

# 非對稱 屈折率 分布를 갖는 光導波路 濾波器的 帶域通過 特性

正會員 宋 崙 元\*, 林 銅 澈\*\*

## The Band-pass Characteristics of the Optical Waveguide Filter with Asymmetric Refractive Index Profile

Yun-Won Song\*, Dong-Cheol Lim\*\* *Regular Members*

### 要 約

本 研究에서는 필터 帶域幅과 結合距離를 向上시키기 爲해서, 한 쪽 導波路의 屈折率 分布를 階段形 屈折率 分布로하고 다른 쪽 導波路의 屈折率을 單一 코어形의 執束形 및 二重 코어形 屈折率 分布로하는 非對稱 光導波路 方向性 結合器를 提案하였다. 提案한 構造의 帶域幅과 結合距離를 빔傳波法으로 解析하였고, 모드結合理論에 依한 結果와 比較하였다. 이때 두가지 解析 모두 有限差分法으로 求한 初期電界를 使用하였다. 數值解析 結果, 두 導波路의 屈折率 分布가 同一한 필터 帶域幅은 非對稱 定度(即, 導波路幅과 屈折率 差異)와 導波路 間隔에 依해 決定된다. 屈折率 分布가 서로 다른 境遇에는 同一한 境遇보다 帶域幅과 結合距離가 減少함을 나 타내었다.

### ABSTRACT

In this paper, to improve the filter bandwidths and coupling lengths, we propose a directional coupler with asymmetric optical waveguides composed of one waveguide with a step-index profile and the other with either a single core graded-index or dual core index profile. The filter bandwidths and coupling lengths of above structures are analyzed by Beam Propagation Method, then compare with the results of Coupled-Mode Theory. Initial electric fields calculated by Finite Difference Method are applied to above two analysis. From the numerical analysis, if the two waveguides have same refractive-index profiles, the filter bandwidths depend on the degree of asymmetry(i.e., differences in waveguide widths and refractive indices) and on the waveguide separation. Narrower bandwidths and shorter coupling lengths are obtained for different refractive-index profiles than for the identical ones.

### I. 序 論

光多重化技術 중에서 光波長分割多重化 기술은 하나의 光纖維에 여러 신호의 波長을 동시에 多重化 /逆多重化하여 傳送함으로써 비교적 쉽게 구현할 수 있다<sup>[1]</sup>. 光波長分割多重화 시스템에서 여러 信號波長의 結合과 多重화된 信號를 分離 및 抽出하는 핵심

적인 소자는 光필터이다. 峽帶域, 低損失의 光필터는 많은 信號波長을 처리할 수 있게 한다. 이러한 光필터 소자의 기술에는 微細光學 구조의 干涉필터 및 回折格子와 光纖維 結合器필터 등이 있다<sup>[1-2]</sup>. 한편 光通信 및 光素子 기술의 발달로 단일 基板위에 여러 光素子를 같이 구현하는 光集積回路 기술을 이용한 光導波路 方向性 結合器 필터 기술이 연구되고 있다<sup>[3-4]</sup>.

\* 才能大學 電子通信科, 정희원, \* 仁荷大學校 電子工學科, 정희원  
논문번호: 98003-0821, 접수일자: 1998년 8월 21일

필터로서 方向性 結合器는 비교적 큰 帶域幅을 갖게 된다. 따라서 方向性 結合器의 帶域幅을 줄이고 結合距離를 짧게하는 연구가 필요하다. Alferness는 Tapered 方向性 結合器를 제안하였고<sup>[5]</sup>, Rottmann는 두 모드間 干涉에 의한 波長選擇機을 발표하였다<sup>[6]</sup>. Burke는 Tapered-Rib형 導波路 필터의 導波路 間隔과 結合距離 關係를 발표했다<sup>[7]</sup>. 최근에는 帶域幅이 매우 좁은 導波路 필터가 연구되고 있는 데, Zengerle는 非對稱 Tapered 方向性 結合器 필터를 제안하였다<sup>[8]</sup>. 위와 같은 연구에서는 두 導波路의 屈折率 분포를 서로 동일하게 하고 두 導波路의 크기 및 屈折率을 다르게 하거나, 두 導波路의 結合構造를 변화하면서 필터 특성을 관찰하였다. 이것은 導波路幅의 감소에 따른 光纖維 結合時 損失과 製作上의 어려움이 있다.

