

# FDTD법을 이용하여 분산매질을 고려하기 위한 PLRC-APML 기법

## A Dispersive APML using Piecewise Linear Recursive Convolution for FDTD Method

이정엽 · 이정해\* · 강노원\*\* · 정현교

Jung-Yub Lee · Jeong-Hae Lee\* · No-Weon Kang\*\* · Hyun-Kyo Jung

### 요 약

본 논문에서는 유한 시간 차분법(FDTD) 내에서 PLRC(Piecewise Linear Recursive Convolution)법을 이용한 분산성 물질에 대한 비등방성 흡수체(APML)를 제안한다. 제안된 흡수체는 비선형, 분산성 매질 해석 시 무한 경계 조건을 표현하기 위해 사용될 수 있다. 제안된 흡수체는 기존의 APML 정식화 과정에서 분산 특성을 고려한 것이며 PLRC법의 장점인 빠른 계산시간, 저 메모리 사용, 다극 감수율의 간편한 정식화 등의 장점을 가지고 있다. 개발된 분산성 APML은 드바이(Debye) 매질과 로렌츠(Lorentz) 매질 등의 분산성 물질의 해석에 적용하였으며 수치실험을 통해 흡수경계에서 뛰어난 흡수율을 가짐을 보였다.

### Abstract

In this paper, a dispersive anisotropic perfectly matched layer(APML) is proposed using piecewise linear recursive convolution(PLRC) for finite difference time domain(FDTD) methods. This proposed APML can be utilized for the analysis of a nonlinear dispersive medium as absorbing boundary condition(ABC). The formulation is simple modification to the original APML and can be easily implemented. Also it has some advantages of the PLRC approach-fast speed, low memory cost, and easy formulation of multiple pole susceptibility. We applied this APML to 2-D propagation problems in dispersive media such as Debye and Lorentz media. The results showed good absorption at boundaries.

Key words : Absorbing Boundary Condition(ABC), Finite Difference Time Domain(FDTD), Piecewise Linear Recursive Convolution(PLRC), Anisotropic Perfectly Matched Layer(APML)

### I. 서 론

1966년 Yee에 의해 도입된 시간영역 FDTD(Finite Difference Time Domain)법은 맥스웰의 미분방정식의 시간 영역 해를 직접 구하는 첫 번째 시도이며, 현재 계속 발전하고 있는 분야이다<sup>[1][2]</sup>. FDTD법에

서 중요한 부분 중의 하나는 무한 영역을 유한 해석 영역 내에서 계산함에 따라 생기는 경계 조건 문제이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 흡수 경계 조건이 제안되었고, 이들 중에 PML(Perfectly Matched Layer)은 어떤 입사각에서도 우수한 흡수율을 가지는 특성으로 널리 쓰이고 있다<sup>[3]</sup>. Gedney 등에 의해

「이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2002-041-D00417).」

서울대학교 전기공학부(School of Electrical Engineering, Seoul National University)

\*홍익대학교 전파통신공학과(Department of Radio Science & Communication Engineering, Hongik University)

\*\*한국표준과학연구원(Korea Research Institute of Standards and Science)

· 논문 번호 : 20040720-093

· 수정완료일자 : 2004년 9월 14일

제안된 APML(anisotropic PML)은 텐서 형태의 유전율을 가지는 비등방성 물질 내에 손실 항을 넣어서 흡수체로서 동작하게 한다<sup>[4]</sup>.

최근 주파수에 따른 비선형, 분산 매질에서의 전파 특성에 대한 연구가 필요해지면서 분산 매질을 Yee FDTD법 내에서 처리하는 여러 가지 방법들이 개발되었다. PLRC(Piecewise Linear Recursive Convolution)법은 그러한 방법들 중의 하나로서, 시간 영역에서 전기 감수율의 회전을 사용하는 RC(Recursive Convolution)법에 기반하였다<sup>[5],[6]</sup>. 기존의 RC 방법은 각 시간 구간에서 일정한 전기장을 가지나 PLRC법은 주어진 구간 내에서 전기장의 부분 선형 근사함으로써 기존의 방법에 비해 해석의 정확도를 높이고 있다. 그럼에도 이 방법은 RC법의 특징인 빠른 속도, 저 메모리 사용, 다극 감수율의 쉬운 정식화 등을 가지는 장점이 있다.

