EMC 최근 기술 동향

밀집 공간 전자파 환경 수치 해석 기술 동향

여준호 · 김영호* · 윤재훈*
대구대학교 ·
*한국전자통신연구원

Ⅰ. 개 요

최근 급속하게 발전하고 있는 정보 통신 기술(Information and Communication Technology: ICT)을 기반으로 하여 이들 기술과 조선, 자동차, 의료, 건설, 방송통신 등의 다른 산업들과의 융합이 확산되고 있으며, 산업 구조에도 큰 변화를 일으키고 있다. 이와 더불어 우리가 사용하고 있는 정보통신기기들도 그린(Green) IT 구현을 위해 무선화, 소형화, 저전력화되고, 이들 간의 컨버전스(convergence)를 통한 스마트(smart)화가 가속화되고 있다. 이에 따라 집, 사무실 등과 같은 좁은 공간에 서로 다른 다수 개의 정보통신기기가 동시에 운용되는 밀집 공간 전자파 환경이 늘어나고 있으며, 이들 정보통신기기로부터 발생되는 의도성(intentional) 및 비의도성(unintentional) 전자파에 의해 다른 전자제품이나 통신기기가 영향을 미칠 가능성이 매우 높아지고 있다. 따라서, 다양한 정보통신기기들이 서로 영향을 최소화하면서 양립할 수 있도록 하기 위한 전자파 적합성(ElectroMagnetic Compatibility: EMC) 대책 기술에 대한 관심이 높아지고 있으며, 특히 이들 정보통신기기가 존재하는 밀집 공간의 전자파 환경에서의 전자파 장해(ElectroMagnetic Interference: EMI) 예측 기술에 대한 요구가 계속 증가하고 있다.

본 고에서는 밀집 공간 전자파 환경에 적용할 수 있는 수치해석 기법을 위해 현재 전자파 환경 수치해석기법으로 많이 사용되는 방법들 중에서 광대역 주파수 정보를 한 번에 분석할 수 있고, 시간 영역 데이터를 생성할 수 있는 시간 영역 유한차분법(finite difference time domain method)과 대표적인 전자파 밀집공간인 사무실 공간에 대한 최근 국내외 연구 동향을 살펴보고자 한다.

Ⅱ. 시간 영역 유한차분법 해석 영역 확장 연구 동향

시간 영역 유한차분법의 최신 연구 동향을 분석하기 위해 2009년 6월 1일~5일에 걸쳐 미국 찰스톤(Charleston)에서 열린 2009 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation(AP-S) 학회에 발표된 시간 영역 유한차분법과 관련된 5개 세션의 논문들과 2009년 8월 17일~21일에 미국 오스틴(Austin)에서 개최된 IEEE Electromagnetic Compatibility(EMC) 2009 Symposium의 시간 영역 유한차분법 관련 발표 논문들의 동향을 해석 영역 확장과 계산 속도 향상 분야에 대하여 분석하였다.

먼저, AP-S에서 발표된 시간 영역 유한차분법과 관련된 논문들 중에서 해석 영역 확장과 계산 속도 향상과 관련된 논문들을 큰 틀의 다섯 가지 특징을 살펴보면, 첫 번째로 영역 분할과 병렬 기법을 이용하여 해석 영역을 확장하고 계산 속도를 향상시키는 방법

