

# FDTD를 이용한 마이크로스트립 선로 불연속부의 방사손실 평가에 관한 연구

김 동 환\* · 김 동 일\*\*

## A Study on Estimation of Radiation Loss from Microstrip Line Discontinuities Using FDTD

Dong Hwan Kim\* · Dong Il Kim\*\*

### Abstract

Microstrip line discontinuities, which are widely used in MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuit), have been considered. The undesired radiation from those discontinuities often causes interferences to other circuits, and quantitative estimation is highly required.

In microwave integrated circuit designs, the reactances introduced by microstrip discontinuities should either be taken into account or microstrip structures with compensated discontinuities should be used. In general, compensated discontinuities improve the circuit performance as well as the bandwidth. Usually chamfered discontinuities technique is also known as the discontinuity compensation, in which the discontinuity reactances are minimized by removing appropriate portions of the microstrip conductor near the discontinuity location. The purpose of this study is, therefore, to calculate the undesired radiation from these discontinuities by using numerical techniques. In this paper, the radiation power from a bent microstrip by 90° lines can be estimated from S-parameter. Those discontinuities are simulated in the time domain using FDTD(Finite Difference Time Domain method). The absorbing boundary condition is used PML(Perfect Matched Layer).

\* 한국해양대학교 전자통신공학과 석사과정 전파통신 전공

\*\* 한국해양대학교 전파공학과 교수

## I. 서론

최근 휴대전화, PCS, 무선 LAN, IC카드를 비롯한 각종 무선통신·센싱시스템이 급속하게 보급되고 있다. 마이크로파·밀리미터파 집적회로에 마이크로스트립선로는 가장 기본적인 구조이고, 마이크로파 집적회로(MMIC)의 대부분을 차지하고 있다. 이와 같은 마이크로파집적회로에 대표되는 마이크로파·밀리미터파대역의 회로는, 근래 점점 집적도가 증가되고, 선로간의 전자결합, 불연속부와 비선형소자부터의 전자파방사가 회로특성에 중대한 영향을 미치고 있다. 본 연구는 마이크로스트립선로의 불연속부의 하나인 90° 꺾어진 마이크로스트립 전송 선로 구조에서의 불요 방사파를 정량적으로 해석하고, 해석방법으로는 전자계의 수치해석법의 하나로서, 정식화 과정의 수월함과 계산효율의 우수함으로 현재 널리 사용되어지고 이런 유효성이 입증된 유한요소차분법(Finite-Difference Time-Domain : FDTD)을 이용해 마이크로스트립전송선로의 불연속부를 해석하고자 한다.

흡수경계조건은 최근 J.P.Berenger의 PML (Perfectly Matched Layer)흡수경계조건을 이용했으며, 실제 마이크로파 회로에서는 불연속부분이 있는 부근의 손실을 줄이기 위해 모서리 부분을 잘라낸 보상된 회로가 널리 쓰여지고 있다[2]. 보상되지 않은 마이크로스트립 선로와 보상된 마이크로스트립 선로에 대해 각각 시뮬레이션을 해보고, 반사계수 및 투과계수를 구해 불연속부에서의 불요방사파손실을 평가한다.

## II. FDTD법의 적용

### 2.1 FDTD법의 정식화

전자파의 문제를 해석하기 위해서는 맥스웰의 편미분방정식으로부터 출발한다. 소스가 있는 매질에서 맥스웰방정식은 다음과 같다.[3]

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \quad (1)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \epsilon \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \sigma \mathbf{E} \quad (2)$$

이들의 편미분방정식을 FDTD법을 이용하여 해석하기 위해서는 그림1 및 그림2와 같이 우선 전·자계의 각 성분에 대해서 시간적·공간적인 이산화를 행하게 된다.