本 研究에서는 光導波路 方向性 結合器의 필터 특성을 개선하기 위해 한 쪽 導波路의 크기와 屈折率 分布를 고정하고, 다른 쪽 導波路의 屈折率 分布를 변화하여, 非對稱성을 높여, 帶域幅을 줄이고 結合距離를 짧게하는 屈折率 分布를 제안하였다. 屈折率 分布는 單一 코어형의 階段形, 集束形 分布와 二重 코어형의 W-type 階段形, 執束形 分布로 하였다. 두 導波路의 波長對 有效屈折率 曲線을 求하여 中心波長과 結合距離를 결정하였고, 주어진 屈折率 분포에 따른 각 波長에서의 光電力 傳達比를 구하여 필터 帶域幅을 계산하였다. 수치해석은 빔傳波法에 의해 해석한 결과를 모드結合理論에 의한 결과와 비교하였다. 두 해석에서는 동일한 初期電界 分布를 갖게 하였고, 初期電界는 有限差分法에 의해 유도하였다.

## II. 本 論

### 1. 導波路 構造 및 屈折率 分布

本 研究에서는 數値解析상 간략화를 위하여 2차원 구조의 方向性 結合器 구조로 설계하였다. 光波에 대한 해석은 y방향으로만 電界가 존재하는 TE0 모드에 대해서 해석하였으며, 初期電界는 導波路에 맞는 單一모드를 구하여 入射시켰다. 方向性 結合器 구조는 그림 1에서와 같이 導波路1과 導波路2가 일정한 導波路 間隔, Ws만큼 떨어져 있으며, 屈折率의 分布는 x축을 따라 각각 형성된다. 非對稱 方向性 結合器 구조를 얻기 위해 두 導波路의 導波路幅과 屈折率 分布를 다르게 하여 구성하였다. 즉, 導波路1의 屈折率 分布를 階段形으로 하고, 屈折率 값과 導波路幅, W1을 일정하게 고정하고, 導波路2의 導波路

幅, W2와 屈折率 分布를 변화하였다. 導波路2의 屈折率 分布는 單一 코어형 分布와 二重 코어형 分布로 구성하였다.

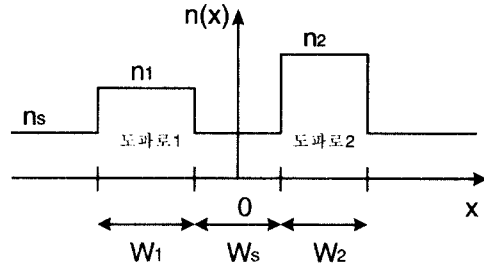


그림 1. 方向性 結合器의 屈折率 分布  
Fig. 1 Refractive-index distribution of directional coupler

### 1) 單一 코어형 屈折率 分布

일반적으로 平衡板 導波路 내의 屈折率 分布式은 다음과 같이 나타낼 수 있다<sup>[1]</sup>.

$$n^2(x, z) = n_s^2 + (n_2^2 - n_s^2) \cdot f(x) \tag{1}$$

위 식(1)에서  $n_s$ 은 크래딩의 屈折率,  $n_2$ 은 導波路2의 최대 屈折率을 나타내고 있으며,  $f(x)$ 는  $x$ 에 대한 屈折率 분포 關係式으로  $0 \leq f(x) \leq 1$ 인 값을 갖는다. 그림 2(a)는 導波路2의 單一 코어형 屈折率 分布를 나타내고 있다.

#### i) 階段形 屈折率

$$f(x) = \begin{cases} 1 & |x| \leq d_2 \\ 0 & |x| > d_2 \end{cases} \tag{2}$$

#### ii) 集束形 屈折率

$$f(x) = \begin{cases} 1 - (x/d_2)^\alpha & |x| \leq d_2 \\ 0 & |x| > d_2 \end{cases} \tag{3}$$

$\alpha = 2$ : 포물선형,  $\alpha = 1$ : 삼각형,  $\alpha = 0.5$ : 첨두형

### 2) 二重 코어형 屈折率 分布

W-Type 屈折率 分布 형태로서, 分散 補償에 이용되는 屈折率 형태이다<sup>[1]</sup>. 이것은 導波路2의 코어를 크래딩과 中心코어로 다시 구성한 형태로써 내부 크래

