3축 등방성 전계강도 측정 안테나

Three Axis Isotropic Field Strength Measuring Antenna

최 석 환 · 김 동 석

Suk-Hwan Choi · Dong-Seok Kim

요 약

본 논문에서는 전자파(EMFs) 측정을 위한 광대역 3축 등방성 안테나를 설계 및 제작하였다. 제안된 3축 안테나의 각 축에 따른 개별 안테나는 등방성 특성을 가지며, 임의의 안테나 축을 선택하기 위하여 RF 스위치를 사용하였다. 또한, 안테나의 이득 개선 및 잡음성분을 억제하기 위하여 각 축에 저항을 삽입하였고, 각 다이폴 안테나의 포트 임피던스는 발룬을 사용하여 정합하였다. 안테나의 성능 검증을 위하여, 표준전자기장을 만들어주는 GTEM Cell를 사용하여 antenna factor 및 수신감도를 도출하였다. 결과적으로, 제작된 3축 등방성 안테나는 0.03~3 GHz의 넓은 동작주파수 범위 내에서 수신감도 0.12~4.2 mV/m, VSWR(typical)은 3.3:1 이하이다.

Abstract

In this paper, we designed and fabricated wideband 3-axis isotropic antenna for the Electro-Magnetic Fields(EMFs) measurement. Each part of proposed 3-axis antenna has isotropic characteristics and arbitrary axis of proposed 3-axis antenna could be selectable using RF switch. Also, a resistor was inserted in each axis of proposed 3-axis antenna for improving antenna gain and noise suppression characteristics, and port impedance of each dipole antenna were matched by balun. For the performance verification of antenna, GTEM Cell which generates standard electromagnetic field was used for the derivation of antenna factor and receiver sensitivity. As a result, fabricated 3-axis isotropic antenna has receiver sensitivity of 0.12~4.2 mV/m and typical VSWR of 3.3:1 within a wide operation frequency range from 0.03 MHz to 3 GHz.

Key words: EMF Measurement, Isotropic Antenna, GTEM Cell, Receiving Sensitivity

I. 서 론

최근 다양한 이동통신 서비스 및 전기 전자 분야의 기술이 발전됨에 따라서 컴퓨터를 비롯한 각종 정보기술 장치의 동작 주파수가 급속히 높아지고 있다. 이러한 첨단 기기들은 소형화, 저 전력화 및 광대역화 특성을 요구함으로써, 전자 기기의 오작동 및 인체 유해 문제 등이 사회적 문제로

대두되고 있다^[1]. 이러한 문제의 해결에 있어서 광대역 EMF 측정용 안테나가 필요하다.

이미 많은 응용 분야에서 전자파 측정을 위한 안테나가 개발되었으나^{[2],[3]}, 사용의 편의성을 고려함으로써 안테나의 크기가 제한되어지고, 이에 따라 동작 주파수 대역폭이 협소해지는 문제점이 발생한다. 따라서 단일 안테나를 통해서 다양한 환경에 사용할 수 있고, 넓은 주파수

「본 연구는 미래창조과학부와 한국방송통신전파진흥원의 방송통신기술개발사업의 일환으로 수행하였음(12-911-01-104).」

(주)엠티지(Microwave Technologies Group)

• Manuscript received June 27, 2014 ; Revised September 16, 2014 ; Accepted September 17, 2014. (ID No. 20140627-03S)

• Corresponding Author: Suk-Hwan Choi (e-mail: csh85@mtginc.co.kr)

대역폭에 적용 가능한 광대역 EMF 측정용 안테나의 개발이 필요하다.

본 논문에서는 0.03~3 GHz의 넓은 주파수 대역에서 동작이 가능한 3축 등방성 안테나를 설계 및 제작하였다. 전 방향에 대하여 전자파 측정을 가능하게 하기 위하여 다이폴 안테나를 직교하도록 배치하였으며, 안테나의 Antenna factor를 얻기 위하여 차폐공간에서 표준 전자기장을 만들어주는 GTEM Cell에서 측정을 진행하였다.

