

技術解説

안테나인자 교정법과 전원선 임피던스안정화 회로망 특성 고찰

최 익 권

(한국전자통신연구소
전파공학 연구실)

I. 머릿말

근래 전자기술의 급격한 발전에 따라 고도로 정밀한 기능을 갖는 전자기기들이 우리의 일상생활을 편리하게 하고 있으며 또한 산업의 고도화에 크게 이바지하고 있다. 그러나 이러한 기기들은 전자파잡음에 취약할 뿐 아니라 자신들도 주요한 잡음원으로 다른 기기들의 성능저하나 오동작을 유발시키고 있어서 우리에게 새로운 기술상의 난제를 던져주고 있다 [1].

본고에서는 각종 전기전자기기로 부터 방사되는 전자파잡음 측정오차에 중요한 요인들이면서도 실 측정시에 간과되고 있는 안테나 인자의 개념과 교정법 그리고 전원선 임피던스 안정화 회로망(LISN)의 특성에 대해서 간단히 소개하기로 한다.

II. 안테나인자 개념 및 교정 방법

a. 안테나인자란?

안테나인자란 전계강도를 측정하기 위해 안테나 수신기로 구성된 측정시스템에서(그림 1-a 참조) 수신기에 걸리는 전압으로 부터 전계강도를 알아내기 위한 변환인자로 안테나마다 다른 값을 가지고 있으며 그 변환식은 다음과 같다.

$$E = K \times V \quad (1)$$

여기서 V: 수신기에 걸리는 전압

K: 안테나인자

E: 안테나 위치에서의 전계강도

따라서 복사잡음 측정값의 정확도는 안테나 인자가 얼마나 정확히 교정되었는가에 달려 있다[2].

b. 안테나인자와 안테나이득

안테나인자 교정법에 대한 이해를 돕기 위해서 먼저 이와 유사한 개념인 안테나이득과 안테나인자간의 관계를 그림 1-a의 안테나·수신기 결합에 대한 등가회로 모델 그림 1-b로부터 알아보기로 한다. 여기서 V_{open} 은 수신되는 전계에 의해 안테나 단자에 유기되는 개회로 전압이고 Z_{in} 은 안테나 입력 임피던스 그리고 Z_L 은 수신기 입력단에 걸리는 부하 임피던스이다.

회로이론에 의해 위 등가회로로 부터 유도되는 수신전력 P_r 의 표현식과 전자장개념에 의한 수신전력의 표현식[3]이 같다고 하면 안테나 인자(K)와 안테나 이득(G) 사이에는 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$K = \frac{9.73 f_{(MHz)}}{300 \sqrt{G}} \quad (2)$$

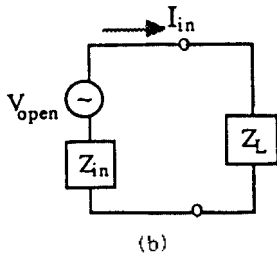
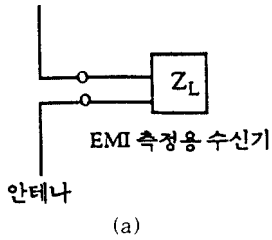


그림 1. 안테나 수신기결합과 동가회로

그러므로 안테나 인자를 교정하기 위해서는 안테나 인자를 측정하거나 안테나이득을 측정하거나 둘 다 같은 결과를 갖는다는 것을 알 수 있는데 앞의 관계식은 안테나에 입사되는 파가 평면파인 경우에 유효하므로[3] 실 측정시에는 이러한 환경조건(자유공간)이 되도록 송수신안테나는 적어도 한 파장 이상 떨어져뜨려 놓고 또한 그 주변에는 다른 구조물이 없는 지를 반드시 확인하고 측정해야 한다.

c. 안테나 인자 교정법

자유공간법

자유공간 조건을 만족시키는 환경즉 전자파 무반사실이나 주변의 영향이 거의없는 환경하에서 안테나 인자를 측정하는 방법으로 표준장법, 표준안테나법, reciprocity법이 알려져 있는 대표적인 방법들이다. 각 방법에 대해서 간략히 소개한다.

• 표준장법

전장을 정확히 알고있는 혼안테나나 loop 안테나등을 이용하여 전장을 형성한 뒤 안테나 인자를 구하고 자하는 안테나를 적어도 한 파장이상 떨어진 위치에 놓고 수신기에 걸리는 전압을 읽은 뒤 식(1)에 의해 K를 구하는 방법.

