
DWDM을 위한 광필터의 구조

정찬권* · 나유찬*

Design of Optical Filter Structure for DWDM

Chan-gwoun Jeoung* · Yoo-Chan Ra*

이 논문은 2007학년도 남서울대학교 학술연구비 지원에 의해 연구되었음

요 약

최근 광통신 용량은 VoIP, Audio/Video 스트리밍의 멀티미디어 서비스 수요로 인한 정보통신 용량의 증가에 비례하여 증가하고 있다. 초고속 광통신망에서 추가적인 광섬유망과 고속장비 없이 이를 해결하기 위한 방법으로 DWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing) 기법이 대두되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 이러한 기능을 갖는 광필터를 설계하기 위하여 광섬유 한쪽의 클래드를 연마하여 다층 슬래브 도파로에 결합시킨 형태의 광섬유/다층 슬래브 결합구조의 광필터를 제안하였다. 제안된 광필터는 $1.5\mu\text{m}$ 통신창에서 분리간격이 $4.15\mu\text{m}$ 일 때 65nm 의 편광 독립성, TM 모드와 TE 모드에 대해 중심파장이 각각 $\lambda_0 = 1.54946\mu\text{m}$ 와 $\lambda_0 = 1.6144\mu\text{m}$ 일 때 0.1nm 의 FWHM(Full Width at Half Maximun) 특성을 가진다.

ABSTRACT

The recent, a large capacity of communication is required in order to it is in proportion to capacity of information communication increase and to satisfy a demand because of the demand about Internet, a multimedia service of Video of internet protocol(VoIP), Audio/Video streaming. DWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing) technique has been emerged as the method of solving it without additional optical fiber network building and high-speed equipment. Therefore this thesis proposed the optical filter of fiber/multilayer slab coupled structure combining it to multilayer slab waveguide by polishing the cladding of one side of fiber to design the optical filter having these functions. The optical filter proposed as the simulation result satisfies DWDM filter characteristic; 1) when the separation distance between fiber and slab is $4.15\mu\text{m}$ at the communication window of $1.5\mu\text{m}$, the polarization independence is 65nm , 2) when the center wavelengths about TM mode and TE mode are each $\lambda_0 = 1.54946\mu\text{m}$ and $\lambda_0 = 1.6144\mu\text{m}$ and, FWHM(Full Width at Half Maximun) is 0.1nm .

키워드

DWDM, WDM, fiber, FWHM, filter

I. 서 론

현재 인터넷, 음성패킷(VoIP), Audio/Video streaming

의 멀티미디어 서비스 등의 급격한 발전으로 인해 광통신 기술은 1990년대 초까지는 전송용량의 증대를 위해 변조속도의 증가와 다채널 전송을 위해 동기식 광통신

망(Synchronous Optical Network : SONET)를 기반으로 하는 시분할 다중화(Time Division Multiplexing : TDM) 방식을 사용해 왔으나, TDM은 전송속도 40Gbps에서 기술 및 경제적 한계를 갖는다.

이로 인해 여러 개의 파장이 다른 광신호들을 한 가닥의 광섬유를 통해서 다른 광 신호들 사이의 간섭에 의한 왜곡 현상 없이 여러 파장으로 구성되는 대량의 신호를 전송할 수 있는 파장분할 다중화(Wavelength Division Multiplexing : WDM)은 추가적인 광섬유망 구축과 새로운 장비 구축 없이도 간단하게 전송망의 전송용량을 증대시킬 수 있다는 이점 때문에 초고속 광통신 시스템에 적합한 기술로 주목 받고 있다[1,2].

이에 따라 국제통신연합에서는 통신용량 증가 추세에 따른 통신밴드 확장과 더불어 WDM의 고밀도화에 대한 논의가 활발히 이루어져 C-band(1530 nm~1562 nm) 및 L-band(1570 nm~1605 nm)에서 WDM시스템의 채널간격을 100 GHz(0.8 nm)에서 12.5GHz(0.1 nm)로 권고하고 있다. 이러한 고밀도 파장분할 다중화 기술은 채널폭 면에서는 50 GHz이하, 채널수는 128채널 이상, 채널당 전송속도 40 Gbps의 연구개발이 보고되고 있으며, 상용화 제품으로는 채널폭 100GHz, 채널 수 32채널, 전송속도 40Gbps급 시제품이 출시되고 있다[3]. 채널 간격은 DWDM 시스템의 파장선택 해상도에 의해 결정되는 요소로서[6], DWDM시스템에서 결정한 파장선택 해상도를 확보하기 위하여 특정한 파장의 광신호만을 투과시키거나 반사시키는 소자가 요구되는데, 이 소자가 광필터(optical filter)이다.

