

다층 슬랩-광섬유접속구조를 갖는 광필터의 설계

정찬권^{1*}, 김선엽², 강영진¹

Design of Optical Filter with Multilayer Slab/Fiber Structure

Chan-Gwoun Jeung^{1*}, Sun-Youb Kim² and Young-Jin Kang^{1*}

요약 최근 전기통신통신망의 용량은 인터넷, 음성패킷, Audio/Video 스트리밍의 멀티미디어 서비스 수요로 인한 정보통신 용량의 증가에 비례하여 급속히 증가하고 있다. 그 결과 DWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing) 기법이 초고속 광통신망에서 추가적인 광섬유망과 고속장비 없이 용량을 증가시키는 해결 방법으로 행하여지고 광학적인 방법이 가능하다는 것이 판명되었다. 따라서, 본 논문에서는 이러한 기능을 갖는 광필터를 설계하기 위하여 광섬유 한쪽의 클래드를 연마하여 다층 슬래브 도파로에 결합시킨 형태의 광섬유/다층 슬래브 결합구조의 광필터를 제안하였다. 광섬유와 슬래브의 분리간격이 3 μm 일 때 제안된 광필터는 1.3 μm 의 통신창에서 편광 독립성은 32nm로서 TM 모드와 TE 모드에 대해 중심파장이 각각 $\lambda_0 = 1.274755\mu\text{m}$ 와 $\lambda_0 = 1.30591\mu\text{m}$ 일 때 0.1 nm의 FWHM(Full Width at Half Maximun) 특성을 가진다.

Abstract The recent, a large capacity of telecommunication networks 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 internet, Video of internet protocol(VoIP), Audio/Video streaming. As a result, DWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing)technologies are emerging to be a prevailing 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. When a separation distance of fiber and slab was 3 μm , The optical filter proposed as the simulation result was satisfied with a DWDM filter characteristic with FWHM of 0.1nm on TM mode and TE mode as 32nm polarization independence in a communication window of 1.3 μm when center wavelength was each $\lambda_0 = 1.274755\mu\text{m}$ and $\lambda_0 = 1.30591\mu\text{m}$.

Key words : DWDM, slab, FWHM, filter

1. 서론

광통신기술은 1990년대 초까지는 전송용량의 증대를 위해 변조속도의 증가와 다채널 전송을 위해 동기식 광통신망(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 서로 다른 광 신호들 사이의 간섭에 의한 왜곡 현상 없이 여러 파장으로 구성되는 대량의 신호를 전송할 수 있는 파장분할 다중화(Wavelength Division Multiplexing : WDM)이 초고속 광통신 시스템에 적합한 기술로 주목 받고 있다[1,2].

또한 파장분할 다중화시스템의 발전의 발전에 맞춰 국제연합통신(ITU)에서 통신용량 증가 추세에 따라 최근에 통신 밴드 확장과 더불어 파장다중화의 고밀도화에 대한 논의가 활발히 이루어지고 있으며, C-band(1530nm~

이 논문은 2007년 원광대학교 교내연구비의 지원에 의하여 연구되었음

¹원광대학교 전자공학과

²남서울대학교 정보통신공학과

*교신저자: 김선엽(sykim0599@nsu.ac.kr)

1562nm) 및 L-band(1570nm~1605nm)에서 WDM 시스템의 채널 간격을 100GHz(0.8nm)에서 12.5GHz(0.1nm)로 권고하고 있다. 이러한 고밀도 파장분할 다중화(Dense Wavelength Division Multiplexing : DWDM)기술은 채널 폭 면에서는 50GHz이하, 채널수는 128채널 이상, 채널당 전송속도 40Gbps의 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[4], DWDM시스템에서 결정한 파장선택 해상도를 확보하기 위하여 특정한 파장의 광신호만을 투과 시키거나 반사시키는 소자가 요구되는데, 이 소자가 광필터(optical filter)이다. 파장분할 다중화시스템에 이용되는 광필터는 TE/TM(Transverse Electric/Transverse Magnetic) 편광 독립성, 좁은 파장 대역폭, 넓은 파장 가변성, 그리고 낮은 삽입손실 등의 특성 갖는다. 일반적으로 광섬유를 통하여 전송되는 광신호는 불규칙한 편광상태를 가지는데, 고밀도 파장분할 다중화시스템에 사용하기 위한 광필터는 입력광의 편광 상태에 관계없이 항상 일정한 중심파장과 대역폭을 유지하여야 하고, 이를 위해서는 편광 독립성을 가져야 한다.