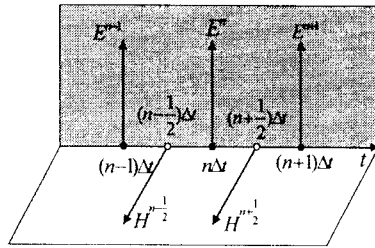


그림 1 전자계의 시간배치

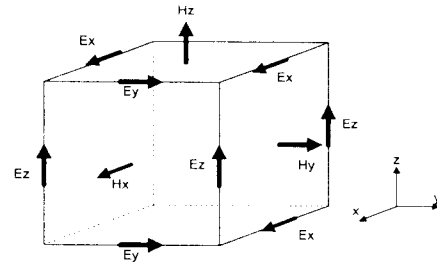


그림 2 단위셀과 전자계 공간적 배치

## 2.2 흡수경계조건

FDTD법을 이용해 전자계해석을 하는 경우에 해석영역을 한정하지 않을 수 없다. 따라서, 해석영역의 가장 외측의 매쉬표면에 있어서 반사가 생기지 않고 전자파가 잘 흡수될 수 있도록 처리하지 않으면 안된다. 이것을 흡수경계조건이라 하고 이들 흡수경계조건 가운데 강력하고 효과적인 J.P.Berenger의 PML을 사용하여 흡수경계조건으로 적용하였다[7].

## Ⅲ. 시뮬레이션 및 검토

### 3.1 산란계수 및 방사전력의 계산

일반적으로 그림 3과 같이 2 port를 가진 마이크로파 평면회로에서의 4개의 산란 파라미터는 아래 식(3)과 식(4)로 주어진다[1].

$$S_{11} = \frac{F[V_{1\text{ref}}(t)]}{F[V_{1\text{inc}}(t)]}, S_{22} = \frac{F[V_{2\text{ref}}(t)]}{F[V_{2\text{inc}}(t)]} \quad (3)$$

$$S_{21} = \frac{F[V_{2\text{trans}}(t)]}{F[V_{1\text{inc}}(t)]} \cdot \sqrt{\frac{Z_{01}}{Z_{02}}}, S_{12} = S_{21} \quad (4)$$

여기서,  $F$ 는 푸리에변환을 의미한다.

각 port에서 반사계수를 계산하는 경우, 관측점에서의 신호와 반사신호를 시간적으로 분리할 필요가 있으므로 관측점을 마이크로스트립선로의 불연속부로부터 충분히 떨어진 곳을 선택할 필요가 있다. 한편, 여기서 구해진 반사계수 및 투과계수를 이용해 Straight-forward방법에 의해서 방사파워를 구할 수 가 있다. 반사계수 및 투과계수를 이용한 방사파워  $P_r$ 은 식(5)와 같이 된다.

$$P_r = 1 - |S_{11}|^2 - |S_{21}|^2 \quad (5)$$

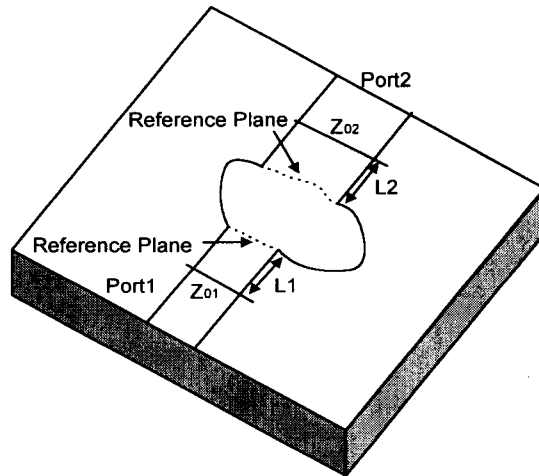


그림 3 2 Port마이크로파 평면회로의구조

### 3.2 시뮬레이션 및 결과

그림 4는 해석대상으로 하고 있는  $90^\circ$  꺾어진 마이크로스트립 선로의 구조이다.