DWDM 시스템에 이용되는 광필터의 특성으로는 TE/TM(Transverse Electric/Transverse Magnetic)모드 편광독립, 좁은 파장 대역폭, 넓은 파장 가변성이다. 일반적으로 광섬유를 통하여 전송되는 광신호는 불규칙한 편광상태를 가지므로, DWDM시스템에 사용하기 위한 광필터는 입력광의 편광 상태에 관계없이 항상 일정한 중심파장과 대역폭을 유지하여야 하고, 이를 위해서는 편광 독립성을 가져야 한다. 또한 DWDM시스템에서 동시에 전달할 수 있는 채널의 개수는 통신용량을 결정하는 중요한 요소 중 하나이므로 일정한 파장 대역 내에서 많은 수의 채널을 유지하려면 광원 뿐 아니라 역다중화기의 파장선택 해상도도 높아야 하는데, 역다중화기의 해상도는 광필터의 파장 대역폭에 영향을 받는다. 따라서 대용량을 요구하는 DWDM시스템에서 광필터의 좁

은 파장 대역폭은 매우 중요한 요소이다[2].

따라서 본 논문에서는 광섬유/슬래브 결합기를 기본 구조로 하면서, 광섬유의 한 쪽의 클래드를 연마하여 슬래브 도파로에 올린 형태를 갖는 광섬유와 다층 슬래브 도파로로 구성되는 광섬유/다층 슬래브 결합 구조의 광필터를 제안한다.

제안한 광섬유/다층 슬래브 결합 구조를 갖는 광필터는 도파로들의 굴절률차가 큰 경우에 대해 효과적인 Marcuse와 Dinleyici에 정립된 VMM을 이용하여 경계조건을 해석하여 모드들의 확장계수를 산출하였으며, 0.1 nm의 FWHM을 갖는 광필터를 구현하기 위하여 기존의 단일 슬래브 도파로 대신에 유전체 다층 스택(Dielectric Multilayer Stack : DMS)을 제안하였다.

II. 본 론

2.1 광섬유/다층 슬래브 결합 구조 해석

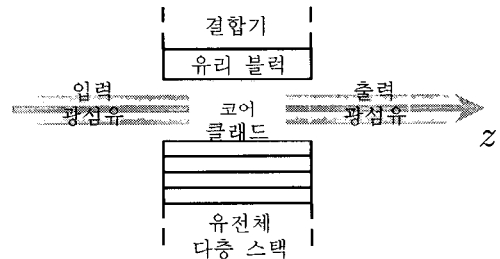


그림 1. 제안된 광필터의 구조
Fig. 1 The structure of proposed optical filter

그림 1의 구조는 광섬유 클래드의 한 면을 연마한 D모양의 광섬유와 슬래브 도파로를 결합한 형태로서 광섬유와 유전체 다층으로 구성된 결합기 구조로서 직각 좌표 (x, y) 와 극좌표 (r, ϕ) 를 그림 2와 같이 정렬함으로써 z 축은 광섬유 코어 축과 파동 전파 방향이 같으며, x 축은 DMS의 면에 수직이다.

그림 2 에서 a 는 광섬유 코어의 반경, d 는 원점과 DMS사이의 최소 거리, N 은 DMS 층의 수, s_k 은 DMS k 번째 층의 두께, l_k 은 원점과 DMS $k+1$ 번째 층사이의 거리, n_∞ 는 광섬유 코어의 굴절률이고, n_k 와 n_{N+1} 은 DMS k 번째 층의 굴절률과 반공간에서의 굴절률이다. 여기서, $k=1, \dots, N$ 이다.