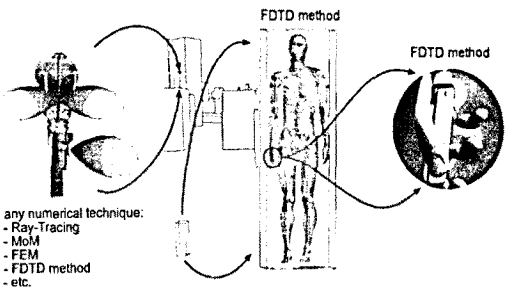
이며, 두 번째로 CPU를 사용하는 대신 그래픽 처리 장치(GPU: Graphics Processing Unit)를 이용하여 병렬 처리하는 방법이다. 세 번째는 계산 속도를 향상시키기 위해 여러 가지 수치 해석법을 혼합하여 적용하는 방법 및 Huygens Source를 이용하는 방법이며, 네 번째는 고차 유한차분 방정식을 이용하여 메모리 사용량과 계산 시간을 줄이는 방법이 있을 수 있다. 마지막으로는 미세한 구조의 격자를 조밀하게 하여 메모리 사용량과 계산 시간을 줄이는 방법이다. 특히, Huygens Source를 이용한 방법은 [그림 1]에 있는 예와 같이 사람 손에 있는 휴대폰의 수신 특성을 분석하고자 할 때 기지국의 송신 안테나와 사람이 약하게 결합되어 있는 경우, 사람 주변에 Huygens Box를 지정하여 Huygens Box로 입사하는 파를 TFSF(Total Field Scattered Field) Plane Wave Excitation을 이용하여 구한 후, 이것을 Huygens Box 안에 있는 사람에게 여기시키는 방식으로 시뮬레이션함으로써 계산 속도를 향상시키고 메모리 사용량을 크게 줄일 수 있다[1].

EMC Symposium에서는 EMI/EMC 관련 수치 해석 분야는 9번째 기술위원회인 TC9에서 주관한 세션들에 23개의 논문이 제출되었으며, 대부분의 논문은 특정 구조에 대하여 특정 수치 해석 기법을 사용 및 해석하여 실험 등을 통해 검증하거나 기존의 수치해석 기법과 다른 기법을 이용하여 보다 정확하고 빠르게 해석하는 주제를 다루었다. 또한, Tutorial/Workshop 중에서 수치 해석과 관련된 내용은 EMI 모델링 기술에 대한 소개와 복잡한 시스템을 실제 해석 가능한 정확한 모델로 간략화 시키는 방법이다. 그 중에서 복잡한 EMC 문제를 간략화하기 위해서 near-field scan 과 같은 물리적인 실험 결과를 바탕으로 간략화된 등가 모델을 만든 후 시뮬레이션 함으로써 계산 속도를 향상시키고 메모리를 줄일 수 있는 방법은 밀집 공간 전자파 환경 예측을 위해 적용할 수 있는 좋은 알고리즘으로 판단된다[2].

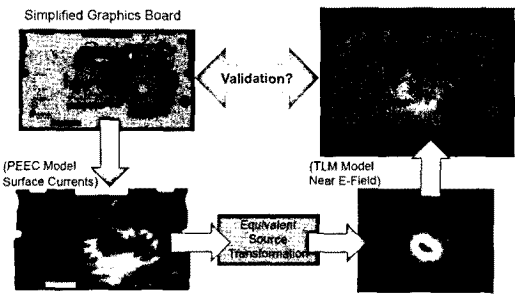
Ⅲ. 사무실 공간 해석 연구 동향

사무실 공간에 대한 모델링은 대부분 전파 환경 예측이나 EMI 문제 해석을 위해 ray tracing 기법이나 시간 영역 유한차분법 등을 이용하여 이루어져 왔다. 대표적인 예로서 P. Bernardi 등에 의해 발표된 "EMC-oriented field prediction for indoor microwave LAN system" 논문에서는 실내 무선 LAN 시스템을 설계하거나 EMI/EMC 문제를 연구하는데 유용한 복잡한 무선 환경에서의 전기장 분포 예측에 관한 내용이 소개되었으며, 이를 위해 uniform theory of diffraction (UTD)를 이용한 3차원 beam-tracing 방법이 사용되었다[3]. 사무실 공간은 x와 y축 방향으로 각각 5 m이고, 높이는 z축 방향으로 3 m이며, 내부에는 나무 책상, 금속 캐비넷, 나무 캐비넷이 배치되어 있다.