광섬유 증폭기(Erbium Doped Fiber Amplifier : EDFA) [6]이 영역인 C-band 범위 내에 존재하는 광신호를 구별할 수 있어야 하므로 광필터의 중심 파장은 이러한 파장 대역 내에서 자유롭게 움직일 수 있는 파장 가변성을 가져야 한다. 그리고 파장 분할 다중화시스템에서 동시에

전달할 수 있는 채널의 개수는 통신용량을 결정하는 중

요한 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 미래의 통신시스템에서 광필터의 좁은 파장 대역폭은 매우 중요한 요소이다.[2]

따라서 본 논문에서 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 광필터는 도파로의 벡터 모드를 해석하는데 보다 효율적인 VME를 사용하여 필터의 TM과 TE 편광 상태를 계산하였으며, 필터 응답의 기술기와 함께 유효 굴절률 분포를 굴절률이 서로 다른 유전체 필름 층인 유전체 다층 스택(Dielectric Multilayer Stack : DMS)에서의 전파상수를 이용하여 DWDM에서 요구되는 광필터를 제안 해석하였다.

2. 본론

2.1 광섬유/다층 슬래브 결합 구조 해석

그림 1의 구조는 광섬유 클래드의 한 면을 연마한 D모양의 광섬유와 슬래브 도파로를 결합한 형태로서 광섬

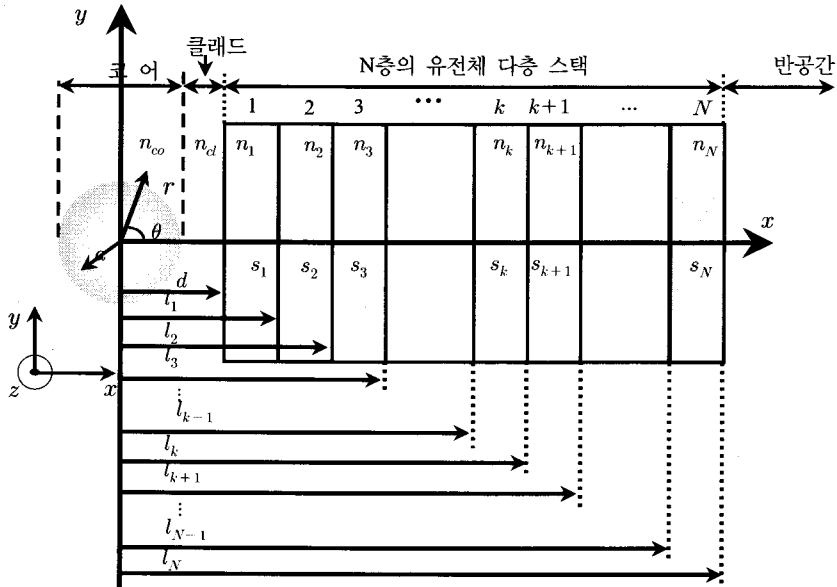


그림 1. 광섬유와 DMS로 구성된 결합기의 단면도

유와 유전체 다층으로 구성된 결합기 구조로서 z 축은 광섬유 코어 축과 파동 전파 방향이 같으며, x 축은 DMS의 면에 수직이다.

그림 1에서 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_{co} 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 파동벡터 방정식의 세로방향 성분은 일정한 영역에서 재결합되고, r 이 0에 가까워 질 때 경계를 이루는 극좌표에서 분리되는 해의 중첩으로 전계와 자계의 세로 방향 성분과 클래드 영역의 전자계성분들은 각각 식 (1)과 식 (2)와 같이 표현된다[4-5].

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

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

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

$$h_z \left(\begin{matrix} TM \\ TE \end{matrix} \right) = \sum_{n=0}^{\infty} [B_n^3 K_n(WR) + B_n^4 I_n(WR)] \begin{cases} \sin(n\phi) \\ \cos(n\phi) \end{cases} \quad (2b)$$

$$e_z = \int_{-\infty}^{\infty} \exp(j\nu Y) \{ P_\nu \exp[-\sigma(X-D)] + Q_\nu \exp[\sigma(X-D)] \} d\nu \quad (2c)$$

$$h_z = \int_{-\infty}^{\infty} \exp(j\nu Y) \{ R_\nu \exp[-\sigma(X-D)] + S_\nu \exp[\sigma(X-D)] \} d\nu \quad (2d)$$

