

# 효율적인 광결합을 위한 전이계수 특성

## The characteristic of excitation coefficients for an effectively optical coupling

최철현\*, 이승걸\*, 이일항\*, 박세근\*, 오범환\*  
(Chul Hyun Choi, Seung Gol Lee, El-Hang Lee, Se-Geun Park, Beom-hoan O)

### Abstract

We analyzed the excitation coefficients and the extinction ratio as a function of waveguide width, center to center distance, and angle of input waveguide for a directional coupler. The variation of the difference between excitation coefficients is similar to that of the extinction ratio. Also, the smaller the difference between those is, the better the extinction ratio is. This concept will have application to devices using optical coupling.

**Key Words(중요용어)** : 방향성 결합기, 전이계수, 소멸비

### 1. 서론<sup>1)</sup>

두 도파로를 가까이 인접시키면 두 도파로 사이의 주기적인 광에너지 교환이 일어나며 이를 광결합 현상이라고 한다. 이러한 광결합 특성을 이용한 대표적인 소자로 방향성 결합기, Mach-Zehnder 간섭기, 마이크로 링 공진기 등이 있다.[1-3] 이러한 소자들은 특정한 광진행거리에서 광결합이 발생하도록 결합영역의 길이를 설계하게 된다. 특히 결합 길이(coupling length)에서는 대부분의 광에너지가 다른 쪽 도파로로 전이된다. 또한 입력단에서 광에너지가 소자로 전이되는 비율인 전이계수(excitation coefficient)를 가진다. 이때 전이계수는 기본적으로 우함수와 기함수 두 개를 가지며 서로 다른 값을 가진다.

본 논문에서는 방향성 결합기의 도파폭, 두 도파로의 중심간격, 입력 도파로의 입사각에 따른 전이계수 특성과 그에 따른 소멸비(extinction ratio) 특성을 분석하였다. 이를 위해 그림 1과 같은 실리카 계열의 방향성 결합기 구조를 설정하고 도파로 폭과 중심간격을 각각 변수로 설정하였다. 이때 사용된 빛의 파장은 1.55  $\mu\text{m}$ 이다.

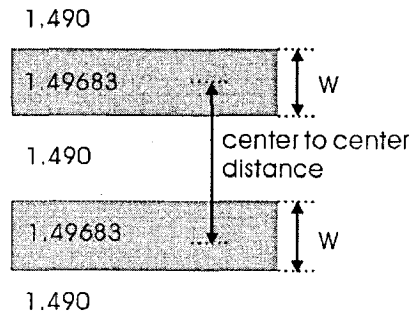


그림 1 계산에 사용된 구조의 모식도

\* 인하대학교 정보통신공학부  
(인천시 남구 용현동 인하대학교,  
Fax: 032-875-5882  
E-mail:obh@inha.ac.kr)

## 2. 전이계수와 소멸비 특성

방향성 결합기에서 결합길이와 소멸비는 중요한 변수로써, 결합길이는 가능한 짧게, 소멸비는 높은 값으로 설계하려고 한다. 하지만 결합길이를 짧게 설계하면 소멸비는 낮아지기 때문에 적절한 성능을 가지도록 결합길이를 설계해야 한다. 이와 관련하여 그림 1의 구조에서 두 도파로의 중심간격에 따른 결합길이와 소멸비 변화를 그림 2에 나타내었다. 이때 도파폭은 3  $\mu\text{m}$ 이다. 중심간격을 증가시킬수록 소멸비는 증가하나 결합길이는 길어지게 된다. 중심간격이 증가하면 두 도파로의 사이 간격이 증가하여 각 도파로의 전기장 분포 겹침이 적어진다. 이로써 결합길이가 길어지게 되고 소멸비는 증가하게 된다.

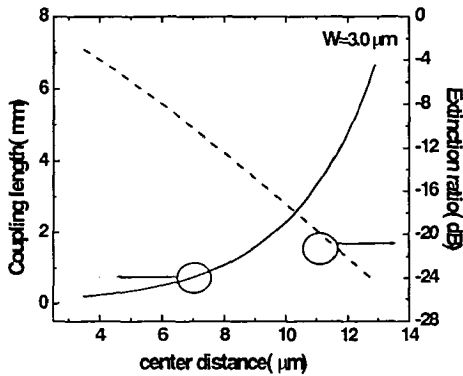


그림 2 도파로 사이의 중심 간격에 따른 결합길이와 소멸비 변화

이와 같이 도파구조가 바뀌게 되면 소멸비가 변화하며 전이계수도 변하게 된다. 전이계수는 식 (1)과 같이 입력 도파로의 전기장 분포와 방향성 결합기의 전기장 분포와의 중첩적분(overlap integration)을 통하여 구할 수 있다.

