

# 30 MHz에서 300MHz 대역의 전자파장해 측정용 광대역 기준안테나

정희원 조원서\*, 황호정\*\*

## A Broadband Reference Antenna to Measure an Electromagnetic Interference in the Range from 30 MHz to 300 MHz

Won-Seo Cho\*, Ho-Jung Hwang\*\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 30 MHz에서 300 MHz대역의 전자파장해 (EMI ; Electromagnetic Interference) 측정용 안테나로 사용될 수 있는 광대역 안테나를 제안한다. 이 안테나의 구조는 두 개의 동축케이블로 구성된 180° 하이브리드 발룬에 연결되는, 안테나 양단에 원판소자가 부착된 다이폴 (DLCD ; Disk-Loaded Cylindrical Dipole)로 이루어진다. 일반적으로 EMI안테나의 성능은 정확한 안테나팩터 (Antenna Factor)로 평가된다. 본 안테나에 대한 안테나팩터는 모멘트법을 통해 구하고 측정치와 비교된다. 또한 이 안테나를 이용하여 정규화 시험장감쇠량 (NSA ; Normalized Site Attenuation)을 측정한다. 그 결과들은 이 안테나가 EMI 측정에서 측정의 재현성과 이론적으로 정확한 해석 모델을 갖는 광대역 기준안테나로서의 사용 가능성을 제시한다.

### ABSTRACT

A broadband antenna available in the range of 30 MHz to 300 MHz for electromagnetic interference (EMI) test is proposed in this paper. This antenna is configured in a disk-loaded cylindrical dipole (DLCD) connected to an 180° hybrid balun consisting of two coaxial feeders. The performance of EMI antenna is characterized with its accurate antenna factor. The antenna factor for this antenna is obtained by using the method of moments and the calculated results are compared with the measured ones. Normalized site attenuation (NSA) is also measured by using this antenna. The results present that the proposed antenna could be used for a reference antenna having measurement reproducibility and represented by a theoretically accurate analyzing model in EMI measurements.

### I. 서 론

전자파적합성 (EMC ; Electromagnetic Compatibility) 평가에 있어서 반파장 공진 다이폴 안테나가 전계측정용 기준안테나로 사용된다. 그것은 이 안테나의 특성이 잘 정의되어 있고 안테나팩터를 정확하게 계산할 수 있으며 제작하기가 쉽기 때문이다.

최근 들어서 EMI 시험장으로 전자파 무반사실이나 소형 챔버 등이 많이 사용되고 있다. 이와 같은 실내 시험장에서는 반파장 다이폴안테나의 사용이 어려워진다. 그것은 30 MHz에서 공진 다이폴의 길이가 약 4.8 m 정도로 공간을 많이 차지하며 측정주파수마다 해당주파수의 공진길이에 다이폴을 조정해야 하기 때문에 측정자동화 측면에서 매우 불편하기 때문이다. 따라서 CISPR 16-1<sup>[1]</sup> 및 ANSI

\* 산업기술시험원 전자파팀 (wscho@ktl.re.kr)  
논문번호 : 99409-1011, 접수일자 : 1999년 10월 11일

\*\* 중앙대학교 전기전자공학부

63.4<sup>[2]</sup>와 같은 EMC규격에서는 광대역안테나의 사용을 허용하고 있다. 일반적으로 30 MHz에서 300 MHz의 대역에서는 바이코너럴안테나가, 1GHz까지는 대수주기안테나가 사용되고 있다. 이들 안테나는 광대역특성과 함께 안테나의 크기도 작아 특히 실내시험장에서 많이 사용되고 있다. 반면 이들 안테나는 특성해석이 어렵고 제작이 쉽지 않으며 안테나패터에 대한 정확한 해석모델이 없어 여러 저자들에 의해 개선된 모델이 제시되고 있다<sup>[3],[6]</sup>. 안테나패터는 실험적으로도 구할 수 있다. 이 경우 완벽한 안테나 교정용 시험장을 필요로 하며 현실적으로 이러한 교정시험장을 갖추기는 어렵다. 따라서 본 연구에서는 제작이 간단하고 안테나패터의 계산이 용이한 광대역 DLCD 안테나를 제안한다. 30 MHz에서 300 MHz의 사용 주파수대역을 갖는 DLCD 안테나의 안테나패터를 모멘트법을 이용하여 계산하고 측정치와 비교하였다. 또한 광대역 기준안테나로서의 사용 가능성을 위하여 EMI시험장의 평가방법인 NSA를 측정하여 이론치와 비교검토하였다.