• 표준안테나법[4]

안테나 인자를 알고 있는 reference 안테나(반파장

공진 다이폴 안테나)를 이용하여 임의의 안테나로부터 복사되는 전장에 의해 수신기에 걸리는 전압을 측정. 다음 이 측정값과 식(1)에 의해 그 위치에서의 전장을 계산한 뒤 다시 안테나 인자를 구하고자 하는 안테나를 그 위치에 놓고 측정한 전압으로 부터 식(1)에 의해 안테나 인자를 구하는 방법.

• reciprocity 법[5]

이론에 의한 송수신 안테나 사이의 전송손실과 실측된 전송손실값을 같다고 하면 다음 관계식이 유도된다.

$$G_t + G_r = S_{21} + L_0 \tag{3}$$

여기서 S_{21} : 전송손실

$$L_0 = 10 \log \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right)^2 \text{ : 자유공간 전송손실}$$

따라서 동일한 두 안테나사이의 전송손실을 측정 한 뒤 위 식(3)에 의해 안테나의 이득을 구하거나(일반적으로 어느 안테나도 동일하기는 힘들므로 좋은 방법은 아님)또는 안테나의 이득을 알고 있는 안테나와 모르는 안테나쌍간의 전송손실을 측정한 뒤 식(3)에 의해 안테나이득을 구하는 방법이 있는데 가장 좋은 방법은 3개의 안테나를 이용하여 각각 3쌍에 대한 전송손실을 측정하여 식(3)으로 부터 유도된 3원 1차연립 방정식을 풀므로써 안테나 이득을 구하는 방법이다.

반자유공간법

자유공간 조건이 만족되지 않은 경우에 이용되는 방법으로 자유공간법에 비해 저주파대역에서 유효하고 또한 비교적 작은 공간에서도 유효하다는 장점이 있으며 방법으로는 표준안테나법과 표준시험장법이 있다.

• 표준안테나법[4]

자유공간에서의 표준안테나법과 동일한 방법에 의해 안테나 인자를 결정한다. 단 지표면으로 부터의 반사파에 의해 수신 안테나 위치에 따라서 수신 전계강도가 급격히 변화하는 위치가 있어서 측정시 오차를 크게 발생시킬 수 있으므로 이런 위치는 피하고 가급적이면 최대 전계강도가 수신되는 위치에서 수신안테나의 인자를 구하는 것이 좋다.

• 표준 시험장법[4]

지표면이 완전도체로 되어 있는 시험장 감쇠량의 이론값과 실 측정값을 같다고 하면 다음과 같은 관계식이 얻어진다.

$$A = \frac{279.1 A_r A_t}{f_M E_D^{max}} \quad (4)$$

여기서 A : 측정된 시험장 감쇠량

A_r : 수신안테나 안테나 인자

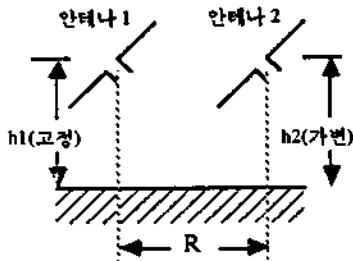
A_t : 송신안테나 안테나 인자

f_M : 주파수(단위: MHz)

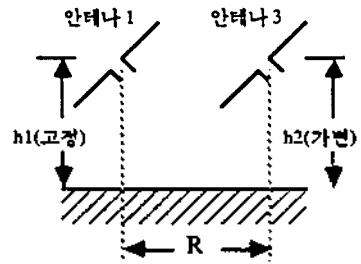
E_D^{max} : 출력 1pW의 반파장 다이폴 송신안테나로부터 규정된 수신안테나높이 범위내에서 최대 전계강도 계산값(참고 문헌[4, 6]에 계산값이 있음)

따라서 두 안테나의 안테나 인자가 동일하거나 둘 중 한 안테나의 안테나 인자가 알려져 있는 경우에는 한번 측정된 시험장감쇠량(시험장감쇠량측정법에 관해서는 참고문헌[4, 6]참조)을 식(4)에 대입하여 안테나 인자를 구할 수 있다. 그렇지 않은 경우에는 또 하나의 미지의 안테나를 추가하여 그림 2에서와 같이 조합된 각 쌍에 대해 시험장감쇠량을 측정 한 후 이들을 식(4)에 대입하여 결과적으로 나오는 3원 1차 연립방정식을 풀이하여 각각의 안테나 인자를 결정할 수 있다. 이 방법은 표준안테나법이나 다른 방법에 비해 정확한 전압 또는 전계강도측정이나 신호차의 정확한 크기가 필요하지 않고 다만 시험장의 질에 의존하므로 좋은 방법이다.