II. 본 론

2-1 3축 등방성 안테나 구성도

본 논문에서 제안한 광대역 3축 등방성 안테나는 EMF 측정 안테나로써, 구성은 그림 1과 같이 안테나, RF 회로, 저역 통과 필터 및 EEPROM으로 구성되어 있다.

3개의 다이폴 안테나로 구성이 되어 있는 각 안테나는 x, y, z 축 방향으로 정렬되어 있어, 모든 방향에서 들어오는 신호를 수신할 수 있는 구조이다. 수신된 신호는 RF 회로로 인가되어지고, 다이폴 안테나와 정합회로 사이는 임피던스의 변화율이 적고, 광대역 특성을 보유한 발룬을 적용하였다. 또한, 3축 등방성 안테나의 임의의 축을 선택하기 위하여 RF 스위치를 사용하였다.

RF 스위치는 삽입 손실과 포트 간의 isolation이 주요 고려 사항이다. 따라서 안테나로부터 인가되는 수신신호의 감쇄를 최소화할 수 있도록 저 손실 스위치를 사용하였다. RF 스위치를 동작시키기 위해 DC 전원 및 제어 신호

그림 1. 3축 등방성 안테나의 블록도

Fig. 1. Block diagram of three axis isotropic antenna.

그림 2. 설계된 3축 등방성 안테나

Fig. 2. Designed three axis isotropic antenna.

가 인가되어야 한다. 하지만 이러한 신호가 잡음 신호를 발생하여 안테나 특성에 영향을 미칠 수 있으므로, 저역 통과 필터를 사용하여 최소화하였다.

EEPROM은 메모리 chip으로써 antenna factor를 저장하여 정확한 전계강도를 측정할 수 있다.

2-2 3축 등방성 안테나 설계 및 제작

EMF 측정용 안테나는 단일 안테나로 넓은 주파수 대역의 측정을 가능하여야 한다. 따라서 넓은 주파수 대역폭을 가짐과 동시에 모든 축에 대하여 등방성 특성을 보유한 안테나가 적용되어야 한다. 그림 2는 설계된 광대역 3축 등방성 안테나 구조이다.

각 축의 안테나는 물리적 길이에 따라서 인접한 안테나 간의 상호 결합 문제가 발생할 수 있으므로, 등방성 특성을 고려하여 길이 및 면적을 설계하였다. 내부 하우징은 등방성 특성을 확보하기 위하여 구(球) 형태로 제작하였다.

3축 dipole 안테나에 directivity 대한 시뮬레이션 결과는 그림 3과 같다. 3축에 대한 등방성 오차는 ± 1 dB 이내이다. 하지만 주파수 대역폭이 넓음으로써, 주파수별 안테나 이득의 차는 크게 날 수밖에 없다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 그림 2와 같이 안테나의 양 끝단에 각각 6개씩의 저항을 삽입하여 이득 개선 및 잡음 성분을 억제하였다^{[4],[5]}.

그림 3. 3축 등방성 안테나의 시뮬레이션 결과
Fig. 3. Simulation result of three axis isotropic antenna.

그림 4(a)는 그림 2의 안테나 끝단에 삽입시킨 저항에 따른 반사 특성에 대한 시뮬레이션 결과이다. 안테나와의 임피던스 매칭을 위해 반사 특성이 좋은 Forward R(안테나 끝단에서부터 순차적으로 증가)로 구성하여 저항의 조합을 시뮬레이션을 통하여 최적화 하였으며, 최적화된 저항 값을 이용하여 측정한 결과는 그림 4(b)와 같다. 여기의 S_{21} 에서 port 1은 표준 안테나이고, port 2는 저항에 따른 측정값이다. 저항은 MELF(METAL FILM)의 저항을 사용하였다.

주파수별 안테나 이득의 차이를 최소화하기 위하여 0.5~1 GHz의 Forward R 구조의 방식으로 저항을 삽입함

(a) 반사 특성
(a) Return loss characteristics

(b) 전달 특성
(b) Transmission characteristics

그림 4. 저항에 따른 반사 및 전달 특성

Fig. 4. Return loss and transmission characteristics by the resistor.