불변 도파로에서 전계와 자계에 대한 파동벡터 방정식의 세로방향 성분은 일정한 영역에서 재결합되고, 전계와 자계의 세로 성분에 대한 방정식으로 식(1)과 같이 표현된다.

$$\{\nabla^2 + k^2 n^2 - \beta^2\} e_z = 0 \tag{1a}$$

$$\{\nabla^2 + k^2 n^2 - \beta^2\} h_z = 0 \tag{1b}$$

결합기의 광섬유 코어에서 식(1a)와 식(1b)의 일반적 인 해는 r 이 0에 가까워 질 때 경계를 이루는 극좌표에서 분리되는 해의 중첩으로 전계와 자계의 세로 방향 성분은 다음과 같이 표현된다[4-5].

$$e_z \left(\begin{matrix} TM \\ TE \end{matrix} \right) = \sum_{n=0}^{\infty} A_n^1 J_n(UR) \begin{cases} \cos(n\phi) \\ \sin(n\phi) \end{cases} \tag{2a}$$

$$h_z \left(\begin{matrix} TM \\ TE \end{matrix} \right) = \sum_{n=0}^{\infty} A_n^2 J_n(UR) \begin{cases} \sin(n\phi) \\ \cos(n\phi) \end{cases} \tag{2b}$$

그리고 클래드 영역의 전자계 성분들은 다음과 같은 극좌표와 직각좌표로 확장할 수 있다[4-5].

$$e_z \left(\begin{matrix} TM \\ TE \end{matrix} \right) = \sum_{n=0}^{\infty} [B_n^1 K_n(WR) + B_n^2 I_n(WR)] \begin{cases} \cos(n\phi) \\ \sin(n\phi) \end{cases} \tag{3a}$$

$$h_z \left(\begin{matrix} TM \\ TE \end{matrix} \right) = \sum_{n=0}^{\infty} [B_n^3 K_n(WR) + B_n^4 I_n(WR)] \begin{cases} \sin(n\phi) \\ \cos(n\phi) \end{cases} \tag{3b}$$

$$e_z = \int_{-\infty}^{\infty} \exp(j\nu Y) \{ P_\nu \exp[-\sigma(X-D)] + Q_\nu \exp[\sigma(X-D)] \} d\nu \tag{3c}$$

$$h_z = \int_{-\infty}^{\infty} \exp(j\nu Y) \{ R_\nu \exp[-\sigma(X-D)] + S_\nu \exp[\sigma(X-D)] \} d\nu \tag{3d}$$

여기서, $W = a \sqrt{\beta^2 - k_0^2 n_d^2}$, I_n 과 K_n 은 각각 n 차 수정된 베셀 함수 이고 $D = d/a$ 는 정규화된 분리 거리, $X = x/a$ 와 $Y = y/a$ 는 정규화된 좌표, P_ν , A_ν , R_ν , 그리고 S_ν 는 결정되는 y 방향의 전파 상수 ν 의 함수이다. 또한 정규화된 모드 파라미터는 다음을 만족한다.

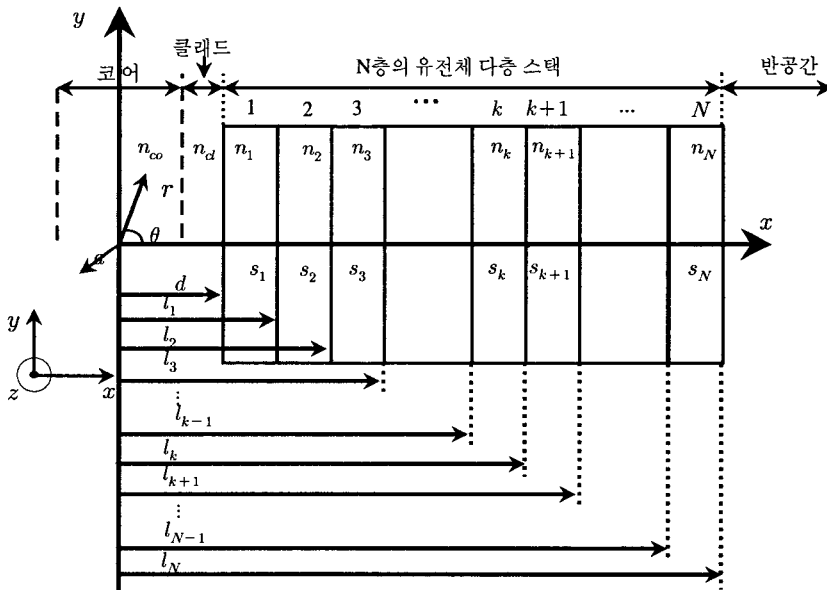


그림 2. 광섬유와 DMS로 구성된 결합기의 단면도
Fig. 2 The cross-sectional view of the coupler consisting of a fiber and a DMS

$$\sigma^2 = \nu^2 - a^2 (k_0^2 n_d^2 - \beta^2) = \nu^2 + W^2 \quad (4)$$

두 좌표계에서 계수들 사이의 TM과 TE에 대한 관계는 각각 식 (5)과 (6)과 같다[5].