시험장 감쇠(A1) 측정



시험장 감쇠(A2) 측정



시험장 감쇠(A3) 측정

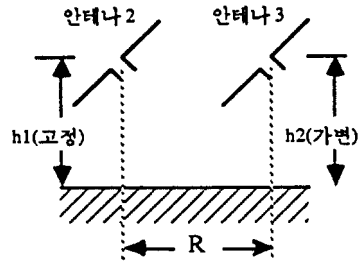


그림 2. 3개의 서로 다른 안테나의 조합과 배치

III. 전원선임피던스안정화회로망(Line Impedance Stabilization Network)

기기로 부터의 전도잡음 측정을 위해서는 전원선 임피던스안정화회로망(LISN)과 전자파장해측정용 수신기가 기본 장비로 요구되며 규제기관과 대상 기기에 따라 조금씩 대상 주파수대역 및 측정법에 차이가 있지만(부록 1 참조) 피측정기와 측정기 그리고 전원은 그림 3과 같이 LISN에 연결하여 측정한다. 따라서 정확하고 재현성있는 전도잡음측정을 위해서는 다음에 설명되는 LISN의 재특성에 대한 충분한 이해가 필요하다.

a. 임피던스특성[7, 8]

LISN은 이름이 의미하듯이 전원선임피던스를 안정화시키기 위한 장치로서 CISPR나 FCC 또는 VDE 규격에 따라 내부회로는 조금씩 다르지만 피측정기 단자(그림 3참조)에서 본 임피던스특성은 모두 50 Ohm을 만족시키도록 규정되어 있다.

b. 필터링 특성[7, 8]

이러한 임피던스특성외에도 LISN이 가지고 있는

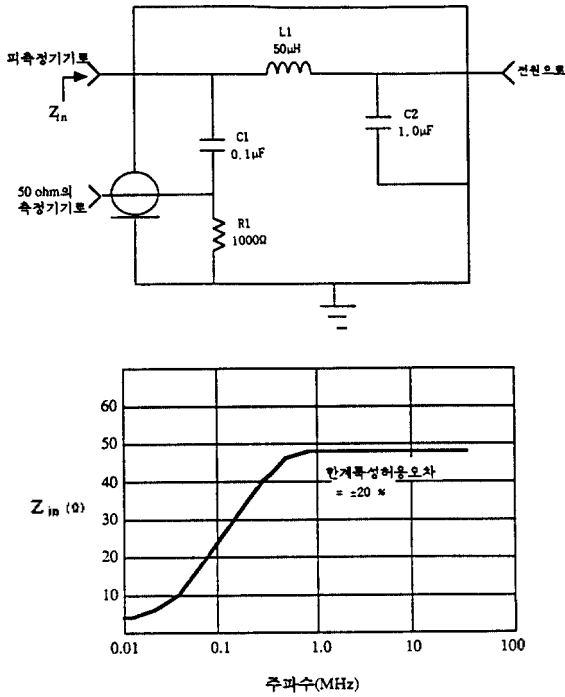


그림 3. ANSI 규격에 의한 전원선안정화 회로망 및 임피던스 특성

중요한 특성으로는 전원선으로부터 피측정기에 잡음 성분이 없는 깨끗한 상용전력만이 공급되도록 하

부록 I. 규격비교[2]