II. DLCD 안테나의 안테나패터 계산

DLCD 안테나의 구조는 그림 1과 같으며 z방향은 수직으로 안테나 중심을 관통한다. 이 안테나는 반경 a와 길이 L인 다이폴소자 양단에 두께가 t이고 반경 b인 원판을 부착한 형태이다. 안테나의 발률은 미국 국립표준기술연구원 (NIST ; National Institute of Standards and Technology)에서 개발한 180° 하이브리드 발률 (Hybrid Balun)[7][8]을 사용하였다. 이 안테나의 전기적인 특성을 분석하기 위해 모멘트법 중에서 펄스함수를 기저함수로 가중함수를 펠라함수로 전개하는 포인팅법을 적용하였다. 이 방법은 복잡한 구조를 갖는 임의의 형상에 대한

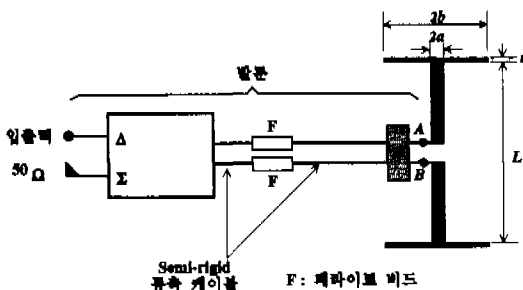


그림 1. DLCD 안테나의 구조

전기적인 해석이 용이하여 설계구조를 추적하는 분야에 매우 유용한 수치해석방법으로 알려져 있다<sup>[9]-[11]</sup>.

방사성 EMI의 측정에 있어서 가장 중요한 파라미터는 측정에 사용된 안테나의 안테나패터이다. 정확하게 교정되지 않은 안테나패터를 사용할 경우 측정값에 오차를 유발함은 물론 피측정 시험품의 EMI성능에 관한 합부판정에 있어서 심각한 오류를 범할 수 있다. 따라서 EMC 측정에 사용되는 안테나의 안테나패터는 정확하게 계산되고 교정되어야 한다. 수신안테나의 안테나패터는 다음과 같이 정의된다.

$$AF = \frac{E}{V_r} \tag{1}$$

여기서 E는 안테나의 분극과 동일형태의 입사파가 안테나로 입사될 때의 입사 전계강도이고, V<sub>r</sub>은 측정수신기 입력 전압이다. 안테나패터는 안테나와 연결되는 발률의 손실, 임피던스 부정합, 전송선로 손실 등을 포함한다<sup>[4]</sup>. 여기서는 전송선로의 손실은 무시하고 발률은 완벽한 임피던스변환을 하며 손실이 없다고 가정한다. 입력저항이 R, 인 수신기 단자에서 전력은 수신안테나의 실효개구 A<sub>e</sub>와 입사파의 시간평균 전력밀도 S<sub>av</sub>의 관계식으로 표현될 수 있다<sup>[12]</sup>.

$$P_r = \frac{V_r^2}{R_r} = A_e S_{av} \tag{2}$$

$$A_e = \frac{MG_r(\theta, \phi)\lambda^2}{4\pi} \tag{3}$$

$$S_{av} = \frac{E^2}{\eta_0} \tag{4}$$

안테나의 입력임피던스는 그림 1의 AB단자에서 발률 임피던스 Z<sub>AB</sub>과 부정합이 발생한다. 전송이론으로부터 이러한 임피던스 부정합인자 (Impedance mismatch factor)는 다음과 같이 표현된다<sup>[4]</sup>.

$$M = 1 - \frac{P_{refl}}{P_{fwd}} = 1 - |\Gamma|^2 \leq 1 \tag{5}$$

$$\Gamma = \frac{Z_{in} - Z_{AB}}{Z_{in} + Z_{AB}} \tag{6}$$

P<sub>fwd</sub>, P<sub>refl</sub>는 각각 안테나단자에서 전송된 전력과

반사전력이고  $Z_m$ 은 안테나의 입력임피던스이다. 식 (2)에 식 (3)과 (4)를 대입하고 식 (1)에 대해 정리 하면 최종적인 안테나팩터에 관한 식을 얻게된다.

