

유한차분 시간영역(FDTD) 알고리즘을 이용한 마이크로링 채널 Dropping 필터 해석에 관한 연구

김권희, 정영철  
광운대학교 전자통신공학과

A Study on Analysis of Microring Channel Dropping Filter by using FDTD

Kwonhoe. Kim, Youngchul. Chung  
Department of Electronic Communication Engineering, Kwangwoon University

**Abstract** - In this paper, channel dropping filters made of microring structure are analyzed by using a finite difference time domain(FDTD) method with Berenger's perfectly matched layer(PML) absorbing boundary condition.

1. 서 론

최근에 부각되고 있는 WDM 광통신 시스템을 구성하는 핵심소자 중의 하나인 Add/Drop 필터는 여러 파장 성분이 포함된 입력 신호로부터 특정 파장 성분만을 첨가(add)시키거나, 드롭(drop)시키는 역할을 하는 소자이다. 이와 같은 기능을 하는 Add/Drop 필터는 다양한 방법으로 구현될 수 있지만 최근에는 소형제작이 가능한 마이크로링형 Add/Drop 필터에 대한 설계 및 구현 연구가 많이 진행되고 있다. 본 논문에서는 FDTD 알고리즘을 이용하여 해석 및 설계를 할 수 있는 프로그램을 작성하여 마이크로링형 add/drop 필터의 특성을 확인하고 효율성을 살펴보았다.

2. 본 론

2.1 마이크로 링 구조의 채널 dropping 필터

본 논문에서 해석한 마이크로 링 구조의 Dropping 필터는 입력신호에서 특정 파장만을 다른 인접한 파장에 영향을 주지 않으면서 드롭(drop)하거나 패스(through)시키는 필터로서 매우 중요한 핵심소자이다. 채널 dropping 필터는 좁은 선폭과 작은 크기, 넓은 FSR(Free Spectral Range)를 가짐으로 앞으로 그 가능성을 인정받고 있는 필터이기도 하다. 그림 1은 dropping 필터의 구조를 나타내었다. 두 개의 직선 웨이브 가이드 사이에 한 개의 링 웨이브 가이드를 삽입한 구조의 형태를 적용하였다[1]. 그림 1에서 필터의 입출력 포트로는  $S_i$  입력포트(Input Port),  $S_f$  패스포트(Through Port),  $S_d$  드롭포트(Drop Port),  $S_r$  케환포트(Feedback Port)의 4개의 포트들로 이루어져 있다. 입력측 도파로와 출력측 도파로 및 링 도파로의 폭  $d_g = d_r = 0.21\mu\text{m}$  이며, 링 도파로와 입출력측 직선 도파로의 인접거리  $T = 0.21\mu\text{m}$  그림 1에서 검은 영역은 도파로(waveguide)에 해당하는 부분으로 굴절률  $n_r = n_g = 3.0$  이고, 흰 영역은 진공상태(vacuum)에 해당하는 부분으로 굴절률  $n_0 = 1.0$  이며, 링의 반경  $R = 1.71\mu\text{m}$  를 적용하였다.

Dropping 필터의 동작은  $S_i$  입력포트를 통해서 입사된 광파가 입력측 도파로를 따라서 진행하게 된다. 도파된 광파가 도파로를 진행하다가 인접한 링 도파로를 지날 때 광파의 섭동이론에 의해서 일부의 광파가 링 도파로로 결합하게 된다.

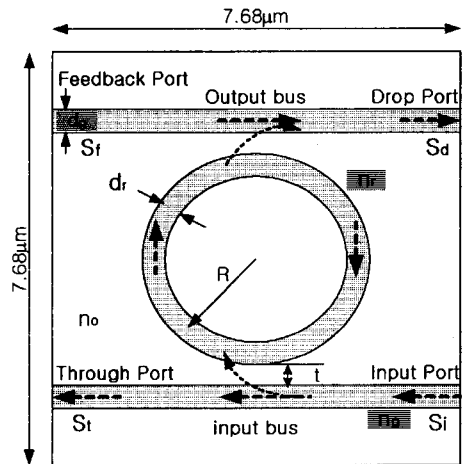


그림 1 마이크로 링 구조의 dropping 필터.  
Fig. 1 Dropping filter of microring structure.

