위의 단점을 해결하기 위해 광 네트워크에 적합한 평판형 광 도파로(Planar Light waveguide Circuit) spot-size converter 구조를 BPM(Beam Propagation Method)을 통해 설계하고, 광섬유와의 광 결합 효율에 미치는 영향을 조사하여 소자를 최적화하였다.

## II. 기초 구조 설계

기존에 발표된 spot-size converter의 경우 다양한 형태로 설계가 되었으나 이는 너무 복잡하고 실제 제

작하기 어려운 구조로 구성되어 있다[7]. 그래서 본 논문에서는 spot-size converter를 폴리머를 이용하여 Taper구조로 설계하였다. 이러한 Taper 형태의 도파로는 폴리머를 이용하여 제작이 가능하다. 본 논문에서 제안한 폴리머 spot-size converter를 설계하기 위해서 재료의 굴절율은 표 1과 같은 값을 사용하였으며, 폴리머를 사용하므로 광원의 파장은 850nm로 하였다. Spot-size converter는 입력단 실리카 파이버와 출력단 플라스틱 파이버의 사이에 삽입되므로 spot-size converter의 코어와 클래딩영역의 굴절율은 실리카 파이버와 플라스틱 파이버 사이의 굴절율을 선택하였으며, 굴절율 차는 기존의 실리카 파이버와 플라스틱 파이버에서 사용되는 것과 동일하게 하였다.

표 1. 코어/클래딩영역의 굴절율  
Table 1. Refractive indices of core and cladding

구분	코어	클래드
굴절율	1.4968	1.4856
굴절율 차	0.75%	

입력단은 단일모드가 되도록 하였으며, 출력단은 광 home 네트워크에 적용하는 플라스틱 파이버에 적합한 크기가 되도록 하였다. 도파로 해석을 위해 v-b 관계식을 활용하였다. v-b곡선은 아래의 정규화 고유 방정식 식(1)을 이분법에 의해 계산하면 얻을 수 있다 [8].

$$v\sqrt{1-b} = m\pi + \tan^{-1}\sqrt{\frac{b+a}{1-b}} + \tan^{-1}\sqrt{\frac{b}{1-b}} \quad (1)$$

a와 b는 비대칭 상수와 정규화 전파상수를 나타내며, v는 정규화 주파수를, m은 모드차수를 의미한다. a의 비대칭 상수의 경우, 본 논문에서는 under clad와 upper clad가 같은 재료로 된 대칭구조이므로 고려할 필요가 없으며, b의 전파상수와 v의 정규화 주파수는 식(2)와 (3)으로 나타내어 진다.

$$\frac{N_{eff}^2 - n_{clad}^2}{n_{core}^2 - n_{clad}^2} \quad (2)$$

$$k_0 d \sqrt{n_{core}^2 - n_{clad}^2} \quad (3)$$

그림 1은 v-b관계식을 이용하여 단일모드의 도파로 조건을 확인하고, 단일모드인 7.7um의 크기를 가지는 도파로의 filed 분포를 나타내고 있다. 본 논문에서는 공정 오차 등을 고려하여 입력단 도파로 사이즈를 8um×8um로 설정을 하였으며, 출력단의 경우는 멀티 모드이며, 입력단에 비해 대구경이므로 공정 오차는 고려하지 않아도 무방하므로 900um×900um로 하였다.

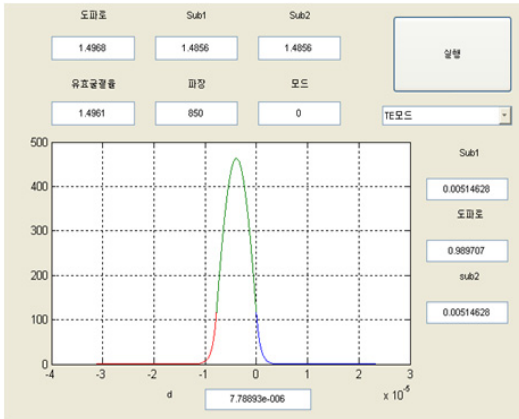


그림 1. 입력단 도파로에서의 계산된 filed distribution  
Fig. 1 Field distribution of input waveguide