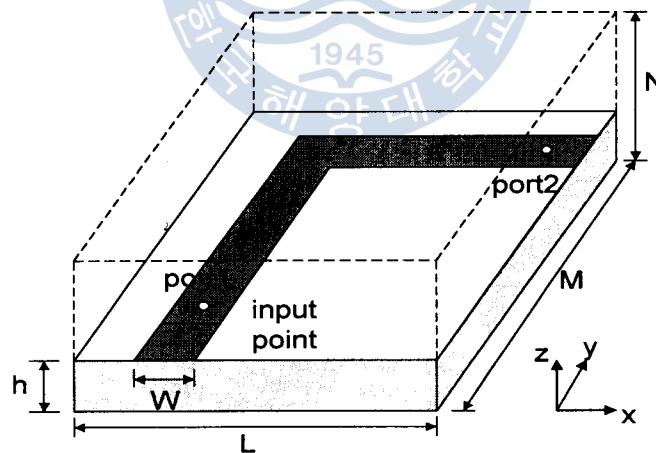


그림 3 해석구조

흡수경계조건은 PML을 사용했으며,  $xy$ 평면의 아래, 즉, 접지판이 있는 평면은 흡수경계조건을 사용하지 않고 나머지 5개면에 대해서는 흡수경계면을 사용하였다. 해석대상인 마이크로스트립선로는  $50\Omega$ 선로로 설계되어졌으며, 각 물리적 파라미터와 시뮬레이션의 사양에 대해서는 아래 표에 나타냈었다.

표 1. 마이크로스트립선로의 물리적 파라미터

마이크로스트립 길이 (M)	120 (mm)
유전체두께 (h)	0.6 (mm)
마이크로스트립선로폭(W)	0.6 (mm)
비유전율 ( $\epsilon_r$ )	9.6

표 2. 시뮬레이션 파라미터

셀사이즈 ( $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ )	$0.1 \times 0.10 \times 0.10$ (mm)
FDTD해석크기(L,M,N)	$50 \times 120 \times 30$
PML의 층수	x-방향 8셀 y-방향 8셀 z-방향 8셀
펄스입력위치	z방향 18셀
Port1 및 Port2 의 위치	25셀(y방향).

그리고, 마이크로스트립선로의 여진은 가우시안펄스를 선택했으면 식(6)과 같다[5].

$$E_z = \exp\left\{-\left(\frac{t - at_0}{bt_0}\right)^2\right\} \quad (6)$$

여기서,

$a=2.0, b=0.29, t_0=0.646/(50 \times 10^9)$ 이다. 그리고, 여진방법으로는 스트립도체가 존재하는 바로 아래면의 전계의 수직성분인  $E_z$ 만을 가우시안펄스로 균일하게 여진했다. 이와같은 근사 방법은 실제 선로의 전자계분포와 다소 차이가 있지만 관측점을 입사면에서 조금 떨어진 곳을 선택하면 도미넌트 전송모드에 대응하는 안정된 값의 전자계분포를 얻을 수 있다[4].

한편, 실제 회로 설계에 있어서는 마이크로스트립 선로의 직각으로 꺾어진 회로의 불연속 부분이 회로의 성능을 감쇄시키고 있다. 이는 불연속부분에 도체영역이 증가하게 되어 위상과 진폭의 오차, 입력과 출력 사이의 비정합등을 야기시키는 기생성 리액턴스를 제공하기 때문이다. 따라서, 이런 효과를 제거하기 위해 스트립도체 불연속부의 도체의 모서리를 깎아내어서 불연속부분을 보상하는 방법이 쓰여지고 있다[2]. 여기서는 불연속부분이 보상되지 않은 회로와 보상된 회로의 경우에 대해 각각 시뮬레이션해 보았다.

