

논문 01-02-02

MTLT를 이용한 광 방향성 필터의 설계

Rigorous Design of Optical Directional Filters using MTLT

朴 載 緒* , 洪 權 義** , 扈 光 春***

(Jai-Seo Park* , Kwon-Eui Hong** , Kwang-Chun Ho***)

요 약

모드 전송선로 이론(MTLT: Modal Transmission-Line Theory)을 사용하여 방향성 결합기로 구성된 광 파장 필터를 설계하고 그 특성을 정확히 분석하였다. 전형적인 평면 구조형 결합기가 협대역 필터를 구현하기 위하여 이용되었으며, 테이퍼형 방향성 결합기가 광대역 필터를 구현하기 위하여 채택되었다. 협대역 필터의 경우 TE/TM 모드는 $\lambda = 1.303\mu m$ 와 $1.1496\mu m$ 에서 최대 결합효율을 나타냈으며, 그 대역폭은 각각 30nm와 10nm로 나타났다. 더욱이, $\lambda = 1.55\mu m$ 에서 동작하는 광대역 필터의 경우 TE/TM모드의 결합길이를 183 μm 와 178 μm 로 선택하였을 때 각각 저지대역(stop-band)과 통과대역(pass-band) 필터특성을 나타내었다.

Abstract

Optical wavelength filters based on directional couplers are rigorously designed and analyzed by Modal Transmission-Line Theory (MTLT). The conventional parallel directional coupler is utilized to implement a narrow-band filter, and it takes up the coupler with tapered structure as a wide-band filter. The power transfers of TE/TM modes in narrow-band filters are maximized at $\lambda = 1.303\mu m$ and $1.1496\mu m$, and the optical bandwidths are then 30nm and 10nm, respectively. Furthermore, when the coupling lengths of TE/TM modes in wide-band filters operating at $\lambda = 1.55\mu m$ are selected as 183 μm and 178 μm , those are operated as the stop-band and pass-band filters, respectively.

Key words : Optical Directional Filters, Modal Transmission-Line Theory

1. 서 론

오늘날 광 방향성 결합기는 온도변화에 대한 비의

존성(insensitivity) 때문에 광 통신용 소자로써 그 중요성이 날로 증가하고 있다. 그 소자의 재미있는 특성 중의 하나는 임의의 단자로 입사한 광이 도파로의 두께, 굴절율과 같은 광학적 요소들에 조정을 통하여

* WAVECOM 研究所
(WAVECOM Research Institute)

** 金浦大學 電子情報系列 電子專攻

接受日: 2001年 7月13日, 修正完了日: 2001年11月19日

(Dept. of Electronic and Information, Kimpo College)

*** 漢城大學校 情報通信工學科

(Dept. of Information and Communication Eng., Hansung University)

원하는 방향성을 갖는 광 필터를 설계할 수 있다는 것이다[1].

이러한 광소자의 광학적 특성을 해석하기 위해 지금까지 다양한 해석법들이 제안되었고 발전되어왔다. 그 접근방법 중에서 유사 빔 전파방법 (FD-BPM: finite-difference beam propagation method)[2] 과 비 직교성 결합모드이론(NCMT: non-orthogonal coupled-mode theory)[3]은 가장 널리 사용되는 해석법들이다. FD-BPM은 비교적 정확한 수치해석적 결과를 제공하지만 수치 해석상의 복잡성과 상당한 계산시간의 소요로 인하여 많은 광학적 변수들을 고려해야 하는 테이퍼 구조형 필터의 설계특성에 쉽게 적용하기가 어렵다. 이에 반하여, 각각의 분리된 도파로(isolated waveguide)에서 전파하는 비 직교성 국부 배열모드(non-orthogonal local array modes)를 이용하는 NCMT는 수치해석적 기법이 간단하고 다양한 임의의 구조를 갖는 광 방향성 결합기에 적용이 가능하다. 그러나, 전파파장에 따라 그 광학적 특성이 민감히 변하는 광 필터를 해석하기에는 불충분하다. 즉, 방향성 결합기를 구성하는 두 독립된 전송선로의 간격이 충분히 큰 경우 (예를 들어, 넓은 각도의 테이퍼 단에서) 그 결합 특성을 나타내는 결합계수(coupling coefficient)가 부정확한 값으로 결정되므로 최적 설계를 위한 정확한 전력전송 효율을 얻기가 어렵다.

이를 위하여, 본 논문에서는 정확한(rigorous) 접근법이면서 수치해석 시 근사적 해석법인 NCMT보다 간결하게 임의의 필터형 구조의 광학적 특성 및 최적 설계조건을 얻을 수 있는 모드 전송선로 이론(MTLT: modal transmission-line theory)을 처음으로 이용하였다. 이는 최근 광 전송구조의 그 전파특성 및 설계 특성을 분석하기 위하여 새롭게 시도되고 있는 해석법이다[4].