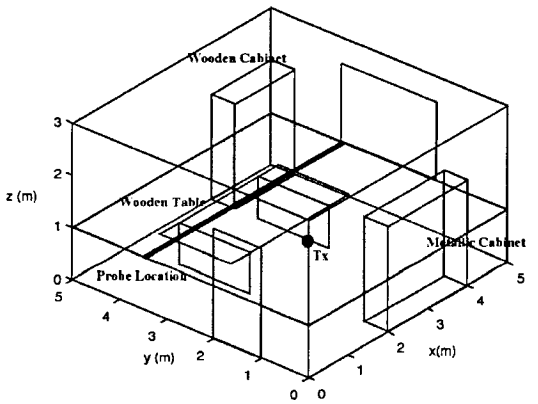
[그림 3]에 나타나 있는 공간 바깥쪽에 벽이 있으며, 수치 해석을 위해 사용된 벽과 나무, 금속 등에



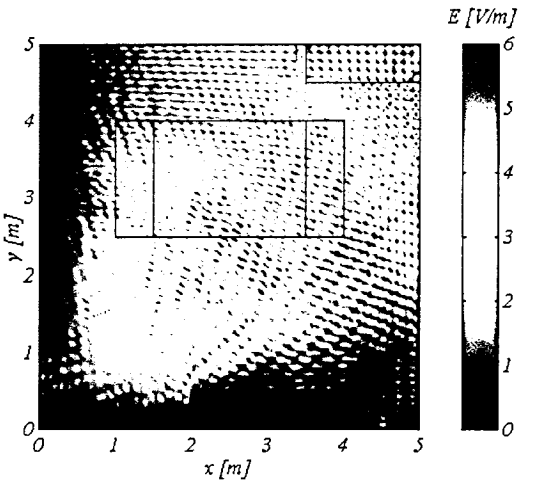
[그림 1] Huygens source를 이용한 FDTD 해석법



[그림 2] 그래픽 보드에 대한 간략화된 등가 모델



[그림 3] 책상과 캐비넷이 있는 사무실 공간



[그림 4] 1.8 GHz에서 1 m 높이에서의 전기장 크기

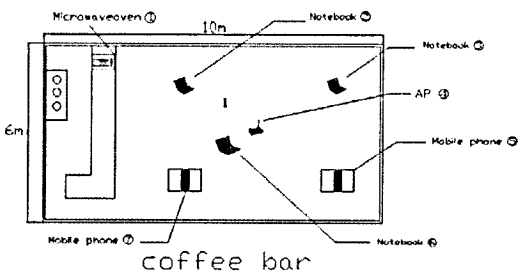
대한 물질 특성은 <표 1>에 나타나 있다. 1.8 GHz에서 동작하고 출력이 250 mW인 수직 편파 corner reflector 송신 안테나가 [그림 3]에 나타나 있듯이 한 쪽 모서리 위쪽에 위치하고 있다. 밑바닥으로부터 1 m 높이에서의 장들이 계산되었으며, [그림 3]의 x축을 따라 전기장(E-field) probe 위치에서의 수신 전력을 계산하였다. [그림 4]는 밑바닥으로부터 1 m 높이에서의 전기장 크기의 분포를 나타내고 있으며, 다중 반사(multiple reflection)와 회절(diffraction)에 의한 다중 경로 페이딩(multipath fading)이 발생하고 복잡한 장들이 분포함을 알 수 있다.

한편, G. Lin 등에 의해 발표된 "The Electromagnetic (EM) Characterization of the Radiated Environment in the 2.4 GHz Band" 논문에서는 가정(home), 사무실 (office) 및 몇몇 상업용 가게 등에서의 2.4 GHz 전자파 환경을 연구하였다[4]. 특히, 2.4 GHz 무선 LAN 시스템이 동작하고 있을 때 이들 공간에서 사용될 수 있는 여러 전자기기들에 대한 전자파 간섭 등을 분석하였다.

