

EMI/EMC 실험을 위한 Four-wires을 이용한 안테나 설계

Design of an Antenna Using Four-wires for EMI/EMC Experiment

강성원 · 김준규 · 소준호* · 정용식** · 천창율

Sung-Won Gang · Jun-Kyu Kim · Jun-Ho So* · Young-Seek Chung** · Chang-Yul Cheon

요 약

본 논문은 Four-wired 안테나를 이용하여 EMI/EMC 실험을 할 수 있는 안테나를 설계, 제작하였다. 일반 TEM-cell과 비교하여 이번 논문에서 설계, 제작하는 안테나의 특징은 무반향실에 broadband balun, Four-wired 안테나와 Loading resistances을 쉽게 설치하여, E-field polarization을 선택할 수 있다는 점이다. 그리고 공간의 제약없이 기존의 무반향실을 이용하여 적은 비용으로 EMI/EMC 실험 환경을 구축할 수 있다. 제작된 안테나는 S, C 및 X-band에서 EMI/EMC 실험을 할 수 있는 가로, 세로, 높이 모두 약 10 cm 정도의 크기를 갖는 quiet zone을 얻을 수 있었다.

Abstract

In this paper, a Four-wired antenna was designed and manufactured using Four-wires in order to perform EMI/EMC experiments. As compared with a TEM cell, the feature of the Four-wired antenna has simple installment with broadband balun, a Four-wired antenna, and loading resistances in an anechoic chamber. And the E-field polarization of antenna can be easily changed. Without the limitation of space, EMI/EMC experimental environment could be built within the anechoic chamber with the moderate cost. In S, C, and X-bands, the manufactured antenna was able to make an experiment on EMI/EMC with the DUT which has the quiet zone of the height, width, length equal to about 10 cm.

Key words : Four-wired Antenna, Loading Resistances, Anechoic Chamber, V Type Antenna, E Field Distribution

I. 서 론

EMI/EMC 실험을 하기 위해서는 광대역 주파수를 송수신할 수 있는 안테나가 필수적이다. 실험 주파수는 측정 장비의 운영 주파수 및 안테나에 의해서 결정이 된다. 그래서 광대역 주파수 실험을 하기 위해서는 최대한 넓은 범위의 대역을 갖는 장비 및 안테나를 써야 한다. Log-periodic 안테나, Spiral 안테나, 혼 안테나 등의 광대역 안테나들은 크기가 크고 설치가 쉽지 않고 고가의 장비들이다. 일반적으로 GTEMcell(GigaHertz Transverse Electromagnetic Cell)

은 그 크기가 크고 무겁기 때문에 장비를 설치하기 어렵고 가격 또한 고가이다.

반면 이 논문에서 다룬 안테나는 길이가 긴 네 개의 도선을 이용하여 광대역 주파수 범위를 만족하고 균일한 전계를 생성하는 V자 형태의 안테나를 설계, 제작하였다. 단일 안테나로는 광대역 균일한 전계분포를 생성할 수 없기 때문에 네 개의 선들을 그림 1과 같이 무반향실에 설치하여 전계가 일정하게 생성되도록 설계하였다. 균일한 전계를 만들기 위해서 V 형태 안테나 두 개의 모양을 대칭으로 하고 입력 단에서부터 안테나 종단 부분까지 위상이 일정해야 하

「본 연구는 서울시립대학교의 2006년도 학술연구용 첨단장비 활용 사업의 지원으로 연구되었음.」

서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부(Department of Electrical & Computer Engineering, University of Seoul)

*국방과학연구소(Agency for Defense Development)

**광운대학교 전파공학과(Department of Wireless Communications Engineering, Kwangwoon University)

· 논문 번호 : 20070206-022

· 수정완료일자 : 2007년 5월 2일

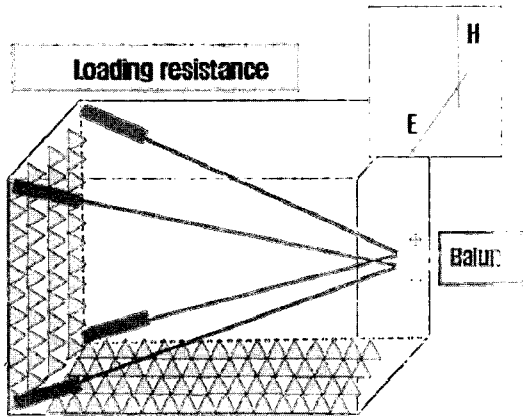


그림 1. Four-wired 안테나 내부 구조
Fig. 1. Internal structure of a Four-wired antenna.