일반적으로, 협대역 필터특성을 갖는 평면 도파로는 선형(parallel) 구조이므로 하나의 등가 전송선로를 구성하여 그 필터특성을 분석할 수 있다. 그러나, 광대역 필터특성을 갖는 테이퍼형 광 결합기는 그 전파 방향에서 비선형(non-parallel) 구조를 갖는다. 따라서, 그와 같은 비선형 구조는 충분히 작은 미소구간으로 분할하여 그 필터특성을 해석하는 분할 기법(stepwise technique) 이 자주 이용된다. 이에 대한 설명이 2장에서 언급되었다. 또한, 3장에서는 2장에서 정의한 MTLT의 결합효율에 기초하여 광 결합기의 파장의 존성인 그 협대역(narrow-band), 광대역(wide-band) 특성을 분석하였고, 그 필터를 설계하였다. 마지막으로

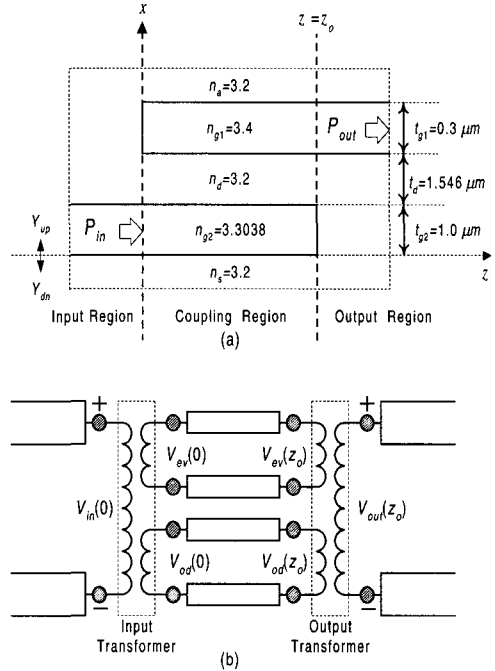


그림 19. (a) 평면 방향성 결합기의 구성도와 (b) 그 등가전송선로.

Fig. 1. (a) Schematic configuration of parallel directional coupler, and (b) Equivalent transmission-line network of the coupler.

그 종합적 결론을 4장에 언급하였다.

II. 광 방향성 결합기의 결합효율

2.1 평면 방향성 결합기

광 방향성 결합기를 분석하기 위하여 고려해야 할 가장 중요한 특성중의 하나는 방향성 결합기를 통하여 전파하는 모드의 전파상수를 계산하는 것이다. 대부분의 광 전송 구조에서 이 전파상수는 비선형 방정식을 풀어 그 값을 결정해야 하는 미지수(unknown values)들이다. 만일, 전송구조가 2차원적 ($\partial/\partial y \equiv 0$)이라고 가정하였을 때, 이 전파상수를 정확하게 계산하기 위하여 MTLT에서는 아래와 같은 경계치 문제(boundary-value problem)에 기초한 횡 방

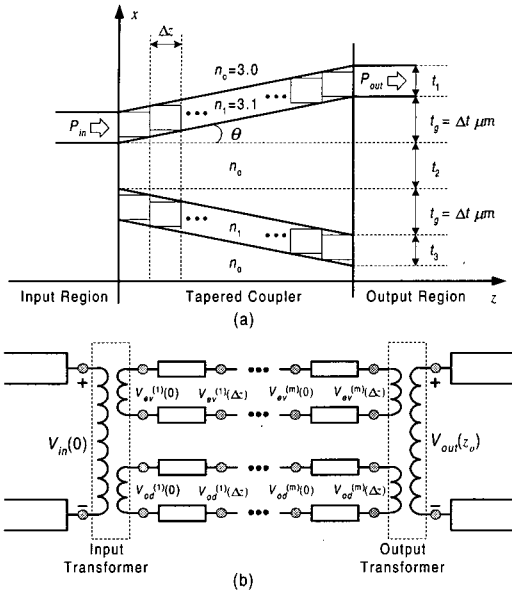


그림 20. (a) 테이퍼 방향성 결합기의 구성도와 (b) 그 등가전송선로.

Fig. 2. (a) Schematic configuration of tapered directional coupler, and (b) Equivalent transmission-line network of the coupler.

향 공진조건(transverse resonance condition)을 이용한다 [4, 5].

$$Y_{up}(k_z) + Y_{dn}(k_z) = 0 \quad (1)$$

여기서, Y_{up} 은 그림 1(a)에서 보듯이 x -축상의 임의의 경계면에서 위로 본 그 어드미턴스(admittance)를 나타내며 Y_{dn} 은 그 경계면에서 아래 방향으로 본 입력 어드미턴스를 나타낸다. 그러므로, 식 (1)은 광 결합기의 전파상수에 의하여 표현되는 고유치 문제(eigenvalue problem)이며, 이 관계식을 이용하여 정확한 전파상수 k_z 를 계산할 수 있다.