1. ISM (Industrial, Scientific and Medical Equipment)

- 가. 적용 대상기기 : 고주파 용접기기, 신호발생기, 초음파 치료기기 등
- 나. 규격비교

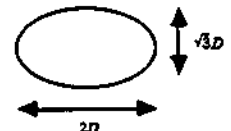
규격	CISPR Pub 11	FCC Part 18	VDE0871 Part 11
발행년도	1975 (개정 : 1976)	1985 (MP-5 : 1986)	1987
복사잡음 주파수	0.15 MHz - 1 GHz 1 GHz - 18 GHz	1 GHz 까지 (시험될 EUT에 따라 다름)	0.01 ~ 1000 MHz 1 ~ 18 GHz
거리	30, 100, 300m	3, 30, 300, 1600 (시험될 EUT에 따라 다름)	10, 30, 300m (Class A, B, C에 따라 다름)
EUT (피측정기기)	<p>방사잡음 그라운드 레벨에서 50cm 위; 단, 마이크로웨이브 오븐의 경우 1m 자계안테나: 안테나의 가장 낮은 점이 그라운드 위 1m 전계안테나: 안테나 중심의 그라 운드에서 3 ± 0.2m 위</p> <p>전도잡음 LISN과 전류프로브(current probe) 를 사용한다는 것 외에 특별한 언 급 없음</p>	<p>방사잡음 시험장소 그라운드레벨로부터 1m 위; 80cm 높이를 갖는 시험 대 위에서 행한 측정 결과도 받 아 들여짐 루프 안테나 : 2m 다이폴 또는 이와 동가안테나 : 1 ~ 4m, 2 ~ 6m 혼 또는 이와 동가안테나 : 1 ~ 4m</p> <p>전도잡음 EUT는 그라운드레벨로부터 40cm 위 LISN과 적어도 80cm 아격</p>	<p>방사잡음 그라운드레벨로부터 1m 위 수신 안테나 : 1 ~ 4m</p> <p>전도잡음 EUT와 LISN 사이의 거리 80cm</p>

고 또한 측정기기의 입력단자에는 피측정기로부터의 노이즈만이 측정될 수 있도록 전원선으로부터의 사용전력파형과 노이즈가 측정기기의 입력단자에 걸리지 않도록 이들을 제거해 주는 필터링기능이다.

이와같은 임피던스특성과 필터특성들은 그림 3의 미국 ANSI 규격에 따른 LISN회로로부터도 쉽게 확인할 수가 있다. 그러나 이 특성들은 LISN이 전원이나 피측정기에 연결되어 있지않은 상태에서의 특성이고 실 측정시에는 전원 및 피측정기의 단자측에 걸리는 임피던스에 의해 피측정기 단자측에서 보는 입력임피던스특성 그리고 전원선에서 보는 필터특성이 크게 달라지게 되므로 결과적으로 측정되는 잡음전도전압도 달라지게 되기 때문에 이에 대한 주의가 요구된다.

IV. 맺는 말

본 고에서는 전기전자기기술에서 방사되는 복사잡음과 전도잡음측정에 중요한 오차 요인인 안테나인자의 교정법과 전원선 임피던스안정화 회로망특성에 대해 소개하였으며 부록으로 해외 주요 전자파장해 규제내용을 비교정리한 자료를 첨부하였다. 실무에 종사하는 분들에게 조금이나마 도움이 되었으면 기대한다.

안테나	30 MHz 이하 측정용 자계안테나 30 MHz 이상 측정용 전계안테나	루프안테나 다이폴 또는 이와 동가안테나 혼 또는 이와 동가안테나	자계안테나 전계안테나
전도잡음 주파수	0.15 ~ 30 MHz	30 MHz 까지 (시험될 EUT에 따라 다름)	0.01 ~ 30 MHz
야외시험장 크기	<p>장축 $2D$ (D: 측정거리) 단축 $\sqrt{3}D$의 타원</p>  <p>(FCC Part 18, VDE0871도 이와 동일)</p>	FCC OST-55에 따른 야외시험장 (전파압실 등이 야외시험장과 상호관련이 있으면 사용 가능)	<p>장축 $2D$ (D: 측정거리) 단축 $\sqrt{3}D$의 타원</p>

2. Ignition System

가. 적용대상기기

- 1) 내연기관이나 전기적 수단에 의해 추진되는 차량
- 2) 내연기관이나 전기적 수단에 의해 추진되는 모타보트
- 3) 스파크로 점화되는 내연기관을 갖춘 장치

