

# 다층구조를 갖는 DWDM용 광필터의 설계

정찬권\*, 김선엽\*, 박형근\*\*, 나유찬\*

\*\*남서울대학교 정보통신공학과

\*\*\* 남서울대학교 전자공학과

e-mail:sykim0599@nsu.ac.kr

## Design of Optical Filter with Multilayer Structure filter for DWDM

Chan-Gwoun Jeoung\*, Sun-Youb Kim\*, Hyung-Keun Park\*\*,  
Yoo-Chan Ra\*

\*Dept of Information Communication Eng, Namseoul University

\*\*Dept of Electronic Eng, Namseoul University

### 요 약

본 논문에서는 DWDM용 광필터를 설계하기 위하여 광섬유 다층 슬래브 도파로에 결합시킨 형태의 광섬유/다층 슬래브 결합구조의 광필터를 제안하였다. 광섬유와 슬래브의 분리간격이 3 $\mu$ m일 때 제안된 광필터는 1.3 $\mu$ m의 통신장에서 편광 독립성은 32nm로서 TM 모드와 TE 모드에 대해 중심파장이 각각  $\lambda_0 = 1.274755\mu$ m 와  $\lambda_0 = 1.30591\mu$ m 일 때 0.1 nm의 FWHM(Full Width at Half Maximun) 특성을 가진다.

### 1. 서론

최근 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~1562nm) 및 L-band(1570nm~1605nm)에서 WDM 시스템의 채널 간격을 100GHz (0.8nm)에서 12.5GHz(0.1nm)로 권고하고 있다. 이에 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 광필터는 도파로의 벡터 모드를 해석하는데 보다 효율적인 VME를 사용하여 필터의 TM과 TE 편광 상태를 계산하였으며, 필터 응답의 기울기와 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. 제안된 광필터의 해석

그림 1의 구조는 광섬유 클래드의 한 면을 연마한 D 모양의 광섬유와 슬래브 도파로를 결합한 형태로서 광섬유와 유전체 다층으로 구성된 결합기 구조로서 z 축은 광섬유 코어 축과 파동 전파 방향이 같으며, x 축은 DMS의 면에 수직이다.

위의 구조에서 인접한 매질들 사이의 경계면에서 경계조건을 통해 고유치 방정식을 유도할 수 있는데, 각 경계면에서 경계조건을 만족시키기 위해서는 6개의 필드 성분 중 4개만 필요하며, 극좌표에서  $e_z, h_z, e_\phi$  그리고  $h_\phi$ 를 선택하고 직각 좌표에서는  $e_x, h_x, e_y$  와  $h_y$ 를 선택하여 경계조건을 계산할 수 있다.[4]