$$AF = \frac{2}{\lambda} \sqrt{\frac{\pi \eta_0}{G_r(\theta, \phi) R_s M}} \quad (7)$$

여기서  $G_r(\theta, \phi)$ 는 입사파 각도의 함수로서 안테나의 이득을 나타낸다. 이 안테나 이득은 모멘트법에 의해 구해진 DLCD 안테나상의 전류분포를 이용하여 구할 수 있다<sup>[13]-[15]</sup>.

### III. DLCD 안테나의 설계

DLCD 안테나의 복성을 분석하고 실험을 위해 안테나의 치수를 결정해야 한다. 본 논문에서는 관심 주파수대역에서 최저의 안테나팩터를 변수로 하여 원판소자의 반경과 다이폴소자의 길이를 추적하는 방법을 채택하였다. 이러한 방법으로 설계치수를 찾기 위한 알고리즘은 결합 전송선로 쉘에서의 설계알고리즘<sup>[9]-[11]</sup>과 매우 유사하며 간단히 요약하면 다음과 같다.

- 1) 전류 적분방정식에 모멘트법을 적용하여 전류 분포를 구한다.
- 2) 전류분포를 통해 (7)식의 안테나팩터를 구한다.
- 3) 안테나팩터를 구하는 과정에서 뉴우튼-랩슨법<sup>[16]</sup>을 이용하여 최소의 안테나팩터를 갖는 원판의 반경 또는 다이폴의 길이를 추적한다. 이것은 관심주파수대역에서 최적일 때까지 반복하여 수행한다.

이와같은 방법에 의해 결정된 안테나의 치수는  $L=800$  mm,  $b=145$  mm,  $a=20$  mm 그리고  $t=5$  mm이었다. DLCD 안테나의 특성을 파악하기 위한 계산과 실험을 위한 제작은 결정된 이 치수를 적용하여 이루어진다. 그림 2는 DLCD 안테나의 계산된 입력임피던스를 보여준다. 임피던스의 실수부는 120 MHz와 200 MHz사이에서 급격히 변화하고 허수부는 100 MHz 이하와 180 MHz 부근에서 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다.

이와 같이 광대역안테나의 임피던스는 그림 2에서처럼 주파수에 따라 변화하기 때문에 변화하는 임피던스를 관심 주파수대역에 걸쳐 단일 특성임피던스를 갖는 50 Ω 동축케이블과 정합시키는 것은 쉬운 작업이 아니다. 또한 DLCD 안테나와 같은 평형구동안테나에 불평형 동축케이블을 직접 접속하면

