

FDTD에 의한 금속차폐의 개구면을 통한 전파침투 연구

An FDTD Analysis of EMP problems with the Aperture on Metal Shields

주정호*, 장건호*, 강승택**, 김형석***
 (Jeongho Ju*, Geonho Jang*, Sungtek Kahng** and Hyeong-Seok Kim***)
 ** University of Incheon, *** Chung-ang University

Abstract : 본 논문에서는 전자기파 산란 문제를 해석하는 데 있어서 중요한 기법의 하나인 유한 차분 시간영역 해석방법(FDTD : Finite-Difference Time-Domain Method)을 이용하여 금속 차폐구조의 틈새인 개구를 통한 EMC 문제를 중점적으로 다루었다. 이와같은 3차원 FDTD를 이용한 전자기파 산란 문제의 해석을 통한 연구는 통신 시스템의 차폐 방안과 전자파 내부침투 문제 해결을 위한 중요한 기반 작업이 될 것으로 기대된다.

Keywords: 금속차폐, 전파침투, FDTD

I. 서론

무선 통신의 급격한 발달과 전 세계적 대중화는 전자기파의 이용을 급속도로 증가시켰다. 아직도 무선 통신 기술은 그 수요가 나날이 증가하면서, RF 기술은 이러한 요구에 부응하는데 있어서 수많은 장점과 무한한 잠재력 지는 것으로 평가되고 있다. 따라서 그 핵심이 되는 전자기파의 전파와 산란문제에 대한 정확한 해석에 지속적인 관심과 개발은 필수적이며, 상응하는 기법들의 발전과 개발로 이어져 왔다[1].

본 논문에서는 이러한 전자기파 산란 문제를 해석하는 데 있어서 중요한 기술로 여겨지는 방법들 중에서 최근 그 응용 범위가 점차로 확대되고 있으며 그 기능 해석이 점차 중요시 되고 있는 유한 차분 시간영역 해석방법(FDTD : Finite-Difference Time-Domain Method)의 응용성을 고찰하였다[2, 3].

우리는 해석 문제를 EMC 분야의 차폐특성을 살펴 보는데 FDTD를 이용하였는데, 금속차폐로 둘러싸인 구조에서 기계적/화학적으로 발생한 개구면이 외부 입사 전자파에 반응하여 어떤 결과를 가져오는가에 초점을 맞췄다. 따라서 波장의 수십배의 크기를 가지는 얇은 금속판을 가정하고 단수, 복수의 슬랏을 두고, 이에 의한 내부로의 전자파 침투의 원인이 되는 전자파 결합 특성을 보이고 물리적인 분석을 하였다..

II. 이론

시간영역 Maxwell 미분방정식들의 微分형을 차분화 시킨 것이 FDTD의 출발점이다. 전계와 자계를 아울러 여섯 개의 성분들은 직각좌표계에서 다음과 같이 표현된다[2, 3].

$$\begin{aligned}
 E_x^{n+1} &= C_a(m)E_x^n + C_b(m)(H_z^{n+1,k} - H_z^{n,k} - H_y^{n+1,k} + H_y^{n,k}) \\
 E_y^{n+1} &= C_a(m)E_y^n + C_b(m)(H_x^{n+1,k+1} - H_x^{n,k+1} - H_z^{n+1,k} + H_z^{n,k}) \\
 E_z^{n+1} &= C_a(m)E_z^n + C_b(m)(H_y^{n+1,k} - H_y^{n,k} - H_x^{n+1,k} + H_x^{n,k}) \quad (1) \\
 H_x^{n+1} &= D_a(m)H_x^n + D_b(m)(E_z^{n+1,k+1} - E_z^{n,k+1} - E_y^{n+1,k} + E_y^{n,k}) \\
 H_y^{n+1} &= D_a(m)H_y^n + D_b(m)(E_x^{n+1,k} - E_x^{n,k} - E_z^{n+1,k+1} + E_z^{n,k+1}) \\
 H_z^{n+1} &= D_a(m)H_z^n + D_b(m)(E_y^{n+1,k+1} - E_y^{n,k+1} - E_x^{n+1,k} + E_x^{n,k})
 \end{aligned}$$

여기서 i, j, k와 n은 분할된 x, y, z와 시간변수공간에서의 구간번호에 해당된다. 여기에 매질조건과 급전조건을 적절하게 넣어준다[2]. 그리고 흡수경계조건으로 전공간을 모사하면서 계산부담을 덜어주기 위해 해석공간을 정의해야 한다. 8층의 3차원 PML을 사용한다면 다음과 같이 정의된 영역과 식들이 필요하다.