[그림 5]에는 가로 10 m, 세로 6 m의 무선 인터넷 접속 환경이 제공되는 커피 바(coffee bar) 환경이 나타나 있으며, 무선 LAN AP가 중앙의 높이 3 m의 천정에 위치하고 있으며, 그 주변에 3대의 노트북과 2대의 휴대폰이 밑바닥으로부터 0.8 m 높이에 위치해 있다. 이 외에 0.8m 높이의 책상 위에 전자레인지가 위치하고 있다. 이 경우에도 무선 장치들 사이에 벽

<표 1> 사무실 공간의 물질 특성

	ε_r	σ(S/m)	Thickness(cm)
Ceiling and floor	7.9	0.089	25.0
External brick wall	5.2	0.028	22.0
Internal brick wall	5.2	0.028	12.0
Metallic structure	1.0	10^7	-
Wooden structure	3.0	0.0	4.0
Glass window	3.0	0.0	0.5



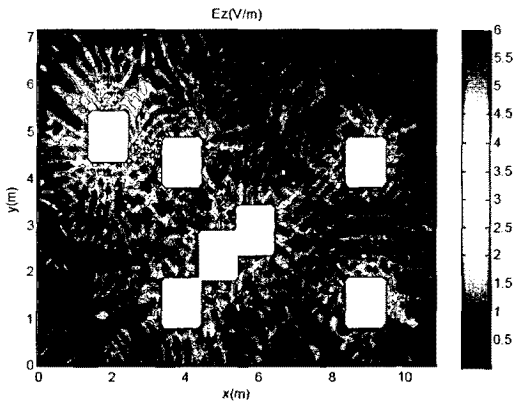
[그림 5] 커피 바 환경

과 같은 장애물이 없다. [그림 6]은 무선 LAN AP가 동작할 때 전자 장치들이 위치한 0.8 m 높이에서의 공항 라운지 환경에 분포하는 전기장의 세기를 나타내고 있다. 이 경우에 전자레인지가 꺼져 있고 무선 LAN AP만 동작할 경우 1번 위치에서 측정된 수신 전력은 -27.04 dBm이고, 계산된 신호 세기와 내성 레벨은 각각 127.62 dBμV/m와 2.4 V/m이다.

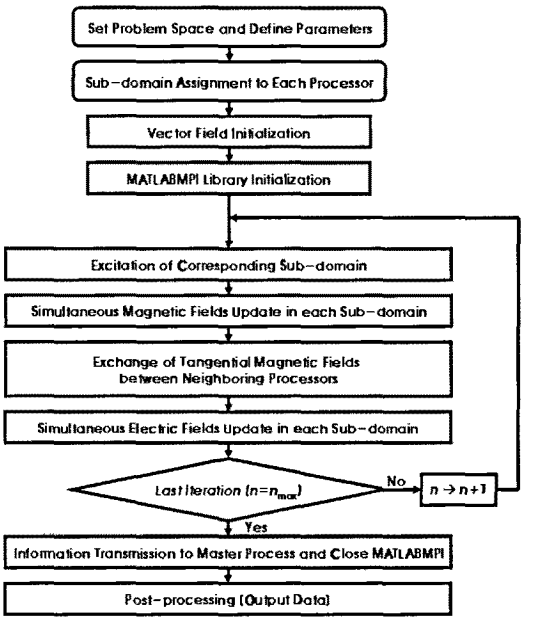
Ⅳ. MATLAB MPI와 시간 영역 유한차분법을 이용한 사무실 공간 해석

앞에서 살펴본 시간 영역 유한차분법과 사무실 공간 해석과 관련된 동향 조사 결과를 바탕으로 간단한 사무실 공간을 해석하였다. 시간 영역 유한차분법은 C, C++ 및 Fortran과 같은 기존 프로그래밍 언어보다 손쉽게 프로그래밍할 수 있는 MATLAB을 이용하여 구현되었으며, 해석 영역을 확장하고 계산 속도를 향상시키기 위하여 MATLAB MPI(Message Passing Interface)를 이용하여 병렬 시간 영역 유한차분법(Parallel FDTD Method)을 구현하였다[5].