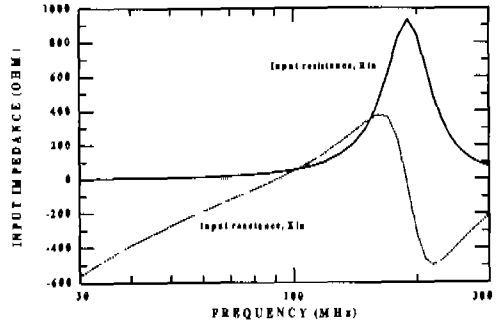


그림 2. DLCD 안테나의 주파수에 따른 입력임피던스의 변화

동축케이블 외부도체로 원치 않는 전류가 흐른다. 이 불필요한 전류의 흐름은 복사열 일으켜 이온적인 원래의 복사패턴의 저그러짐을 유발시키므로 이를 저지하기 위해 그림 1과 같이 50 Ω 동축단자와 안테나사이에서 발문을 삽입한다. 발문은 이와같이 동축케이블의 외부도체에 흐르는 불필요한 전류를 저지할 뿐만 아니라 동축케이블의 특성임피던스를 일정 비율로 변환하여 안테나 입력임피던스와 정합하는 역할도 한다. DLCD 안테나에도 이러한 목적을 위해 NIST 발문을 사용하였다. 발문에 사용된 동일 길이의 두 개의 동축케이블은 100 Ω 평형차폐 전송선을 형성하며 그림 1의 AB단자에서 임피던스 즉, 안테나의 임피던스가 100 Ω이 되도록 하였다. 이것은 넓은 주파수대역에 걸쳐 안정된 임피던스를 제공하기 때문에 광대역 발문으로 사용될 수 있으며, NIST 및 영국 국립물리연구소 (NPL ; National Physical Laboratory)에서는 안테나교정용 및 시험장평가용 기준안테나에 이 발문을 채택하고 있다. 180°의 위상차를 얻기 위해 합 포트(S)는 50 Ω으로 중단시키고 차 포트(D)를 안테나의 임출력단자로서 사용한다. 페리이트 비드(F)는 동축케이블상에 공동모드전류의 유도를 제한하기 위하여 사용되

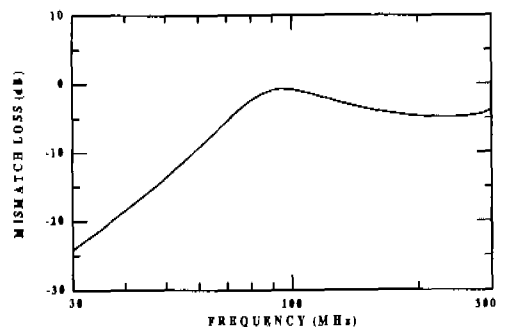


그림 3. AB단자에서 발문과 안테나 입력간에 부정합 손실 ( $Z_{AB} = 100 \Omega$ )

었으며, 3 dB 매칭패드는 100 Ω 임피던스를 일정하게 확립하기 위해 사용되지만 여기서는 안테나팩터의 저하 때문에 생략하였다. 그림 3은 안테나의 구동단에서 안테나 입력임피던스와 발원간의 부정합 손실을 보여준다. 이와 같이 100 Ω을 사용할 경우 80 MHz이하의 대역에서 손실은 급격히 증가함을 알 수 있다. 이것은 식 (7)에서 안테나팩터에 큰 영향을 미치고 있어 팩터값이 증가하는 요인으로 작용할 것이다. 그림 4는 안테나제작에 관련된 상세도를 보여준다.

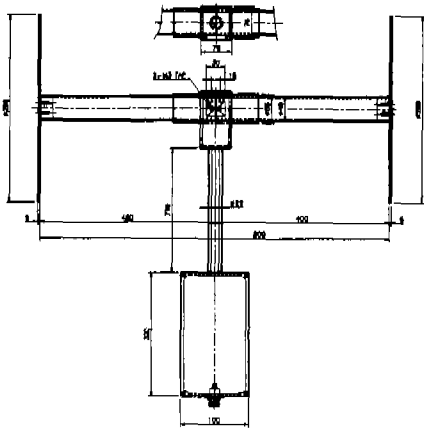


그림 4. 제작을 위한 DLCD 안테나의 상세도면

#### IV. DLCD 안테나의 특성 분석

##### 1. 안테나팩터

본 논문에서 제시된 DLCD 안테나는 미국의 NIST에서 제작하였고 안테나팩터의 측정은 NIST로부터 안테나 교정용시험장으로 지정받은 미국의 Liberty Lab에서 실시하였다. 시험장의 접지면은 평면도가  $\pm 4$  mm 이고 크기가 50 m x 80 m로서 이상적인 시험장조건을 갖추고 있다. 앞에서 언급된 것처럼 기준안테나로서의 평가기준은 제작이 쉽고 정확한 해석모델이 있어야 한다. 그림 5는 안테나팩터의 계산값과 측정치의 비교를 나타낸다. 안테나팩터의 이론치는 자유공간을 가정하여 계산되었고 측정치는 ANSI 63.5<sup>[17]</sup>의 방법으로 수평 및 수직편파에 대해 10 m 거리에서 이루어졌다. 이론치와 측정치는  $\pm 1.5$  dB이내에서 일치하고 있어 기준안테나로 사용되는 다이폴안테나의 경우 통상  $\pm 1$  dB 이내에서 일치하며 DLCD 안테나의 경우 광대역인 점을 감안하면 비교적 정확한 해석과 측정의 재현