그 결정된 전파상수에 의하여 그림 1(a)의 평면 방향성 결합기는 MTLT를 만족하는 그림 1(b)의 등가 전송선로로 유사화 될 수 있다. 그때, 그림 1(b)에서 보듯이 모드의 전력 전송을 정확하게 분석하기 위한 TE 모드의 결합효율(coupling efficiency)은 다음 식 (2)와 같이 정의할 수 있다. 즉, 이 결합효율 η_{TE} 은 전송선로에서 입력 전력에 대한 출력 전력의 비율로써 표현된다.

$$\eta_{TE} = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{Re(k_{z,out})}{Re(k_{z,in})} \frac{V_{out}(z_0)^2}{V_{in}(0)^2} \quad (2)$$

여기서, $k_{z,in}$ 과 $k_{z,out}$ 는 각각 식 (1)을 만족하는 입력 영역과 출력 영역에서의 그 전파 상수들이며, 입력에 대한 출력 모드 전압의 비율은 광 전송구조의 중요한 물리적 특성인 모드 직교조건(modal orthogonal condition)과 전력 정규화조건(power normalization condition)으로부터 다음 식 (3)과 같이 얻을 수 있다[5].

$$\frac{V_{out}(z_0)}{V_{in}(0)} = T_{\epsilon, ev} T_{out, ev} e^{ik_{z,a}z_0} + T_{\epsilon, od} T_{out, od} e^{ik_{z,od}z_0} \quad (3)$$

위의 식에서 TE 모드에 대한 입/출력 단에서의 변환상수(transformer constant)는 식 (4)와 같이 정의되며,

$$T_{\nu, \zeta} = \int_{cs} e_{\nu}(x) e_{\zeta}(x) dS \quad (4)$$

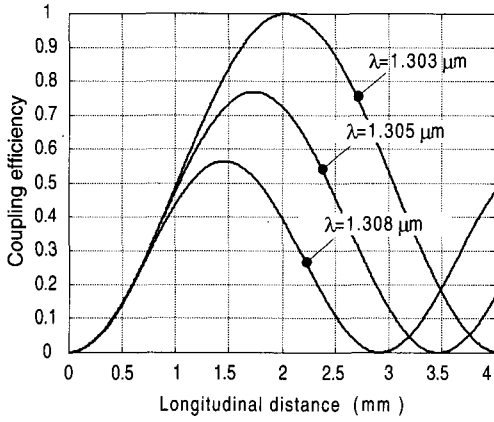
이 식에서 cs 는 모드가 진행하는 xz -단면(cross-section)을, $k_{z, \zeta}$ 는 결합영역에서 식 (1)의 횡방향 공진조건으로부터 얻어지는 우/기 모드형의 그 전파상수를 나타낸다. 한편, $\nu = in/out$, $\zeta = ev/od$ 이며, $e(x)$ 은 각 영역에서 횡방향 전계성분을 나타내는 모드함수(transverse modal function)를 나타낸다. 예를 들어, 그림 1(a)에 예시된 평면 방향성 결합기의 입력영역(input region)에서 MTLT 모드함수는 다음 식(5)과 같이 정의된다.

$$e_y(x) = \begin{cases} e^{ik_{x,et}x} (1 + r_{g2}) e^{ik_{z,et}(x-t_{g2})} & , t_{g2} < x \\ e^{ik_{x,et}x} + r_{g2} e^{2ik_{x,et}t_{g2}} e^{-ik_{z,et}x} & , 0 \leq x \leq t_{g2} \\ (1 + r_{g2} e^{2ik_{x,et}t_{g2}}) e^{-ik_{x,et}x} & , 0 > x \end{cases} \quad (5)$$

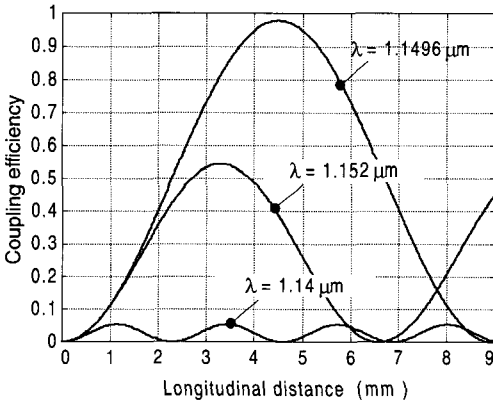
여기서, $k_{x,q} = \sqrt{(k_0 n_q)^2 - k_{z,in}^2}$ 는 횡방향 전파상수이고, 그 반사계수 r_{g2} 는 다음과 같이 주어진다.

$$r_{g2} = \begin{cases} \frac{k_{x,g2} - k_{x,d}}{k_{x,g2} + k_{x,d}} & , \text{TE mode} \\ \frac{n_{g2}^2 k_{x,d} - n_d^2 k_{x,g2}}{n_{g2}^2 k_{x,d} + n_d^2 k_{x,g2}} & , \text{TM mode} \end{cases}$$

유사한 방법으로, 방향성 결합기를 통하여 전파하는 TM 모드의 경우 횡방향 전계분포 (E_y)는 횡 방



(a)



(b)

그림 21. 파장에 따른 평면 방향성 결합기의 결합효율: (a) TE 모드, (b) TM 모드.