$$C_{e,o} = \frac{\int E_{e,o} \cdot \Psi dx}{\sqrt{\int E_{e,o}^2 dx} \sqrt{\int \Psi^2 dx}} \quad (1)$$

여기서  $E_{e,o}$ 는 각각 방향성 결합기의 우함수, 기함수 전기장 분포이고,  $\Psi$ 는 입력 도파로의 전기장 분포이다. 이로부터 주어진 도파구조에서 전이계수 특성과 소멸비 특성을 살펴보았다. 이때 두 도파로

의 중심간격은 고정되며 도파폭은 변화한다. 이때 중심간격은 5  $\mu\text{m}$ 에서 10  $\mu\text{m}$ 까지 변화시켰다. 이를 그림 3(a), (b)에 나타내었다.

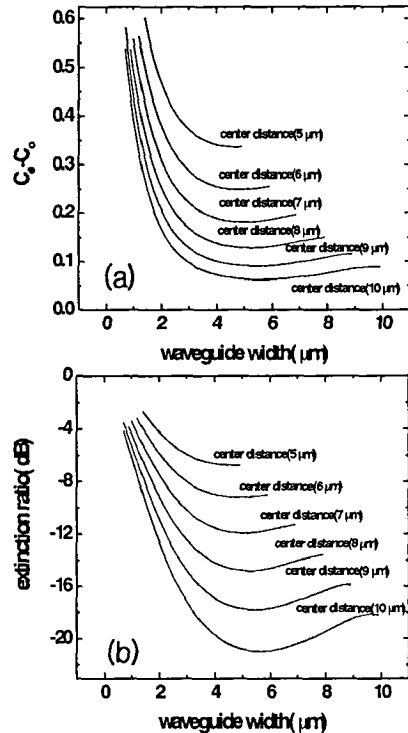


그림 3 (a) 도파폭에 따른 전이계수 변화곡선 (b) 도파폭에 따른 소멸비 변화곡선. 이때 중심간격은 5  $\mu\text{m}$ 에서 10  $\mu\text{m}$ 까지임.

그림 3(a)에서 고정된 중심간격에서 도파폭이 증가함에 따라 전이계수 차이는 감소하며, 또한 중심간격이 증가할수록 전이계수 차이는 감소한다. 이러한 전이계수 차이는 우함수와 기함수의 전기장 분포 차이로부터 유발되며, 우함수 분포가 기함수 보다 약간 더 큰 값을 가지기 때문에 우함수의 전이계수가 기함수보다 더 큰 값을 가진다.[4] 그림 3(b)에서 도파폭이 증가하면 특정 도파폭까지는 소멸비가 증가하고 그 이후로는 다시 감소하는 경향을 보인다. 또한 중심간격이 증가하면 소멸비는 증가한다. 이와 같은 소멸비 변화 특성은 전이계수 차이의 변화 특성과 유사하다. 이러한 경향으로 볼 때 전이계수 차

이는 소멸비 특성에 영향을 주며 이 차이를 감소시킬수록 소멸비 특성이 향상됨을 알 수 있다.

결합기의 입력 영역은 광결합을 감소시키기 위해서 입력 도파로를 격리시킨다. 따라서 입력 영역은 경사진 도파로나 S-형태의 곡선형 도파로를 사용한다. 여기서는 경사진 입력 도파로에 대하여 경사각 변화에 대한 전이계수 차이와 소멸비 특성을 알아보고자 한다. 그림 1과 같은 굴절률값을 가지는 구조에 대하여 그림 4(a)와 같은 형태로 입력 도파로의 경사각을 설정하였다. 즉, 경사진 도파로의 영역을 500  $\mu\text{m}$ 로 설정하고 각도( $\theta$ )를 변화시켰으며, 최종적인 두 입력 도파로의 간격은 3  $\mu\text{m}$ 가 된다. 이때 경사각에 따라 초기 두 도파로의 간격은 변화하게 되며 각도가 클수록 초기 두 도파로 간격은 증가하게 된다. 경사각에 따른 전이계수 차이와 소멸비 변화를 그림 4(b)에 나타내었다.