성이 있다고 볼 수 있다. 따라서 복사성 EMI 측정용 물론, 시험장감쇠량 평가용 및 타 안테나의 기준안테나로 사용되는데 문제점이 없을 것으로 보인다. 안테나팩터의 계산에 있어서 안테나이득  $G_r(\theta, \phi)$ 은  $\theta = 90^\circ$ 와  $\phi = 0^\circ$ 에서 계산되었다. 그림 6은 안테나 이득을 보여준다. 편심 주파수대역에서 거의 일정한 값을 유지하며 300 MHz를 초과하면 급격히 떨어진다. 이 안테나의 복사패턴은 전지향성 특성을 나타낸다<sup>[15]</sup>.

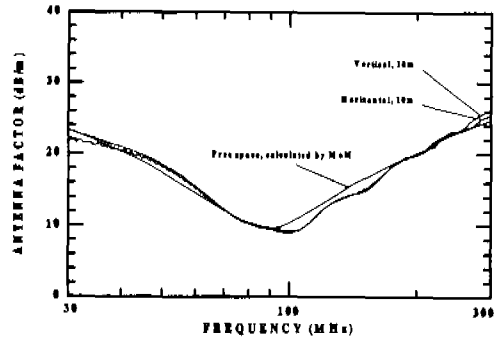


그림 5. DLCD 안테나의 안테나팩터의 변화

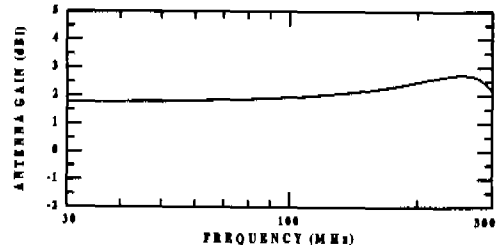
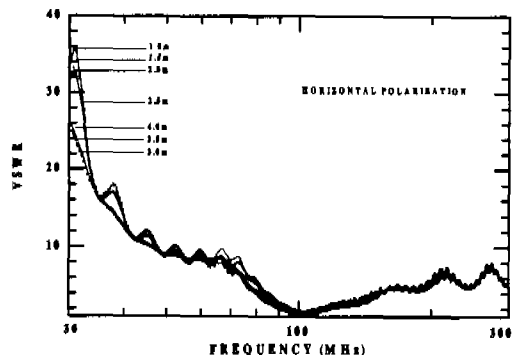
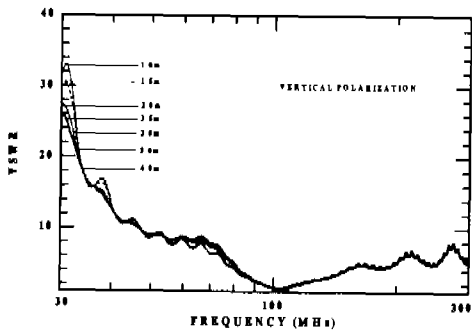


그림 6. DLCD 안테나의 안테나 이득 ( $\theta = 90^\circ, \phi = 0^\circ$ )

그림 7은 안테나의 출력단자에서 안테나의 높이와 편파에 따른 VSWR의 변화를 보여준다. 안테나의 임피던스는 안테나의 높이에 따라 변화하며 복



(a)



(b)

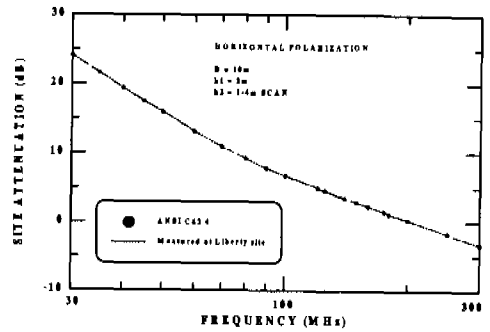
그림 7. IN/OUT단에서 주파수와 안테나 높이에 따른 VSWR의 변화  
(a) 수평편파  
(b) 수직편파

히 30 MHz부근처럼 주파수가 낮은쪽에서 안테나 높이가 낮을수록 변화율이 증가하는 것을 볼 수 있다. 그러나 안테나의 높이가 3.0 m 이상이 되면 안테나의 임피던스는 안정되는 것을 또한 볼 수 있다. 이것은 측정시험장의 접지편파 안테나와의 상호결합에 기인된 것으로서 이 변화율이 커지면 EMI 측정에 영향을 미칠 수 있다.