Fig. 3. Coupling efficiency of parallel directional coupler as a function of wavelength: (a) TE mode, and (b) TM mode.

향 자계분포 (H_y)를 나타내는 모드 전류 $I_\nu(z)$ 와 자계성분의 모드 함수 $h_\nu(x)$ 로 대체된다[5]. 그때, 각 영역에서 정의된 이 횡 방향 자계 성분의 모드 함수들 사이에 존재하는 TM 모드 직교조건을 이용하면, 식 (2)과 유사한 TM 모드의 결합효율을 얻을 수 있다. 이 결합효율은 입/출력 영역에서 TM 모드의 전파상수들과 그 경계면에서 흐르는 전류의 비율로 표현된다.

2.2 테이퍼 방향성 결합기

그림 2(a)에서 보듯이, 분할 기법을 이용하여 테이퍼 광 방향성 결합기를 미소길이 Δz 를 갖는 m 개의 평행 방향성 결합기로 분할하였고, 상층채널로 입사된 전력이 다시 상층채널을 통하여 출력되도록 구성하였다.

그때, 유효굴절률(effective refractive index)에 영향을 미치는 각 미소구간에서 구성된 평행 방향성 결합기의 테이퍼 변화 Δt 는 다음과 같다.

$$\Delta t = \Delta z \cdot \tan \theta \quad (6)$$

즉, 파장에 비하여 충분히 작도록 선택한 미소구간 Δz 의 크기와 테이퍼의 기울기를 나타내는 각도 θ 가 결정되면, 위의 식 (6)으로부터 두 미소 평행 채널들 사이의 분리 거리 Δt 가 결정된다. 그러므로, m 개의 미소구간 Δz 에서 식 (1)에 주어진 횡방향 공진조건을 m 번 적용하여 m 개의 전파상수로 구성되는 그림 2(b)와 같은 테이퍼 방향성 결합기의 등가 전송선로를 얻을 수 있다.

그때, 그림 2(b)에 도시된 TE 모드에 대한 등가선로의 입력전력에 대한 출력전력의 비는 식 (2)와 같고, 그 식을 구성하는 입력 전압에 대한 출력 전압의 비율은 테이퍼 방향성 결합기인 경우 다음과 같이 정의된다[6].

$$\begin{aligned} \frac{V_{out}(z_0)}{V_e(0)} &= T_{\epsilon,er} T_{out,er} \exp i \left(\sum_{n=1}^m k_{z,er}^{(n)} \right) \Delta z \\ &+ T_{\epsilon,od} T_{out,od} \exp i \left(\sum_{n=1}^m k_{z,od}^{(n)} \right) \Delta z \end{aligned} \quad (7)$$

위의 식에서 보듯이 입력 경계면에서 입사된 모드는 각각의 미소구간에서 발생하는 중첩모드(supermode)들의 위상변화에 의존하여 진행된다. 결국, 출력 경계면에서 상향 도파로를 통하여 출력되는 모드의 위상변화가 이들의 합으로 표현되는 것은 당연한 결과일 것이다. 그때, 식 (7)의 입력과 출력 경계면에서 발생하는 그 변환상수는 중첩모드의 직교성에 의하여 아래와 같이 정의된다.

$$T_{\epsilon,\nu} = \int_{cs} e_\epsilon(x) e_\nu^{(1)}(x) dx, \quad (8)$$

$$T_{out,\nu} = \int_{cs} e_{out}(x) e_\nu^{(m)}(x) dx$$

여기서, ν 는 우 모드형인 경우에는 ev 이고 기 모드형인 경우에는 od 이다.

만일, 테이퍼 방향성 결합기를 통하여 TM 편향된 모드가 전파될 경우 그 결합효율은 2.1절의 평면 방향성 결합기에서 자세히 언급했듯이, 입/출력 영역에서의 TM 모드 전파상수들과 그 경계면에서 흐르는 전류의 비율로 표현된다.