## (1) 보상되지 않은 경우 각 port의 전압파형

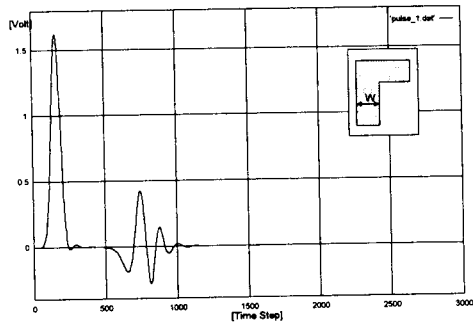


그림 4 Port 1에서의 전압특성

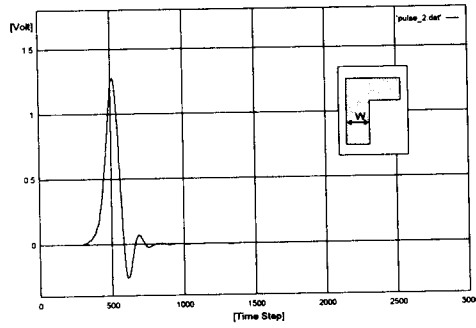


그림 5 Port 2에서의 전압특성

## (2) 1.4W로 보상된 경우 각 port의 전압파형

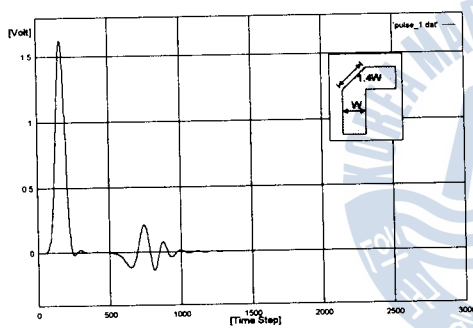


그림 6 Port 1에서의 전압특성

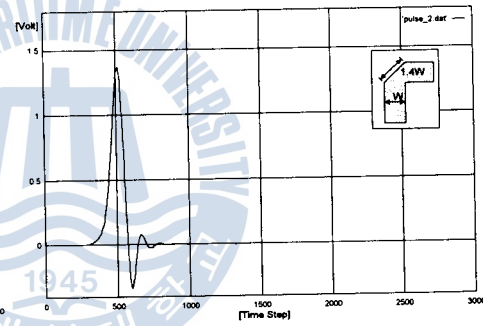


그림 7 Port 2에서의 전압특성

## (3) 1.8W로 보상된 경우 각 port의 전압파형

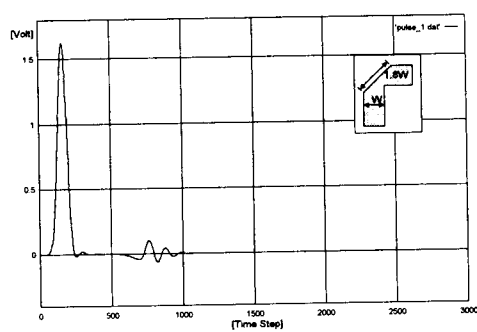


그림 8 Port 1에서의 전압특성

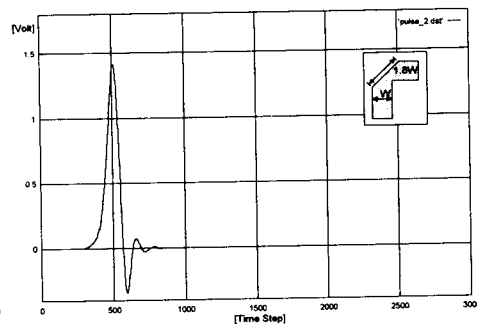


그림 9 Port 2에서의 전압특성

(4) S 파라미터 및 방사파워

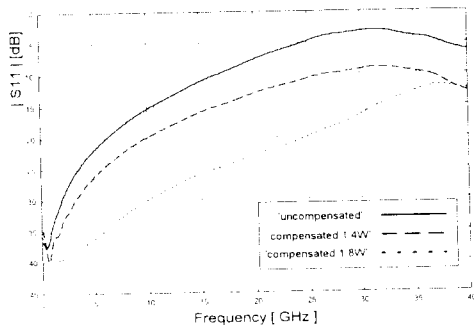


그림 10 반사계수

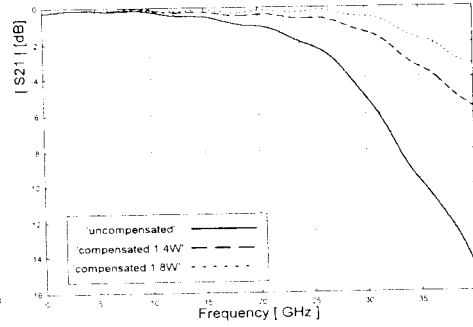


그림 11 투과계수

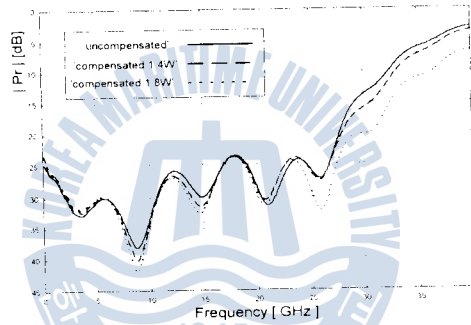


그림 12 방사파워

IV. 결론

본 논문에서는 불연속 부분의 하나인 90° 꺾어진 마이크로스트립 선로의 방사파워를 구해 보상되지 않은 선로와 선로폭의 1.4배가 되게 작은 선로와 1.8배가 되게 작은 선로를 비교·검토하였다. 각 선로들에 있어서 PML경계조건을 사용해 시간영역에서 FDTD(Finite Difference Time Domain method)방법을 사용해서 해석하고, 그 결과를 푸리에 변환하여 비교적 광대역 주파수 영역에서, 선로의 특성을 해석하였다. 시뮬레이션은 마이크로스트립 선로의 임피던스는 50Ω으로 하고, 유전율 9.6의 기판에 스트립도 채폭을 0.6mm로 해서 시뮬레이션 했으며, 0~40GHz까지 비교적 광대역에 걸쳐서 반사계수 값과 투과계수 값이 참고문헌 [2]와 비교하여 타당하게 나왔으며, 방사 전력도 타당하게 나왔다.