링 도파로로 결합된 광파는 링 도파로를 따라서 진행하게 되며, 다시 인접한 출력측 도파로를 지날 때 섭동이론에 의해서 출력측 도파로로 결합되어  $S_d$  드롭포트(drop port)로 출력되게 된다. 한편 입출력측 도파로에서 링 도파로로 결합되지 않은 광파는 그대로 지나쳐서  $S_f$  패스포트(through port)로 도파하게 되며,  $S_r$  케환포트(feedback port)로는 적은 양의 케환된 광파가 도파하게 되는 동작특성을 갖는 필터이다. 링 도파로로 도파된 광파는 링의 반경  $R = 1.71\mu\text{m}$  에 의해서 공진 조건을 만족하는 파장을 결정하게 된다. 링 도파로 내의 공진 거리인  $2\pi R$  의 정수배에 해당하는 즉, 동위상의 파장만이 링을 한번 돌고 출력측 도파로로 결합되고, 두 번 세 번 계속해서 출력측 도파로로 결합되므로 드롭포트(drop port)에서는 공진된 광파가 합쳐져서 출력된다.

2.2 FDTD 알고리즘

FDTD 방법은 시간적인 변화를 갖는 Maxwell 방정식을 유한 차분 방정식으로 시간과 공간에 대해서 동시에 이산화시키는 방법이다[2]. Yee가 제시한 FDTD 알고리즘은 등방성 매질에서의 전자파 산란문제에 처음 적용한 후 마이크로스트립 라인의 불연속 및 마이크로스트립형 회로 해석 등에 널리 이용되고 있다[3]. 또한 FDTD 방법은 다양한 종류의 전자파 및 광파의 해석에 광범위하게 사용되고 있으며, 광소

자 내에서 광파가 진행되는 모습을 도식적으로 나타내는데 탁월한 방법이기도 하다. 이러한 FDTD 방법을 이용하여 시간변화에 따른 광파의 전계분포와 주파수 스펙트럼, 결합되는 모습들을 나타낼 수 있다. 본 논문에서 다루는 도파로의 구조는 모두  $z$ 축 방향을 가정으로 TE 와 TM의 두가지 모드에 대해서 해석이 가능한데, 이 두가지 모드의 해석 과정은 거의 동일하기 때문에 본 논문에서는 TM 모드의 경우만을 해석하도록 하겠다.

### 2.2.1 FDTD 알고리즘 구조

FDTD 방법을 간략화 시켜 요약하면  $H_x, H_y$  컴포넌트(component)들의 값을 가지고  $E_z$  컴포넌트를 구하고, 다시 얻은 값  $E_z$ 의 값을 가지고  $H_x, H_y$ 를 구하는 상호 교차하는 과정을 반복함으로 광파의 진행되는 모습을 보여주는 알고리즘이다. 다음 그림 2는 FDTD 알고리즘의 구조를 간략화 시켜서 나타낸 그림이다.