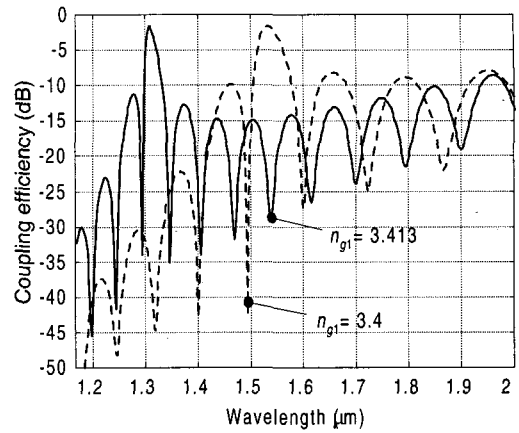
III. 광 방향성 결합기의 필터특성

3.1 협대역 특성

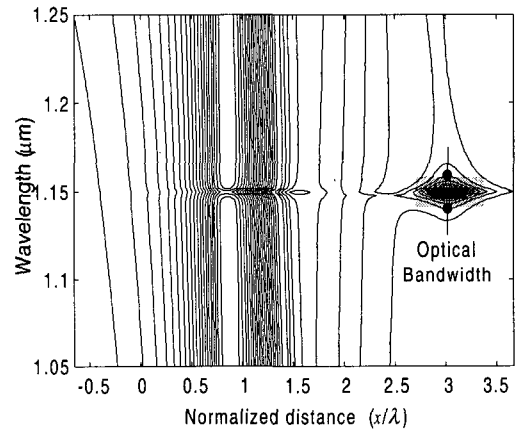
광 파장 영역에서 평면 방향성 결합기의 협대역 필터특성을 분석하기 위하여 먼저 하층채널로 입사한 전력이 상층채널로 전송되는 비율을 나타내는 결합효율을 식 (2)를 이용하여 분석하였다. 즉, 최적의 효율을 갖는 필터를 설계하기 위하여 그림 1(a)에 주어진 값들에 기초한 최대전력전송이 일어나는 파장을 고찰하였다.

그림 3(a)는 TE 모드가 입사한 경우 파장에 따른 그 결합효율의 변화를 나타낸 것이다. 이 방향성 결합기는 위상 정합점(phase-matching point) $\lambda = 1.303\mu\text{m}$ 에서 최대전력전송이 발생하였으며, 결합길이 $z_0 \approx 2\text{mm}$ 에서 약 99%의 전력전송이 일어나는 것으로 나타났다. 그리고, 위상 정합점으로부터 편이된 파장 $1.305\mu\text{m}$ 인 경우에는 결합길이 1.7mm 에서 약 76%의 전력전송이, 파장이 $1.308\mu\text{m}$ 인 경우에는 결합길이 1.6mm 에서 약 56%의 입사전력이 상층 채널로 전송되는 것으로 분석되었다. 결과적으로, 위상 정합 조건을 만족하는 파장 $\lambda = 1.303\mu\text{m}$ 로부터 편이가 심할수록 결합효율이 떨어짐을 알 수 있었다. 같은 방법으로, 그림 3(b)에서 보듯이 TM 모드는 위상 정합 조건을 만족하는 파장 $\lambda = 1.1496\mu\text{m}$ 에서 최대전력전송이 일어났으며, 편이가 클수록 결합효율은 TE 모드에서 보다 현저하게 저하되었다. 이는 TM 모드가 TE 모드보다 그 광학적 대역폭(optical bandwidth)이 훨씬 더 작다는 의미를 내포하는 것이다. 그에 대한 자세한 내용이 그림 4에 도시되어 있다.

다음은, 필터특성을 구체적으로 가시화하기 위하여 파장의 변화에 따른 결합효율을 고찰하였다. 먼저,



(a)

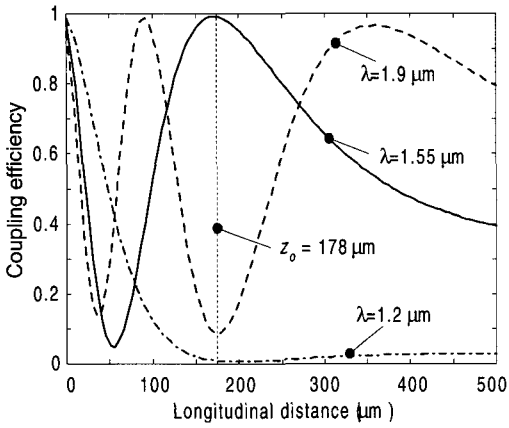


(b)

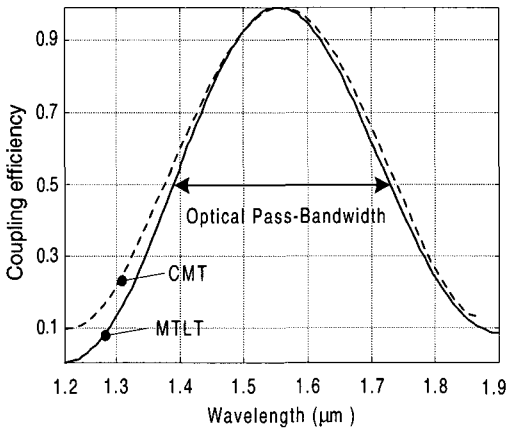
그림 22. (a) TE 모드에 대한 평면 방향성 결합기의 필터특성, (b) TM 모드의 필터특성을 나타내는 등고선.