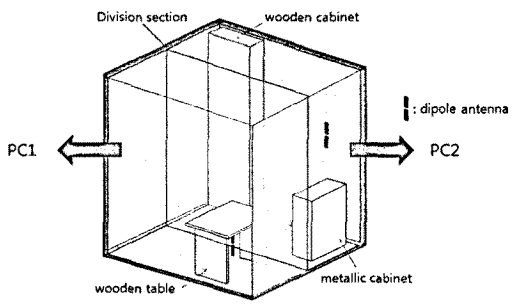
구현된 병렬 시간 영역 유한차분법을 이용하여 [그림 8]에 나타나 있는 작은 사무실 공간을 시뮬레이션하였다. 사무실 공간은 가로, 세로, 높이가 각각 570 mm인 정육면체로서 두께 24 mm의 시멘트 벽으로 둘러싸여 있다. 내부에는 나무 책상, 나무 캐비넷, 철제 캐비넷이 배치되어 있고, 1.8 GHz에서 동작하는 다이폴 안테나가 책상 밑에 있고, 2.4 GHz에서 동작하는 다이폴 안테나가 책상 밑에 위치하고 있다. 이



[그림 6] 커피 바 환경에서 0.8 m 높이에서의 z축 방향 전기장 세기 분포



[그림 7] MATLAB MPI를 이용한 병렬 시간 영역 유한차분법 구현



[그림 8] 병렬 시간 영역 유한차분법을 이용한 작은 사무실 공간 해석

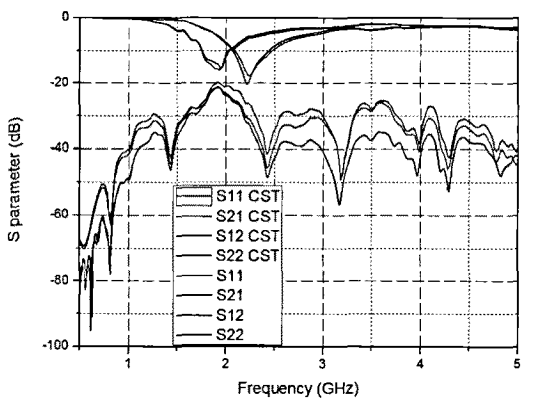
때, 벽, 나무 등에 대한 물질 특성은 <표 1>의 것을 그대로 사용하였다.

구현된 병렬 시간 영역 유한차분법의 성능을 확인하기 위하여 주어진 사무실 공간을 y축 방향으로 이등분하여 두 대의 PC를 이용하여 해석한 후 한 대의 PC를 이용한 경우와 *S*-parameter 시뮬레이션 결과와 계산 시간을 비교하였다. *S*-parameter 시뮬레이션 결과의 경우 CST Microwave Studio로 시뮬레이션한 결과와 거의 일치하였다. 계산 속도의 경우, 한 대의 PC를 이용한 경우와 비교할 때 효율이 160~170 %로 향상되었다. 이론적으로 두 대의 PC와 MATLAB MPI를 이용한 병렬처리 결과의 효율이 200 %가 되어야 하지만 passing에 걸리는 속도와 네트워크 드라이브 및 네트워크의 속도 때문에 효율의 감소가 있었다.

V. 결 론

본고에서는 밀집 공간 전자파 환경에서의 전자파 적합성 문제 분석에 적용하기 위해 여러 수치 해석 기법 중에서 시간 영역 유한차분법의 최근 국내외 연구 동향을 분석하였고, 사무실 공간 전자파 환경 해석에 관한 동향도 살펴보았다.