이상의 결과를 요약하면, 마이크로스트립 선로의 불연속 부분의 하나인 90° 꺾어진 부분에서의 회로 설계상의 처리는 보상되지 않은 선로보다는 1.4배가 되게 작은 선로

가 불요전자파를 적게 방사한다는 것을 보였다. 또한, 이 보다 선로폭의 1.8배 되게 보  
상되어진 선로가 보다 더 불요전자파가 적다는 것을 보였다.

## 참 고 문 헌

- [1] X. L. Zhang, J. Y. Fang, K. K. Mei and Y. W. Liu, "Calculations of the dispersive characteristics of microstrips by the time-domain finite difference method," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-36, pp. 263-267, Feb. 1988.
- [2] K.C. Gupta and Ramesh Garg, Microstrip Lines and Slotlines (Chapter 3), Artech House, Inc, 1996
- [3] K. S. Yee, "Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. A P-14, pp. 302-307, Aug. 1966.
- [4] 山下榮吉, FDTD法によるマイクロ波平面回路・アンテナ特性の解析, (株)リアライズ社
- [5] 宇野 亨, FDTD法による電磁界およびアンテナ解析, コロナ社
- [6] A. Taflovand M. E. Brodwin, "Numerical solution of steady-state electromagnetic scattering problems using the time-dependent Maxwell's equations," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol MTT-23, pp. 623-630, Aug. 1975.
- [7] J. P. Berenger, "A Perfectly Matched Layer for the absorption of electromagnetic waves," J.Computational Physics, vol. 114, pp.185-200, 1994.