평균 도파로 spot-size converter의 설계 구성 요소는 빔을 전송 시키는 직선 도파로, 빔을 확장시키는 Taper 도파로 그리고 확장된 빔을 안정화 시켜 전송 시키는 직선 도파로로 구성되어 있다. 빔 전송법을 이용하여 Taper 구조의 도파로를 해석하는 경우, Taper 도파로를 세밀하게 나누어진 직선 도파로 조각을 붙이는 원리를 이용하여 근사하여 최적화하였다. 이 해석방법은 광 특성의 설계결과와 실제 제작 후의 결과가 잘 일치하는 것으로 보고되고 있다[9]. 따라서 spot-size Converter의 Taper 도파로 부분은 빔 전송법을 이용하여 설계하였다. 본 논문에서 제안한 spot-size Converter의 구조를 그림 2에 나타내었다. 그림 2에서 H1, H2는 입력단 도파로 높이와 출력단 도파로 높이이다. L1은 단일모드 도파로 길이, L2는 taper영역, L3는 다중모드 도파로크기를 나타내고 있다.  $\theta$ 는 Taper도파로의 각도를 의미한다.

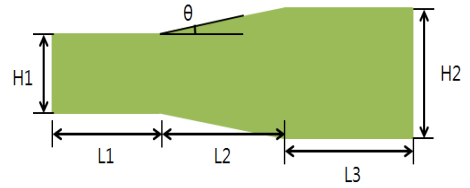
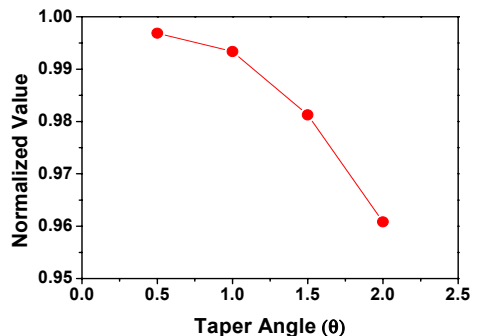


그림 2. Spot-size converter 구조도  
Fig. 2 The structure of spot-size converter

### III. 최적화 시뮬레이션

본 논문에서 제안한 spot-size converter는 직선 도파로 및 Taper 구조로 구성되어 있으므로, 입력 부분, Taper부분 및 출력부분의 여러 조건에 따라 시뮬레이션을 하여 소자 성능을 최대화 할 수 있는 spot-size converter를 설계하였다. 입력과 출력 부분의 높이는 실리카 파이버 및 플라스틱 파이버의 크기와 일치시키기 위해 8um, 900um로 나타내었으며, 도파로 길이의 경우 모드 안정화를 위해 길이를 길게 하였다.

가장 중요한 부분인 Taper부분은 빔이 확장되는 부분이며, 길이 방향으로는 모드가 안정적으로 확장되는 것을 유도하기 위해 12,000um로 길게 하였다. Taper 도파로의 각도에 대한 영향을 시뮬레이션한 결과를 그림 3에 나타내었다. 그림 3에서 알 수 있듯이 각도가 1° 이하에서는 거의 변화가 없지만, 1° 보다 크게 되면 손실이 커짐을 알 수 있다. 그림 3의 결과를 데시벨로 변환하면 1° 일때는 0.0027dB이지만, 각도가 2° 일 때 0.017dB로 되어 약 10배 정도 손실이 발생하는 것으로 확인 되었다. 따라서 Taper 도파로의 각도를 1°로 설정하였다.



	Taper Angle( $\theta$ )	데이터 값
구분	0.5	0.99688
	1	0.99337
	1.5	0.98116
	2	0.96082

그림 3. Taper angle 시뮬레이션 결과  
Fig. 3 The simulation results of Taper angle

taper각도에 따른 L2길이의 영향을 조사하였다. 이유는 앞에서 설명 하였듯이 Taper 도파로구조는 빔을 확장 시켜주는 역할을 하기 때문이다. 만약 Tapere도 파로에서 각도가 커지게 되면 빔이 급격히 확장되어 안정화 상태로 전송되려면 L2의 길이가 변화되어야 한다는 것을 알 수 있다. 시뮬레이션 결과는 표 2에

표 2. Taper 각도에 따른 L2의 최적화 값  
Table 2. Optimization of L2 according to Taper Angle

Taper Angle ( $\theta$ )	L2 최적 값 (um)	데이터 값
0.5	10,500	0.99686
1	12,000	0.99337
1.5	14,500	0.98116
2	17,000	0.96082

나타내었으며, Taper angle이 0.5°일 때 L2의 길이가 가장 짧으며, 각도가 커짐에 따라 길이도 길어짐을 알 수 있으며, 소자 제작을 고려하여 고려하여 Taper 각도를 1°로 하였다. Taper 각도가 1°일 때 L2의 최적의 길이가 맞는지 확인 검증하기 위해 시뮬레이션 매쉬를 좀 더 조밀하게 하여 검증을 하였다. L2의 매쉬를 100um단위로 하여 11,500 ~ 12,500um까지 시뮬레이션 한 결과는 그림 4에 나타내고 있으며, L2의 길이가 12,000um일 때 손실의 최소화 된다는 것을 알 수 있었다.