기 때문에 입력 단에 모든 주파수에서 위상차가 180° 차이가 나도록 설계해 준다.

그림 1에서 Four-wired 안테나가 광대역 특성을 만족하기 위해서는 원하는 주파수 범위에서 임피던스 정합(matching)이 이루어져야 한다. 길이가 긴 직선의 안테나는 종단이 개방될 경우 반사파가 생겨 안테나에서 정재파가 발생된다. 그래서 안테나 종단부분에 일련의 저항을 달아 원하는 주파수 범위에서 정합이 되도록 하였다. 본 논문에서는 NEC(Numerical Electromagnetic Code) 프로그램을 이용하여 Four-wired 안테나의 전류 분포와 정재파비(VSWR: Voltage Standing Wave Ratio)를 계산하였다. 이를 바탕으로 안테나 입력단의 형태, 모양을 설계할 수 있었고, 안테나 종단에 설치될 저항의 값과 수를 결정할 수 있었다. 원하는 주파수 범위의 파장을 고려하여 도선의 전류가 안테나 종단에서 반사가 최소가 되어야 하기 때문에 저항의 길이 및 크기를 적절히 선택하여 Far-field 영역의 전계분포를 생성하였다.

전파가 안테나에 입사되었을 때 무반향실의 벽에 맞고 반사파가 생길 수 있다. 이와 같은 문제점은 무반향실 전체를 흡수체로 붙여서 반사를 없애고, 실험 측정시 네트워크 분석기(VNA: Vector Network Analyzer)의 시간 영역 게이팅(gating) 기능을 이용하여 반사파를 최소화 할 수 있다.

II. Four-wired 안테나 이론 및 설계 방법

제작하고자 하는 Four-wired 안테나의 내부 구조는 그림 1과 같다. Balun을 사용하여 두 개의 입력 포트에 180° 위상 차이가 나는 신호를 두 개의 도선이 합쳐진 V형 도선 입력 단에 인가해 준다. 그러면 내부의 전계 분포는 전계가 수평으로 분포하게 된 상태로 전자파가 진행하게 된다. 그리고 도선 종단에는 저항을 달아 광대역으로 정합이 되게 한다. 그리고 도선의 종단은 무반향실의 각 모서리 부근에 고정하여 quiet zone이 최대 크기가 나올 수 있게 한다. 무반향실의 흡수체로 실내 반사파가 최소가 되도록 한다.

내부 전계가 수평으로 일정하게 분포되어 진행하기 위하여 두 개의 입력 부분의 위상차가 180° 차이가 되도록 만들었다. 안테나 도선의 반경, 그리고 도선끼리의 간격을 조절하여 balun과 정합시킬 수 있었다. 본 논문에서 사용한 balun은 Picosecond社의 모델 5320B 제품으로 5 kHz~11 GHz의 동작 주파수를 가지고 있고, 입력력 저항이 모두 50 Ω이다. 그리고 삽입 손실이 6.5 dB 정도이다.

제작된 안테나는 그림 2와 같다. 이때 외부 동판의 가로 세로 길이는 각각 56 cm이고 무반향실과 연결되어 접지되어 있다. 무반향실 내부에는 4개의 도선은 Balun의 각 (+), (-) 입력 포트에 연결하였다. 이때 입력 부분이 50 Ω 구조를 유지하기 위해 도선 사이의 간격, 도선과 동판 사이의 간격, 그리고 커넥터 사이의 간격을 그림 3처럼 시뮬레이션을 사용하여 알아 낼 수 있었다.

여기서 도선의 종단 부분은 quiet zone을 최대 면적으로 하기 위해서 무반향실 가장 모서리 부분에 있는 흡수체에 연결하였으며, 무반향실의 크기는 가로, 세로, 높이 모두 1 m 30 cm이다. 커넥터끼리의 거리

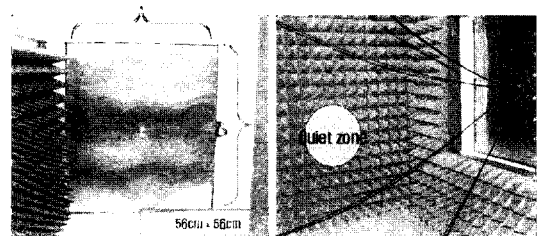


그림 2. 무반향실 외부 및 내부 구조
Fig. 2. Geometry of anechoic chamber.

