

# 전자파환경 측정을 위한 합성 등방성 패턴 안테나

## (A Synthesized Isotropic Pattern Antenna for Electromagnetic Environment Measurements)

윤현보\* · 최익권\*\* · 임계재\* · 백낙준\*\*\* · 유희준\*

(Hyun Bo Yoon, Ik Guen Choi, Gye Jae Lim, Nak Jun Baek, Hee Jun Yu)

### 요 약

$\lambda/2$  다이폴 안테나 3개를 x,y,z축상에 서로 직교되도록 배열하여 각 소자의 수신 출력을 합성하므로써 등방성 패턴 안테나가 실현되었다.

각 소자는 820MHz-895MHz의 설계 주파수 대역에서 임피던스 정합을 양호하게 하고, 소자간의 상호 결합 효과를 최소로하기 위하여 슬리브 형태의  $\lambda/2$  다이폴 안테나를 사용하였다.

설계된 등방성 패턴 안테나로부터 복사된 총 전기장의 세기는 원방계에서 각 축상의 다이폴에 의해 발생되는 Magnetic Vector Potential을 이용하여 계산하였다.

계산결과, 총 전기장의 세기는 원점으로 부터의 거리에는 반비례하였고, 패턴상수 차이는 2.1dB이하이었다.

또한, x,y,z 축상에 배열된 안테나에서 수신된 합성전기장의 편차는 2.8dB이하로 이론적 계산치와 0.7dB 정도의 차이가 있었다.

### ABSTRACT

A synthesized isotropic pattern antenna can be realized by arranging  $\lambda/2$  dipole along each x,y,z axis.

The sleeve type  $\lambda/2$  dipole antenna is used as a basic element for a proper impedance matching at feeding point and minimum mutual coupling effect between each element at 820MHz-895MHz band.

The total electric field intensity radiated from the designed isotropic pattern antenna is driven from the magnetic vector potential which is produced by each sleeve  $\lambda/2$  dipole in the far field. This total electric field intensity is inversely proportional only to distance  $r$  from the origin of coordinates, and pattern factor variation is less than 2.1dB.

The measured value of total electric field variation depending on pattern factor is less than 2.8dB, and the difference between the calculated and measured value is 0.7dB.

\*정회원, 동국대학교 전자공학과

\*\*정회원, 한국 전자 통신 연구소

\*\*\*정회원, (주)에이스 안테나 통신연구소

## I. 서론

각종 전기 전자장치 및 시스템의 사용 증가로 인하여 발생하는 전자파 환경의 오염(EM pollution) 및 전자파 간섭(EM interference)의 발생 문제는 EMI/EMC 분야에 대한 법적 규제의 제정과 각종 전기 전자장치 및 시스템의 EMI/EMC 시험을 요구하고 있다.

즉, EMI/EMC 분야의 전파환경은 전파의 도래 방향이 일정하지 않고, 편파특성이 일정하지 않으며 (Non-polarization), X, Y, Z 또는  $\gamma, \theta, \phi$  성분의 전자기 강도와 위상이 불확정적이며 (Non-pattern), 에너지의 진행 방향과 전계 및 자계가 비직교성 (Crossed Field) 을 나타내며, 또한 측정되는 신호 특성이 비의도성 잡음이기 때문에 시간과 주파수에 따라 변화하고 있다.

이러한 전자파 환경의 정량적인 평가를 위해서는 일반적인 수직 또는 수평 편파 특성으로 고정된 안테나로는 측정이 불가능하며, 이와 같은 모든 정보를 동일 위치에서, 동일 시간에, 동일 안테나로 효과적으로 측정하여 계산해 낼 수 있는 등방성 (Isotropic) 안테나 시스템의 개발은 매우 중요한 연구가 된다.<sup>(1) - (9)</sup>

미국의 NBS (National Bureau of Standards)에서는 이러한 단점을 극복하기 위해 3개의 미소 다이폴 안테나가 서로 직교하여 각각 X, Y, Z 성분의 전계를 감지할 수 있는 15KHz-150MHz의 능동 안테나 시스템을 개발하였다.<sup>(10) - (11)</sup>

최근에 NBS에서는 10MHz-1GHz의 광대역 주파수특성과 등방성 특성을 갖고 실시간 처리가 가능한 전계 센서 (BIRES: Broadband, Isotropic, Real-time, Electric-field Sensor)에 관한 연구를 발표한 바 있다.<sup>(12) - (13)</sup>

본 논문에서는 UHF 대역에서 등방성의 특성을 얻기 위해 직각 좌표계의 x, y, z 축상에  $\lambda/2$  다이폴을 배치할 경우 원거리 전계세기를 계산할 결과, 패턴, 편파 및 crossed field와는 거의 무관한 Synthesized Isotropic Pattern을 얻을 수 있었다.