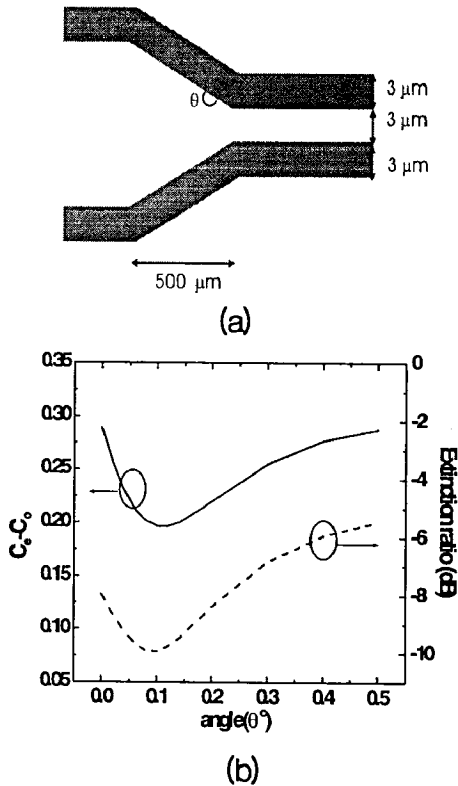


그림 4 (a) 방향성 결합기에서 입력 도파로의 경사각에 대한 모식도 (b) 입력 도파로의 경사각에 따른 전이계수 차이와 소멸비 변화곡선

여기서 경사각이 0°일 때는 평행한 두 도파로 중 한 쪽 도파로에 빛을 입사시키는 일반적인 경우이다. 0°에서 약 0.12°까지 경사각을 증가시키면 두 전이계수 차이가 감소하며 그 이상으로 증가시키면 증가한다. 또한 소멸비의 변화 특성도 전이계수 차이와 동일한 변화 특성을 보인다. 이와 같이 입력 도파로를 경사지게 하면 평행한 도파로에 비하여 광결합을 보다 자연스럽게 시킬 수 있다. 이로부터 두 전이계수 차이는 감소한다. 또한 이를 통하여 결합영역을 증가시킬 수 있어 총 유효 결합길이가 증가하는 효과를 볼 수 있다. 하지만 경사각이 너무 커지게 되면 그로 인한 손실이 증가하기 때문에 소멸비는 감소하게 된다. 본 구조에서는 0.12°의 입력 각도에서 소멸비 특성이 가장 좋은 것으로 보이며, 이로써 입력 도파로의 형태에 따라 소멸비 특성이 변화되며 이로부터 소멸비를 향상시킬 수 있다.

### 3. 결론

본 논문에서는 방향성 결합기의 도파로, 두 도파로의 중심간격, 입력 도파로의 경사각에 따른 전이계수 특성과 그에 따른 소멸비 특성을 살펴 보았다. 소멸비는 결합길이가 길어질수록 높아지며 이는 전이계수 차이와 관련이 있었다. 주어진 중심간격에서 도파폭이 증가할수록 전이계수 차이는 감소하고 반대로 고정된 도파폭에서는 중심간격이 증가할수록 전이계수 차이가 감소하였다. 동일한 조건에서 소멸비도 이와 유사한 변화 특성을 보였다. 또한 입력 도파로의 각도에 따라 전이계수의 차이는 변화하였으며 이러한 경향은 소멸비 변화 특성과 거의 일치하였다. 이때 입력 도파로의 경사각에 따라 소멸비를 향상시킬 수 있다. 이로써 전이계수의 차이는 소멸비 특성에 영향을 주며 그 차이가 작아질수록 소멸비는 향상됨을 알 수 있었다. 따라서 이러한 전이계수 차이의 감소를 통하여 방향성 결합기의 소멸비를 향상시킬 수 있으며 뿐만 아니라 광결합 현상을 이용한 여러 소자에 이 개념은 응용될 수 있을 것이다.

### 감사의 글

본 연구는 정보통신부의 우수 대학원지원 사업에 연계된 인하대학교 교내 연구비의 지원과 교육부의 두뇌 한국 21 지원과 한국과학재단 특장기초연구사업의 연구 지원으로 수행되었습니다.

### 참고 문헌

- [1]. Hagen RennerN, "Up and Down UV-Trimming of Planar Directional Waveguide Couplers:Modeling", IEEE Photon. Technol. Lett, Vol. 12, No. 7, pp. 825-827, 2000
- [2]. C .G. H. Roeloffzen. et.al., "Tunable passband flattened 1 from 16 binary tree structured add after drop multiplexer using SiON waveguide technology", Photon. Technol., Lett., vol.12, no. 9, pp 1201-1203, 2000
- [3]. B. E. Little, S. T. Chu, W. Pan, and Y. Kokubun, "Microring resonator arrays for VLSI photonics", Photon. Technol., Lett., vol.12, no. 3, pp 323-325, 2000
- [4]. 최철현, 박순룡, 오범환, "방향성 결합기의 성능 및 허용오차 개선을 위한 신제안", 한국광학회지, 11(6), pp405-410, 2000. 12