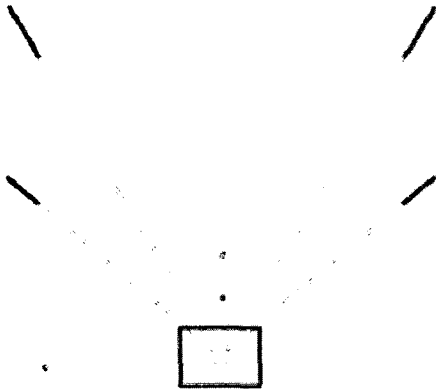


그림 3. NEC 프로그램 안테나 구조
Fig. 3. Geometry antenna in NEC program.

는 약 1.8 cm이고, 도선과 동판 사이의 거리는 약 5 mm이다. V형태의 안테나 사이의 각도는 약 25°이다. 그리고 Quiet zone이 형성되는 지점은 안테나의 중간 지점에서 형성되기 때문에 그림 2의 우측 그림에 표시하였다. 이 지점에서 DUT(Device Under Test)를 두고 실험을 할 수 있다.

그림 4를 보면 두 개의 입력 부분의 S_{11} 을 1~10 GHz 대역에서 -10 dB 이하의 S_{11} 을 얻을 수 있었다. 시뮬레이션을 한 결과, 그 도선의 직경이 약 4 mm 정도일 때 정합 특성이 가장 좋았다. 본 논문에서 안테나 제작에 사용된 도선은 직경이 3.568 mm인 Flexible cable의 외각 도선을 사용하였다.

다음으로 광대역 정합을 하기 위해서 도선 종단에

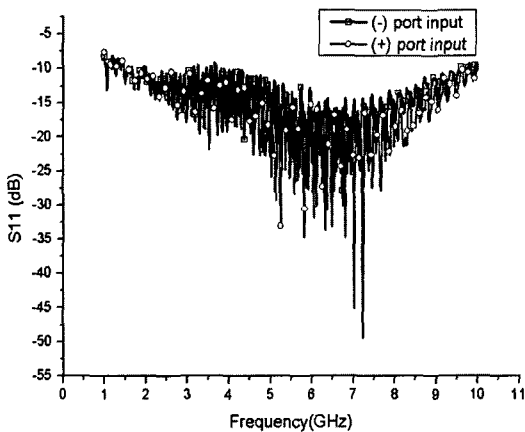


그림 4. 입력 포트 S_{11}
Fig. 4. Input port S_{11} .

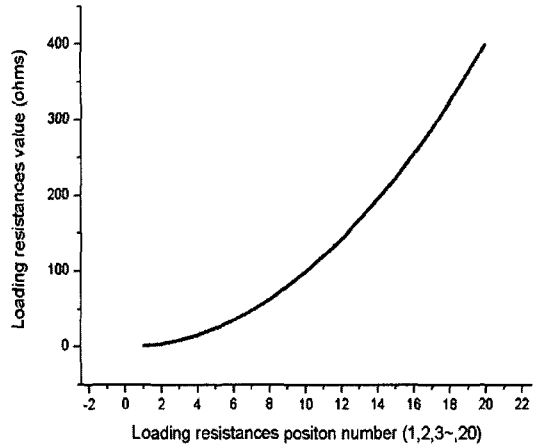


그림 5. 위치에 따른 부하 저항의 값
Fig. 5. Value of loading resistances.

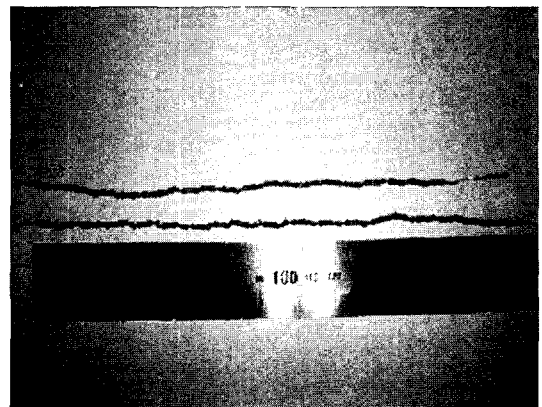


그림 6. 완성된 저항
Fig. 6. Completed loading resistances.