이 경우 안테나 소자는 임피던스 정합을 양호하게 하고 급전점에서 feeder 간의 상호 결합 효과를 최소화하기 위하여 Sleeve 형태의  $\lambda/2$  다이폴 안테나를 사용하였다.

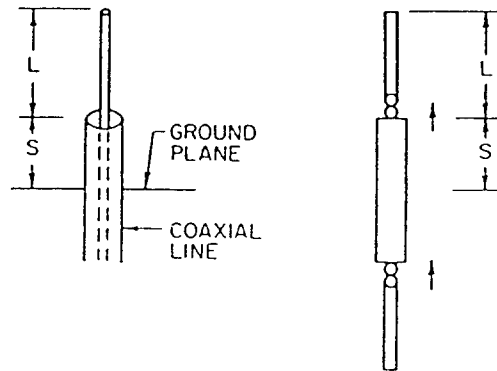
Synthesized Isotropic Antenna (SIA)에 수신되

전자파 환경 측정을 위한 합성 등방성 패턴 안테나는 총전계 세기의 이론적 계산치와 측정에서 얻은 값을 비교 분석한 결과 0.7dB 정도의 근소한 차이가 있음을 확인하였다.

## II. Synthesized Isotropic Antenna 이론

SIA는 급전점에서 급전 선로간의 상호결합을 최소화하고 임피던스 정합을 양호하게 하기 위하여 Sleeve 형태의  $\lambda/2$  다이폴 안테나 소자를 사용하여 구성하였다.

$\lambda/2$  Sleeve 다이폴 안테나의 기하학적 모형은 그림 1-(a)에 나타내었고, 또한 이 구조에 영상 (image)을 포함한다면 다음 그림 1-(b)와 같은  $\lambda/2$  다이폴이 된다.



(a) 기하학적 모형.

(b) 영상 등가.

그림 1. Sleeve  $\lambda/2$  다이폴 안테나  
Fig. 1. Sleeve  $\lambda/2$  dipole antenna

그림 1-(a)에서 Sleeve 안테나의 접지면이 좌표계의 중심에 위치할 때  $L+S$ 의 길이가  $\lambda/4$ 가 될 때 이 안테나 구조에서의 전류 분포는 여현적 (Cosinusoidal)이 되므로  $\lambda/2$  다이폴은 다이폴의 중심에서 최대 전류가 공급된다고 볼 수 있다.

공진시  $\lambda/2$  Sleeve 다이폴의 입력저항 ( $R_s$ )은 근사적으로 다음 식 (1)과 같이 주어진다.

$$R_s = R \left( \csc \frac{2\pi L}{\lambda} \right)^2 \quad (1)$$

여기서  $R$ 은  $\lambda/2$  다이폴의 입력저항이고, 이 경우

$\lambda/2$  Sleeve 다이폴은 임피던스변환기의 역할을 하게 된다.

그림 2에는 직각좌표계에 위치한 SIA의 구성을 나타내었다.

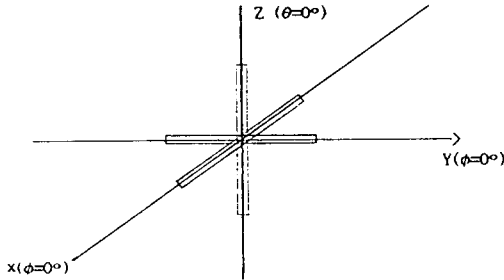


그림 2. 직각좌표계에 위치한 SIA  
Fig. 2. The SIA in rectangular coordinates

우선  $\lambda/2$  sleeve 다이폴 안테나가 x,y,z축상에 위치한 경우에 원거리 전자계 영역에서의 벡터자위에 대한 결과식은

$$A_z = \frac{\mu_0 I_m \exp(-jkr) \cos((\pi/2)\cos\theta)}{2\pi\beta r \sin^2\theta} \quad (2)$$

가 되고, 직각좌표계를 구좌표계로 변환하면

$$\begin{cases} A_r = A_x \sin\theta \cos\phi + A_y \sin\theta \sin\phi + A_z \cos\theta \\ A_\theta = A_x \cos\theta \cos\phi + A_y \cos\theta \sin\phi - A_z \sin\theta \\ A_\phi = -A_x \sin\phi + A_y \cos\phi \end{cases} \quad (3)$$

이 된다.