우리는 PLRC법을 사용하여 비선형 분산 매질에 대한 APML법을 제안하고자 한다. Teixeira 등은 맥스웰 방정식의 분리형 PML을 사용한 PML-PLRC-FDTD를 제안하였으나 이 방법은 일반적인 흡수체를 구성하는 어려움이 있고 구현도 용이하지 않다<sup>[8]</sup>. 그 외에 ADE(Auxiliary Differential Equation)를 사용하여 분산 PML을 구성하는 방법도 있으나 이는 ADE 방법이 가지는 한계로 인해 다극 감수율의 구현 등에서 한계를 가진다<sup>[9]</sup>. 제안된 방법은 PLRC법의 장점인 빠른 계산 시간, 저 메모리 사용, 다극 감수율의 쉬운 정식화 등의 특징을 가진다.

## II. 정식화

PML 내의 분산 매질의 맥스웰 방정식은 다음과 같다.

$$\nabla \times H^{n+1/2} = (j\omega\epsilon_0\epsilon(\omega) + \sigma)\bar{s}E \quad (1)$$

여기서  $\bar{s}$ 는

$$\bar{s} = \begin{bmatrix} \frac{s_y s_z}{s_x} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{s_x s_z}{s_y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{s_x s_y}{s_z} \end{bmatrix} \quad (2)$$

이고  $s_x, s_y, s_z$ 는

$$s_x = x_x + \frac{\sigma_x}{j\omega\epsilon_0}, \quad s_y = y_y + \frac{\sigma_y}{j\omega\epsilon_0} \\ s_z = z_z + \frac{\sigma_z}{j\omega\epsilon_0} \quad (3)$$

로 주어진다. 각 파라미터들,  $x_i$  와  $\sigma_i$  ( $i = x, y, z$ )는 다항식으로 근사된다.

$\epsilon(\omega)$ 는 분산매질의 특성을 나타내고  $\bar{s}$ 는 PML 내에서의 비등방성 매질 내의 손실을 표현하는 텐서다. 두 성질을 각각 고려해 주기 위해서 단계별로 이산화 하는 과정이 필요하다. 이를 위해 새로운 보조변수가 필요한데, 흡수 물질을 표현하는 텐서의 관계를 고려하기 위해 보조변수가 도입되어

$$\Psi = \bar{s}E \quad (4)$$

의 관계를 가지고, 분산매질을 고려하기 위한 관계식으로

$$D(t) = \epsilon_0\epsilon_\infty\Psi + \epsilon_0 \int_0^t \Psi(n\Delta t - \tau)\xi(\tau) d\tau \quad (5)$$

이 도입된다. 여기서  $D^n = D(n\Delta t), E^n = E(n\Delta t)$ 라 할 때 식 (5)는 이산화 된 식으로 다음과 같이 표현된다.

$$D^n = \epsilon_0\epsilon_\infty\Psi^n + \epsilon_0 \int_0^{n\Delta t} \Psi(n\Delta t - \tau)\xi(\tau) d\tau \quad (6)$$

여기서  $\epsilon_0$ 는 진공상태의 유전상수이고  $\epsilon_\infty$ 는 주파수가 무한대일 때, 물질의 유전상수이다.