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

$$A_n^2 J_n(U) = B_n^3 K_n(W) + B_n^4 I_n(W) \quad (1b)$$

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

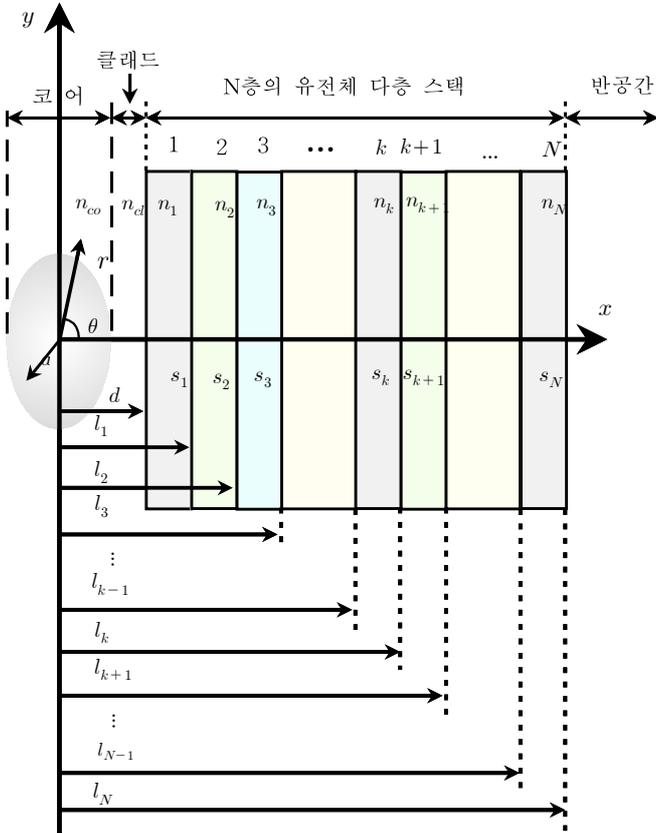


그림 1. 제안된 광필터의 개략도

클래드-DMS 경계면  $X = D$ 에서 필드의  $z$  성분과 필드의  $y$  성분 연속성의 연속성은 각각 식 (3)과 식 (4)와 같이 표현된다.

DMS 내의  $k^{th}$  와  $(k+1)^{th}$  층 사이의 경계면에서 필드의  $z$  성분과  $y$  성분의 연속성은 각각 식 (5)과 식 (6)와 같다.

$$P_\nu + Q_\nu = C_\nu^1(1) + C_\nu^2(1) \quad (3a)$$

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

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

$$C_\nu^1(k) e^{-\tau_k S_k} + C_\nu^2(k) e^{\tau_k S_k} = C_\nu^1(k+1) + C_\nu^2(k+1) \quad (5a)$$

$$C_\nu^3(k) e^{-\tau_k S_k} + C_\nu^4(k) e^{\tau_k S_k} = C_\nu^3(k+1) + C_\nu^4(k+1) \quad (6b)$$

$$\begin{bmatrix} C_\nu^1(k+1) \\ C_\nu^2(k+1) \\ C_\nu^3(k+1) \\ C_\nu^4(k+1) \end{bmatrix} = \frac{1}{2\tau_{k+1} Q_k^2} [T^{(k)}]_{4 \times 4} \begin{bmatrix} C_\nu^1(k) \\ C_\nu^2(k) \\ C_\nu^3(k) \\ C_\nu^4(k) \end{bmatrix} \times e(\tau_k S_k)_{4 \times 4} \quad (7)$$

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

식 (7)에서 행렬  $[e(\tau_k S_k)]_{4 \times 4}$ 는  $\theta$ 의 함수로서 식 (8)과 같이 정의된다.

$$[e(\theta)]_{4 \times 4} = \begin{bmatrix} e^{-\theta} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e^{-\theta} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e^{-\theta} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e^{-\theta} \end{bmatrix} \quad (8)$$

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

$$C_\nu^1(N) e^{-\tau_N S_N} + C_\nu^2(N) e^{\tau_N S_N} = D_\nu^1 \quad (9a)$$

$$C_\nu^3(N) e^{-\tau_N S_N} + C_\nu^4(N) e^{\tau_N S_N} = D_\nu^2 \quad (9b)$$

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

식 (10)으로부터  $Q_\nu$ 와  $S_\nu$ 는 다음과 같이  $P_\nu$ 와  $R_\nu$ 으로 표현할 수 있다.

$$[M]_{2 \times 4} \begin{bmatrix} P_\nu \\ Q_\nu \\ R_\nu \\ S_\nu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} & M_{14} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} & M_{24} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_\nu \\ Q_\nu \\ R_\nu \\ S_\nu \end{bmatrix} = 0 \quad (10)$$

여기서,

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

$$Q_\nu = \hat{A}(g) P_\nu + j \hat{B}(g) R_\nu \quad (11a)$$

$$S_\nu = j \hat{C}(g) P_\nu + \hat{D}(g) R_\nu \quad (11b)$$

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

경계조건은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$[K] \begin{bmatrix} A_n^1 \\ A_n^2 \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} K^{(1)} & K^{(2)} \\ K^{(3)} & K^{(4)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_n^1 \\ A_n^2 \end{bmatrix} = [0] \quad (12)$$

모드들의 분산특성은 전파상수가 변하는 상황에서만 결정되므로  $\beta$ 가 주어진 경우에 모드 크기는 고유치 시스템에 해를 역 대입함으로서 얻어질 수 있다.

### 3. 제안된 광필터의 시뮬레이션

본 논문에서 제안한 구조에서 대해 고찰한 이론을 바탕으로  $1.3\mu\text{m}$ 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.