또한, 전계의 r,  $\theta$ ,  $\phi$  성분은 각각  $E_r=0$ ,  $E_\theta = -j\omega A_\theta$ ,  $E_\phi = -j\omega A_\phi$ 이다.

따라서, z축상에 위치한 안테나로부터의 전계의 세기는 다음 식(4)와 같다.

z oriented :

$$E_r=0$$

$$E_\theta = j\omega \frac{\mu_0 I_m \exp(-jkr) \cos((\pi/2)\cos\theta)}{2\pi\beta r \sin^2\theta} \quad (4)$$

$$E_\phi=0$$

같은 방법으로 y축 상에 위치한 다이폴 안테나로부터의 전계의 세기는

y oriented :

$$E_r=0$$

$$E_\theta = -j\omega \frac{\mu_0 I_m \exp(-jkr) \cos((\pi/2)\cos\theta)}{2\pi\beta r \sin^2\theta} \cos\theta \sin\phi \quad (5)$$

$$E_\phi = j\omega \frac{\mu_0 I_m \exp(-jkr) \cos((\pi/2)\cos\theta)}{2\pi\beta r \sin^2\theta} \cos\phi$$

가 되고, x축 상에 위치한 다이폴 안테나로부터의 전계의 세기는

x oriented :

$$E_r=0$$

$$E_\theta = -j\omega \frac{\mu_0 I_m \exp(-jkr) \cos((\pi/2)\cos\theta)}{2\pi\beta r \sin^2\theta} \cos\theta \cos\phi \quad (6)$$

$$E_\phi = j\omega \frac{\mu_0 I_m \exp(-jkr) \cos((\pi/2)\cos\theta)}{2\pi\beta r \sin^2\theta} \sin\phi$$

가 된다.

위와 같이 상관적으로 직교하는 3축 다이폴로부터 3개의 분리된 RF신호출력은 3개의 전계 강도계나 스펙트럼 분석기 등의 수신기에 개별적으로 수신된다.

따라서 직각 좌표계 x,y,z축에 위치한 다이폴의 합성 총전계의 크기(Hermitian Magnitude) |E|는<sup>(4)</sup>

$$|E| = (|E_x|^2 + |E_y|^2 + |E_z|^2)^{1/2} \quad (7)$$

이다. 여기서  $E_x$ 는 x축 방향의 안테나로부터의 전계의 세기

$E_y$ 는 y축 방향의 안테나로부터의 전계의 세기

$E_z$ 는 z축 방향의 안테나로부터의 전계의 세기

로 정의되어지고,

$$\begin{cases} |E_x| = (E_r^2 + E_\theta^2 + E_\phi^2)^{1/2} \\ |E_y| = (E_r^2 + E_\theta^2 + E_\phi^2)^{1/2} \\ |E_z| = (E_r^2 + E_\theta^2 + E_\phi^2)^{1/2} \end{cases} \quad (8)$$

이다.

식(7)에 식(4),(5),(6),(8)을 대입하여 계산하면

$$|E| = \frac{\sqrt{2}C}{r} \left| \frac{\cos((\pi/2)\cos\theta)}{\sin^2\theta} \right| \quad (9)$$

이 된다.

여기서  $C = \frac{\omega\mu_0 I_m \exp(-jkr)}{8\beta} = 15\pi I$  이고,

$I$ 는  $I_m \exp(-jkr)$ 으로 다이폴 안테나에 여기되는 전류이다.

그러므로 식(5-53)에서 총전계의 크기  $|E|$ 는 원점으로부터의 거리에 반비례하고,  $|E|$ 내의 Pattern factor 크기는  $0^\circ - 360^\circ$  범위내에서 2.1dB이하의 변화폭을 갖는 Synthesized Isotropic Pattern Antenna가 된다.

### III. 제작 및 실험

#### 1. 단일 $\lambda/2$ Sleeve 다이폴 안테나의 제작 및 실험

$\lambda/2$  Sleeve 다이폴 안테나의 전기적, 기계적 특성은 표1.과 표2.에 각각 나타내었다.