$$B_n^2 = \frac{2}{e_n} \int_{-\infty}^{\infty} Q_\nu \exp(-\sigma D) \cosh(n g) d\nu \quad (5a)$$

$$B_n^4 = \frac{2j}{e_n} \int_{-\infty}^{\infty} S_\nu \exp(-\sigma D) \sinh(n g) d\nu \quad (5b)$$

$$P_\nu = \frac{\exp(-\sigma D)}{2\sigma} \sum_{n=0}^{\infty} B_n^1 \cosh(n g) \quad (5c)$$

$$R_\nu = -j \frac{\exp(-\sigma D)}{2\sigma} \sum_{n=0}^{\infty} B_n^3 \sinh(n g) \quad (5d)$$

$$B_n^2 = \frac{2j}{e_n} \int_{-\infty}^{\infty} Q_\nu \exp(-\sigma D) \sinh(n g) d\nu \quad (6a)$$

$$B_n^4 = \frac{2}{e_n} \int_{-\infty}^{\infty} S_\nu \exp(-\sigma D) \cosh(n g) d\nu \quad (6b)$$

$$P_\nu = -j \frac{\exp(-\sigma D)}{2\sigma} \sum_{n=0}^{\infty} B_n^1 \sinh(n g) \quad (6c)$$

$$R_\nu = \frac{\exp(-\sigma D)}{2\sigma} \sum_{n=0}^{\infty} B_n^3 \cosh(n g) \quad (6d)$$

여기서,

$$e_n = \begin{cases} 2, & n=0 \\ 1, & \text{그 외의 경우} \end{cases}$$

$$g = \cosh^{-1}(\sigma/W)$$

DMS의 각 층에서, 필드들은 국소적인 평면파들의 선형 중첩으로 표현될 수 있다. k 번째 층에서 필드들은 식 (7)과 같이 표현된다[5].

$$e_z(k) = \int_{-\infty}^{\infty} \exp(j\nu Y) \{ C_\nu^1(k) \exp[-\tau_k(X-L_{k-1})] + C_\nu^2(k) \exp[\tau_k(X-L_{k-1})] \} d\nu \quad (7a)$$

$$h_z(k) = \int_{-\infty}^{\infty} \exp(j\nu Y) \{ C_\nu^3(k) \exp[-\tau_k(X-L_{k-1})] + C_\nu^4(k) \exp[\tau_k(X-L_{k-1})] \} d\nu \quad (7b)$$

여기서, $\tau_k = \sqrt{\nu^2 - a^2 (k_0^2 n_k^2 - \beta^2)}$, $L_k = l_k/a$, $k = 1, 2, \dots, N$, 이고 $L_0 = D$ 는 정규화된 거리이며,

$C_\nu^1(k)$, $C_\nu^2(k)$, $C_\nu^3(k)$ 과 $C_\nu^4(k)$ 은 결정되는 DMS의 k 번째 층에서 ν 의 함수이다.

마지막으로 반공간(Half-Space: HS) 영역에서 필드는 평면파의 선형 중첩으로 표현될 수 있다[4-5].

$$e_z = \int_{-\infty}^{\infty} D_\nu^1 \exp(j\nu Y) \exp[-\gamma(X-L_N)] d\nu \quad (8a)$$

$$h_z = \int_{-\infty}^{\infty} D_\nu^2 \exp(j\nu Y) \exp[-\gamma(X-L_N)] d\nu \quad (8b)$$

여기서, $\gamma = \sqrt{\nu^2 - a^2 (k_0^2 n_{N+1}^2 - \beta^2)}$ 이고 $L_N = l_N/a$ 는 정규화된 거리이며, D_ν^1 , D_ν^2 는 결정되는 ν 의 함수이다.