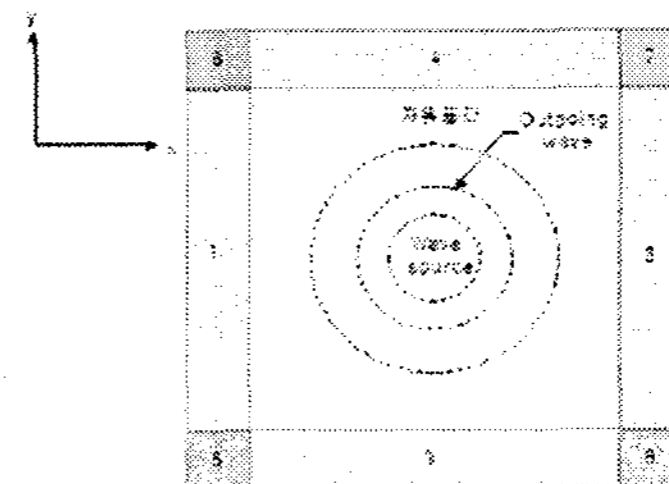


그림 1. 산란체와 PML을 포함한 해석공간.
 Fig. 1. Numerical Simulation Space with PMLs.

*: 인천대학교 정보통신공학과 (s-kahng@incheon.ac.kr)
 **: 인천대학교 정보통신공학과 교수(s-kahng@incheon.ac.kr)
 ***: 중앙대학교 전자전기공학부(kimcaf2@cau.ac.kr)

$$\begin{aligned}
 \epsilon_0 \frac{\partial E_{xy}}{\partial t} + \sigma_y E_{xy} &= - \frac{\partial (H_{xz} + H_{zy})}{\partial y} \\
 \epsilon_0 \frac{\partial E_{xc}}{\partial t} + \sigma_c E_{xc} &= - \frac{\partial (H_{xy} + H_{yc})}{\partial z} \\
 \epsilon_0 \frac{\partial E_{yc}}{\partial t} + \sigma_c E_{yc} &= - \frac{\partial (H_{xy} + H_{xc})}{\partial z} \\
 \epsilon_0 \frac{\partial E_{yx}}{\partial t} + \sigma_x E_{yx} &= - \frac{\partial (H_{zx} + H_{zy})}{\partial x} \\
 \epsilon_0 \frac{\partial E_{cx}}{\partial t} + \sigma_x E_{cx} &= - \frac{\partial (H_{yx} + H_{yc})}{\partial x} \\
 \epsilon_0 \frac{\partial E_{cy}}{\partial t} + \sigma_y E_{cy} &= - \frac{\partial (H_{yx} + H_{xc})}{\partial y}
 \end{aligned} \tag{2}$$

그리고 다층의 PML에 들어갈 손실요소들을 정리하면 다음의 표와 같다.