표 1. sleeve  $\lambda/2$  다이폴 안테나의 전기적 특성

Table 1. The electrical specification of sleeve  $\lambda/2$  dipole antenna

주파수범위(MHz)	820-895
이득(dBi)	2.15
대역폭(MHz)	820-895
V.S.W.R	1.9:1
입력임피던스	50Ω
편파특성	선형(수직 혹은 수평)
수직 3dB빔폭	70°
복사패턴	전방향성
최대전력(W)	10
콘넥터형식	TNC-Female

표 2. sleeve  $\lambda/2$  다이폴 안테나의 기계적 특성

Table 2. The mechanical specification of sleeve  $\lambda/2$  dipole antenna

길이	231.5mm ± 1.0mm
무게	35g ± 5%
안테나직경	10.8mm

전자파 환경 측정을 위한 합성 등방성 패턴 안테나

한편, 안테나는 물리적 손상이나, 온도 및 습도 등의 외부환경으로부터 보호하기위하여 우레탄(Urethan)으로 안테나 덮개를 제작하였으며, 안테나 덮개로 인하여 공진주파수의 변화와 복사패턴의 변화가 거의 없도록 설계하였다.

그림 3에는 제작한 안테나의 실제 외형도를 보였고, 그림에서 보는 바와같이 안테나 장착을 용이하게 하기위하여 Connector가  $0 \sim 90^\circ$ 까지 접힐수 있는 Tilt connector로 제작하였다.

시험 제작된 3개의 안테나 샘플에 대한 반사손실을 Network analyzer와 S-parameter 시험세트를 이용하여 각각의 경우에 대하여 측정하였으며, 그 결과를 그림 4에 보였고, 안테나의 복사패턴은 Anechoic chamber에서 다이폴이 수직으로 편파되었을 경우의 양각패턴과 방위각패턴을 측정해 본 결과 전형적인 다이폴 특성을 얻었다.

실험결과, 그림4에 보인 안테나의 반사손실은 820-880MHz의 주파수대역에서의 V.S.W.R.은 1.9:1이

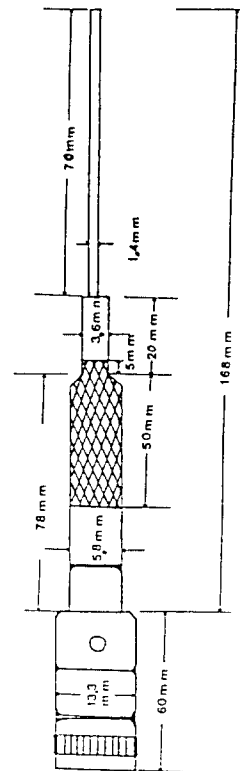


그림 3. 설계한 다이폴 안테나의 외형도.

Fig. 3. The structure of a design antenna

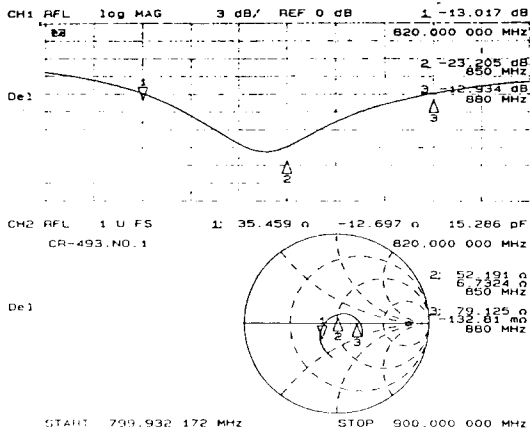


그림 4. 제작한 안테나의 반사손실 측정.  
Fig. 4. The return loss measurement of manufacture antenna

하의 양호한 정합특성을 얻었고, 안테나의 복사패턴과 이득은 3dB빔폭이 70°인 거의 Omnidirection한 복사패턴으로 2.15dB의 이득을 얻었다.

2. S.I.A.의 제작 및 실험

설계된 sleeve 다이폴 안테나소자 3개를 x,y,z축상에 직교시켜 전자파 환경 상의 x,y,z 전기성분을 동시에 측정할 수 있는 등방성 probe의 설계에 있어서 문제가 되는 것은 급전부의 처리방법이다.