시간 영역 유한차분법의 연구 동향을 정리해 보면, 첫 번째로 영역 분할과 병렬 기법을 이용하여 해석 영역을 확장하고 계산 속도를 향상시키는 방법이며, 두 번째로 CPU를 사용하는 대신 그래픽 처리 장치를 이용하여 병렬 처리하는 방법이다. 세 번째는 계산 속도를 향상시키기 위해 여러 가지 수치 해석법을 혼합하여 적용하는 방법 및 Huygens Source를 이용하는 방법이며, 네 번째는 고차 유한차분 방정식을 이용하여 메모리 사용량과 계산 시간을 줄이는 방법이 있을 수 있다. 마지막으로는 미세한 구조의 격자를 조밀하게 하여 메모리 사용량과 계산 시간을 줄이는 방법이 있다.



[그림 9] 두 다이폴 안테나의 *S*-parameter 비교

이러한 방법들 중에서 MATLAB과 MATLAB MPI를 이용하여 병렬 시간 영역 유한차분법을 구현하였으며, 작은 사무실 공간을 해석하여 해석 영역 확장성을 확인하였다. 두 대의 PC를 이용한 경우, 효율이 170 %에 머물고 있으나, 최적화를 통하여 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 이러한 병렬 처리기법과 Huygens Source를 결합한다면 메모리 용량을 줄이고 계산속도와 해석 영역을 획기적으로 향상시킬 수 있을 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

[1] S. Benkler, N. Chavannes, and N. Kuster, "Novel FDTD huygens source enables highly complex simulation scenarios on ordinary PCs", *2009 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, Charleston, USA, pp. 1-4, Jun. 2009.

[2] D. P. Johns, S. W. Mee, "Combining PCB, enclosure, and cable modeling for EMC assessment of an automotive module", *2009 International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Austin, Texas, USA, Aug. 2009.

[3] P. Bernardi, R. Cicchetti, and Orlandino Testa, "EMC-oriented field prediction for indoor microwave LAN

Systems", *Symp. XXVIIth URSI General Assembly*, Maastricht, Netherlands, Aug. 2002.

[4] G. Lin, X. Li, and L. Wei, "The Electromagnetic (EM) characterization of the radiated environment in the 2.4 GHz band", in *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Austin, Texas, USA, Aug. 2009.

[5] Jeremy Kepner, "Parallel programming with MatlabMPI", http://www.ll.mit.edu/mission/isr/matlabmpi/matlabmpi.html

≡ 필자소개 ≡

여 준 호

1992년: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
1994년: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
2003년: 미국 Pennsylvania State University 전기공학과 (공학박사)
1994년 3월~1999년 6월: 국방과학연구소 연구원
2003년 9월~2004년 6월: 미국 Pennsylvania State University 박사 후 과정
2004년 8월~2007년 2월: 한국전자통신연구원 RFID 시스템 연구팀 선임연구원
2007년 3월~현재: 대구대학교 정보통신공학부 조교수
[주 관심분야] 전자파 수치해석 고속화 기법, EBG 구조를 이용한 안테나 설계, FSS 및 AMC 설계, RFID 태그 안테나 설계 등

김 영 호

1999년: 전북대학교 전자공학과 (공학석사)
1999년 7월~현재: 한국전자통신연구원 선임연구원
[주 관심분야] 무선통신, SiGe RFIC 설계, CMOS RF/Analog/ Mixed-mode 집적회로설계, 반도체 IC EMI/EMC

윤 재 훈

1984년: 중앙대학교 전자공학과 (공학사)
1986년: 중앙대학교 전자공학과 (공학석사)
1998년: 중앙대학교 전자공학과 (공학박사)
1990년 2월~현재: 한국전자통신연구원 책임연구원
2006년 2월~2007년 12월: UST 이동통신/디지털방송학과 교수
2002년 2월~2008년 2월: ETRI Journal 편집위원
2010년 1월~현재: 한국전자파학회 미래전파연구회 위원장
[주 관심분야] 표준전자파발생기술, EMI/EMC, 안테나측정기술, 전자파환경기술, RF 에너지 전송기술