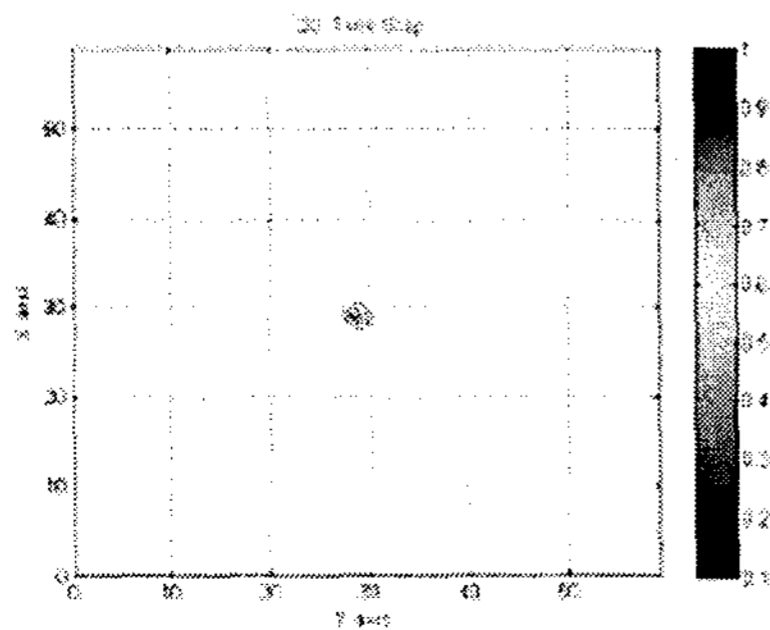
표 1. PML 층당 손실요소

①	PML $\{\sigma_{x1}, \sigma_{x2}, 0, 0\}$
②	PML $\{\sigma_{x2}, \sigma_{x2}, 0, 0\}$
③	PML $\{0, 0, \sigma_{y1}, \sigma_{y1}\}$
④	PML $\{0, 0, \sigma_{y2}, \sigma_{y2}\}$
⑤	PML $\{\sigma_{x1}, \sigma_{x2}, \sigma_{y1}, \sigma_{y1}\}$
⑥	PML $\{\sigma_{x1}, \sigma_{x1}, \sigma_{y2}, \sigma_{y2}\}$
⑦	PML $\{\sigma_{x2}, \sigma_{x2}, \sigma_{y2}, \sigma_{y2}\}$
⑧	PML $\{\sigma_{x2}, \sigma_{x2}, \sigma_{y1}, \sigma_{y1}\}$

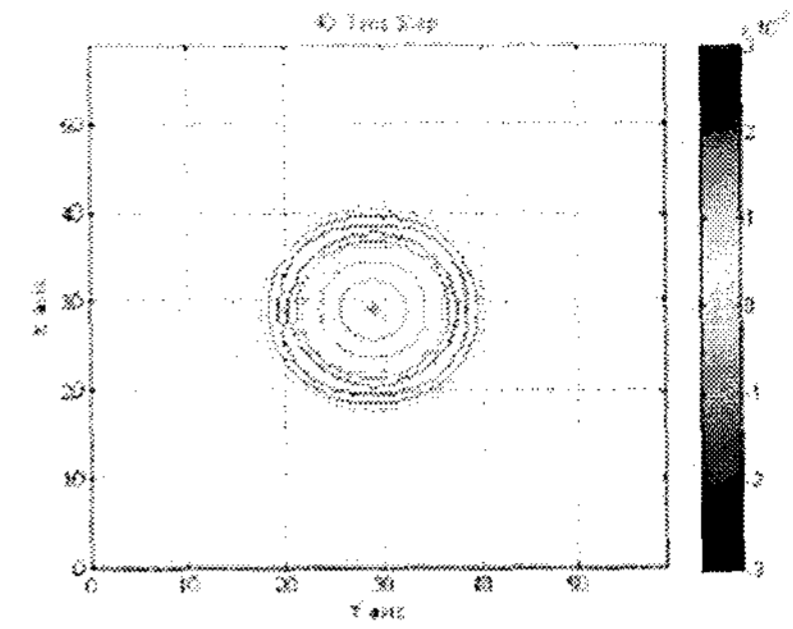
투자율이 식(1)에 대입되고, 금속면의 접선에 해당하는 전계성분들이 면상에서 입사파와 더해져 0이 되어야 하고, 개구면은 모든 전자계 성분들이 연속이 되게 한다