부하 저항법을 사용하였다. 모든 주파수를 적절히 소멸시키기 위해서는 그림 5와 같이 저항은 위치에 따라 제공의 함수나 지수함수 형태로 증가하는 값을 가져야 한다. 시뮬레이션을 사용하여 제공 함수 값을 갖는 저항 값을 알아내었다. 1/4 W 일반 저항 20개를 직렬로 연결하여 저항 값이 작은 부분을 도선에 연결하고 저항 값이 큰 부분은 흡수체에 연결하였다. 그 값은 1, 4, 9~361, 400 ohm 값을 가지는 20개의 저항으로 1~20의 각각의 제품 값이다. 저항의 길이와 값들은 안테나의 주파수 파장의 결정된다. 최대 주파수인 10 GHz는 저항의 첫 부분에서 소멸되게 되고, 최저 주파수인 1 GHz는 저항의 첫 부분부터

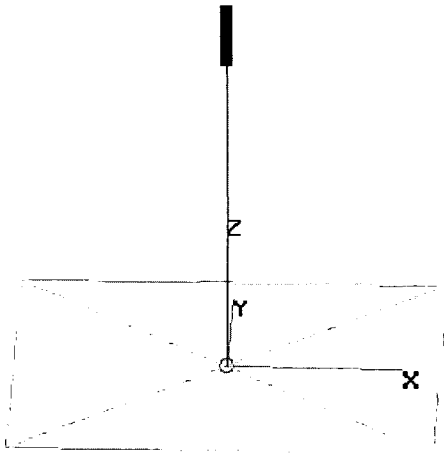


그림 7. 저항을 단 모노폴 안테나
Fig. 7. Monopole antenna with loading resistances.

종단 부분까지 걸쳐서 소멸된다. 일련의 저항의 길이는 최고, 최저 주파수 모두 적절히 소멸되도록 정해져야 한다. 그리고 그 값들은 최고 주파수일 경우 짧은 거리에서 소멸되기 때문에 저항의 첫 부분은 값의 변화가 적지만, 최저 주파수일 경우 긴 거리에서 소멸되기 때문에 저항 값은 급격히 변화해야 한다. 저항 연결 시 저항 값이 함수 형태에 따라서 균일하게 증가하기 위해서는 저항간의 간격이 더 좁아야 한다. 실제 측정시 최소한의 간격으로 이은 안테나의 S_{11} 특성이 모든 주파수에서 일정하게 나왔다. 그림 6에서 위에 있는 것이 저항을 최소한의 간격으로 직렬 연결한 모습이다.

그림 7은 모노폴 안테나 형태로 단일 도선 종단에 부하 저항을 연결한 모델이다. 시뮬레이션 결과, 1.2 m 길이의 모노폴 안테나 종단에 그림 5의 수치를 갖는 20개의 저항을 달아 S_{11} 변화를 그림 8에 나타내었다. 그림 8에서는 시뮬레이션 결과 및 직접 실험을 통해서 측정된 안테나의 주파수 특성을 보여주고 있다.

도선 종단이 개방되어 있을 때는 반사파로 인해 정재파비가 컸지만 부하 저항을 연결하여 주파수에 대하여 정재파를 일정하게 할 수 있었다. 실제 측정에서도 주파수에 대해서 일정한 S_{11} 을 얻을 수 있었다. 고주파로 갈수록 측정치 값이 NEC 값과 차가 나는 걸 알 수 있는데, 그 이유는 저항과 저항 사이를 연결하는 간격의 차이이다. 저항 사이들 간의 불

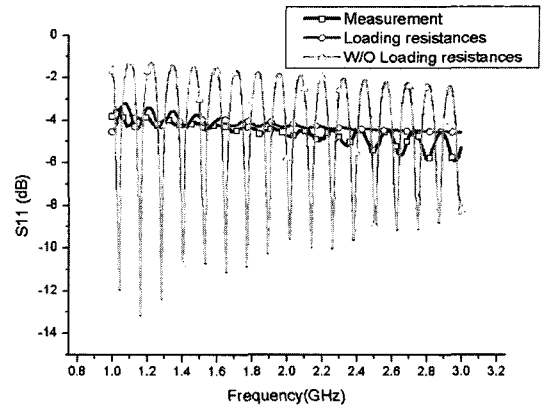


그림 8. 모노폴 안테나의 S_{11} 특성
Fig. 8. S_{11} of monopole antenna.

연결성으로 인해서 고 주파수로 갈수록 시뮬레이션 값과 오차가 난다.

제작된 V형 안테나는 동판과 일정한 각을 이루고 있다. 그래서 도선 종단에 부하 저항을 연결한 모노폴 안테나를 동판에 기울여 동판과 수직이 아닌 각에 따른 영향을 도선의 전류 특성을 구함으로써 알아보았다.

도선과 동판 사이의 각도에 따른 도선의 전류를 도선 segment 번호에 따라 그림 9에서 나타내었다. 270개의 segment 중에 저항을 단 20개의 segment에 의해서 전류 값이 일정하게 감소하는 것을 알 수 있었다.