여기서, $U = a \sqrt{k_0^2 n_{co}^2 - \beta^2}$, $R = r/a$ 는 정규화된 반경, A_n^1 과 A_n^2 는 결정되어지는 모드크기, $W = a \sqrt{\beta^2 - k_0^2 n_d^2}$ 이고, J_n 은 n 차 Bessel 함수, 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 정

규화된 모드 파라미터는 다음을 만족한다.

$$\sigma^2 = \nu^2 - a^2 (k_0^2 n_d^2 - \beta^2) = \nu^2 + W^2 \quad (3)$$

DMS의 각 층에서, 필드들은 국소적인 평면파들의 선형 중첩으로 표현될 수 있다. k 번째 층에서 필드들은 식 (4)과 같이 표현된다[5].

$$e_z(k) = \int_{-\infty}^{\infty} \exp(j\nu Y) \{ C_\nu^1(k) \exp[-\tau_k(X-L_{k-1})] + C_\nu^2(k) \exp[\tau_k(X-L_{k-1})] \} d\nu \quad (4a)$$

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

여기서,

$$\tau_k = \sqrt{\nu^2 - a^2 (k_0^2 n_k^2 - \beta^2)}, \quad L_k = l_k/a,$$

$k = 1, 2, \dots, N$, 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].

$$e_z = \int_{-\infty}^{\infty} D_\nu^1 \exp(j\nu Y) \exp[-\gamma(X-L_N)] d\nu \quad (5a)$$

$$h_z = \int_{-\infty}^{\infty} D_\nu^2 \exp(j\nu Y) \exp[-\gamma(X-L_N)] d\nu \quad (5b)$$

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 (6)와 식 (7)과 같이 표현된다.

$$A_n^1 J_n(U) = B_n^1 K_n(W) + B_n^2 I_n(W) \quad (6a)$$

$$A_n^2 J_n (U) = B_n^3 K_n (W) + B_n^4 L_n (W) \quad (6b)$$

$$\begin{bmatrix} B_n^1 \\ B_n^2 \\ B_n^3 \\ B_n^4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11}(n) & a_{12}(n) \\ a_{21}(n) & a_{22}(n) \\ a_{31}(n) & a_{32}(n) \\ a_{41}(n) & a_{42}(n) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_n^1 \\ A_n^2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

클래드-DMS 경계면 $X = D$ 에서 필드의 z 성분과 필드의 y 성분 연속성의 연속성은 각각 식 (8)과 식 (9)와 같이 표현된다.

$$P_\nu + Q_\nu = C_\nu^1(1) + C_\nu^2(1) \quad (8a)$$

$$R_\nu + S_\nu = C_\nu^3(1) + C_\nu^4(1) \quad (8b)$$

$$\begin{bmatrix} C_\nu^1(1) \\ C_\nu^2(1) \\ C_\nu^3(1) \\ C_\nu^4(1) \end{bmatrix} = \frac{1}{2\tau_1 Q_0^2} [T^{(0)}]_{4 \times 4} \begin{bmatrix} P_\nu \\ Q_\nu \\ R_\nu \\ S_\nu \end{bmatrix} \quad (9)$$

DMS 내의 k^{th} 와 $(k+1)^{th}$ 층 사이의 경계면에서 필드의 z 성분과 y 성분의 연속성은 각각 식 (10)과 식 (11)와 과 같다.

$$\begin{aligned} C_\nu^1(k) e^{-\tau_k S_k} + C_\nu^2(k) e^{\tau_k S_k} \\ = C_\nu^1(k+1) + C_\nu^2(k+1) \end{aligned} \quad (10a)$$

$$\begin{aligned} C_\nu^3(k) e^{-\tau_k S_k} + C_\nu^4(k) e^{\tau_k S_k} \\ = C_\nu^3(k+1) + C_\nu^4(k+1) \end{aligned} \quad (10b)$$

$$\begin{bmatrix} C_\nu^1(k+1) \\ C_\nu^2(k+1) \\ C_\nu^3(k+1) \\ C_\nu^4(k+1) \end{bmatrix} = \frac{1}{2\tau_{k+1} Q_k^2} [T^{(k)}]_{4 \times 4} \begin{bmatrix} C_\nu^1(k) \\ C_\nu^2(k) \\ C_\nu^3(k) \\ C_\nu^4(k) \end{bmatrix} \times e^{(\tau_k S_k)} \quad (11)$$