다이폴 안테나의 급전부는 중앙에 위치하므로 만약 x,y,z 축 다이폴을 직교시키게 되면 각 급전부가 동일위치에 중복되기 때문에 제작상의 어려움뿐만 아니라 급전선로사이의 상호결합문제도 발생할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 그림 3과 같은 sleeve 안테나를 이용하여 급전부를 안테나의 끝에 위치시키므로써 급전부 설계를 용이하게 하였다.

설계된 안테나의 전체적인 형태는 그림 5에 보였으며, 최종적으로는 레이돔(Radome)을 씌워 안테나를 보호하였다.

각 sleeve 안테나 사이의 상호결합으로 인해 복사패턴이 변하는지를 확인하기 위해 x,y축 소자를 50 ohm으로 중단시키고, z축 소자에 대한 양각과 방위각의 복사패턴을 Anechoic Chamber에서 측정하여 그림 6, 7에 보였다.

또한, x축 소자의 경우와 y축 소자의 경우에 대해

서도 위와 같은 동일한 측정을 수행하였다.

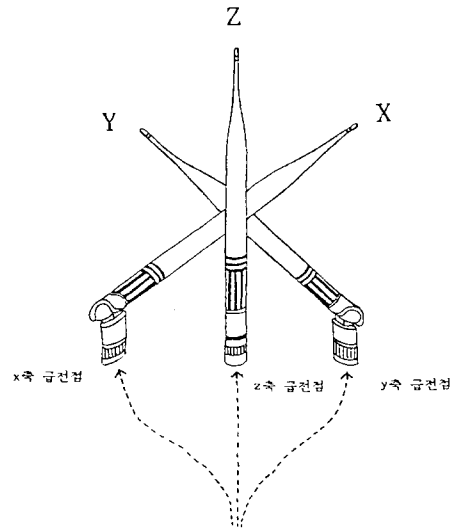


그림 5. S.I.A.의 구조.  
Fig. 5. The structure of SIA

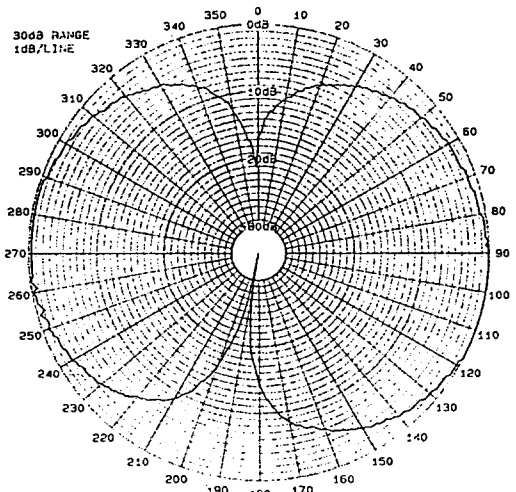


그림 6. S.I.A.의 z축 소자의 양각 복사패턴 측정.  
Fig. 6. E Plane radiation pattern of SIA(z axis)

안테나 소자의 위치가 약간 편이된 것으로 판단되어진다.

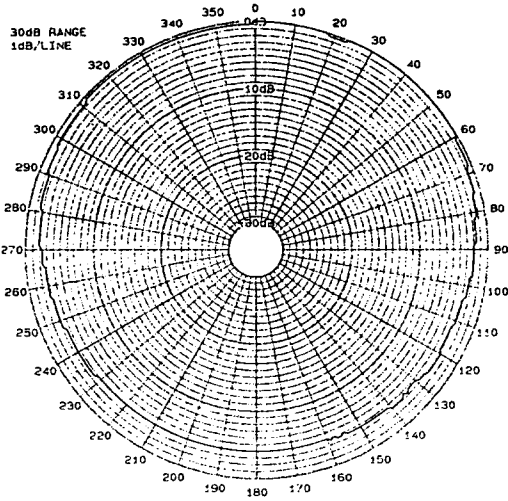


그림 7. S.I.A.의 z축 소자의 방위각 복사패턴 측정.  
Fig. 7. H Plane radiation pattern of SIA(z axis)

#### IV. 측정결과 및 검토

SIA의 복사패턴을 850MHz의 주파수 대역에서 측정하였다.

측정은 안테나 지지대상의 중심부에서 회전각도에 따라 x,y,z축에 위치한  $\lambda/2$  다이폴 안테나에 수신되는 전계의 세기를 얻을 수 있도록 수행되었다.