딩에 해당하는 屈折率이 基板의 屈折率보다 작고, 屈折率은 고정시켰다.

$$n_r = 2.133 \quad r_2 < |x| \leq d_2$$

中心코어의 屈折率 분포식은 다음과 같다.

$$n^2(x, z) = n_r^2 + (n_2^2 - n_r^2) \cdot f(x) \quad (4)$$

i) 階段形 屈折率

$$f(x) = \begin{cases} 1 & |x| \leq r_2 \\ 0 & |x| > r_2 \end{cases} \quad (5)$$

ii) 集束形 屈折率

$$f(x) = \begin{cases} 1 - (x/r_2)^\alpha & |x| \leq r_2 \\ 0 & |x| > r_2 \end{cases} \quad (6)$$

$\alpha = 2$ : 포물선형,  $\alpha = 1$ : 삼각형

導波路2의 二重 코어형 屈折率 分布를 그림 2(b)에서 나타내고 있다.

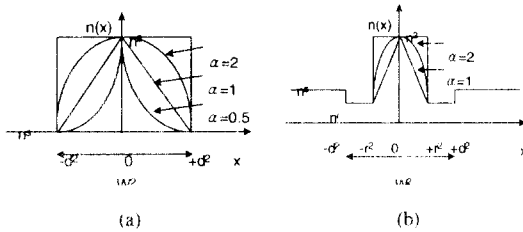


그림 2. 導波路2의 屈折率 分布 (a) 單 코어형 (b) W-type  
Fig. 2 Refractive-index Profiles of Waveguide 2 (a) Single core (b) W-type

(step, parabolic ( $\alpha = 2$ ), triangular ( $\alpha = 1$ ), cusp-shaped ( $\alpha = 0.5$ ))

## 2. 數値解析

### 1) 初期電界

非對稱 方向性 結合器의 필터 특성을 해석하기 위해 독립된 두 導波路에서 각 波長의 傳播定數를 구해 分散曲線을 얻을 수 있다. 또한 單一모드 조건的 初期電界를 구하여 빔傳播法의 入力電界로 사용하였고, 모드結合理論에 의한 해석을 위해 結合係數

를 계산하는 데 初期電界를 이용하였다.

傳播定數 및 初期電界를 계산하는 有限差分法의 수식적 전개는 다음과 같다. slab 導波路 ( $\partial/\partial y = 0$ ) 내의 전계의 분포는 다음의 波動方程式으로부터 얻을 수 있다.

$$-\frac{\partial^2}{\partial x^2} E(x, z) + [k_0^2 n^2(x, z) - \beta^2] E(x, z) = 0 \quad (7)$$

식(7)에서  $z = 0$ 인 導波路의 初期電界를 구하기 위해  $x$ 변위를  $N$ 으로 나누어 충분히 작은 구간  $\Delta x$ 를 갖도록 하여 行列 固有值方程式으로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} k_0^2 n^2(1) - \frac{2}{\Delta x^2} & \frac{1}{\Delta x^2} & 0 & \dots & 0 \\ \frac{1}{\Delta x^2} & k_0^2 n^2(2) - \frac{2}{\Delta x^2} & \frac{1}{\Delta x^2} & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & k_0^2 n^2(N) - \frac{2}{\Delta x^2} & \frac{1}{\Delta x^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E(1) \\ E(2) \\ \vdots \\ E(N) \end{bmatrix} = \beta^2 \begin{bmatrix} E(1) \\ E(2) \\ \vdots \\ E(N) \end{bmatrix} \quad (8)$$

식(8)에서 固有벡터와 固有值를 구하면 初期電界,  $E(x, z = 0)$ 와 傳播定數,  $\beta$  값을 구할 수 있다.