으로써, 저 대역의 전달 특성을 개선하였다.

제작된 안테나의 형상은 그림 5와 같다. 내부에는 안테나와 정합을 위한 발룬 및 RF 스위치가 있다. RF보드로 연결되는 RF케이블 및 제어 케이블 또한 간섭 문제를 최소화하기 위하여 3축 (X, Y, Z)의 중심에 배치하였으며, 외부 잡음으로부터 영향을 최소화하기 위하여 수신 Feed line에 Ferrite bead를 삽입하였다.

제작된 3축 등방성 안테나는 외부 인터페이스로 RF 커넥터(N-type)와 제어 커넥터로 구성되며, 안테나 레이돔 지름은 131 mm, 안테나 전체 길이는 425 mm이다.

(a) 제작된 안테나의 내부 형상
(a) Internal structure of fabricated antenna

(b) 제작된 안테나의 외부 형상
(b) External structure of fabricated antenna

그림 5. 제작된 안테나 구조

Fig. 5. Structure of fabricated antenna.

2-3 Antenna Factor 및 수신 감도

Antenna factor는 수신용으로 사용하는 안테나의 고려 사항으로써, 넓은 주파수 대역폭을 가지는 안테나는 주파수 대역별 이득의 크기가 다르므로, 이를 보상하기 위한 인자이다. 제안된 3축 등방성 안테나는 소형으로 설계 및 제작이 되었으므로, 안테나의 물리적 크기의 한계로 인해 낮은 주파수 대역에서 전계강도가 매우 미약하다. 따라서 차폐공간에서 표준 전자기장을 만들어주는 GTEM(Giga-hertz Transverse Electromagnetic) Cell 에서 측정을 진행하였다. 그림 6은 GTEM Cell의 일반적인 Field 분포도 및 구조이며, 성능 검증에 사용된 GTEM 250의 사양은 표 1과 같다.

GTEM Cell은 특성상 EUT(Equipment Under Test) 내에서는 Field 형성이 균일하므로, AUT(Antenna Under Test)

(a) 필드 분포도
(a) Field distribution

(b) GTEM cell 구조
(b) Structure of GTEM cell

그림 6. GTEM cell의 필드 분포도 및 구조

Fig. 6. Field distribution and structure of GTEM cell.

표 1. GTEM 250 사양

Table 1. GTEM 250 specifications.

Max. septum height (mm)	250
Dimension ($L \times W \times H$ in m)	$1.25 \times 0.65 \times 0.45$
EUT size(max. dimension, $L \times W \times H$ in m)	$0.2 \times 0.2 \times 0.15$
EUT dimension for uniform-area 0 to 6 dB ($L \times W \times H$ in m)	$0.083 \times 0.083 \times 0.083$
Frequency range	DC up to 20 GHz

표 2. 수식의 파라미터

Table 2. Parameter in equation.

RF power	P
Septum height	h
Characteristic impedance	Z
Flatness	F
Modulation	M

는 EUT 안에 있어야 측정 오차를 최소화할 수 있다. GTEM Cell 내부에서 발생되는 전계강도는 식 (1)과 같으며, Parameter는 표 2에 정리하였다.

$$E = \frac{\sqrt{P/(M \times F) \times Z}}{h} \quad (1)$$

Antenna factor는 안테나로부터의 출력 전압과 입사되는 전기장 세기의 비로 정의할 수 있으며, 식 (2)를 이용하여 Antenna factor를 도출할 수 있다^{[6],[7]}.

$$AF(dB/m) = 20 \log \left(\frac{1}{h} \sqrt{\frac{P_{in}/(M \times F) \times Z}{P_{out} \times Z}} \right) \quad (2)$$