III. 결과

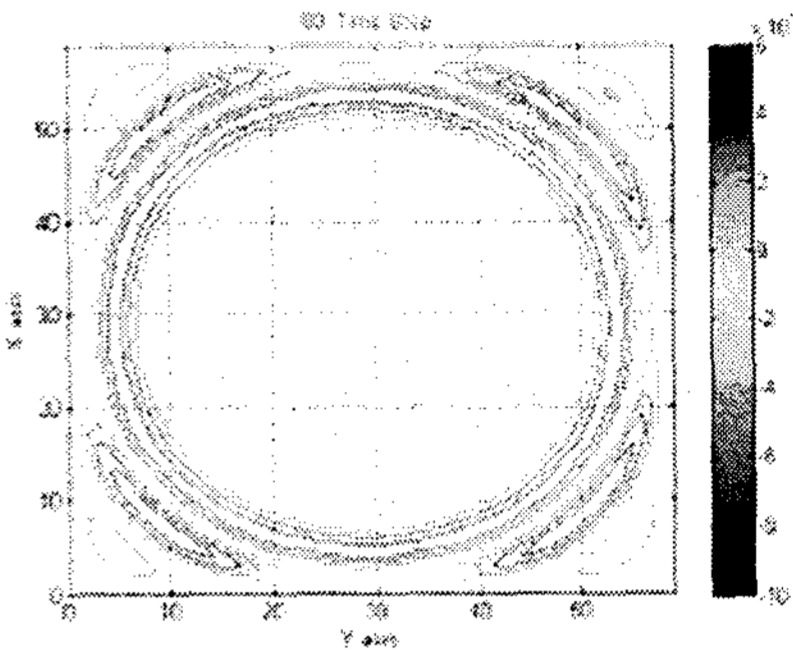
해석될 문제의 FDTD 해석공간 전체 크기는 60*60*60의 3차원 공간이며, 양 끝에 완전정합층(PML) 경계조건을 두어 무한공간으로 퍼져나갈 수 있도록 하였다.



(a) Time step = 20



(b) Time step = 40



(c) Time step = 80

그림 2. PML의 성능측정을 위한 Line-sourced 급전에 의한 자유공간 전파

Fig. 1. Propagation from a line-source in Free-space

공간격자에서 한 셀의 크기는 1mm이고 한 셀당 시간 간격은 1.667 pico second 이다. 이 실험 결과에서 알 수 있듯이 PML의 구현이 정상적을 흡수경계조건에 의한 파의 반사 현상은 일어나지 않는다.

다음은 응용구조인 슬롯 개구를 도체면 상에 가정한다. 그림 [3.6]와 같이 해석공간내의 Y축 중간지점에 무한 PEC 평면을 두어, 신호가 전파되지 못하는 면을 구현한다. PEC는 이므로 전자기파가 전파되어 나가지 못하는 성질을 가지고 있다.