Fig. 4. (a) Filtering characteristics of parallel coupler for TE mode, and (b) Contour describing the filtering characteristics of TM mode.

TE 모드에서 파장을 $\lambda = 1.303\mu\text{m}$ 로, 결합길이를 2mm 로 고정시켜 놓고 필터특성을 분석하였다. 그림 4(a)에서 보듯이, 상층채널의 굴절율 n_{g1} 을 3.4로 하였을 때 주엽(main-lobe)은 위상 정합 조건을 만족하는 파장에서 약 -1.5dB 의 최대값을 나타냈으며, 약 30nm 의 협대역 대역폭 특성을 보여주었다. 그리고, 부엽(side-lobe)과 약 10dB 의 차이를 나타내었다.



(a)



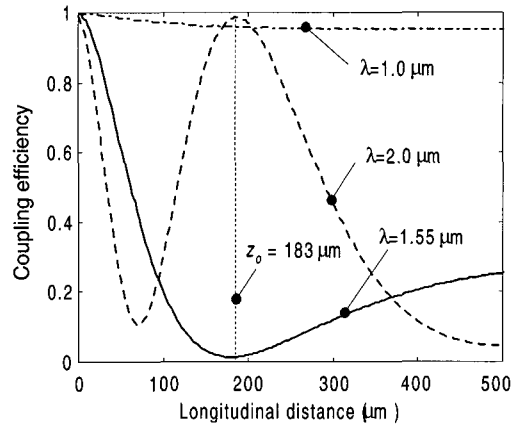
(b)

그림 23. (a) TM 모드에 대한 테이퍼 방향성 결합기의 결합효율과 (a) 그 통과대역 특성.

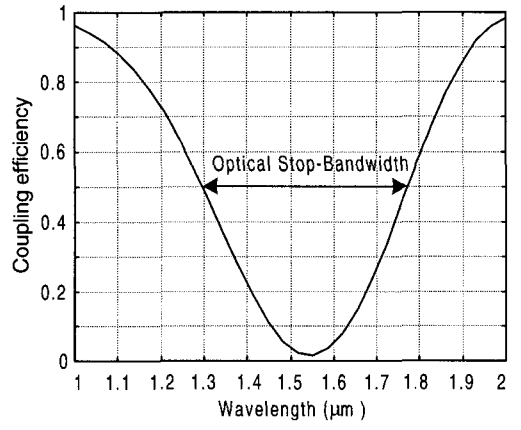
Fig. 5. (a) Coupling efficiency of tapered directional coupler for TM mode, and (b) the pass-band characteristics.

한편, 굴절율 n_{g1} 를 3.413으로 하였을 경우에는 주엽과 부엽의 차가 약 8dB로 나타났으며, $\lambda = 1.53\mu\text{m}$ 파장에서 위상 정합 조건이 발생하였다. 또한, 광학적 대역폭은 약 60nm로 n_{g1} 가 3.4인 경우에 비하여 두 배 정도 넓은 필터특성이 나타났다.

또한, 결합길이를 4.5mm로, 상층채널의 굴절율 n_{g1} 을 3.4로 하여 TM 모드의 필터특성을 분석하였다.



(a)



(b)

그림 24. (a) TE 모드에 대한 테이퍼 방향성 결합기의 결합효율과 (a) 그 저지대역 특성.

Fig. 6. (a) Coupling efficiency of tapered directional coupler for TE mode, and (b) the stop-band characteristics.

그림 4(b)의 등고선에서 보듯이, 하층채널을 통해 입사된 전력은 $\lambda = 1.1496\mu\text{m}$ 의 중심파장 부근에서 상층채널에 집중적으로 분포되어 나타났다. 즉, 이 파장 부근에서 하층채널의 전력분포는 움푹 파인 형태의 등고선을 보여주고 있다. 그리고, 이 등고선으로부터 결정된 TM 모드의 대역폭은 약 10nm로 나타났다. 결국, 위상정합 조건 하에서 TM 모드로 편향된 광파가 TE 모드로 편향된 광파보다 3배정도 좁은 협대역 필터특성을 갖는 것으로 나타났다. 이는 TM 모

드의 필터특성을 결정하는 모드 전류 $I_\nu(z)$ 와 모드 함수 $h_\nu(x)$ 가 파장변화에 따른 의존성이 크기 때문이다.

3.2 광대역 특성

일반적으로, 평면 방향성 결합기는 파장의존성(wavelength sensitivity)이 매우 크기 때문에 이 소자를 이용하여 광대역 필터를 설계하기란 매우 어려운 일이다. 그러나, 임의의 결합길이에서 모드들 간의 결합특성이 나타나지 않는 테이퍼 전송구조를 이용한다면 가능하다. 이때, 그 결합특성은 식 (2)와 (7)을 이용하여 결정할 수 있다.