### 2) 빔傳播法

본 논문에서 사용한 방법은 FFT(Fast Fourier Transform)를 이용한 FFT-BPM으로써 M. D. Feit와 J. A. Fleck가 光纖維에서 固有函數 및 分散 특성을 연구하기 위해 제안한 방법이다<sup>9)</sup>. 有限差分法을 이용한 FD-BPM<sup>10)</sup>, 有限要素法(Finite Element Method)을 이용한 FEM-BPM<sup>11)</sup> 등의 여러 가지 방법들이 최근에 사용되고 있다. BPM에 의한 數値解析 방법은 다음과 같다<sup>9),12-13)</sup>. 導波路 내에서 光波의 진행은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$E(x, z + \Delta z) = \tilde{\Pi} \left( \frac{\Delta z}{2} \right) \tilde{A} (\Delta n) \tilde{\Pi} \left( \frac{\Delta z}{2} \right) E(x, z) + O(\Delta z^3) \quad (9)$$

여기서

$$\tilde{\Pi} \left( \frac{\Delta z}{2} \right) = \exp \left( j \frac{\Delta z}{4 n_s k_0} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \right) \quad (10)$$

$$\tilde{\Lambda} (\Delta n) = \exp \left[ j \frac{k_0 n_s \Delta z}{2} \left( \left( \frac{n(x, \Delta z/2)}{n_s} \right)^2 - 1 \right) \right] \quad (11)$$

$O(\Delta z^3)$ 항은 오차항이다. 이 오차는 실제 數值解析 과정에서  $\Delta z$ 를 충분히 작게 선택하면 무시할 수 있을 정도로 작아진다.  $\tilde{\Pi} \left( \frac{\Delta z}{2} \right)$ 항은 入力電界 또는 렌즈 補償된 電界가 均一한 媒質內를  $\Delta z/2$ 만큼 진행함을 나타내는 항이고,  $\tilde{\Lambda} (\Delta n)$ 항은 屈折率 分布의 不均一에 따른 렌즈補償 역할을 하는 항이 된다. 그리고  $\tilde{\Pi} \left( \frac{\Delta z}{2} \right)$ 항 지수함수내의 편미분 항은 DFT(Discrete Fourier Transform)의 빠른 알고리즘인 FFT를 이용하여 계산 속도를 향상시켰다.

### 3) Mode 結合理論

본 연구에서 사용한 해석 방법인 빔傳波法에 의한 결과와 기존의 연구 결과를 비교하기 위해, 모드 結合理論에 의해 해석하였다. 모드結合理論은 攝動(Perturbation)이 있는 導波路에서 波의 성질을 非攝動의 定規모드(Normal Mode)로 표현하는 近似式이다<sup>14)</sup>.

導波路2에 初期電力  $P_{in}$ 이 入射할때, 각 導波路에서 진행하는  $z$ 방향에 따른 光電力은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_1(z) = P_{in} \frac{|C_{12}|^2}{S^2} \sin^2(Sz) \quad (12)$$

$$P_2(z) = P_{in} [\Delta^2 \sin^2(Sz) + \cos^2(Sz)] \quad (13)$$

結合距離 및 최대 結合電力은 다음과 같다.

$$L_c = \frac{\pi}{2\sqrt{C_{12}C_{21} + \Delta^2}} \quad (14)$$

$$P_{max} = \frac{|C_{12}|^2}{C_{12}C_{21} + \Delta^2} P_{in} \quad (15)$$

따라서 모드結合理論에 의한 方向性 結合器의 해석은 각 導波路의 傳播定數와 두 導波路를 近接시켰을 때의 結合係數를 알면 된다. 結合係數는 다음과 같이 두 導波路 定規모드의 電界分布  $E_1^j(x)$ ,  $E_2^j(x)$ 의 重疊과 屈折率 差의 곱에 대한 적분으로 구해진다.

$$C_{21} = \frac{-\omega \epsilon_0}{4} \int_{z_{波路2}} [n_2^2(x) - n_s^2(x)] E_1^j(x) E_2^j(x) dx \quad (16)$$

$$C_{12} = \frac{\omega \epsilon_0}{4} \int_{z_{波路1}} [n_1^2(x) - n_s^2(x)] E_1^j(x) E_2^j(x) dx$$

## III. 結果 및 檢討

### 1. 二重 코어形 屈折率 分布의 필터 特性

그림 2(b)와 같이 導波路2의 屈折率 分포를 W-type의 二重 코어形 屈折率 分포로 하여 結合距離 및 帶域幅 特性을 관찰하였다. 여기서 導波路1의 幅과 屈折率, 두 導波路 間隔은 前과 같고, 導波路2의 幅은  $2um$ , 中心 코어幅은  $1um$ , 내부 크래딩의 屈折率은  $n_r = 2.133$ 로 고정하였다. 그림 3에서는 導波路2의 屈折率 分포가 單一 코어형의 階段形 分포일 경우에 대해서 二重 코어형 屈折率 分포에서는 모두 두 곡선의 기울기 차이가 급격히 커지고 있음을 알 수 있다.