측정결과는 Math CAD 2.0을 이용하여 자료를 처리한 후 상대진폭(Relative Amplitude)으로 계산하여 그림 8과 9에 보였다.

그림(5-23)에는 SIA에 수직편파가 송신되었을때 x,y,z축상에 수신되는 전계의 세기와 Hermitian Magnitude로 계산되는 총전계의 크기를 나타내었고, 그림 9는 SIA에 수평편파가 송신된 경우이다.

또한, 그림 10에는 수직 및 수평편파가 송신된 경우의 합성된 총전계의 크기와 식(9)의 계산된 총전계의 크기를 비교하여 나타내었다.

그림(10)에서 비교해본 결과, 이론적 계산치는 각도 0~360°에 따른 등방성 응답에 대한 전체 차이는 2.1dB 이하였고, x,y,z축에 의해 수신 측정된 측정치의 전체 편차는 대략 2.8dB 이하 이었다.

그리고 이론치와 측정치는 대략 150°-210° 구간을 제외한 각도에서는 비슷한 경향을 보였다.

이론치와 측정치의 차이는 이론적으로 상대진폭을 계산하는데 있었고, 또한 안테나 지지대상에서의 각

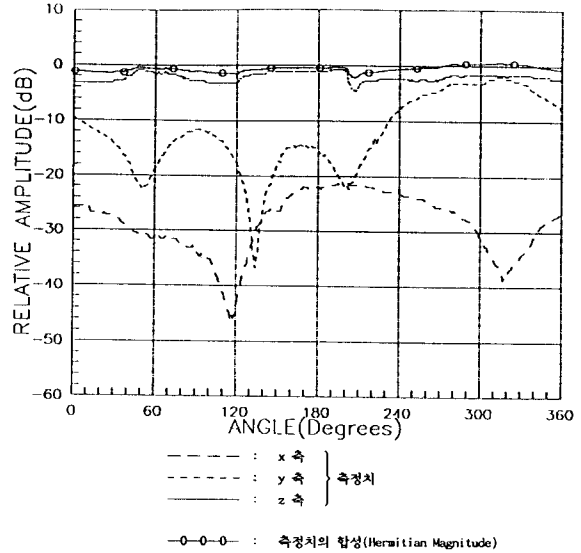


그림 8. S.I.A.의 등방성 측정(수직 편파)  
Fig. 8. The isotropic measurement of SIA(vert. polar)

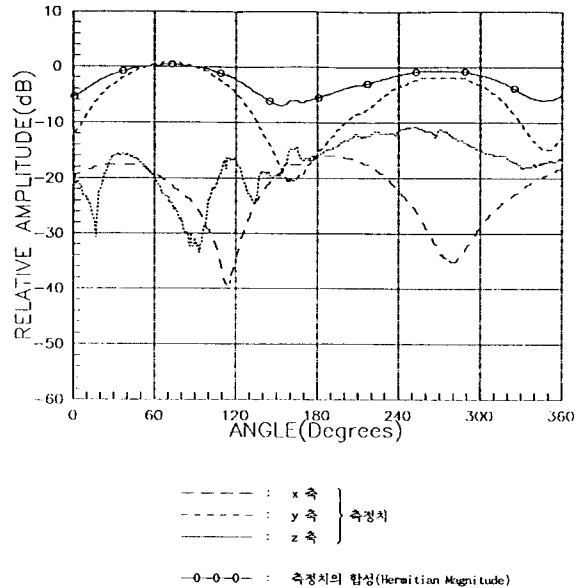


그림 9. S.I.A.의 등방성 측정(수평 편파)  
Fig. 9. The isotropic measurement of SIA(hori. polar)

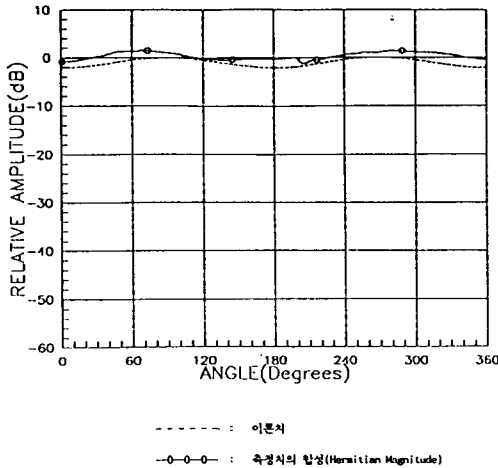


그림 10. SIA의 등방성 응답  
Fig. 10. The isotropic response of SIA

### V. 결 론

UHF 대역에서 전자파 환경 측정에 사용될 안테나를 설계하기 위해 3개의  $\lambda/2$  Sleeve 다이폴을 직교시켜 등방성 패턴을 얻었다.