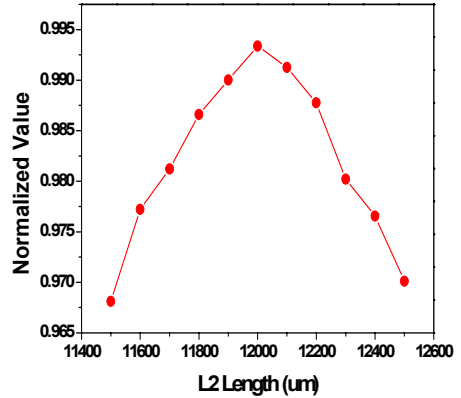


그림 4. Taper length(L2) 시뮬레이션 결과  
Fig. 4 The simulation results of Taper length (L2)

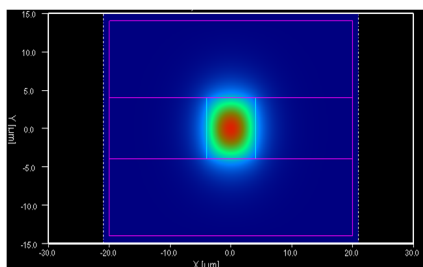
끝으로 spot-size converter의 입력 부분과 출력 부분에서의 모드 필드에 대한 시뮬레이션을 하였다. 입력부분에서는 빔이 완전히 갇히지 못하고 약간 외부로 퍼져나가는 현상이 발생하나 출력부분에서는 모드 필드가 완전히 갇힌 상태가 되어 광손실이 발생하지 않는 것으로 확인 되었다. 이로써 도파로의 사이즈가 커져도 광 손실을 최소화할 수 있음을 확인 할 수 있으며, 홈 네트워크 뿐만 아니라 광 네트워크에도 사용 가능함을 알 수 있다.

제안된 spot-size converter의 입력부, Taper부, 출력부의 각 부분별 시뮬레이션을 수행하였으며, 표 3에 각각의 최적화된 파라미터를 나타내고 있다. 표 3에서 보여주는 최적화 된 파라미터를 이용하여 설계된 spot-size converter의 입력과 출력부분의 광 필드를 시뮬레이션하였다.

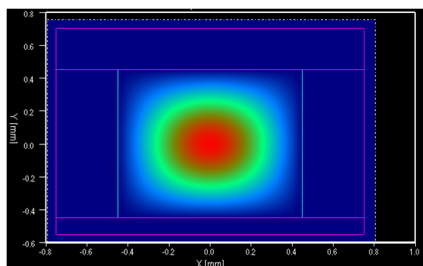
표 3. Spot-size converter 부분의 최적화 값  
Table 3. Optimized value of spot-size converter

		입력 부분		
구분	높이(H1)	길이(L1)		
	8um	5,500um		
	Taper 부분			
	길이(L2)	각도( $\theta$ )		
	12,000um	1°		
	출력 부분			
	높이(H2)	길이(L3)		
	900um	10,000um		

그림 4(a)는 spot-size converter의 입력부분인  $8\mu\text{m} \times 8\mu\text{m}$ 의 단면 구조에서 빔의 모드 필드를 나타낸 것이며, 그림 4(b)는 출력부분인  $900\mu\text{m} \times 900\mu\text{m}$ 의 단면 구조에서 빔의 모드 필드를 보여 주고 있다. 정규화된 광을 입력부분에 결합한 결과, 출력부분에는 0.99337인 값이 출력되는 것을 확인하였다.



(a)  $8\mu\text{m} \times 8\mu\text{m}$ 의 단면 구조 모드필드

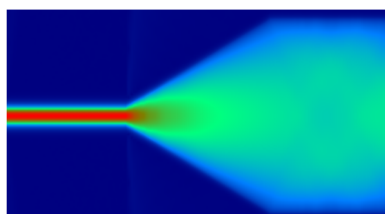


(b)  $900\mu\text{m} \times 900\mu\text{m}$ 의 단면 구조 모드필드

그림 4. 입출력단 모드 필드 시뮬레이션 결과

Fig. 4 The simulation results of input and output waveguide

그림 5는 spot-size converter 구조의 빔 전송 법 시뮬레이션 결과를 보여 주고 있다. 시뮬레이션 결과에 의해 제안된 spot-size converter의 전송 손실이 약 0.0027dB인 것으로 손실이 작음을 알 수 있었다. 이 결과로부터 제안된 spot-size converter가 광 결합 장치로 사용되어 질 수 있음을 확인하였다.



