

2.45 GHz에서 누설전자파 측정기의 교정

준회원 신진국*, 김정환*

Calibration of a Microwave Leakage Monitor at 2.45 GHz

Jin Koog Shin*, Jeong Hwan Kim* *Regular Members*

요약

현대사회의 새로운 공해요인으로 인식되고 있는 전자파 방해현상은 전자기기, 컴퓨터 및 각종 의료용 기기 등의 오동작을 유발하여 산업재해를 일으키는 물론 인체에 유해하다는 것이 알려졌다. 그중에서, 우리생활에 많이 이용되고 있는 전자레인지의 경우는 차폐가 잘 되어 있지 않으면 누설되는 전자파가 인체에 해로운 영향을 주게 된다.

본 논문에서는 2.45 GHz에서 전자파 누설탐지기의 교정시스템을 보인다. 누설탐지기의 계기 눈금과 출력전압 사이의 보정인자를 교정시스템을 이용하여 측정하였으며, 그리고 프로브의 편파특성오차를 측정하였다. 이러한 측정은 전자파 무반향실에서 행해졌으며, 이 교정시스템의 총 불확도는 0.66 dB이다.

ABSTRACT

In modern society, it is well known that microwave disturbance is harmful to human body as well as it is producing malfunction of electronic equipment, computers, and medical instrument. If a microwave oven is not shielded properly, the microwave radiated from the microwave oven can give a harmful influence to a person. A calibration system of a microwave leakage monitor at 2.45 GHz is presented in this paper. Correction factors for the meter scales of several microwave leakage monitors are obtained by measuring output power of the calibration system. The polarization ellipticity error was also measured. These measurements were performed in an anechoic chamber. It was found that total uncertainty of this calibration system is about 0.66 dB.

1. 서론

전기·전자기기로부터 방사되는 전자파잡음 중에서 특히 최근에 널리 보급되어 그 사용량이 급증하고 있는 전자레인지의 경우 그 편리함 이외에 누설되는 전자파의 양에 따라 인체에 치명적인 영향을 주기도 하고 무기와 연료 등의 폭발과 발화를 유도하는 등 그 악영향이 심각하다. 따라서, 선진 각국에서는 전자레인지 사용할 때의 위험성과 안전한 사용법을 널리 통보하는 한편 자국에 수입되는 전자레인지에 대한 각종 안전규격을 제정하여 불량품의 수입억제 및 인명과 재산의 보호에 많은 노력을

기울이고 있다.

예를 들면, 미국의 경우에는 전자파 안전규격을 제정하여 전자레인지 등 각종 전자파 관련기기의 품질검사에 대한 기준으로 이용하고 있으며, 유럽각국도 이 규격을 채택하고 있다. 우리나라의 경우에는 가전3사 등에서 전자레인지를 생산하여 국내수요의 충족은 물론 구미 각국에 대량 수출까지 하고 있기 때문에 누설전자파를 줄이기 위한 많은 노력을 경주하고 있다.

본 논문에서는 전자레인지에서 방출되는 전자파잡음 측정용 누설전자파 측정기의 교정시스템을 개발하고, 이 교정시스템의 측정불확도를 산정하였으며, 교정의뢰된 측정기에 대한 성능평가를 하였다.

* 한국표준과학연구원
논문번호: 99096-0313

접수일자: 1999년 3월 13일

II. 누설전자파 측정기의 교정시스템

1. 이론

누설전자파 측정기는 자유공간에서의 전자기장의 세기를 감지하는 프로브 부분과 프로브로부터 전자기장의 세기에 따라 발생하는 신호를 처리하여 지시하는 미터부분으로 구성된다. 따라서 누설전자파 측정기의 교정은 미터부분의 교정과 프로브의 전자기장 감지특성의 교정으로 나누어질 수 있다. 미터 부분은 전자회로로 구성되어 있어 교정이 문제가 되지 않으나 프로브의 특성교정은 전자기장의 세기를 정확하게 알고 있어야 한다. 프로브의 교정은 그림 1에서와 같이 피교정 프로브를 균일한 전자기장에 놓았을 때 프로브에 연결된 미터부의 측정치 R과 전자기장의 전력밀도 S의 비, 즉 교정상수 K를 구함으로써 이루어진다.