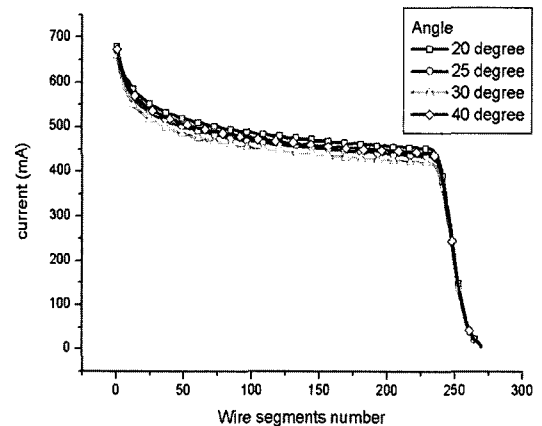


그림 9. 동판과 안테나의 사이의 높이에 따른 도선 segments의 전류 변화
Fig. 9. Current variation of wire segments as the height between copper plate and antenna.

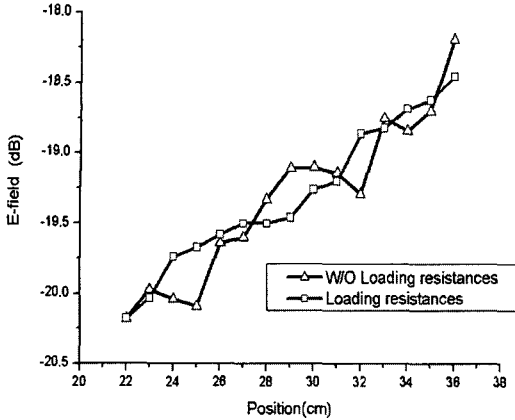


그림 10. 저항 있을 때 없을 때 전계 분포
Fig. 10. Distribution of E-field intensity with or without resistances.

20개의 저항이 voltage 반사파를 줄임으로써 흐르는 전류가 일정하게 흐를 수 있다. SWR(Standing Wave Ratio) 값이 크다면 흐르는 전류는 정현곡선의 모양으로 흐른다. 적절한 저항을 도선 종단에 연결함으로써 안테나의 특성을 향상시킬 수 있었다.

그리고 도선에 저항을 연결함으로써 안테나 내부의 전계 분포의 변화를 살펴볼 수 있었다. 이는 저항이 반사파를 줄임으로써 안테나 내부 전계 분포가 균일해짐을 알 수 있었다. 그림 10에서 안테나 입력 부분에서 종단 부분까지 전계 값을 측정하였을 때 위치에 따라 저항을 연결했을 때는 전계 값이 계속 감소하는 반면 저항을 달지 않았을 때는 전계 값이 증가 감소를 반복하는 것을 알 수 있었다.

전계 분포를 비교해서 저항의 특성을 알 수 있는 방법 이외에도 타임 도메인에서 저항의 특성을 파악할 수 있었다. 타임 도메인에서 벡터 네트워크 분석기 포트에서부터 시작해서 안테나의 S_{11} 을 조사해보았다. 커넥터 부분이나 입력 부분 그리고 balun 입, 출력 부분에서는 50 Ω 정합이 되어 있더라도 시간 상에서 보면 불연속성을 확인할 수 있기 때문에 저항을 연결했을 때와 연결하지 않았을 때를 비교 분석할 수 있었다. 저항이 있을 때와 없을 때의 S_{11} 을 두 번 측정하여 그림 11에서 비교하였다. 그림 11을 보게 되면 도선 종단이 개방되어 있을 때는 반사파 저항이 있을 때보다 심하기 때문에 S_{11} 이 더 큰 것을 볼 수 있었다. 즉, 20개의 저항의 저항 값이 제곱

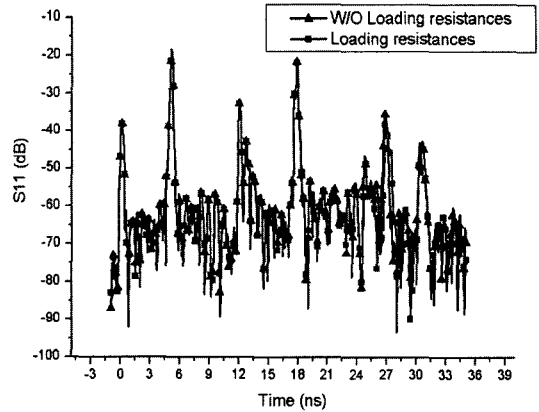


그림 11. 시간 영역에서 본 안테나의 S_{11}
Fig. 11. S_{11} of antenna in time domain.