여기서, $S_k^2 = s_k/a$ ($k = 1, \dots, N$) 이다. 식 (11)에서 행렬 $[e^{(\tau_k S_k)}]_{4 \times 4}$ 는 θ 의 함수로서 식 (12)과 같이 정의된다.

$$[e^{(\theta)}]_{4 \times 4} = \begin{bmatrix} e^{-\theta} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e^{-\theta} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e^{-\theta} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e^{-\theta} \end{bmatrix} \quad (12)$$

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

$$C_\nu^1(N) e^{-\tau_N S_N} + C_\nu^2(N) e^{\tau_N S_N} = D_\nu^1 \quad (13a)$$

$$C_\nu^3(N) e^{-\tau_N S_N} + C_\nu^4(N) e^{\tau_N S_N} = D_\nu^2 \quad (13b)$$

필드의 y 성분 연속성은 다음 식과 같이 표현된다.

$$[\alpha]_{2 \times 4} [e^{(\tau_N S_N)}]_{4 \times 4} \begin{bmatrix} C_\nu^1(N) \\ C_\nu^2(N) \\ C_\nu^3(N) \\ C_\nu^4(N) \end{bmatrix} = 0 \quad (14)$$

모든 경계 조건을 설정한 후, 클래드와 DMS의 경계조건 식 (9), DMS에서의 경계조건 식 (11) 그리고 DMS와 HS의 경계조건 식 (14)에 전달 행렬 기법을 연속적으로 적용하여 최종 행렬에서 나타나는 일반항을 무시하면 다음을 만족하는 행렬 $[M]_{2 \times 4}$ 를 얻을 수 있다.

$$[M]_{2 \times 4} \begin{bmatrix} P_\nu \\ Q_\nu \\ R_\nu \\ S_\nu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} & M_{14} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} & M_{24} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_\nu \\ Q_\nu \\ R_\nu \\ S_\nu \end{bmatrix} = 0 \quad (15)$$

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

$$Q_\nu = \widehat{A}(g) P_\nu + j \widehat{B}(g) R_\nu \quad (16a)$$

$$S_\nu = j \widehat{C}(g) P_\nu + \widehat{D}(g) R_\nu \quad (16b)$$

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

경계조건은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$[K] \begin{bmatrix} A_n^1 \\ A_n^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K^{(1)} & K^{(2)} \\ K^{(3)} & K^{(4)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_n^1 \\ A_n^2 \end{bmatrix} = [0] \quad (17)$$

식 (17)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 역 대입함으로써 얻어질 수 있다.

3. 제안된 구조를 가지는 광필터의 컴퓨터 시뮬레이션

본 연구에서 제안한 구조에서 대해 고찰한 이론을 바탕으로 1.3 μm 인 광에 대해 협대역 광필터를 시뮬레이션을 하였다. 여기서 시뮬레이션은 쉽게 이용할 수 있는 오일 굴절률 1.4에서 1.6까지와 유리의 굴절률 1.4에서 1.8, lithium niobate의 굴절률 2.2와 3.3에서 3.6까지의 반도체의 매질에 의해 수행 하였으며. 광섬유의 코어 반경 $a = 4.15 \mu\text{m}$, 코어의 굴절률 $n_{co} = 1.449$ 그리고 $n_{cl} = 1.444$ 에 대해 DMS의 층의 수가 5개인 경우로 최적화 하였다.

TM과 TE 모드 유효굴절률, TM 복합 모드 유효굴절률과 전력 전송 특성에 대해 시뮬레이션을 수행한 결과를 그림 2에서부터 그림 6까지 보였다. FWHM은 0.1nm 이고 중심파장 λ_0 는 1.3279 μm 가 됨을 그림으로부터 확인할 수 있다.