$$K = \frac{S}{R} \quad (1)$$

여기서 전력밀도 S는 안테나의 이득이 G, 안테나에 전달되는 RF전력이 P, 안테나로부터의 거리가 d 이면 다음과 같이 주어진다.

$$S = \frac{GP}{4\pi d^2} \quad (2)$$



그림 1. 전자파 누설탐지기의 교정.

따라서 누설전자파 측정기를 교정하는데 필요한 전력밀도를 갖는 전자기장을 발생시키기 위해서는 안테나의 이득 G와 안테나에 전달되는 전력 P, 그리고 거리 d를 측정하여야 한다.

2. 안테나의 이득

누설전자파 측정기의 교정을 위하여 전자기장을 발생시키기 위하여 혼(horn) 안테나를 사용하였다 [1,2,3,4,5]. 그림 2와 같은 구조의 혼 안테나의 이득은

다음과 같이 주어진다.

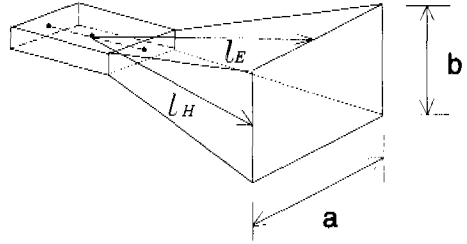


그림 2. 피라미드형 혼 안테나.

$$G = G_0 \cdot R_E \cdot R_H \quad (3)$$

여기서, G_0 는 혼안테나의 직사각형 개구면(aperture)에 전자기장이 'in-phase'로 한쪽 방향으로는 균일하게, 나머지 한쪽 방향으로는 여현적으로 분포되어 있을때의 원역장 이득을 나타낸다. 그러나 실제의 혼안테나 개구면에서의 전자기장 분포는 'in-phase'로 되지 않고, E면과 H면 flare에 의해 혼안테나의 구심점으로부터 안테나 개구면의 각 좌표에 이르는 경로 차이의 제곱에 비례하는 위상차이를 갖고 있어 이로 인한 원역장 이득의 이득감소인자가 존재하는데 이들이 식(3)에서 R_E, R_H 로 나타나 있다. 식(3)에서 G_0 와 R_E, R_H 는 다음과 같이 주어진다.

$$G_0 = \frac{32ab}{\pi \lambda^2} \quad (4)$$

$$R_E = \frac{C^2(u) + S^2(v)}{w^2} \quad (5)$$

$$R_H = \frac{\pi^2}{\lambda} \frac{[C(u) - C(v)]^2 + [S(u) - S(v)]^2}{(u-v)^2} \quad (6)$$

C와 S는 Fresnel의 적분을 나타내며, 식(5)와 (6)은 간단한 다항식을 써서 다음과 같이 dB로 나타낼 수 있다.

$$R_E = 0.1 \alpha^2 (2.31 + 0.053 \alpha) [dB] \quad (7)$$

$$R_H = 0.01 \beta (1 + 10.19 \beta + 0.51 \beta^2 - 0.097 \beta^3) [dB] \quad (8)$$

여기서, $\alpha = \frac{\beta^2 F}{0.3} \left(\frac{1}{l_E} + \frac{1}{d} \right)$, $\beta = \frac{a^2 F}{0.3} \left(\frac{1}{l_H} + \frac{1}{d} \right)$