각축상의 다이폴에 의해 합성된 총전계의 크기는 원방계에서 벡터자위에 대한 결과식으로 부터 이론적으로 계산하였고, 계산결과 총전계의 크기는 원점으로부터의 거리에는 반비례하고, Pattern Factor에는 2.1 dB이하의 변화폭을 가지고 거의 일정한 Synthesized Pattern이 됨을 확인하였다.

SIA의 등방성 측정은 Anechoic Chamber에서 각축의 안테나 소자에 대하여 수직 및 수평파가 송신되었을 경우 수신되는 총전계의 크기를 측정 합성하였다.

측정 합성 결과, 등방성 응답에 대한 총전계의 편차는 2.8 dB이하로 이론적으로 계산된 결과와는 0.7 dB정도의 차이가 있었다.

앞으로의 해결과제로는 단일  $\lambda/2$  Sleeve 다이폴 소자가 x,y,z축상에 직교하여 구성될 때 각 안테나 소자간의 상호 결합 효과가 최소가 되도록 급전부 구조를 연구하며, 급전선로에서의 감쇄와 불요복사를 방지하기 위한 적절한 접지 방식등이 있으며, 또한 광대역상에서 전자파환경을 측정하기 위한 합성된 등방성 안테나 및 급전구조의 설계가 요구되고 있다.

### 참 고 문 헌

1. N.T.Ma, Kanda, M.I.Crawford, and E.B. Larsen, "A review of Electromagnetic Compatibility /Interference measurement methodologies," IEEE Proc., Vol.73, No.3, pp.388-411, March 1985.
2. M.Kanda, E.B.Larsen, M.Borsere, P.G.Gallino, I.Yokoshima, and N.S.Nahman, "Standards for Electromagnetic field measurements," IEEE Proc., Vol.74, No.1, pp.120-128, January 1986.
3. A.D.Yaghjian, "An overview of near-field antenna measurements," IEEE Trans. on AP, Vol. AP 34, No.1, pp.30-45, January 1986.
4. G.R.Reeve, "Synthesized isotropic pattern antennas for EM field measurements," IEEE Int., Symp. on EMC, pp.36-42, Aug 1981.
5. R.J.King, and Y.H.Yen, "Probing amplitude, phase, and polarization of microwave field distribution in real time," IEEE Trans. on MTT, Vol.MTT-29, No.11, pp.1225-1231, November 1981.
6. K.S.Farhat, and J.C.Bennett, "Antenna near-field measurements using directive probes," IEEE Proc., Vol.133, PL.H.No.1, pp.26-33, February 1986.
7. P.F.Wacker, "Unified theory of near-field analysis and measurement : Nonmathematical discussion," IEEE Trans. on AP, Vol.AP-73, No.1, pp.99-107, January 1982.8. J.C.Bennett, and K.S.Farhat, "Near-field measurements on plane-polar facility," IEEE Proc., Vol.136,Pt. H,No.3, pp.202-208, June 1989.
9. A.D.Yaghjian, "Efficient computation of antenna coupling and fields within the near-field region," IEEE Trans. on AP, Vol.AP-30, No.1, pp.113-128, January 1982.
10. E.Aslan, "Electromagnetics radiation survey meter," IEEE Trans. on Instru.Meas., Vol. IM-19, pp.368-372, Nov. 1970.
11. E.R.Larsen, J.R.Andrews, and E.E.Baldwin,

- “Sensitive isotropic antenna with fiber-optic link to conventional receiver,” NBSIR 75-819, Sept. 1976.
12. M.Kanda, “A relatively short cylindrical broadband antenna with tapered resistive loading for picosecond pulse measurements,” IEEE Trans.on AP, Vol.AP-26, No.5, pp.439-447, May 1978.
  13. M.Kanda, and F.X.Ries, “A broadband isotropic real-time electric-field sensor(BIRES) using resistively loaded dipoles,” IEEE Trans. on EMC, Vol.EMC-23, pp.122-132, Aug.1981.