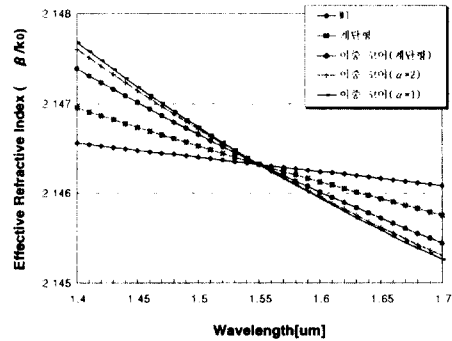
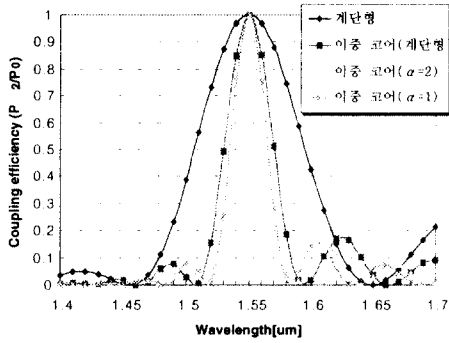


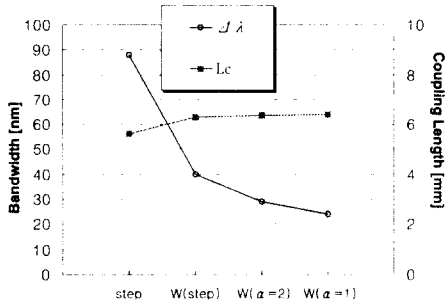
그림 3. 導波路2의 二重 코어형 屈折率 分布의 變化에 따른 波長對 有效屈折率

Fig. 3 Wavelength vs. Effective refractive-index with variation of waveguide 2's dual core refractive-index profiles

그림 4(a)에서는 導波路2에 전달되는 각 波長의 結合效率를 빔傳播法으로 계산하여 나타내었다. 單一 코어형의 階段形 屈折率 分포의 경우에서보다 二重 코어형의 階段形 分포의 3-dB 帶域幅이 급격히 감소함을 알 수 있다. 이것은 그림 3에서 큰 기울기 차이에 따른 당연한 결과라 할 수 있다. 그러나 二重 코어형 屈折率 分포 구조 사이의 기울기 차이는 작아지고 3-dB 帶域幅도 작은 감소를 나타내고 있다. 그림 4(b)는 二重 코어형 屈折率 分포에서 3-dB 帶域幅은 크게 감소하지만 結合距離는 약간 증가하고



(a)



(b)

그림 4. 導波路2의 二重 코어형 屈折率 分布의 變化에 따른 (a) 電力 結合效率 (b) 帶域幅과 結合距離  
 Fig. 4 With variation of waveguide 2's dual core refractive-index profiles (a) Power coupling efficiency (b) Bandwidth and coupling length

있다. 따라서 二重 코어형 屈折率 分布에서는 비슷한 結合距離에서 큰 帶域幅 감소를 얻을 수 있다. 二重 코어형의 三角形 分布에서는 單一 코어형의 階段形 分布에서 보다 帶域幅은 64nm 감소하였고 結合距離는 0.77mm 증가하고 있다. 導波路2의 平均 屈折率이 二重 코어형 구조에서는 더욱 작아져 結合係數 값이 작아지고 相對的인 位相不整合이 커져서 結合距離는 약간 증가하지만 帶域幅은 크게 감소한다.

표 1에서는 지금까지 관찰하였던 導波路2의 屈折率 分布에 따른 제반 특성의 결과값들을 定理, 比較 하였다. 單一 코어형의 集束形 屈折率 分布에서는 導波路和 基板의 屈折率差가 증가하는 拋物線形, 三角形, 尖頭形 分布에서 帶域幅이 더욱 감소하였고 結合距離는 약간 증가하였다.