으로 차례대로 커지면서 반사파가 줄인다는 것을 알 수 있었다. 시간상으로 부하 저항이 위치한 25.91(ns)에서 저항이 있을 때는 -68 dB이고, 저항이 없을 때는 -53 dB이어서 약 15 dB의 차이를 보이고 있다.

Ⅲ. Four-wired 안테나 전계 분석

Four-wired 안테나에는 두 개의 도선이 서로 연결되어 V자 형태의 도선으로 존재하게 된다. V형 도선이 두 개의 입력 포트에 연결되기 때문에 우선 하나의 V형 안테나를 만들어 그 특성을 확인하였다. 그래서 동판 위에 두 개의 구리 도선을 붙여서 그림 12와 같이 구성하여 동판과 구리 도선 사이의 수직으로 분포하는 전계를 다이폴 안테나를 사용하여 알아 보았다.

그림 12에서 안테나 내부를 직선 1, 2, 3 위치를 안테나 종단 부분에서 입력 부분까지의 전계 분포를 알아보았다. 그림 13은 안테나와 동판 사이에 수직으로 분포하는 전계를 측정하는 다이폴 안테나에 옆 모습이다. 그 결과 연속된 영역에서의 상대적인 전계 값이 ± 1 dB 이하의 영역을 그림 14에서 살펴볼 수 있었다. 도선에 중간 직선 2 부분에서 상대적 전계 값이 ± 1 dB 차이가 나는 영역이 약 10 cm 정도 존재하는 것을 알 수 있었다. 전계 값이 일정하게 분포하고 있어야 그 영역에서 DUT을 두고 복사 내성 실험을 할 수 있다.

두 개의 V형 안테나를 커넥터에 연결하고 입력 부

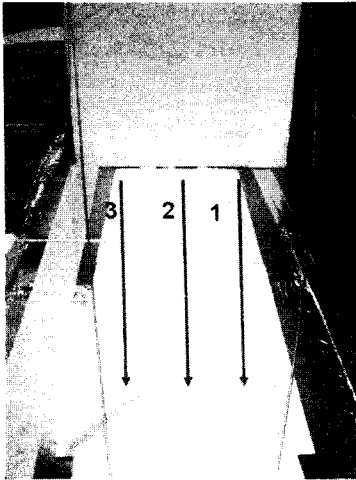


그림 12. V형 안테나 (a)
Fig. 12. V type antenna (a).

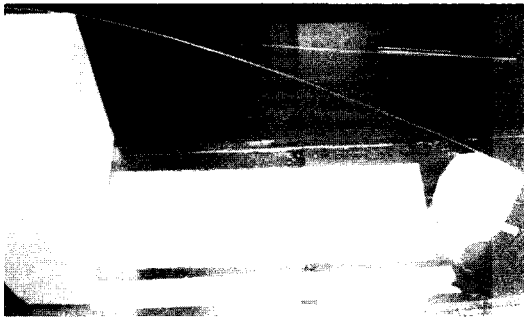


그림 13. V형 안테나 (b)
Fig. 13. V type antenna (b).

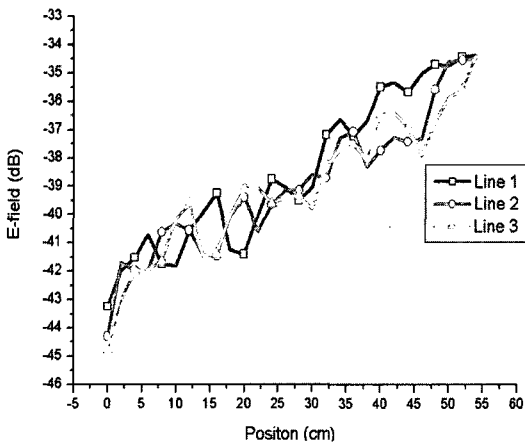


그림 14. V형 안테나 전계 분포
Fig. 14. E-field intensity distribution of the V type antenna.

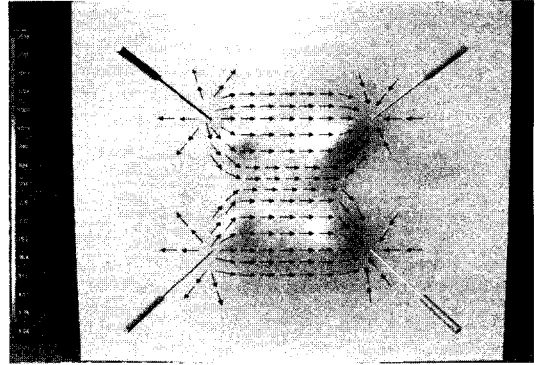


그림 15. 전계 분포
Fig. 15. Distribution of E-field intensity.