또한 인접한 매질들 사이의 경계면에서 경계조건을 통해 고유치 방정식을 유도할 수 있는데, 각 경계면에서 경계조건을 만족시키기 위해서는 6개의 필드 성분 중 4개만 필요하며, 극좌표에서 e_z , h_z , e_ϕ 그리고 h_ϕ 를 선택하고 직각 좌표에서는 e_z , h_z , e_y 와 h_y 를 선택하여 경계조건을 계산할 수 있다.[4]

코어-클래드 경계면 $R = 1$ 에서, 4개의 접선 필드 성분은 연속이므로 필드의 z 성분과 필드의 ϕ 성분의 연속성은 각각 식 (9)와 식 (10)과 같이 표현된다.

$$A_n^1 J_n(U) = B_n^1 K_n(W) + B_n^2 I_n(W) \quad (9a)$$

$$A_n^2 J_n(U) = B_n^3 K_n(W) + B_n^4 I_n(W) \quad (9b)$$

$$\begin{bmatrix} B_n^1 \\ B_n^2 \\ B_n^3 \\ B_n^4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11}(n) & a_{12}(n) \\ a_{21}(n) & a_{22}(n) \\ a_{31}(n) & a_{32}(n) \\ a_{41}(n) & a_{42}(n) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_n^1 \\ A_n^2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

클래드-DMS 경계면 $X = D$ 에서 필드의 z 성분과 필드의 y 성분 연속성의 연속성은 각각 식 (11)과 식 (12)와 같이 표현된다.

$$P_\nu + Q_\nu = C_\nu^1(1) + C_\nu^2(1) \quad (11a)$$

$$R_\nu + S_\nu = C_\nu^3(1) + C_\nu^4(1) \quad (11b)$$

$$\begin{bmatrix} C_\nu^1(1) \\ C_\nu^2(1) \\ C_\nu^3(1) \\ C_\nu^4(1) \end{bmatrix} = \frac{1}{2\tau_1 Q_0^2} [T^{(0)}]_{4 \times 4} \begin{bmatrix} P_\nu \\ Q_\nu \\ R_\nu \\ S_\nu \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$[\alpha]_{2 \times 4} [e(\tau_N S_N)]_{4 \times 4} \begin{bmatrix} C_\nu^1(N) \\ C_\nu^2(N) \\ C_\nu^3(N) \\ C_\nu^4(N) \end{bmatrix} = 0 \quad (17)$$

DMS 내의 k^{th} 와 $(k+1)^{th}$ 층사이의 경계면에서 필드의 z 성분과 y 성분의 연속성은 각각 식 (13)과 식 (14)와 같다.

$$C_\nu^1(k) e^{-\tau_k S_k} + C_\nu^2(k) e^{\tau_k S_k} = C_\nu^1(k+1) + C_\nu^2(k+1) \quad (13a)$$

$$C_\nu^3(k) e^{-\tau_k S_k} + C_\nu^4(k) e^{\tau_k S_k} = C_\nu^3(k+1) + C_\nu^4(k+1) \quad (13b)$$

$$\begin{bmatrix} C_\nu^1(k+1) \\ C_\nu^2(k+1) \\ C_\nu^3(k+1) \\ C_\nu^4(k+1) \end{bmatrix} = \frac{1}{2\tau_{k+1} Q_k^2} [T^{(k)}]_{4 \times 4} \times [e(\tau_k S_k)]_{4 \times 4} \begin{bmatrix} C_\nu^1(k) \\ C_\nu^2(k) \\ C_\nu^3(k) \\ C_\nu^4(k) \end{bmatrix} \quad (14)$$

여기서, $S_k^2 = s_k/a$ ($k = 1, \dots, N$) 이다.

식 (14)에서 행렬 $[e(\tau_k S_k)]_{4 \times 4}$ 는 θ 의 함수로서 식 (15)과 같이 정의된다.

$$[e(\theta)]_{4 \times 4} = \begin{bmatrix} e^{-\theta} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e^{-\theta} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e^{-\theta} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e^{-\theta} \end{bmatrix} \quad (15)$$

DMS와 HS 경계면에서, 필드의 z 성분 연속성은 다음과 같이 표현된다.

$$C_\nu^1(N) e^{-\tau_N S_N} + C_\nu^2(N) e^{\tau_N S_N} = D_\nu^1 \quad (16a)$$

$$C_\nu^3(N) e^{-\tau_N S_N} + C_\nu^4(N) e^{\tau_N S_N} = D_\nu^2 \quad (16b)$$

필드의 y 성분 연속성은 다음 식과 같이 표현된다.