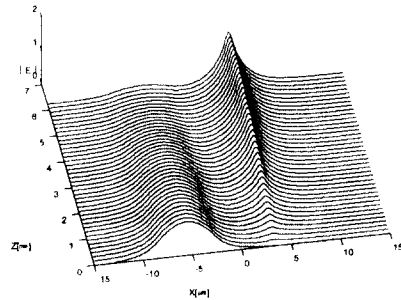
표 1. 導波路2의 屈折率 分布의 變化에 따른 特性 값

Table 1. The characteristics values with variation of waveguide 2's refractive-index profiles

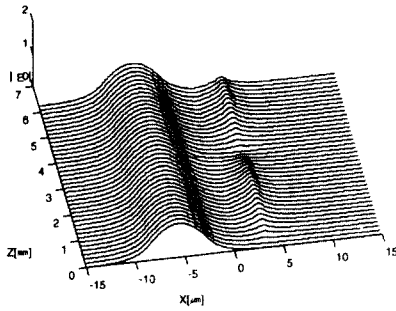
屈折率 分布		屈折率差 ( $\Delta n_2$ ) ( $n_2 - n_c$ )	3-dB 帶域幅 ( $\Delta \lambda$ ) [nm]	結合距離 ( $L_c$ ) [mm]
單一 코어形	階段形	0.014	88	5.62
	拋物線形	0.019	68	5.79
	三角形	0.025	60	5.87
	尖頭形	0.036	55	5.92
二重 코어形	階段形	0.025	40	6.30
	拋物線形	0.041	29	6.35
	三角形	0.055	24	6.39

二重 코어형 屈折率 分布에서도 階段形, 拋物線形, 三角形 分布에서 帶域幅이 크게 감소하였고 結合距離는 약간 증가하였다. 이때 역시 導波路和 基板의 屈折率差가 증가하고 있음을 알 수 있다. 模擬電算 결과 二重 코어형의 三角形 分布인 導波路 구조에서 結合距離 6.39mm, 3-dB 帶域幅 24nm인 方向性 結合器의 필터 특성을 나타내었다. 이것은 기존의 동일한 單一 코어형의 階段形 屈折率 分布에서의 3-dB 帶域幅에서 약 73% 감소를 보였으며 結合距離도 6mm 이상 짧아진 효과를 나타내고 있다.

그림 5는 제안한 二重 코어형의 三角形 屈折率 分布 구조로 설계된 方向性 結合器 필터의 동작을 빔 傳播法으로 模擬電算하여 波長에 따른 光電力 진행 分布를 보여주고 있다. 導波路1에 입력전력의 波長을 각각 1.55um와 1.48um로 하였을 때 導波路2에 전달되는 光電力은 1.55um에서 최대가 되고 1.48um에서 최소가 된다. 따라서 두 波長을 中心波長으로 하는 波長 多重化된 信號原을 각각 分離하는 波長 分離 필터로서 동작할 수 있음을 보여주고 있다.



(a)



(b)

그림 5. 光電力 進行 分布 (a)  $\lambda = 1.55 \mu m$  (b)  $\lambda = 1.48 \mu m$   
 Fig. 5 Distribution of the Optical Power

#### IV. 結 論

非對稱 光導波路 方向性 結合器의 필터 特性 研究을 위하여 여러 가지 屈折率 分布를 제안하였다. 제안한 모델의 特性을 빔傳播法으로 해석하여 두 導波路의 非對稱 정도를 변화시키며 波長에 대한 結合距離와 3-dB 帶域幅의 變化를 알아보았다. 빔傳播法으로 구한 結果를 검증하기 위해 모드結合理論에 의 해 해석한 結果와 比較하여 잘 일치함을 보였으며, 두 結果 모두 有限差分法으로 구한 初期電界를 利用 하였다. 本 研究에서는 두 導波路의 屈折率 分布의 차이에 따른 非對稱性을 利用하여 필터 特性을 개선 하였다. 짧은 結合距離에서 帶域幅이 작은 필터를 설계하기 위해서 한 쪽 導波路의 導波路幅과 屈折率을 階段形 屈折率 분포로 고정하고 다른 쪽 導波路의 屈折率 分포를 單一 코어형의 集束形 및 二重 코어형 분포로 변화하였다. 單一 코어형의 集束形 屈折率 분포에서는 導波路和 基板의 屈折率差가 증가하는 拋物線形, 三角形, 尖頭形 분포에서 대역폭이 더욱 감소하였고 結合距離는 약간 증가하였다. 二重 코어형 屈折率 분포에서도 階段形, 拋物線形, 三角形 분포에서 帶域幅이 크게 감소하였고 結合距離는 약간 증가하였다. 模擬電算 結果 二重 코어형의 三 角形 분포인 導波路 구조에서 結合距離 6.39mm, 3-dB 帶域幅 24nm인 方向性 結合器의 필터 特性을 나타내었다. 이것은 單一 코어형의 階段形 屈折率 분포에서의 3-dB 帶域幅에서 약 73% 감소를 보였으며, 結合距離도 6mm이상 짧아진 效果를 나타내고 있다. 結論적으로 두 導波路의 屈折率 分포를 다르게 변화하여 기존의 동일한 屈折率 분포에서의 필터 특