기존의 RC 정식화에서는 각 시간 간격에서 전기장을 상수로 가정하는데, 만약 전기장을 각 시간 간격에서 부분 선형 함수로 근사화할 경우 정확도가 매우 높아지게 된다. 연속 시간 함수인  $E(t)$ 를 매 시간 간격  $[i\Delta t, (i+1)\Delta t]$ 에서 부분 선형 근사하면 이산 시간 값인  $E^i$ 와  $E^{i+1}$ 의 항으로 표현된다.

$$E(t) = E^i + \frac{(E^{i+1} - E^i)}{\Delta t} (t - i\Delta t) \quad (7)$$

여기서 식 (7)을 식 (6)에 대입하여 정리하면,

$$D^n = \epsilon_0\epsilon_\infty E^n + \epsilon_0 \sum_{m=0}^{n-1} [E^{n-m}\chi^m + (E^{n-m-1} - E^{n-m})\xi^m] \quad (8)$$

이 되고, 여기서

$$\begin{aligned}\chi^m &= \int_{m\Delta t}^{(m+1)\Delta t} \chi(\tau) d\tau \\ \xi^m &= \frac{1}{\Delta t} \int_{m\Delta t}^{(m+1)\Delta t} (\tau - m\Delta t) \xi(\tau) d\tau\end{aligned}\quad (9)$$

으로 정의된다.

따라서, PLRC법에 의해 전기장의 FDTD 업데이트 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\Psi^{n+1} &= \frac{\epsilon_\infty - \xi^0}{\epsilon_\infty + \frac{\sigma\Delta t}{\epsilon_0} + \chi^0 - \xi^0} \Psi^n \\ &+ \frac{\Delta t}{\epsilon_0 \left( \epsilon_\infty + \frac{\sigma\Delta t}{\epsilon_0} + \chi^0 - \xi^0 \right)} \nabla \times H^{n+1/2} \\ &+ \frac{1}{\epsilon_\infty + \frac{\sigma\Delta t}{\epsilon_0} + \chi^0 - \xi^0} \\ &\times \sum_{m=0}^{n-1} [E^{n-m} \Delta\chi^m + (E^{n-m-1} - E^{n-m}) \Delta\xi^m]\end{aligned}\quad (10)$$

여기서

$$\begin{aligned}\Delta\chi^m &= \chi^m - \chi^{m+1} \\ \Delta\xi^m &= \xi^m - \xi^{m+1}\end{aligned}\quad (11)$$

로 정의된다. 식 (10)에서 마지막 항의 합을 계산하는 부분은 재귀적인 방법을 통해 구해진다. 합을 변수  $\psi^n$  으로 정의하면

$$\psi^n = \sum_{m=0}^{n-1} [E^{n-m} \Delta\chi^m + (E^{n-m-1} - E^{n-m}) \Delta\xi^m]\quad (12)$$

이 되고

$$\psi^n = (\Delta\chi^0 - \Delta\xi^0)E^n + \Delta\xi^0 E^{n-1} + C_{rec} \psi^{n-1}\quad (13)$$

의 재귀적인 관계를 가지고 매 시간 단계에서 업데이트 된다. 여기서 상수  $\chi, \xi, C_{rec}$ 은 적용할 물질의 감수율에 의해서 결정된다. 각 상수를 구하는 과정은 다음 단락에서 설명될 것이다.

흡수 물질에 관한 텐서 식은

$$\Psi_x = \frac{s_x s_z}{s_x} E_x\quad (14)$$

을 두 단계로 나누어서 풀게 되며 새로운 보조변수  $P$ 가 도입되어 첫 번째 단계에는

$$P_x = \frac{1}{s_y} \Psi_x\quad (15)$$

을 풀고 두 번째 단계에서 나머지를 계산하게 된다. 먼저 첫 번째 단계를 정식화하면

$$\Psi = \left( x_y + \frac{\sigma_y}{j\omega\epsilon_0} \right) \cdot P_x\quad (16)$$

에 대해서 두 변을  $j\omega$ 를 곱하고 시간영역으로 변화하면,

$$\frac{\partial}{\partial t} \Psi = \frac{\partial}{\partial t} (x_y P_x) + \frac{\sigma_y}{\epsilon_0} P_x\quad (17)$$