모든 경계 조건을 설정한 후, 클래드와 DMS의 경계 조건 식 (12), DMS에서의 경계조건 식 (14) 그리고 DMS와 HS의 경계조건 식 (17)에 전달 행렬 기법을 연속적으로 적용하여 최종 행렬에서 나타나는 일반항을 무시하면 다음을 만족하는 행렬 $[M]_{2 \times 4}$ 를 얻을 수 있다.

$$[M]_{2 \times 4} \begin{bmatrix} P_\nu \\ Q_\nu \\ R_\nu \\ S_\nu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} & M_{14} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} & M_{24} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_\nu \\ Q_\nu \\ R_\nu \\ S_\nu \end{bmatrix} = 0 \quad (18)$$

$$\text{여기서, } [M]_{2 \times 4} = [\alpha]_{2 \times 4} [e(\tau_N S_N)]_{4 \times 4} \times \left\{ \prod_{k=1}^{N-1} [T^{(N-k)}]_{4 \times 4} [e(\tau_{N-k} S_{N-k})]_{4 \times 4} \right\} \times [T^{(0)}]_{4 \times 4}$$

식 (18)으로부터 Q_ν 와 S_ν 는 다음과 같이 P_ν 와 R_ν 으로 표현할 수 있다.

$$Q_\nu = \widehat{A}(g) P_\nu + j \widehat{B}(g) R_\nu \quad (19a)$$

$$S_\nu = j \widehat{C}(g) P_\nu + \widehat{D}(g) R_\nu \quad (19b)$$

여기서, $\widehat{A}(g)$, $\widehat{B}(g)$, $\widehat{C}(g)$ 와 $\widehat{D}(g)$ 는 지수함수 형태를 갖는 클래드 필드들의 반사 계수이다.

경계조건은 첫 단계로 식 (10)에 의해 $\begin{bmatrix} A_n^1 \\ A_n^2 \end{bmatrix}$ 항을 이

용하여 $\begin{bmatrix} B_n^1 \\ B_n^3 \end{bmatrix}$ 을 표현한 다음 TM 경우에는 식 (5c)와

(5d), TE 경우에는 식 (6c)와 식 (6d)에 의해 $\begin{bmatrix} B_n^1 \\ B_n^3 \end{bmatrix}$ 항으로

$\begin{bmatrix} P_\nu \\ R_\nu \end{bmatrix}$ 를 표현했으며 식 (19)에 의해 $\begin{bmatrix} P_\nu \\ R_\nu \end{bmatrix}$ 항으로 $\begin{bmatrix} Q_\nu \\ S_\nu \end{bmatrix}$

를 표현했다. 마지막으로 TM 경우에는 식 (5a)와 식 (5b)

이나 TE 경우에는 식 (6a)와 (6b)에 의해 $\begin{bmatrix} Q_\nu \\ S_\nu \end{bmatrix}$ 항으로

$\begin{bmatrix} B_n^2 \\ B_n^4 \end{bmatrix}$ 을 표현함으로써 경계조건을 설정하였으며, 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$[K] \begin{bmatrix} A_n^1 \\ A_n^2 \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} K^{(1)} & K^{(2)} \\ K^{(3)} & K^{(4)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_n^1 \\ A_n^2 \end{bmatrix} = [0] \quad (20)$$

식 (20)의 동차방정식들은 [K] 행렬의 행렬식이 영과 같을 때만 특이해를 가진다.[6] 그러므로 모드들의 분산 특성은 전파상수가 변하는 상황에서만 결정된다. β 가 주어진 경우에 모드 크기는 고유치 시스템에 해를 역대입함으로써 얻어질 수 있다.

III. 시뮬레이션

본 연구에서 제안한 구조에서 대해 고찰한 이론을 바탕으로 1.55 μm 인 광에 대해 현대역 광필터를 시뮬레이션을 하였다. 여기서 광섬유의 코어 반경 $a = 4.15 \mu\text{m}$, 코어의 굴절률 $n_{\omega} = 1.449$ 그리고 $n_d = 1.444$ 에 대해 DMS의 층의 수가 5개인 경우로 최적화 하였다.