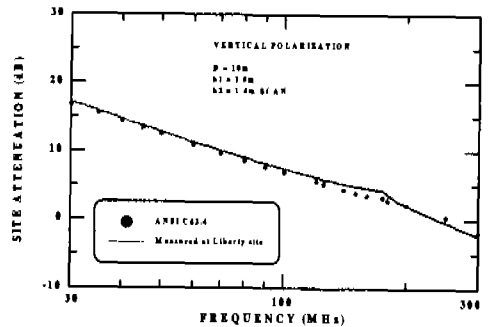
## 2. 정규화 시험장 감쇠량 (NSA) 측정

DLCD 안테나가 기준안테나로서의 사용가능성을 확인하기 위하여 시험장감쇠량 평가에 이 안테나를 적용하였다. 전자회로를 내장한 기기로부터 방사되는 복사성 EMI의 측정은 대부분 야외 시험장 (Open Field Test Site)에서 이루어진다. 이러한 시험장은 신뢰성있는 EMI 측정을 위해 적절한 전기적 특성을 가져야 한다. 국내외적인 규격에서는 시험장 특성을 명시하고 이 조건에 만족하는 시험장에서의 시험결과를 인정하고 있다. 규격에서 요구되는 시험장의 특성은 시험장내에 설치된 두 개의 안테나 사이에 전송손실을 측정함으로써 평가된다. 이 전송손실을 시험장감쇠량 (Site Attenuation)이라고 하며 측정결과는 규격에서 주어진 이론치와 비교하여 적당한 편차 이내에 들면 시험장의 요구사항을 만족하는 것으로 본다<sup>[11]</sup>. NSA법은 측정에 사용된 안테나와 독립적인 시험장감쇠량 평가방법이다. 그림 8은 DLCD 안테나를 이용하여 평가된 NSA를 보여준다.

측정은 HP 8753D 네트워크분석기를 이용하여 Liberty Lab에서 이루어 졌다. 네트워크분석기를 이용한 시험장감쇠량 측정은 스펙트럼분석기나 전계강도 측정기와 신호발생기를 이용하는 것보다 더 정밀한



(a)



(b)

그림 8. DLCD 안테나를 이용한 NSA 측정결과  
(a) 수평편파  
(b) 수직편파

것으로 알려져 있다. 그림에서의 측정치는 규격 ANSI C63.4에서 명시된 이론치와  $\pm 1$  dB 이내에서 일치하고 있어 일반시험장의 평가기준인  $\pm 4$  dB 이내보다 훨씬 정확하게 일치하고 있다. 이것은 측정에 사용된 시험장의 정밀도가 매우 높은 것에도 기인되지만 DLCD 안테나의 정확도도 높다는 것이 증명된다. 따라서 본 논문에서 제시된 DLCD 안테나는 제작이 간편하고 해석이 용이하여 EMC 시험장의 평가용 기준안테나로서 사용될 수 있음을 확인해 주고 있다.

## V. 결론

본 논문에서는 30 MHz에서 300 MHz대역의 EMC 측정용 기준안테나로 사용될 수 있는 광대역 DLCD 안테나를 제안하였다. 이 안테나에 대한 안테나패터와 이득 등 안테나 특성이 분석되었고 NSA측정을 통하여 안테나의 정확도를 확인하였다. 일반적인 해석모델로서 모멘트법이 적용된 이 안테나의 해석방법은 비교적 용이하며, 제작도 다른 광

대역안테나에 비해 간단하다. 제시된 DLCD 안테나와 안테나팩터는 계산치와 측정치가  $\pm 1.5$  dB 이내에서 잘 일치하고 있으며 NSA 평가결과는 규격에서 명시된 이론치와 DLCD 안테나를 이용한 측정치가  $\pm 1$  dB 이내에서 잘 일치하였다.