이 되고, 이를 이산화 하여  $P_x$ 에 대해서 정리하면 다음의 업데이트 식이 나온다.

$$\begin{aligned}P_x^{n+1} &= \left( \frac{2\epsilon_0 x_y - \sigma_y \Delta t}{2\epsilon_0 x_y + \sigma_y \Delta t} \right) P_x^n \\ &+ \frac{2\epsilon_0}{2\epsilon_0 x_y + \sigma_y \Delta t} (\Psi_x^{n+1} - \Psi_x^n)\end{aligned}\quad (18)$$

그리고 남은 최종식인

$$P_x = \frac{s_z}{s_x} E_x\quad (19)$$

은 기존의 APML 식과 동일한 과정으로 정식화되어

$$\left( k_x + \frac{\sigma_x}{j\omega\epsilon_0} \right) P_x = \left( x_z + \frac{\sigma_z}{j\omega\epsilon_0} \right) E_x\quad (20)$$

에 대해 양변에  $j\omega$ 를 곱하고 시간 영역으로 변환하면

$$\frac{\partial}{\partial t} (x_x P_x) + \frac{\sigma_x}{\epsilon_0} P_x = \frac{\partial}{\partial t} (x_z E_x) + \frac{\sigma_z}{\epsilon_0} E_x\quad (21)$$

이 되고 이를 이산화하여  $E_x$ 에 대해 정리하면

$$\begin{aligned}E_x^{n+1} &= \left( \frac{2\epsilon_0 x_z - \sigma_z \Delta t}{2\epsilon_0 x_z + \sigma_z \Delta t} \right) E_x^n + \frac{1}{2\epsilon_0 x_z + \sigma_z \Delta t} \\ &\times [ (2\epsilon_0 x_x + \sigma_x \Delta t) P_x^{n+1} - (2\epsilon_0 x_x - \sigma_x \Delta t) P_x^n ]\end{aligned}\quad (22)$$

를 통해  $E_x$ 를 구할 수 있게 된다. 나머지  $E_y, E_z$ 도 같은 과정을 통해 계산될 수 있다.

따라서 FDTD에서 전기장에 관한 업데이트 식은 (10), (13), (18), (22)의 네 단계를 거쳐서 이루어지게 되며, 앞의 두 단계는 분산매질에 관한 식들이고 나머지 두 단계는 흡수 물질을 처리하기 위한 식들이 된다.

### III. 드바이 매질에 대한 정식화

드바이 매질의 경우 단일 극에 대한 감수율은

$$\chi(\omega) = \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{1 + j\omega t_0} \quad (23)$$

로 주어진다. 여기서  $\epsilon_s$ 는 정적 유전 상수이며,  $\epsilon_\infty$ 는 주파수가 무한대일 때의 유전 상수이다.  $t_0$ 는 매질에 따라 결정되는 상수이다. 이 식을 역 푸리에 변환을 통해 시간 영역의 감수율로 바꾸면

$$\chi(t) = \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{t_0} e^{-t/t_0} u(t) \quad (24)$$

이 된다. 식 (24)를 식 (9)에 대입하면

$$\begin{aligned} \chi^m &= (\epsilon_s - \epsilon_\infty) [1 - e^{-\Delta t/t_0}] e^{-m\Delta t/t_0} \\ \xi^m &= -(\epsilon_s - \epsilon_\infty) \frac{t_0}{\Delta t} [e^{-\Delta t/t_0} \left( \frac{\Delta t}{t_0} + 1 \right) - 1] \\ &\quad \times e^{-m\Delta t/t_0} \end{aligned} \quad (25)$$

이 된다.  $\Delta\chi^m$ 과  $\Delta\xi^m$ 은 식 (11)을 통해 결정되어

$$\begin{aligned} \Delta\chi^{m+1} &= e^{-\Delta t/t_0} \Delta\chi^m \\ \Delta\xi^{m+1} &= e^{-\Delta t/t_0} \Delta\xi^m \end{aligned} \quad (26)$$

이 되고,  $\psi^n$ 에 대한 재귀식은

$$\psi^n = (\Delta\chi^0 - \Delta\xi^0) E^n + \Delta\xi^0 E^{n-1} + e^{-\Delta t/t_0} \psi^{n-1} \quad (27)$$

이 된다. 식 (27)에서 모든 값은 실수이다.