구분	입력	출력
정규화된 값	1	0.99337

그림 5. Spot-size converter구조의 빔 전송법 시뮬레이션 결과

Fig. 5 Simulation result of Spot-size converter using beam propagatio method

## V. 결론

광 home네트워크에 적용될 sot-size converter 구조를 제안하였으며 이를 수치 해석과 빔 전송법을 이용하여 최적조건을 결정하였다. 수치해석을 통해 소자의 입력부분은  $8\mu\text{m} \times 8\mu\text{m}$ 로 하였으며, 출력부분은  $900\mu\text{m} \times 900\mu\text{m}$ 로 설정하였다. 또한 spot-size converter는 직선도파로와 Taper 도파로구조로 구성되었으며, 각각의 파라미터를 최적화 하였다.

본 논문에서 설계된 spot-size converter를 시뮬레이션한 결과, 도파로 전송 손실이 약 0.0027dB로 작으며, 효율이 약 99%이상이 됨을 확인하였다.

또한 제안된 spot-size converter는 구조도 간단하여 나노임프린트 공정이나 잉크젯 공정을 이용하면 대량생산도 가능하며, 광 home 네트워크뿐만 아니라 광을 활용한 자동차 및 조선 등의 소규모 광 네트워크에도 적용이 가능할 것으로 생각된다.

## 감사의 글

본 논문은 부산테크노파크에서 위탁 시행한 지방과학 연구단지 육성사업 (R&D 역량강화 지원사업) 지원으로 이루어졌습니다.

## 참고 문헌

- [1] 이영선, 정재진, "과장분할다중 방식 광전송망을 위한 초광대역 광증폭기", 한국전자통신학회논문지, 3권, 4호, pp. 289~294, 2008.
- [2] L.Eldada and L. W. Shacklette, "Advances in polymer integrated optics", IEEE J. Sel. Top. Qamum Electreon. Vol. 22, No. 11, pp. 2582-2591, November, 2004.
- [3] G. Nakagawa, K. Miura, S. Sasaka, and

M.Yano, "Lens-coupled laser diode module integrated on silicon platform" J. of Lightwave Technol. Vol.14, pp. 1519~1523, 1996.

- [4] 문용선, 노상현, 조광훈, 배영철, "WDM 방식의 양방향 광 이더넷 통신 모듈 구현" 한국전자통신학회논문지, 7권, 2호, pp.409~415, 2012.
- [5] 이태웅, 손철수, 김원중 "스마트 폰을 이용한 지능형 홈 네트워크 시스템 구현", 한국전자통신학회논문지, 6권, 4호, pp.505~509, 2011.
- [6] 심종인, 진재현, 어영선, "광가입자용 1.3um SSC-FP-LD의 모드변화기 구조 설계" 한국광학회지, 제11권, 제6호 pp.411~416, 2000.
- [7] B. Luyssaert, P. Vandersteegen, W. Bogaerts, P. Dumon, P. Sanchis, J. Marti, R. Baets "A versatile optical spot-size converter design" European Conference on Optical Communication Sweden, p.468-469, 2004.
- [8] Robert G. Hunsperger "Integrated Optics Theory and Technology"sixth Edition, 2006.
- [9] Akihiro Takagi, Kaname Jinuji. Et al., "wavelength characteristics of (2x2) optical channel-Type Directional Couplers with Symmetric or nonsymmetric coupling structures", J. Lightwave Technol., Vol 10., No. 6., pp. 735-746, 1992.



**김응수(Eung-Soo Kim)**

1990년 경북대학교 전자공학과 졸업 (공학사)

1992년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1996년 게이오대학교 대학원 물질과학과 졸업(공학박사)

2012년 부산외국어대학교 디지털미디어학부 교수

1996년~1997 LG반도체 선임연구원

※ 관심분야 : 광소자, 광센서, 광집적회로

저자 소개



**석재혁(Jae-Hyuk Seok)**

2010년 부산외국어대학교 디지털 미디어 학부 졸업 (공학사)

2011년~현재 부산외국어대학교 대학원 전자컴퓨터 공학과 재학

※ 관심분야 : 정보통신시스템, 광통신