수신감도는 수신기의 성능을 나타내는 지표로서, 수신되는 전파의 세기를 알 수 있으며, 도출된 Antenna factor를 이용하여 구할 수 있다. 정확한 수신감도를 측정하기 위하여서는 낮은 Background noise Level이 필요로 하며, RBW(Resolution Band Width)가 작을수록 분해능이 정교해져 낮은 Background noise Level를 검출할 수 있다. 또한, 원 신호와 Noise Level를 구별하기 위해서는 원 신호의 크기가 Noise Level 신호의 크기보다 10 dB 이상 높아야 신호를 구별할 수 있으며, 수신감도는 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} F[dBu V/m] &= (Signal Level[dBm] + AF[dB/m] + 107) \\ \therefore F(V/m) &= 10^{(((dBu V/m) - 120)/20)} \quad (3) \end{aligned}$$

2.4 측정 결과

안테나의 Antenna factor 도출을 위하여 그림 7(a)와 같이 측정 환경을 구성하였다. 신호 발생기에서는 0.03~3 GHz까지 주파수를 가변하여 인가하였으며, RF Power는 +12 dBm으로 고정하여 인가하였다. 제작된 안테나는 GT

그림 7. 측정 환경

Fig. 7. Measurement set-up.

EM Cell 내부에 EUT 안에 위치하며, 그림 7(b)와 같이 구성하였다.

제작된 3축 등방성 안테나는 각 축별로 수신 감도가 다를 수 있으므로, RF switch를 사용하여 x, y, z축의 모든 방향에 대하여 전계 강도를 측정하여 식 (1), (2)를 이용하여 Antenna factor를 도출하였고, 그림 8과 같다.

3축 등방성 안테나가 소형이므로 저주파에서는 수신이득이 낮아 250 MHz 이하에서는 상대적으로 Antenna factor 값이 크게 도출되었다. 여기서 사용된 GTEM Cell의 Parameter는 표 3에 정리하였다.

그림 9는 측정된 3축 (X, Y, Z)의 Antenna factor 값을 이용하여 안테나의 수신감도를 도출하였다. 수신감도를 도출시 RBW가 1 kHz일 때, Background Noise Level이 -117 dBm이므로 Background Noise Level 값을 -117 dBm으로 대입하여 결과 값을 도출하였다.

그림 8. Antenna factor 측정 결과

Fig. 8. Measurement result of antenna factor.

표 3. GTEM cell 파라미터

Table 3. Parameter of GTEM cell.

Parameter	Value
P_{in} (RF input power)	12[dBm]
h (Septum height)	0.25[m]
Z (characteristic impedance)	50[Ohm]
F (Flatness)	3[dB]
M (Modulation)	1

그림 9. 수신감도 측정 결과

Fig. 9. Measurement result of sensitivity.

측정된 수신감도는 0.03~3 GHz의 주파수 범위 내에서 0.12~4.2 mV/m이다. 수신감도 및 Antenna factor 값이 3축(X, Y, Z)이 매우 유사한 특성을 보이고 있다.

제작된 3축 등방성 안테나의 특성을 확인하기 위하여 무반향실에서 0.7~3 GHz까지 3D 패턴을 측정하였다. 각 축 방향으로 정렬되어 있는 안테나는 인접한 축에 대하여 간섭 현상이 발생하므로, RF 스위치를 통하여 개별 측정하였다. 각 축 방향으로 수신하는 신호의 값을 Linear scale로 변환하여 합한 뒤, dB scale로 변환하여 등방성 특성을 확인하였다.

제안된 3축 등방성 안테나의 등방성 측정 결과는 그림 10과 같다. 0.7~3 GHz 주파수 대역 내에서 ± 1.5 dB 이내의 등방성 특성을 확인하였고, VSWR(typical)은 3.3:1 이하로 측정되었으며, 반사 특성은 그림 10(e)와 같다.

표 4와 표 5에는 주파수별 안테나의 최대 이득과 평균

그림 10. 등방성 측정 결과, VSWR 및 반사 특성

Fig. 10. Measurement result of isotropic characteristics, VSWR and return loss.

이득을 정리한 것이다.

III. 결 론

본 논문에서는 빠르게 변화하고 있는 전자파 환경에 적용 가능하고, 전 방향에서 전계강도를 측정할 수 있는 광대역 EMF 측정용 안테나를 설계 및 제작하였다. 제안한 3축 등방성 안테나는 전 방향의 전계강도를 측정하기 위하여 안테나를 서로 직교하도록 배치하여 등방성 안테나의 특성을 보유하고 있다. 또한, 0.03~3 GHz의 광대역

표 4. 3D 패턴 안테나 최대 이득

Table 4. Antenna peak gain of 3D pattern.