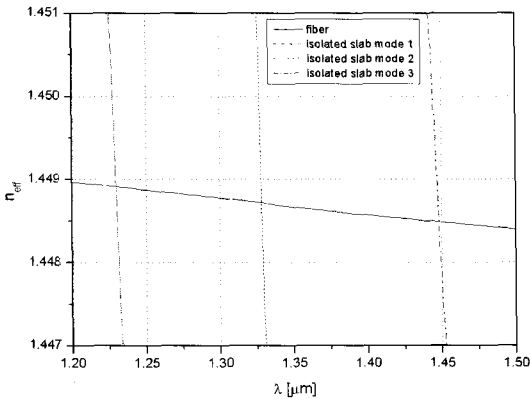


그림 2. 절연된 TM과 TE 모드의 유효굴절률 특성

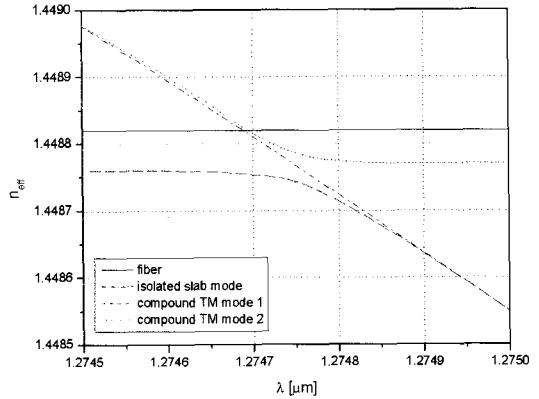


그림 3. 복합 TM 모드의 유효굴절률 특성

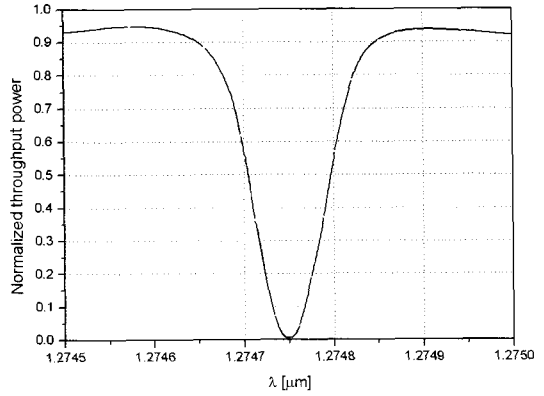


그림 4. TM 모드에 대한 결합기의 전력 전송 특성

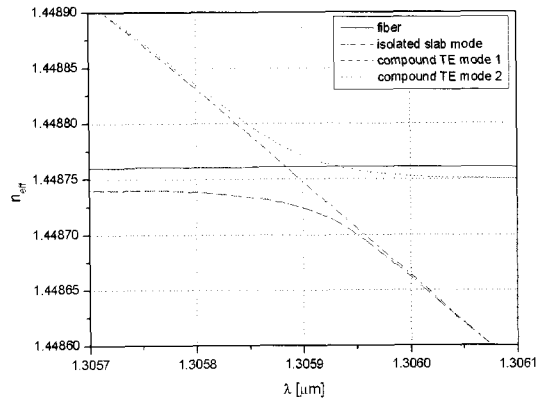


그림 5. 복합 TE 모드의 유효굴절률 특성

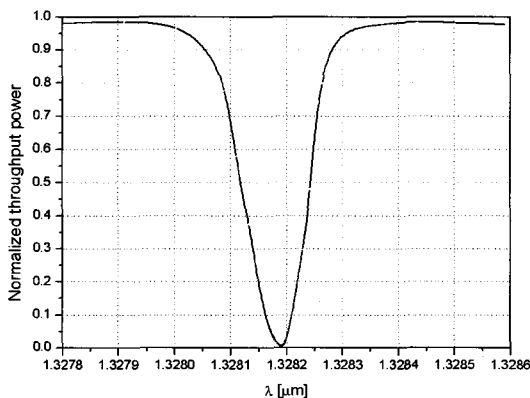


그림 6. TE 모드에 대한 결합기의 전력 전송 특성

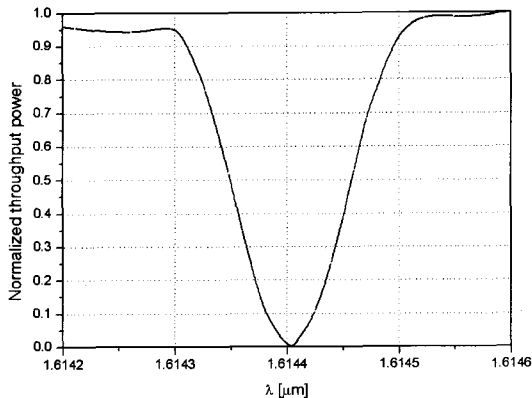


그림 9. TE 모드에 대한 결합기의 전력 전송 특성

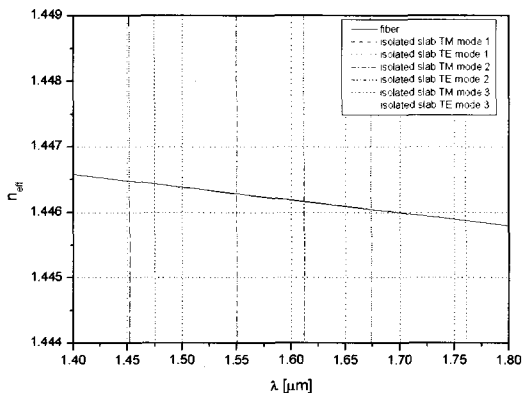


그림 7. 절연된 TM과 TE 모드의 유효굴절률 특성

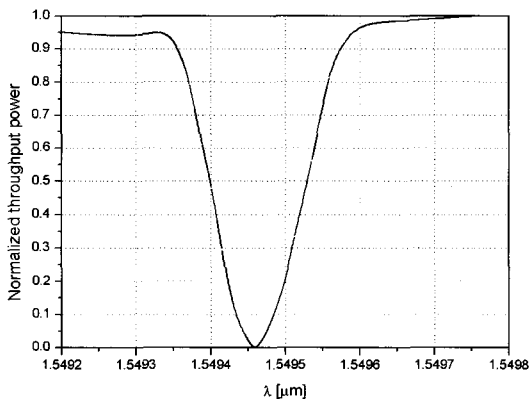


그림 8. TM 모드에 대한 결합기의 전력 전송 특성

그림 7은 TM과 TE 모드의 유효 굴절률 특성을 나타내고, 그림 8과 9는 전력 전송 특성을 나타낸 것이다. 그림으로부터 FWHM은 0.1nm이고 두 직교 편광에 대해 동일한 FWHM인 편광에 대해 대략 65nm의 편광 독립 특성이 있음을 확인 할 수 있다.

제안된 광필터에 대해 시뮬레이션 결과와 같이 DWDM 구현에 요구되는 0.1nm의 FWHM를 갖는 광필터 특성을 확인 하였다.

V. 결론

본 논문에서는 DWDM시스템에 이용되는 광필터는 32nm 이상의 TE/TM 편광 독립성, 0.8nm에서 0.1nm까지의 좁은 파장 대역폭을 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 벡터모드방법을 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 1.3 μm의 통신장에서 광섬유와 슬래브의 분리간격이 3μm일 때 편광 독립성은 32nm로서 TM 모드와 TE 모드에 대해 중심파장이 각각 $\lambda_0 = 1.27475\mu\text{m}$ 와 $\lambda_0 = 1.30591\mu\text{m}$

일 때 0.1nm의 FWHM을 얻을 수 있음을 그림 4와 그림 5에서 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 광 검출기기 포함된 신호 처리부와 함께 한 기관에 제작하는 방안에 대해 연구되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] P. Tomsu, C. Schmutzer, *Next Generation 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] C. K. Madsen, J. H. Zhao, *Optical Filter Design and Analysis*, John Wiley & Sons, 1999