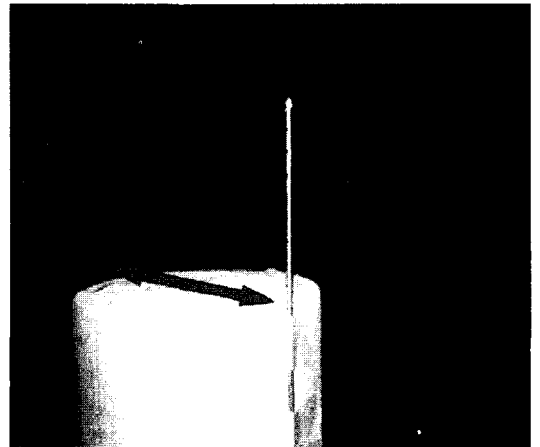


그림 16. 다이폴 안테나
Fig. 16. Dipole antenna.

분에 balun으로 두 입력 포트 극성을 달리 주게 되면 수평의 전계가 그림 15와 같이 극성 특성에 따라 (+) 입력 포트에서 (-) 입력 포트에 분포하게 된다. 내부 전계 분포를 그림 16과 같이 다이폴 안테나로 수평의 전계를 거리와 높이에 따라 측정하였다.

다이폴에 걸리는 전계 값을 벡터 네트워크 분석기 N8510C로 S_{21} 을 측정하였다. 무반향실 내부에 있는 레일을 이용하여 안테나 입력에서 종단 부분까지의 거리와 스티로폼에서 다이폴 안테나의 높이를 변화 시키며 전계 분포를 구할 수 있었다. 그림 17을 보게 되면 내모 박스 안의 약 10 cm 거리의 ± 1 dB 이하의 영역을 관찰할 수 있었고 높이가 약 10 cm인 ± 1 dB 이하의 영역을 확인할 수 있었다.

그리고 그림 18에서 표시한 부분에 역시 다이폴

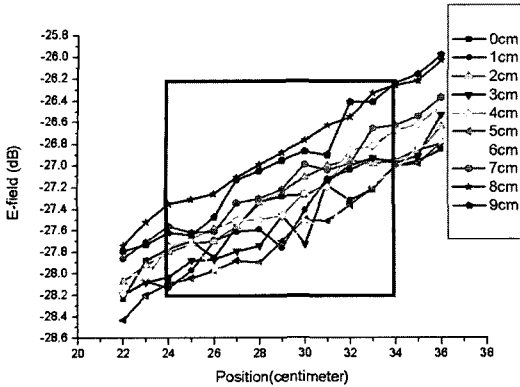


그림 17. 전계 분포
Fig. 17. Distribution of E-field intensity.

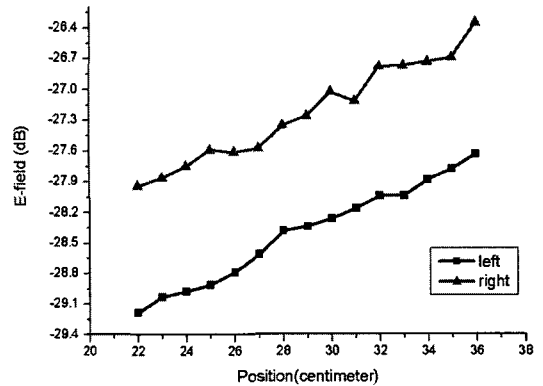


그림 19. 전계 분포
Fig. 19. Distribution of E-field intensity.

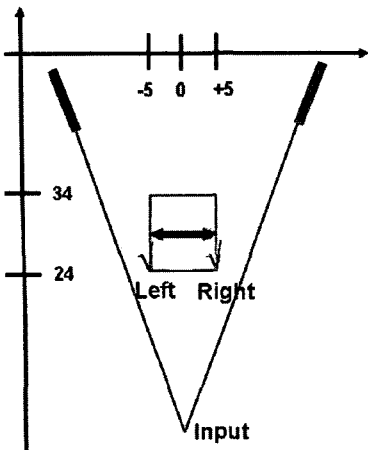


그림 18. 안테나 평면도
Fig. 18. Antenna plane figure.