성에 비해 帶域幅과 結合距離를 줄이는 效果를 얻을 수 있게 되었다.

#### 參 考 文 獻

1. J. P. Laude, Wavelength Division Multiplexing, Prentice Hall, 1993.
2. H. Nishihara, M. Haruna, Optical Integrated circuits, McGraw-Hill Book Company, 1987.
3. H. F. Taylor, "Frequency-selective coupling in parallel dielectric waveguides," Opt. Commun., vol.8, pp.421-425, Aug. 1973.
4. R. C. Alferness and J. J. Veselka, "Simultaneous modulation and wavelength multiplexing with a tunable Ti:LiNbO<sub>3</sub> directional coupler filter," Electron. Lett. 21, pp.466-467, 1985.
5. R. C. Alferness and P. S. Cross, "Filter characteristics of codirectionally coupled waveguides with weighted coupling," IEEE J. Quantum Electron., vol. QE-14, pp. 843-847, Nov. 1978.
6. F. Rottmann, A. Neyer, W. Mevenkamp, and E. Voges, "Integrated-Optic wavelength multiplexers on lithium niobate based on two-mode interference," J. Lightwave Tech., vol.6, pp.946-952, June 1988.
7. S. V. Burke and P. C. Kendal, "A Analysis of rib waveguide coupler filters," IEE Proc. J., vol.139, pp.59-65, Feb. 1992.
8. R. Zengerle, E. Kuphal and O. G. Leminger, "The influence of fabrication inhomogeneties on the characteristics of InGaAs/InP directional coupler filters," J. Opt. Commun.(17), pp.2-5, 1996.
9. M. D. Feit and J. A. Fleck, Jr., "Light propagation in graded-index optical fibers," Appl. Opt., vol.17, pp.3990-3998, 1978.
10. Y. C. Chung and N. Dagli, "An assessment of Finite Difference Beam Propagation Method," IEEE J. Quantum Electron., vol.26, pp.1335-1339, 1993.
11. K. Hayata, A. Misawa and M. Koshiba, "Non-linear Beam propagation in Tapered waveguides," Electron. Lett., vol.25, pp.661-662, 1989.
12. 장지호, 최태일, 최병하, "BPM에 의한 방향성 결합기의 특성 연구," 한국통신학회 논문집, 제18권, 7호, pp.951-957, 1993.
13. D. Yevick and B. Hermannson, "Efficient beam

propagation techniques," IEEE J. Quantum Electron., vol.26, pp.109-112, 1990.

14. A. Yariv, "Optical electronics," Saunders college Pub., 1991.



宋 崙 元 (Yun Won Song) 正會員

1960年 5月 27日生

1983年 2月 : 濟州大學校 通信工學科 卒業

1985年 : 仁荷大學校 大學院 電子工學科 卒業

1997年 : 仁荷大學校 電子工學科 博士 取得

1992年 3月 ~ 現在 : 才能大學 電子通信科 副教授  
<研究分野> 光通信, 光集積回路



林 銅 澈 (Dong Cheol Lim) 正會員

1966年 5月 8日生

1992年 2月 : 仁荷大學校 電子工學科 卒業

1998年 2月 : 仁荷大學校 大學院 電子工學科 卒業

1998年 3月 ~ 現在 : 仁荷大學校 電子工學科 博士過程

1992年 ~ 1993年 : LG機工(株) 社員

1993年 ~ 1996年 : LG情報通信 研究員

<研究分野> 光通信, 光集積回路, 光 Interconnection