#### IV. 로렌츠 매질에 대한 정식화

로렌츠 매질의 경우, 단일 쌍극에 대한 감수율은

$$\chi(\omega) = \frac{(\epsilon_s - \epsilon_\infty)\omega_0^2}{\omega_0^2 + j\omega\delta - \omega^2} \quad (28)$$

로 주어진다. 여기서  $\epsilon_s$ 과  $\epsilon_\infty$ 는 드바이 매질에서와 같은 의미를 가지며,  $\omega_0$ 는 매질의 공진 주파수 되고  $\delta$ 는 감쇠 상수이다. (28)을 푸리에 역변환을 하면

$$\chi(t) = -j\gamma e^{(-a+j\beta)t} u(t) \quad (29)$$

가 되고, 여기서 각 상수들은 복소수 값이며 다음의 값을 가진다.

$$\alpha = \delta, \quad \beta = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}, \quad \gamma = \frac{(\epsilon_s - \epsilon_\infty)\omega_0^2}{\beta} \quad (30)$$

따라서, 실제 감수율은 식 (29)의 실수부가 된다. 구해진  $\chi(t)$ 를 식 (9)에 대입하면

$$\begin{aligned} \chi^m &= \frac{-j\gamma}{\alpha - j\beta} [1 - e^{(-a+j\beta)\Delta t}] e^{(-a+j\beta)m\Delta t} \\ \xi^m &= \frac{j\gamma}{(\alpha - j\beta)^2} \frac{1}{\Delta t} \\ &\quad \times e^{(-a+j\beta)\Delta t} [(a - j\beta)\Delta t + 1] e^{(-a+j\beta)m\Delta t} \end{aligned} \quad (31)$$

이 되고,

$$\begin{aligned} \Delta\chi^{m+1} &= e^{(-a+j\beta)\Delta t} \Delta\chi^m \\ \Delta\xi^{m+1} &= e^{(-a+j\beta)\Delta t} \Delta\xi^m \end{aligned} \quad (32)$$

이 되며, 이 값이 복소수 값을 가지므로 실제 FDTD 내에서 업데이트 할 때는 실수부 값을 사용하면 된다.  $\Delta\chi^m$ 과  $\Delta\xi^m$ 은 동일한 방식으로 계산되고, 재귀식은

$$\begin{aligned} \psi^n &= (\Delta\chi^0 - \Delta\xi^0) E^n + \Delta\xi^0 E^{n-1} \\ &\quad + e^{(-a+j\beta)\Delta t} \psi^{n-1} \end{aligned} \quad (33)$$

이 된다.

#### V. 수치해석 및 결과

2D-TMz 문제에 대해 분산 APML의 성능을 그림 1과 같이 테스트 하였다.  $E_z$  필드의 값이  $50 \times 50$  격자의 한 가운데에서 점원으로 가해지며, 이 소스는 1 GHz의 중심주파수를 가지는 시간 영역의 가우시안 펄스로 하였다. 그 식은

$$E_{z \text{ center}}^n = E_0^{(t-t_0)/t_d} \sin [2\pi f_0(t-t)c] \quad (34)$$

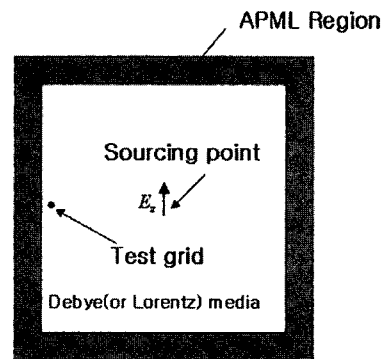


그림 1. 2-D TMz FDTD 해석을 위한 해석 도메인  
Fig. 1. Analysis domain of 2-D TMz FDTD simulation.