- 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 Technol.* vol. 15, pp. 944-945, Dec. 1997
- [6] W. P. Yuen, "A simple numerical analysis of planar optical waveguides using wave impedance transformation," *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 5, pp. 931-933, Aug. 1993
- [7] S. W. Corzine, R. H. Yan, and L. A. Coldren, "A tanh substitution technique for the analysis of abrupt and graded interface multilayer dielectric stacks," *IEEE J. Quantum Electron.* vol. 27, pp. 2086-2090, Sep. 1991

정 찬 권(Chan-Gwoun Jeoung)

[정회원]



- 1996년 2월 : 원광대학교 전자공학과(공학사)
- 1998년 2월 : 원광대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 2005년 8월 : 원광대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
- 2006년 5월 ~ 현재 : (주) 에니원 책임연구원

<관심분야>

초고주파 통신용 회로, 광통신 응용, 이동통신 시스템

김 선 엽(Sun-Youb Kim)

[정회원]



- 1993년 2월 : 원광대학교 전자공학과(공학사)
- 1995년 2월 : 원광대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 2001년 2월 : 원광대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
- 2006년 9월 ~ 현재 : 남서울대학교 정보통신공학과 전임강사

<관심분야>

초고주파 통신용 회로, 광통신응용, 이동통신시스템

강 영 진(Young-Jin Kang)

[정회원]



- 1992년 2월 : 건국대학교 전자공학과 (공학박사)
- 현 재 : 원광대학교 전기전자및정보공학부 교수

<관심분야>

광소자, 광필터