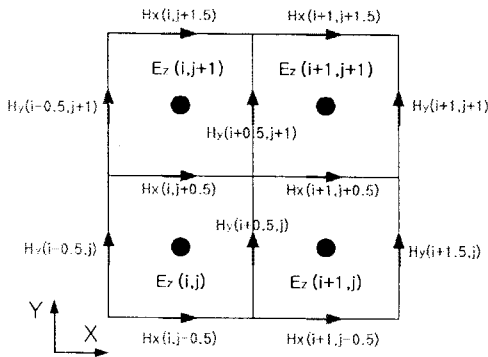


그림 2 FDTD 알고리즘의 구조  
Fig. 2 The structure of FDTD Algorithm

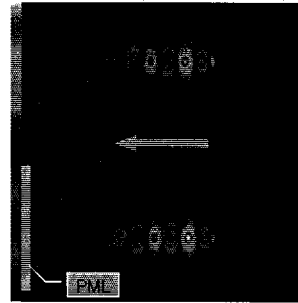
각 컴포넌트(component)들의 동작은 다음과 같다. 그림 2에서 각각의  $H_x(i, j-0.5), H_y(i-0.5, j)$  컴포넌트로  $E_z(i, j)$ 를 구하고, 구한  $E_z(i, j)$ 를 가지고 다시 각각의  $H_x(i, j+0.5), H_y(i+0.5, j)$ 를 구하게 된다. 이와 같은 방법을 반복함으로 각 구간(cell)에서의 광파의 세기를 계산할 수 있게 된다.

### 2.3 완전 접합층(PML) 알고리즘

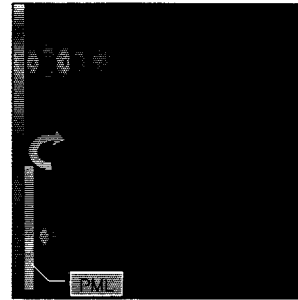
FDTD 방법으로 전자파 및 광파의 진행을 해석하고자 할 때, 계산영역을 줄이면서 오차가 적은 결과를 얻기 위해서는 효율적이고 흡수율이 높은 흡수 경계 조건(ABC: Absorbing Boundary Condition)이 필요하게 된다. 따라서 흡수경계조건에 대한 연구가 FDTD 초기 단계에서부터 이루어졌다. 본 논문에서는 Berenger가 제안한 완전 접합층(PML) 알고리즘을 적용하였다[4]. PML알고리즘은 계산영역을 유한하게 제한함으로 외부의 경계면으로부터 반사를 최소화하기 위한 방법이다. 지금까지 제안된 흡수경계조건들 중에 흡수 성능이 가장 우수한 알고리즘이다.

그림 2의 (a),(b),(c)는 PML을 적용한 영역과 적용하지 않은 영역을 차등 적용하여 광파의 흡수 정도를 나타낸 시뮬레이션 결과이다. 그림 4는 PML알고리즘을 채택

dropping 필터의 외부 경계면에  $0.3\mu\text{m}$ 에 걸쳐서 적용한 형태를 나타낸 그림이다.



(a)



(b)

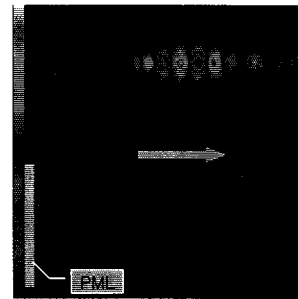


그림 3 완전 접합층의 흡수  
Fig. 3 PML's absorption

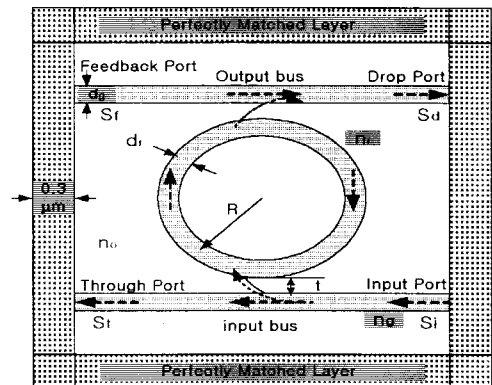
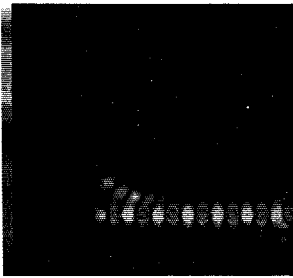
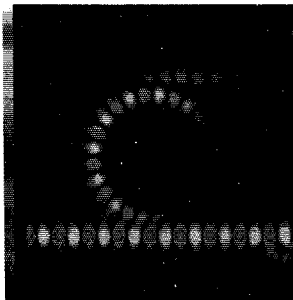