이고  $t_d = 1/(2f_0)$ ,  $t_c = 3t_d$ 로 하였다.

격자의 크기는 7.8125 mm의 정사각형으로 하였고 시간 간격은 Courant 한계의 0.95배로 하였다. 시간 간격 설정 시, 주파수에 따라 변화하는 유전율과 투자율의 값에 의해 Courant 한계가 깨어지지 않도록 주의한다.  $E_z$  필드는 APML 경계의 바로 앞 격자에서 측정되며, 5격자와 10격자 두개의 PML에 대해서 실험하였다. 참조 해는 1,200×1,200의 매우 큰 격자의 경우로 하여 경계에 의한 필드 값의 반사로 인한 테스트 지점의 영향이 없도록 하였다. 상대적인 오차는 다음 식에 의해 구해진다.

$$R. error_{i,j}^n = |E_{i,j}^n - E_{ref,i,j}^n| / |E_{ref,max,i,j}^n| \quad (35)$$

그림 2는 위 식을 이용하여 드바이 물질을 5격자와 10격자 APML에 대한 500 시간 간격 동안의 상대

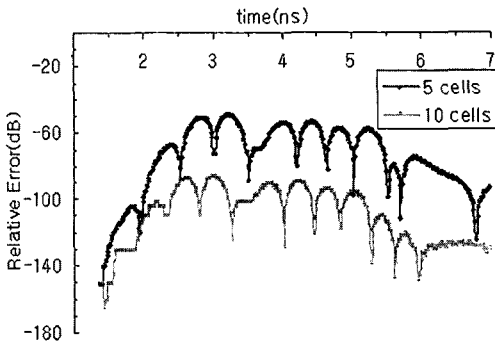


그림 2. 드바이 물질에서 5격자, 10격자 PML을 사용했을 때, 상대 오차

Fig. 2. Relative errors for Deby media.

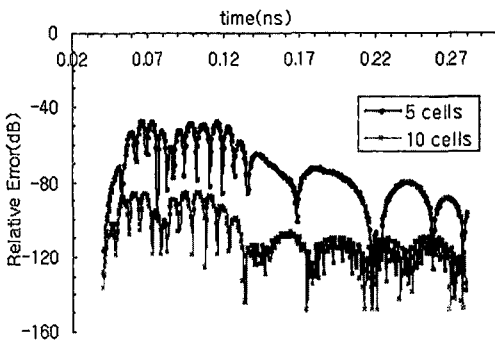


그림 3. 로렌츠 물질에서 5격자, 10격자 PML을 사용했을 때, 상대 오차

Fig. 3. Relative errors for Lorentz media.

오차를 계산한 것이다. 소스 지점에서의 파는 1.4 ns에 테스트 격자에 도달하며 5격자 PML의 경우 상대 오차는 50 dB 이하이고 10격자의 경우 90 dB 이하의 값은 가진다. 비분산 APML의 경우와 비교하여 비슷한 흡수율을 가지므로 제안된 분산물질 APML은 진행파를 잘 흡수하여 PML로서 잘 동작함을 알 수 있다.

개발된 APML은 로렌츠 물질에도 적용하였으며 격자 크기는 0.25 mm 정사각형, 시간 간격은 동일한 방식으로 하여 실험하였다. 그림 3의 결과에 의해 5격자 PML에서 50 dB 이하, 10격자에서 90 dB 이하의 상대오차를 가져 마찬가지로 잘 동작함을 확인하였다.