나. 규격비교

규격	CISPR Pub 12	SAE J 551	VDE 0879	JASO D002
발행년도	초판: 1975 재판: 1978 삼판: 1990	1985(10 차 개정)	1987	1987
복사잡음 주파수	30 MHz ~ 1000 MHz	30 ~ 1000 MHz	30 ~ 250 MHz	30 ~ 1000 MHz
거리	자동차의 경우: $10 \pm 0.2m$ 모타보트의 경우: $10 \pm 0.2m$	자동차의 경우: $10 \pm 0.2m$ 모타보트의 경우: $10 \pm 0.2m$	자동차의 경우: 10m	자동차의 경우: $10 \pm 0.2m$
EUT	자동차의 경우: 바닥 위치 모타보트의 경우: 물 위에 머있는 상태 (측정안테나 높이: $3 \pm 0.05m$)	CISPR와 동일	자동차의 경우 : 바닥에 위치 (측정 안테나 높이: 3m)	자동차의 경우 : 바닥에 위치 (측정 안테나 높이: $3 \pm 0.05m$)
안테나	참조(Reference)안테나: 반파장 공진 다이폴 광대역 안테나 : 직선적으로 편파된(Linearly Polarized)안테나	특별한 언급 없음	전계안테나	평형형 다이폴 단일형 다이폴 복합 안테나
전도잡음 주파수	해당 없음	해당 없음	해당 없음	해당 없음
야외시험장 크기	자동차의 경우 : 장축 $20m \pm 0.4m$ 단축 17.3m의 타원	자동차의 경우 : CISPR와 동일	자동차의 경우 : 장축 20m 단축 17.3m	자동차의 경우 : CISPR와 동일
최소반경	(장축의 경우 자동차 크기는 제외한 길이이다) 모타보트의 경우 : EUT와 안테나의 중간점에서 최소반경 30m원	모타보트의 경우 : CISPR와 동일		

3. 라디오 및 TV 수신기

가. 적용대상기기: 라디오 및 TV 수신기

나. 규격비교

규격		CISPR 13	VDE 0872 Part 1	IEC 106
발행년도 (개정)		1975 (1983)	1983	1974 (1983)
복사잡음 주파수		30MHz - 1000MHz	30MHz - 1000MHz	150kHz - 1000MHz
거리		3m	3m	3m
EUT		지상 0.8m	지상 0.8m	지상 0.8m
안테나	사용종류	30MHz - 300MHz : 1.5m 다이폴 300MHz - 1000MHz : 0.3m 다이폴	30MHz - 300MHz : 1.5m 다이폴 300MHz - 1000MHz : 0.3m 다이폴	30MHz - 300MHz : 1.5m 다이폴 300MHz - 1000MHz : 0.3m 다이폴
	가변높이	1 - 4m	1 - 4m	1 - 4m
전도잡음 주파수		150kHz - 1605kHz	150kHz - 30MHz	150kHz - 30MHz
야외시험장 크 기				

4. Electric Appliances(가전기기, 휴대용 공구 및 이와 유사한 전기기기)

가. 적용 대상기기: 세탁기, 진공청소기, 전기드릴, 냉장고, 전기면도기, 믹서, 선풍기 등

나. 규격

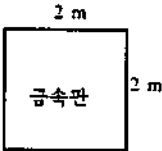
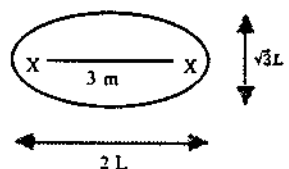
규격	CISPR Publ. 14
발행년도	1985
복사잡음 주파수	30MHz - 300MHz
거리	3m
EUT	높이 1.5m
ANT	다이폴, 높이 1.5m
전도잡음 주파수	0.15MHz - 30MHz
Open site	규정없음(반사물체가 없는 평평한 곳)

* EN 55014 (1987), VDE 0875 part 1 (1988)은 CISPR Publ. 14와 동일

5. 형광등 및 조명기기

가. 적용대상기기: 형광등 및 조명기기

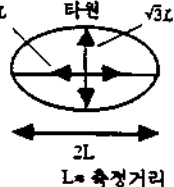
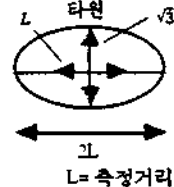
나. 규격비교

규격	CISPR Publ. 15	VDE 0875 Part 2
발행년도	1985	1984
삽입손실 주파수	160kHz - 1400kHz	160kHz - 1400kHz
복사잡음 주파수	-	10kHz - 30MHz
거리	-	3m
EUT	-	1.0m
안테나	-	1 - 4m
전도잡음 주파수	150kHz - 1605kHz	10kHz - 30MHz
야외시험장 크기	<p>○ 전도잡음전압</p>  <p>○ 자기안정기형광등: 원추형 금속 합체</p>	