따라서 본 논문에서 제시된 DLCD 안테나는 복사성 EMI의 측정은 물론 EMC 시험장의 평가용 기준안테나로서 사용될 수 있음이 확인되었다. 앞으로의 과제는 300 MHz에서 1 GHz까지의 주파수대역에서 사용될 수 있는 DLCD 안테나의 개발과 이 안테나를 이용한 시험장감쇠량의 일반적인 해석모형을 제시하는 것이다.

### 참 고 문 헌

[1] CISPR16-1, Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods, part 1 : Radio disturbance and immunity measuring apparatus, 1993.

[2] ANSI C63.4-1998, Methods of measurement of radio-noise emissions from low-voltage electrical and electronic equipment in the range of 9 kHz to 40 GHz.

[3] B. A. Austin and A. P. C. Fourie, "Characteristics of the wire biconical antenna used for EMC measurements," *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. EMC-33, no. 3, pp. 179-187, 1991.

[4] W. S. Bennett, "Properly applied antenna factors," *IEEE Trans. Electromag. Compat.*, vol. EMC-28, no. 1, pp. 2-6, 1986.

[5] M. J. Alexander, M. H. Lopez and M. J. Salter, "Getting the best out of biconical antennas for emission measurements and test site evaluation," in *Proc. IEEE Symp. Electromagnetic Compatibility*. pp. 84-89, Texas, 1997.

[6] J. D. Gavenda, "Site attenuation with log-periodic antennas," in *proc. 1993 IEEE Int. Symp. on Electromagnetic Compatibility*, pp. 385-388, 1993

[7] R.G. Fitzgerrell, "Site attenuation," *IEEE Trans. Electromag. Compat.*, vol. EMC- 28, no. 1, pp. 38-40, 1986.

[8] CISPR/A/244/FDIS, 1999.

[9] 윤재훈, "8단자 가변 임피던스 전자파발생장치

를 이용한 표준 복사 전자장 조성연구," *한국통신학회 논문지*, vol. 21, no. 3, pp. 771~784, 1996.

[10] Jae-Hoon Yun, Jin-Suck Kim, Won-Seo Cho, and Jung-Ki Kim, "Performance of coupled transmission line cell for generating standard EM fields." *Electron. Lett.*, vol.34(12), pp. 1210-1211, 1998.

[11] 윤재훈, "표준 전자파 발생용 결합전송선로셀의 전기적인 특성에 관한 연구," 중앙대학교 박사학위논문, 1999.

[12] E. B. Larsen, "Calibration and meaning of antenna factor and gain for EMI antennas," *Journal ITEM*, 1986.

[13] Won-Seo Cho, Kyu-Don Choi and Jung-Ki Kim, "Characteristics of a cylindrical dipole antenna with end disks," in *Proc. 8th Biennial IEEE Magnetics*, Arizona, pp. 166, 1998.

[14] Won-Seo Cho, Kyu-Don Choi and Jung-Ki Kim, "Analysis of a Thick dipole antenna with end disks," in *Proc. Int. Symp. on Electromagnetic Compatibility*, Roma, Italy, pp. 747-751, 1998.

[15] Won-Seo Cho. Kyu-Don Choi. Jung-Ki Kim, and Ho-Jung Hwang, "Method of moments solution for the characteristics of a disk-loaded cylindrical dipole antenna," *한국통신학회 논문지*, vol. 24, no. 10B, pp. 1895-1901, 1999.

[16] S. C. Chapra and R.P. Canale, Numerical methods for engineers, McGraw-Hill, pp. 166-172, 1994.

[17] ANSI C 63.5-1988, Calibration of antennas used for radiated emissions measurements in electromagnetic interference (EMI) control.

조 원 서(Won-Seo Cho)

정희원



1997년~현재 : 중앙대학교  
박사수료

1991년~현재 : 산업기술시험원  
선임연구원

<주관심 분야> EMC 및 전자파  
표준개발, EMC 안테나  
해석 및 교정기술, 전자  
파흡수 및 차폐 측정기  
술 개발

황 호 정(Kyu-Don Choi)

정회원



1982년 : Tech. University of  
Munich, Germany  
(공학박사)

1983~현재 : 중앙대학교 전기  
전자 제어공학부 교수

<주관심 분야> 반도체공정  
시뮬레이션, 반도체기술  
및 측정