## VI. 결 론

분산 매질에서 FDTD법을 적용하기 위해 PLRC법과 APML을 이용한 흡수 경계 조건이 제안되었다. 개발된 분산 APML은 드바이와 로렌츠 물질에서 잘 동작함을 확인하였고 각 물질에서 반사율은 5격자에서 50 dB 이하, 10격자에서 90 dB 이하로 나타났다. 따라서 FDTD법을 이용하여 분산 물질을 해석 시, 제안된 기법을 이용하면 효율적이고 정확하게 분산 특성을 모의할 수 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] 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, May 1966.
- [2] A. Taflove, S. C. Hagness, *Computational Electrodynamics: The Finite Difference Time Domain Method*, 2nd ed. Norwood, MA: Arthch House, 2000.
- [3] J. P. Berenger, "A perfectly matched layer for the absorption of electromagnetic waves", *J. Computat. Phys.*, vol. 114, pp. 185-200, Oct. 1994.
- [4] S. D. Gedney, "An anisotropic perfectly matched layer absorbing media for the truncation of FDTD lattices", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 44, pp. 1630-169, Dec. 1996.
- [5] R. J. Luebbers, F. P. Hunsberger, K. S. Kunz, R.

B. Standler and M. Schneider, "A frequency-dependent finite-difference time-domain formulation for dispersive materials", *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 32, pp. 222-227, Aug. 1990.

[6] D. F. Kelly, R. J. Luebbers, "Piecewise linear recursive convolution for dispersive media using FDTD", *IEEE Trans. Antenna and Propagat.*, vol. 44, pp. 792-797, Jun. 1996.

[7] J. A. Roden, S. D. Gedney, "Convolution PML (CPML): An efficient FDTD implementation of the CFS-PML for arbitrary media", *Microwave Opt.*

*Technol. Lett.*, vol. 27, pp. 334-339, Dec. 2000.

[8] F. L. Teixeira, W. C. Chew, M. Straka, M. L. Oristaglio and T. Wang, "Finite-difference time-domain simulation of ground penetrating radar on dispersive, inhomogeneous, and conductive soils", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. 36, no. 6, pp. 1928-1937, Nov. 1998.

[9] M. Fujii, P. Russer, "A nonlinear and dispersive APML ABC for the FD-TD Methods", *IEEE Microwave and Wireless Comp. Lett.*, vol. 12, no. 11, pp. 444-446, Nov. 2002.

이 정 업



2000년 2월: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 (공학사)  
 2002년 2월: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 (공학석사)  
 2002년 3월~현재: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사과정

[주 관심분야] 초고주파 소자 설계 및 수치해석, Meta-materials

강 노 원



1991년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)  
 1993년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학석사)  
 2004년 2월: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 (공학박사)  
 2004년 3월~현재: 한국표준과학연구원 선임연구원

[주 관심분야] 초고주파 소자 설계 및 수치해석, 초고주파 실험 측정 시스템 개발

이 정 해



1985년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)  
 1988년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학석사)  
 1996년 2월: 미국 U.C.L.A 대학원 E.E.Dept (공학박사)  
 1986년 3월~1988년 2월: 서울대학교 전기공학과 (연구원)

1989년 9월~1993년 3월: 미국 U.C.L.A 대학원 E.E.Dept. (연구원)  
 1993년 4월~1996년 2월: 미국 회사 General Atomics (교향 연구원)  
 1996년 3월~1996년 8월: 미국 U.C.L.A 대학원 E.E.Dept. (Post Doctor)  
 1996년 9월~현재: 홍익대학교 공과대학 전자전기공학부 (부교수)  
 [주 관심분야] 마이크로파 공진기 필터 설계 연구, 고출력 마이크로파 소스 개발 연구, NRD 응용분야, Meta-materials

정 현 교



1979년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)  
 1981년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학석사)  
 1984년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학박사)  
 1984년~1994년: 강원대학교 조교수, 부교수

1987년~1989년: 뉴욕 Polytechnic Univ. 방문교수  
 1999년~2000년: UC Berkely 방문교수  
 1994년~현재: 서울대학교 전기공학부 부교수, 교수  
 2002년~현재: 기초전력연구원 원장  
 [주 관심분야] 전기기기 해석 및 설계, 전자장 수치해석 및 최적화