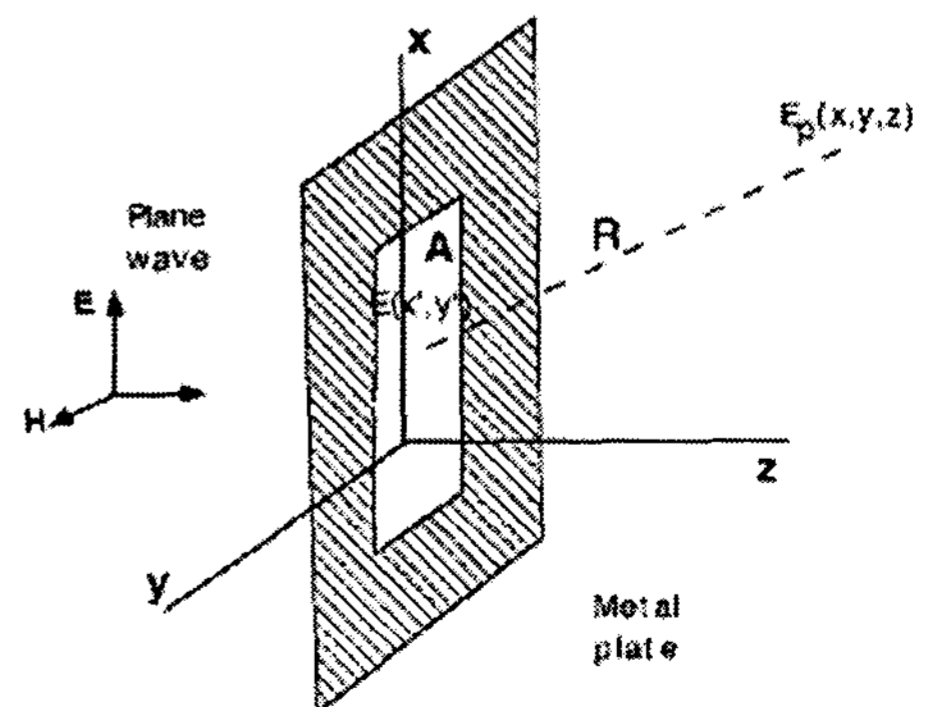
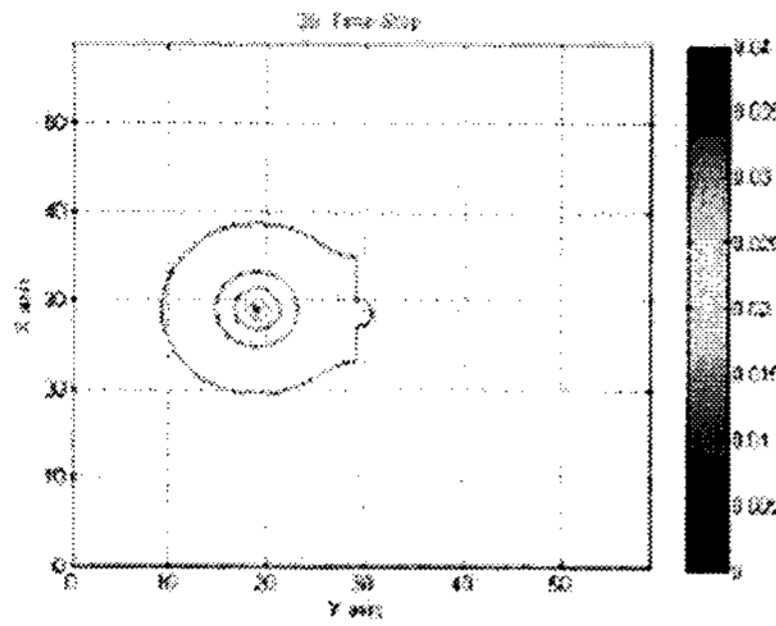
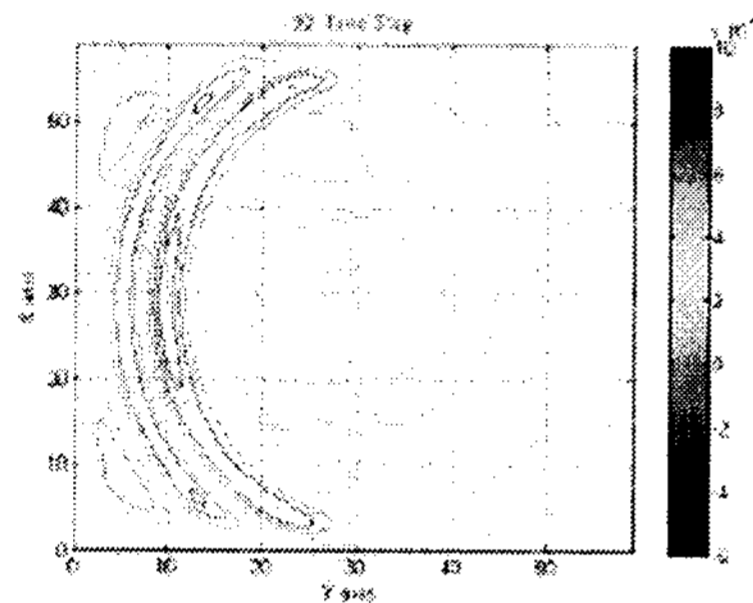


그림 3. 개구가 있는 금속차폐면에 평면파의 입사 상황.
Fig. 3. Wave incidence on the aperture of Metal Shield