안테나를 두고 안테나 입력에서 중단 부분까지의 거리에 따른 전계 분포를 측정하였다. 그림 19는 측정된 전계 분포를 평면에서 나타낸 그림이다. 전계를 평면에서 측정된 결과, 위치에 따라 상대적 전계의 크기의 차이가 ± 1 dB 이하의 영역을 확인할 수 있었다.

안테나 내부의 전계 분포를 측정함으로써 Four-wired 안테나 안에서 측정할 수 있는 대상의 크기를 구할 수 있었다. 가로, 세로, 높이 모두 상대적 전계 분포 크기가 ± 1 dB 이하의 영역을 만족하는 크기는 약 $10 \times 10 \times 10$ cm 이고 측정 대상 역시 영역 크기에 맞는 크기를 정해야 한다.

IV. 결 론

본 논문에서는 EMI/EMC 실험을 위해 Four-wired 을 이용해서 안테나를 설계, 제작하였다. 이 안테나는 네 개의 긴 도선과 저항을 사용하여 무반향실에 비교적 쉽게 설치하고 저렴한 가격으로 광대역 주파수에서 TEM wave 형태의 균일한 전계를 얻을 수 있었다. NEC 프로그램으로 안테나를 설계, 제작하여 저항의 크기, 길이를 결정할 수 있었고, 안테나 내부의 전계를 측정하여 약 $10 \times 10 \times 10$ cm의 quite zone을 찾을 수 있었다. 주파수, 시간 영역에서 안테나의 S_{11} 을 연구하여 최적의 방사 특성을 얻을 수 있었다. Four-wired 안테나는 별도의 GTEMcell이 없이도 무반향실을 이용하여 EMI/EMC 실험을 할 수 있는 방법을 제시해 주고 있다.

참 고 문 헌

- [1] V. V. Liepa, C. Y. Cheon. "Analysis and design of 4-wire antenna for anechoic chamber excitation", *Antennas and Propag Society International Symposium AP-S. Digest 26-30*, vol. 1. pp. 336-338, 1989.
- [2] D. Hansen, D. Ristau, "Characteristics of the EUROTEM family", *Electromagnetic Compatibility, 1999 International Symposium*, pp. 86-89, May 1999.
- [3] D. Hansen, J. Funck, D. Ristau, and S. Moessler, "Comparing the field quality of the new EUROTEM to GTEM and fully absorber lined chambers", *Electromagnetic Compatibility, 1998 International Sym-*

posium, vol. 1, pp. 132-136, Aug. 1998.

- [4] D. Hansen, J. Funck, D. Ristau, and S. Moessler, "Comparing the field quality of the new EUROTEM to GTEM and fully absorber lined chambers", *Electromagnetic Compatibility, 1998 International Symposium*, vol. 1, pp. 132-136, Aug. 1998.
- [5] D. Hansen, D. Ristau, "Antenna factors of the new EUROTEM cell for fully compliant emission and

immunity testing", *Environmental Electromagnetics, 2000. CEEM 2000. Proceedings. Asia-Pacific Conference*, pp. 378-382, May 2000.

- [6] Fengchao. XIAO, Yoshimitsu. SUGANUMA, "Design of a four-septum tem cell for immunity/susceptibility test", *Electromagnetic Compatibility, 2004 International Symposium*, vol. E88-B, no. 8, Aug. 2005.

강 성 원



2006년 2월: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 (공학사)
 2006년 3월~현재: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 (공학석사)
 [주 관심분야] 안테나 설계, EMC

정 용 식



1989년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)
 1991년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학석사)
 2000년 8월: 서울대학교 전기공학과 (공학박사)
 2003년 3월~2006년 2월: 명지대학교 통신공학과 조교수
 2006년 2월~현재: 광운대학교 전파공학과 조교수
 [주 관심분야] 전자파수치해석 및 EMI/EMC

김 준 규



2006년 2월: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 (공학사)
 2006년 3월~현재: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 (공학석사)
 [주 관심분야] RF시스템, 안테나

천 창 울



1983년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)
 1985년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학석사)
 1992년: 미국 University of Michigan, Ann Harbor (공학박사)
 1992년~1995년: 강원대학교 전기공학과 조교수
 1995년~현재: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 교수
 [주 관심분야] RF, RF Power Amplifier, EMC 등

소 준 호



1988년 2월: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 (공학사)
 1990년 2월: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 (공학석사)
 2006년 2월: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 (공학박사)
 1990년 2월~현재: 국방과학연구소

선임연구원
 [주 관심분야] 능동 위상배열 안테나 시스템 및 전자파 수치해석