그림 5는 상층(t_1) 및 하층채널(t_3)의 두께가 각각 $0.8\mu\text{m}$, 중간층(cladding)의 두께가 $0.5\mu\text{m}$, 그리고 테이퍼 각도가 0.1° 일 때 파장에 따른 TM 모드의 그 결합효율을 도시한 것이다. 테이퍼 전송 구조에서 전파하는 $\lambda = 1.2\mu\text{m}$ 와 $1.9\mu\text{m}$ 의 광파는 전파거리 $z_0 = 178\mu\text{m}$ 에서 상층채널로의 결합효율이 약 10% 이하로 현저히 감소함을 나타내고 있다. 이러한 테이퍼 전송 구조의 특성은 도파로 구조가 대칭 구조일 경우 증가하고, 비대칭 구조일 경우 감소한다. 그때, 결합효율로부터 원하는 필터특성을 얻기 위한 결합길이(coupling length)를 선택하면, 테이퍼 전송 구조를 이용한 광대역 필터를 설계할 수 있다.

광대역 필터를 설계하기 위하여 선택한 결합길이 $178\mu\text{m}$ 가 그림 5(a)에 수직 점선으로 나타나 있다. 이 결합길이는 상층채널로 입사된 $1.55\mu\text{m}$ 의 광파가 하층채널을 걸쳐 다시 상층채널로 결합하는 길이를 나타내며, 이때 약 98%의 전력 전송이 발생하였다. 더욱이, 입력파장이 $1.2\mu\text{m}$ 인 경우, 상층채널을 통하여 테이퍼 방향성 결합기에 입사된 전력은 결합길이 $178\mu\text{m}$ 에서 약 98% 정도가 하층채널로 결합되고, 다시 상층채널로의 결합은 발생하지 않았다. 입력파장이 $1.9\mu\text{m}$ 인 경우에는 이 결합길이에서 약 90%의 전력이 하층채널로 결합되었다. 결국, TM 모드가 상층채널을 통하여 입사한 경우 결합길이를 $178\mu\text{m}$ 로 선택하면, 중심파장이 $1.55\mu\text{m}$ 인 통과대역(pass-band) 광대역(wide-band) 필터를 설계할 수 있다. 그때, 광파는 상층채널을 통하여 발생한다. 본 논문에서는 언급하지 않았지만 TE 모드에서도 이와 유사한 방법을 사용하여 광대역 필터를 설계할 수 있다.

테이퍼 방향성 결합기의 물리적 결합길이를 $178\mu\text{m}$ 로 고정시키고, 광통신용 파장 범위인 $1.2\mu\text{m} \sim 1.9\mu\text{m}$ 에서 분석한 필터 특성이 그림 5(b)에 도시되어 있다. 그림에서 보듯이, 결합효율은 $1.55\mu\text{m}$ 의 중심파장을 기점으로 대칭적 특성을 보여주는 통과대역 필터특성을 나타내었다. 그때, HPBW(Half Power Beam Width)를 표시하는 그 필터의 광학적 통과대역폭(optical pass-bandwidth)은 약 330nm 로 넓은 대역폭 특성을 갖는 것으로 분석되었다. 또한, MTLT의 타당성을 보이기 위하여 널리 사용되는 결합모드이론[3]과 비교하였다. 두 해석법은 중심파장에서 그 특성이 일치하였고, 광학적 통과대역폭은 약 30nm 의 차이를 보였다. 더욱이, 중심파장에서 멀어 질수록 MTLT와 CMT사이의 차이가 증가함을 알 수 있다. 왜냐하면, MTLT는 정확한 중첩모드(supermode)를 이용한 반면 CMT는 국부 정상모드(local normal mode)를 이용한 근사적 해석법이므로 테이퍼 도파로의 간격이 멀어질수록 CMT의 결과는 부정확한 수치해석적 결과를 나타내는 것이다. 이에 대한 자세한 내용은 참고문헌[3]에 구체적으로 언급되어 있다.

다음으로, 결합길이의 변화에 따른 광대역 필터특성의 변화를 고찰하기 위하여, 상층과 하층 채널의 두께가 각각 $0.6\mu\text{m}$, 중간층의 두께 t_2 가 $1.0\mu\text{m}$, 그리고 테이퍼 각도가 0.1° 인 테이퍼 방향성 결합기의 TE 모드 필터특성을 분석하였다. 그림 6(a)에서 보듯이, 상층채널을 통하여 입사된 $1.55\mu\text{m}$ 의 입사전력은 선택한 결합길이 $183\mu\text{m}$ 에서 약 2%가 하층채널로 결합되었고, 파장이 $1.0\mu\text{m}$ 와 $2.0\mu\text{m}$ 인 입사전력은 약 98%가 상층채널을 통하여 발생하였다. 그러므로, $183\mu\text{m}$ 의 결합길이를 갖는 테이퍼 방향성 결합기에 TE 모드가 입사한 경우, 중심파장이 $1.55\mu\text{m}$ 인 저지대역(stop-band) 광대역(wide-band) 필터특성이 나타난다. 이에 대한 필터특성이 그림 6(b)에 자세히 예시되어 있으며, 그 광학적 대역폭은 약 475nm 로 나타났다.