표 1. $d = 8.15 \mu\text{m}$ 에 대한 도파로의 파라미터
Table 1 The parameter of a waveguide for $d = 8.15 \mu\text{m}$

도파로 분리 거리	DMS										
	굴절률						두께 [μm]				
	n_1	n_2	n_3	n_4	n_5	n_6	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5
$d = 8.15 \mu\text{m}$	1.3	3.6	2.2	3.6	1.8	2.2	1.0	1.1	1.0	1.1	1.0

표 1의 파라미터를 이용하여 TM과 TE 모드 유효굴절률, TM 복합 모드 유효굴절률과 전력 전송 특성에 대해 시뮬레이션을 수행한 결과를 그림 3, 그림 4과 그림 5에 보였다. FWHM은 0.1 nm이고 중심파장 λ_0 는 1.5496 μm 가 됨을 그림으로부터 확인할 수 있다.

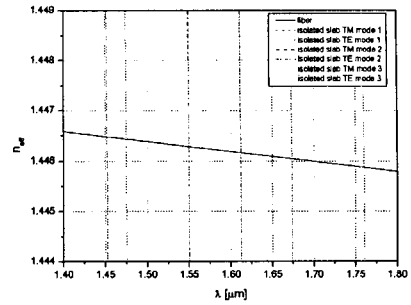


그림 3. 절연된 TM과 TE 모드의 유효굴절률 특성
Fig. 3 The effective indices characteristics of isolated TM and TE modes

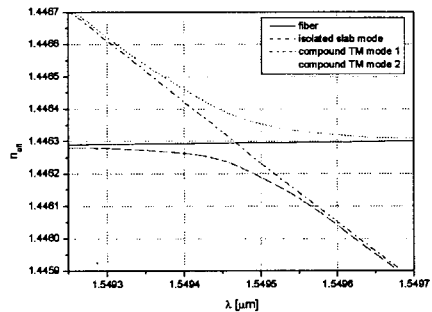


그림 4. 복합 TM 모드의 유효굴절률 특성
Fig. 4 The effective indices characteristics of compound TM modes

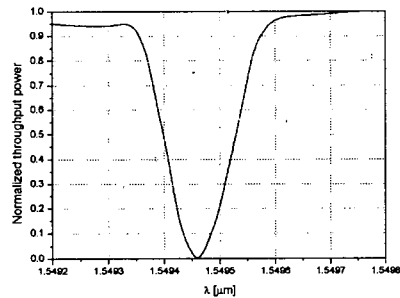


그림 5. TM 모드에 대한 결합기의 전력 전송 특성
Fig. 5 The power transmission characteristics of the coupler for TM mode

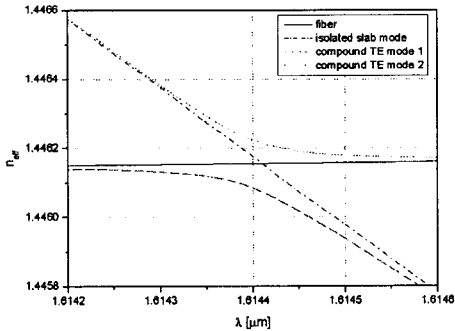


그림 6. 복합 TE 모드의 유효굴절률 특성
Fig. 6 The effective indices characteristics of compound TE modes

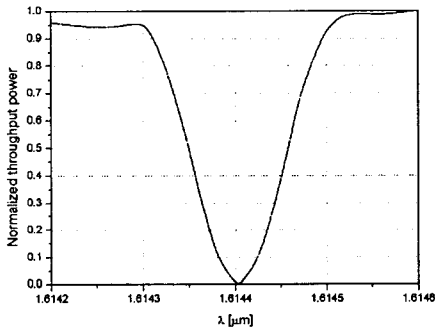


그림 7. TE 모드에 대한 결합기의 전력 전송 특성
Fig. 7 The power transmission characteristics of the coupler for TE mode

그림 6과 7은 TE 복합 모드 유효굴절률과 전력 전송 특성을 나타낸 것이다. 그림으로부터 FWHM은 0.1 nm 이고 중심파장 λ_0 는 1.6144 μm 가 됨을 확인 할 수 있으며, 두 직교 편광에 대해 동일한 FWHM인 편광에 대해 대략 65 nm의 편광 독립 특성이 있음을 확인 할 수 있다.