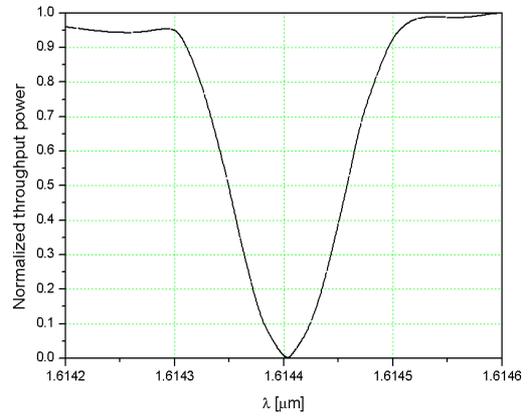


그림 5. TE 모드에 대한 결합기의 전력 전송 특성

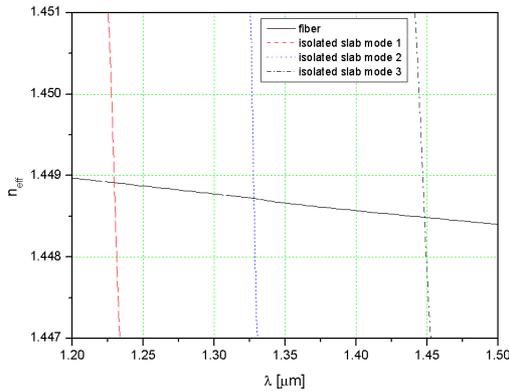


그림 2. 절연된 TM과 TE 모드의 유효굴절률 특성

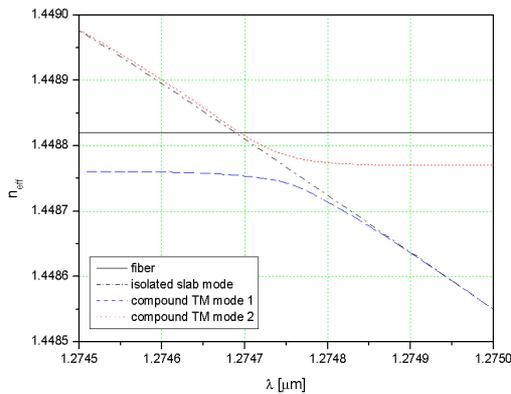


그림 3. 복합 TM 모드의 유효굴절률 특성

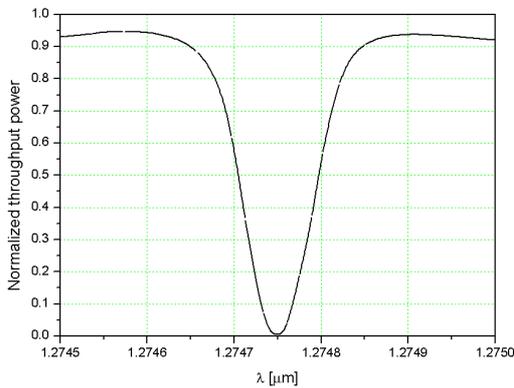


그림 4. TM 모드에 대한 결합기의 전력 전송 특성

### 4. 결 론

시뮬레이션한 결과 협대역 필터 설계시 광섬유의 유효 굴절률은 공진점에서 거의 일정하며 DMS의 모드 특성이 FWHM에 영향을 미치는 것을 확인하였으며 결합기의 편광특성은  $1.3\mu\text{m}$ 의 통신창에서 광섬유와 슬래브의 분리간격이  $3\mu\text{m}$ 일 때 편광 독립성은  $32\text{nm}$ 로서 TM 모드와 TE 모드에 대해 중심파장이 각각  $\lambda_0 = 1.27475\mu\text{m}$ 와  $\lambda_0 = 1.30591\mu\text{m}$ 일 때  $0.1\text{nm}$ 의 FWHM을 얻을 수 있음을 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] M. Suzuki and T. Otani, "High Speed(40-160Gbit/s) WDM Transmission in Terrestrial Network," *OFC 2003, Technical Digest*, vol. 2, 2003
- [2] 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
- [3] M. S. Dinleyici, and D. B. Patterson, "Vector modal solution of evanescent coupler," *IEEE J. Lightwave Technol.* vol. 15, pp. 944-945, Dec. 1997
- [4] 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