이상에서 언급하였듯이 MTLT를 적용하여 테이퍼 방향성 결합기의 결합효율을 결정하면, 그로부터 원하는 형태의 통과대역, 또는 저지대역 광대역 필터를 설계할 수 있다.

IV. 결 론

광 파장 필터와 같은 광 선택성 소자는 파장분할 다중화 방식(WDM: Wavelength Division Multiplexing)을 사용하는 광통신에서 기본이 되는 소자이다. 이 광 파장 필터를 제작하기 위해 사용될 수 있는 간단한 기술 중의 하나가 광 방향성 결합기를 이용하는 것이다. 그 광 방향성 결합기의 필터특성을 분석하고 설계하기 위하여 본 논문에서는 처음으로 간편하고 정확한 해석법인 MTLT[4]를 이용하였다.

먼저, 평면 전송 구조를 갖는 방향성 결합기의 협대역 필터특성을 분석한 결과, TE/TM모드는 위상 정합 조건인 $\lambda = 1.303\mu\text{m}$ 와 $1.1496\mu\text{m}$ 에서 최대 결합효율을 나타냈으며, 그 대역폭은 각각 30nm와 10nm로 나타났다. 즉, TM 모드가 TE 모드보다 3배 정도 좁은 협대역 특성을 갖는 것으로 분석되었다.

다음으로, 테이퍼 전송 구조를 갖는 방향성 결합기의 광대역 필터특성을 분석하였다. TE/TM모드의 결합길이를 각각 $183\mu\text{m}$ 와 $178\mu\text{m}$ 로 선택하였을 때, $\lambda = 1.55\mu\text{m}$ 에서 동작하는 광대역필터의 경우 광학적 대역폭이 약 475nm와 330nm인 저지대역(stop-band)과 통과대역(pass-band) 필터특성을 나타냈다.

결국, 본 논문에서 제시한 MTLT를 적용하여 광 방향성 결합기의 전송 구조나, 광학적 변수들을 변경함으로써 파장분할 다중화 방식에 사용하는 다양한 종류의 필터설계가 가능함을 보였다.

참 고 문 헌

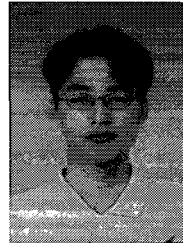
[1]T. Tamir, Guided Wave Optoelectronics, New York: Springer-Verlag, pp. 305-320, 1988.
 [2]A. Paradisi, H. E. Hernandez-Figueroa, S. Celaschi, M. L. Brandao, J. T. Jesus, and M. Mercadante, "Beam Propagation Method Modelling of Optical Filters based on Tapered Fibres," IEEE LEOS 96 Annual Meeting, Vol. 2, pp. 36-37, 1996.
 [3]W. P. Huang, B. E. Little, and S. K. Chaudhuri, "Optical Wavelength Filter with Tapered Couplers," IEEE Photon. Technol.

Lett., Vol. 3, pp. 809-812, 1991.

[4]호광춘, 김준환, 김영권, "광통신용 광 결합기의 모드 전송선로 해석법," 대한전자공학회지, 제 35권, D편, pp. 25-31, 1998.
 [5]K. C. Ho, G. Griffel, T. Tamir, "Polarization Splitting in Lossy/Gainy MQW Directional Couplers," J. Lightwave Technol. Vol. LT-15, pp. 1233-1240, 1997.
 [6]손석용, 호광춘, 김영권, "광통신용 테이퍼 방향성 결합기의 설계특성," 대한전자공학회지, 제 36권, D편, pp. 18-26, 1999.

저 자 소 개

朴 載 緒



1999년 2월 호서대학교 전자공학과 졸업. 2001년 2월 건국대학교 대학원 전자정보통신공학과 졸업(공학석사). 2001년~현재 (주)웨이브컴 주임연구원.

관심분야: 광통신용 소자설계 및 특성해석.

洪 權 義



1983년 2월 건국대학교 전자공학과 졸업. 1985년 2월 건국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1997년 2월 건국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1984년~1991년 대우중공업 중앙연구소 전자기술부. 1991년~1997년 종로산업학교 교사. 1997년~현재 김포대학 전자정보계열 조교수.

관심분야: 광통신용 소자설계 및 특성해석.

盧 光 春

제 5권 1호 논문 00-02-09 참조.
 현재 한성대학교 정보통신공학과 조교수.