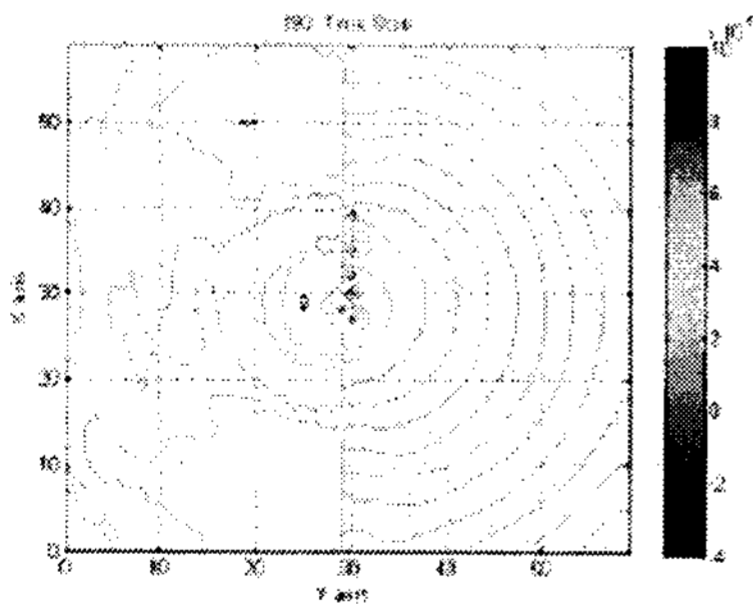
금속차폐면은 무한의 크기로 가정하였으므로 차폐면 가장자리는 PML 조건에 들어간다. 그리고 평면파는 수직입사를 가정하였다. 이 실험에 대한 전자파 분포는 시간상에서 순서대로 다음과 같다.



(a) Time step = 35



(b) Time step = 90



(c) Time step = 190

그림4. 시간별 슬랏을 통한 전자파 침투 결과.

Fig. 4. Wave Scattering due to the aperture of Metal Shield

따라서 이상과 같은 3차원 FDTD를 이용한 전자파 산란 문제의 해석을 통한 연구는 전자파 관련 시스템 설계 및 EMI/EMC 문제 해결을 위한 중요한 기초 작업이 될 것으로 기대된다.

VI. 결론

개구를 가진 금속면 차폐의 실효성을 고찰하기 위해 견실한 3차원 FDTD 프로그램을 구현하고, 전자파 침투문제를 살펴보았다. 이를 기반으로 하여 다양한 문제를 풀어보면 실제 EMC 해법에 다가설 수 있을 것으로 전망한다...

참고문헌

- [1] K. R. Umashankar and A. Taflove, Computational Electromagnetics: Integral Equation Approach. Norwood, MA: Artech House, 1993..
- [2] A. Taflove, Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method. Norwood, MA: Artech House, 1995...
- [3] A. Taflove, ed., Advances in Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method. Norwood, MA: Artech House, 1998.

주정호

2006-2007년 현재 인천대학교 정보통신공학과 대학원 석사 과정 재학중.

관심분야는 안테나, RF 부품설계 및 EMI/EMC 기술

장건호

-2007년 현재 인천대학교 정보통신공학과 재학중.

관심분야는 RF 부품설계 및 EMI/EMC 기술

강 승택

2000년 한양대학교 전자통신공학 박사

2000-2004년 한국전자통신연구원 선임연구원 위성통신용 초고주파부품 및 안테나 개발, 시스템 EMC

2004-2007년 현재 인천대학교 정보통신공학과 교수.

관심분야는 전자파 수치해석연구, 안테나 개발, 회로이론/ RF 부품설계 및 EMI/EMC 기술

김형석

1990년 서울대학교 전기공학 공학박사

1990-2002 순천향대학교 정보기술공학부 부교수.

2002~현재 중앙대학교 전자전기공학부 교수.

관심분야는 전자장 및 수치해석, RF 및 마이크로웨이브 소자 해석 및 설계, RFID 시스템 연구, IT-SoC응용 회로, 전력 IT