그림 4 드롭필터에 적용한 PML구조  
Fig. 4 Applied PML with dropping filter

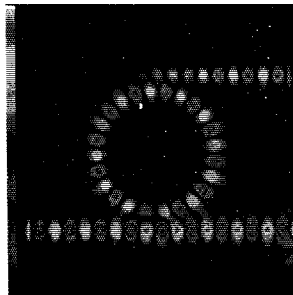
## 2.4 FDTD방법으로 해석한 채널 Dropping 필터의 시뮬레이션 결과



(a)



(b)



(c)

그림 5. dropping 필터에서 광파의 진행

Fig. 5 Wave propagation of dropping filter

그림 5(a),(b),(c)에서는 광파가 dropping 필터에서 진행하는 모습을 도식적으로 나타냈다. 그림 5(a)는 입력 도파로를 진행해온 광파의 일부가 인접한 링 도파로 결합되고 있는 모습이고, 그림 5(b)는 링도파로에서 출력측 도파로로 광파가 결합되고 있는 모습이며, 마지막으로 그림 5(c)는 공진 되는 광파가 드롭(drop)포트로 출력되고 있는 모습이다. 드롭포트에서의 파장에 따른 투과 특성을 해석하기 위하여 입력포트에 펄스의 폭이  $0.39\text{psec}$  인 펄스 신호를 인가하여,  $39.6\text{psec}$  동안 FDTD프로그램을 수행하여 결과를 푸리에 해석하였다. 그림 6에 결과를 보였으며, FSR이  $61\text{nm}$ 로서 이론치에 근접하고 있음을 알 수 있으며 본 논문에서 구현한 FDTD 알고리즘의 정확성을 예시하고 있다. 이 그림에서  $1230\text{nm}$  근처에서 투과율이  $0\text{dB}$  보다 큰 값이 나오는 것은 정상상태에 이를 만큼 충분한 시간동안 FDTD를 수행하지 않았기 때문인 것으로 추측된다.

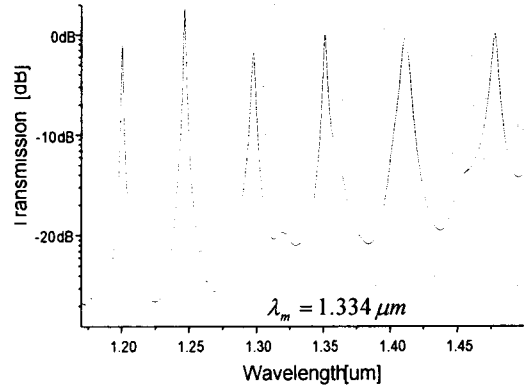


그림 6 드롭포트에서의 파장에 따른 dropping 필터 특성

Fig. 6 Transmission characteristics of dropping filter as a function of wavelength

## 3. 결 론

마이크로 링 구조의 dropping 필터의 특성을 유한 차분 시간영역(FDTD) 방법으로 해석하였다. 흡수 경계 조건으로 PML 알고리즘을 이용하여 광파의 진행방향 및 방사계의 좌우측면에 적용하여 필터 내에서 발생할 수 있는 반사파를 줄임으로 시뮬레이션 상의 결과값에 미치는 영향을 감소시킬 수 있었다. 또한, 필터 내에서 광파의 필드분포 및 섭동(Perturbation)에 의해서 광파가 커플링 되는 모습을 도식적으로 나타내었다. 본 논문의 해석방법은 광소자의 특성 및 소자 내에서 광파가 진행하는 모습을 도식적으로 나타내는데 매우 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

## (참 고 문 헌)

- [1] B. E. Little, "Microring Resonator Channel Dropping Filters", *J. Lightwave Technol.*, vol.15, pp. 998-1005, 1997
- [2] SAI-TAK CHU, "A Finite-Difference Time-Domain Method for the Design and Analysis of Guided-Wave optical", *J. Lightwave Technol.*, vol. 7, pp. 2033-2038, 1989
- [3] K. S. Yee, "Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-14, pp. 302-307, 1966
- [4] Jean-Pierre Berenger, "A Perfectly Matched Layer for the Absorption of Electromagnetic Wave", *J. Computational Physics*, 114, pp. 185-200, 1994