Freq. [GHz]	Peak gain		
	theta=0°	theta=45°	theta=90°
0.7	-15.06	-14.85	-15.78
0.8	-13.80	-12.82	-13.64
0.9	-12.08	-10.74	-12.34
1	-12.64	-12.10	-12.83
1.5	-6.66	-5.92	-6.54
2	-8.33	-7.33	-8.50
2.5	-11.34	-10.50	-10.97
3	-7.35	-7.44	-8.64

표 5. 3D 패턴 안테나 평균 이득

Table 5. Antenna average gain of 3D pattern.

Freq. [GHz]	Average gain		
	theta=0°	theta=45°	theta=90°
0.7	-15.44	-15.68	-16.61
0.8	-14.05	-13.35	-14.76
0.9	-12.33	-11.80	-14.15
1	-13.12	-13.36	-13.79
1.5	-6.89	-7.23	-8.05
2	-9.08	-8.79	-10.01
2.5	-11.76	-11.29	-12.08
3	-7.93	-8.91	-10.08

영역의 주파수 특성을 갖기 위하여, 안테나 양 끝단에 저항을 삽입함으로써, 이득 개선 및 잡음 성분을 억제할 수 있었다. 뿐만 아니라 RF 및 제어 케이블의 위치를 축 중심에 배치하여 간섭문제의 영향을 최소화하였다.

제작된 3축 등방성 안테나는 수신 안테나로써, 안테나

의 교정인자를 추출하기 위하여 표준 전자기장을 만들어 주는 GTEM Cell에서 측정하였다. 측정된 수신감도는 0.12~4.2 mV/m로써 우수한 수신감도를 보유하고 있고, 무반향실에서 3D 패턴 측정 결과, 모든 축 방향으로 수신하는 신호의 차가 ± 1.5 dB 이내임을 확인하였다.

제안된 3축 등방성 안테나는 광대역 전자파 환경 측정용 안테나로 적용 가능할 것으로 판단된다.

References

- [1] 박정욱, "전자파에 대한 인체보호 정책 및 연구동향", 방송통신전자저널, 53, pp. 20-29, 2012년 12월.
- [2] 박병권, "EMC 측정용 도선형 바이코니컬 안테나의 설계·제작 및 특성 측정", 전자공학회논문지, 38(4), pp. 93-101, 2001년 12월.
- [3] 조원서, 황호정 "30 MHz에서 300 MHz 대역의 전자파 장애 측정용 광대역 기준 안테나", 한국통신학회지, 25(3), pp. 413-423, 2000년 3월.
- [4] Kangwook Kim, Waymond R. Scott, Jr., "A resistive linear antenna for ground-penetrating radars", *SPIE Proceedings*, vol. 5415, pp. 359-370, 2004.
- [5] Jun-Hwa Oh, "Characterization of a broadband reactively and resistively loaded antenna", Department of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University, Sep. 2008.
- [6] Ping Hui, "Application of GTEM Cells to wireless communication transceiver designs", *Microwave Journal*, vol. 46, issue 9, p. 168, Sep. 2003.
- [7] James McLean, Robert Sutton, and Rob Hoffman, "Interpreting antenna performance parameters for EMC applications", TDK RF Solutions Inc., pp. 18-26, 2004.

최 석 환

2009년 2월: 한국폴리텍대학 전자과 (전문 학사)
2012년 4월~현재: (주)엠티지 시스템사업 팀
[주 관심분야] 초고주파 회로설계, 능동 위상 배열 시스템

김 동 석

1989년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학 사)
1991년 2월: 충남대학교 통신 및 제어공학과 (공학석사)
1991년 1월~1996년 6월: 국방과학연구소
2001년 12월~현재: (주)엠티지 대표이사
[주 관심분야] 마이크로파 안테나, 추적안테나 시스템, 안테나 측정 시스템