제안된 광필터에 대해 시뮬레이션 결과 그림 6과 그림 7에 보이는 결과와 같이 DWDM 구현에 요구되는 0.1 nm의 FWHM와 65 nm의 편광 독립성을 갖는 광필터 특성을 확인 하였다.

IV. 결론

본 논문에서는 DWDM시스템에 이용되는 광필터는 30 nm 이상의 TE/TM 편광 독립성, 0.8 nm에서 0.1 nm까지의 좁은 파장 대역폭, 50 nm의 넓은 파장 가변성 기능

을 갖는 광필터로서 일반적인 방향성 결합기 필터와 유전체 박막 필터의 단점을 보완한 광섬유의 한쪽 클래드를 연마하여 다층으로 구성된 슬래브 도파로에 올린 광섬유/다층 슬래브 결합구조를 갖는 광필터를 제안하였다.

제안된 구조 해석에는 도파로들의 굴절률차가 큰 경우에 효과적인 Macurse와 Dinleyici에 의해 정립된 벡터 모드방법을 이용하여 DMS의 영역에서 확장계수를 산출하였고 임피던스정합법을 이용하여 유효굴절률의 분포를 각각 계산하였다.

이와 같은 구조 해석의 결과를 이용하여 시뮬레이션한 결과 협대역 필터 설계시 광섬유의 유효굴절률은 공진점에서 거의 일정하며 DMS의 모드 특성이 FWHM에 영향을 미치는 것을 확인하였으며 결합기의 편광특성은 1.55 μm 의 통신창에서 광섬유와 슬래브의 분리간격이 4.15 μm 일 때 편광 독립성은 65 nm로서 TM 모드와 TE 모드에 대해 중심파장이 각각 $\lambda_0 = 1.54946 \mu\text{m}$ 와 $\lambda_0 = 1.6144 \mu\text{m}$ 일 때 0.1 nm의 FWHM을 얻을 수 있음을 그림 6과 그림 7에서 각각 확인하였다.

향후 연구되어야 할 과제는 본 논문에서 제안한 광섬유/다층 슬래브 결합구조를 갖는 광필터를 실제 제작하는 방법을 확립하고 제작된 이 광필터의 특성을 본 논문에서 시뮬레이션한 다양한 결과와 비교하는 것이다. 그리고 더 나아가 제안한 광필터를 광검출기기 포함된 신호 처리부와 함께 한 기판에 제작하는 방안에 대해 연구되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] C. Siva Ram Murthy, *WDM Optical Networks*, PH PTR, 2002
- [2] U. Black, *Optical Network Third Generation Transport Systems*, PH PTR, 2002
- [3] M. Suzuki and T. Otani, "High speed (40-160Gbit/s) WDM Transmission in Terrestrial Network," *OFC 2003, Technical Digest*, vol. 2, 2003
- [4] F. Ladouceur, J. Love, and D. Marcuse, "Vector modes of D-shaped fibres," *IEE Proceedings J.* vol. 139, pp. 117-126, Apr. 1992
- [5] M. S. Dinleyici, and D. B. Patterson, "Vector modal

solution of evanescent coupler," *IEEE J. Lightwave Tec.* vol. 15, pp. 944-945, Dec. 1997

[6] M. I. Oksanen, and I. V. Lindell, "Variational analysis of anisotropic graded-index optical fibers," *IEEE J. Lightwave Tec.* vol. 7, pp. 87-91, Jan. 1989

[7] D. Pechstedt, and P. St. J. Russell, "Narrow-band in-line fiber filter using surface-guided Bloch modes supported by dielectric multilayer stacks," *IEEE J. Lightwave Tec.* vol. 14, pp. 1541-1545, Jun 1996

저자소개



정 찬 권(Chan-Gwoun Jeong)

원광대학교 전기전자 및 정보공학부
강의전담교수

※ 관심분야: 반도체 및 통신 소자, 광통신 및 광전소자



나 유 찬(Yoo-Chan Ra)

2002년 원광대학교 전자공학과
공학박사

1995년~1998년 한국전파연구소

1998년~현재 남서울대학교
정보통신공학과

※ 관심분야: 무선통신 시스템, 아날로그 회로설계