6. ITE

가. 적용대상기기: 데이터를 입력 혹은 출력하거나 입력된 데이터에 대하여 연산, 변환, 기억, 전송등의 기능을 수행하는 기기(개인용 컴퓨터, 프린터, 모니터, 팩시밀리, 범용컴퓨터, 워드프로세서 등)

나. 규격비교

규격	CISPR Publ 22	FCC TP - 5	VCCI	
발행년도	1985	1989	1988	
복사잡음 주파수	30MHz - 1000MHz	30MHz - (10m, 3m)	30MHz - 1000MHz	
거리	Class A 30m (10m, 3m) Class B 10m (3m)	Class A 30m Class B 3m 원거리장(far field)에 있으면 다른 거리에서 측정 가능	제1종 30m (10, 3m) 제2종 10m (3m)	
EUT	높이 0.8m	높이 0.8m	높이 0.8m	
안테나	사용종류	80MHz 이하: short 다이폴 80MHz 이상: 동조 다이폴	1GHz 이하: 동조 반파장 다이폴 1GHz 이상: 선형 편파된 horn	동조 다이폴
	가변높이	1 - 4m	1 - 4m	1 - 4m
전도잡음 주파수	0.15 - 30MHz	0.45 - 30MHz	0.15 - 30MHz	
야외시험장 크기				

* VDE 0871 Part 2 (1987), EN 55022 (1987)은 CISPR Publ 22와 동일

참 고 문 헌

1. NISTIR 90-4260, Emerging Technologies in Electronics ... and their measurement needs, 2nd edition, Feb. 1990.
2. ANSI-C63. 6-1988, American National Standard for Electromagnetic Compatibility-Open-Area Test Site Measurements-Guide for the Computation of Errors.
3. W. L. Stutzman, G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, John Wiley & Son, 1981.
4. ANSI-C63. 5-1988, American National Standard for Calibration of Antennas
5. ARP 958, Aerospace Recommended Practice, Broad-band Electromagnetic Interference Measurement
6. A.A. Smith, JR., Standard-Site Method for Determining Antenna Factors, IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility, Vol.EMC-24, No.3, Aug. pp. 316-322.
7. Y. Hotta, Y. Sato, T. Kesen, J. Chen, Effect of Line Impedance on Radiated Emission, Proceedings of International Symposium on EMC, pp.110-114, 1992, Beijing, China
8. Takehiro Takahashi, Noboru Schibuya, Kenichi Ito, Jiro Oouchi, Siegenobu Irokawa and Chikara Igarashi, "擬似電波回路網(LISN)の特性とこれをめぐる最近の動向について," EMC No.58, pp.28-34, 1993. 2.

▲최 익 권



1950년 12월 26일생
 1974년 2월 : 서울대학교 공과대
 학 자원공학과(공학
 사)
 1976년 2월 : 서울대학교 대학원
 자원공학과(공학석
 사)

- 1986년 9월 : 미국 오하이오주립대학교 대학원 전자
 공학과(공학박사)
- 1976년 3월 ~ 1979년 6월 : 육군 제3사관학교 교수부
 물리학 전임강사
- 1981년 10월 ~ 1986년 9월 : 미국 오하이오주립대학교
 부설 ESL(Electro Science Laboratory)
 연구원
- 지하구조물 탐사용 레이더시스템개발 연구
 - 마이크로스트립 어레이 안테나개발 연구
- 1986년 10월 ~ 1987년 9월 : 미국 마사추세츠주립대학
 교 Antenna Laboratory 연구원
- 마이크로스트립 웨이스트 어레이 안테나개발 연구
- 1987년 10월 ~ 현재 : 한국 전자통신연구소 이동통신
 기술연구단
- 위성추적시스템 성능분석연구
 - 식별부호 자동송출 및 수신장치개발연구
 - 특수페이저개발연구
 - 휴대용 소형내장형 안테나개발 및 전파전파특성
 연구
 - EMI / EMC 측정 및 방지대책연구

Antennas : Standard Calibration Requirements and
 Methods. Society of Automotive Engineers Inc.,
 January 1968, New York, N.Y., USA