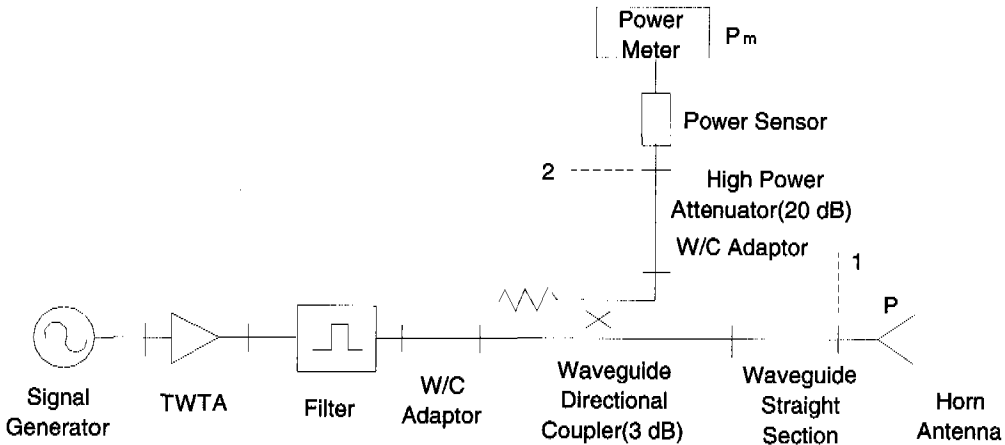


그림 3. 안테나에 전달된 RF전력의 측정.

로 주어지는데 a, b, l_E, l_H 는 그림 2에 나타난 혼 안테나의 치수[m]이고 F 는 주파수[GHz]이며 d 는 혼 안테나의 개구면 중심으로부터의 거리[m]이다. 그림 2와 같은 구조의 피라미드형 혼 안테나의 원역장 및 근역장 이득은 이득 감소인자가 식(7),(8)과 같이 주어질 때 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$G = 10 \log(ab) + 20 \log F + 20.54 - R_E - R_H \text{ [dB]} \quad (9)$$

3. 안테나 전달전력의 측정

식 (2)로 표현되는 전력밀도를 발생시키기 위한 RF전력을 안테나에 전달하면서 그와 동시에 안테나에 전달되는 전력의 크기 P 를 측정하기 위하여 그림 3과 같이 방향성이 아주 좋은 도파관형 방향성 결합기, 도파관형-동축형 어댑터, 고전력 감쇠기, 그리고 전력계를 사용하였다.

그림 3에서 안테나에 전달되는 전력 P 는 다음과 같이 표현된다^[6,7].

$$P = \frac{P_m}{K_s} \cdot R \cdot (1 - |\Gamma|^2) \quad (10)$$

- 단, R : 그림 3에서 기준면 2에서의 전력에 대한 기준면 1에서의 전력의 비
- Γ : 안테나의 반사계수(=0.022)
- P_m : 방향성결합기에 고전력 감쇠기를 거쳐 연 결된 전력계의 지시치
- K_s : 방향성결합기에 연결된 전력 감쇠기의 교 정인자.

그림 3에 사용된 전력 감쇠기는 열전대형 전력 감쇠기로서 써미스터 마운트를 사용하여 교정하였고, 기준면 1에서의 전력과 기준면 2에서의 전력의 비를 구하기 위하여 그림 4와 같은 측정 시스템을 구성하였다.

4. 누설전자파 측정기의 교정시스템

혼 안테나, 안테나 전달전력시스템을 결합하여 그림 5와 같이 전자기장 발생시스템을 구성하였다^[8,9,10]. 이 시스템에서 방향성 결합기에 연결된 전력계의 지시치 P_m 과 누설전자파 측정기의 프로브가 위치된 지점의 전력밀도 S 의 관계는 다음과 같다.

$$S = \frac{GP}{4\pi d^2} = \frac{R(1 - |\Gamma|^2)}{K_s} P_m \quad (11)$$

여기서 거리 $a = 100 \text{ cm}$ 로 하면 $G = 43.23$ 이 되고 $R = 86.78, K_s = 0.9805, |\Gamma| = 0.022$ 를 식 (11)에 대입하면,

$$S = 0.03042 P_m \text{ [mW/cm}^2] \quad (12)$$

그림 5의 측정시스템에서 송신부측에는 전자파 흡수체를 사용한 무반사벽을 만들고, 피교정 누설전자파 측정기는 레일 위를 일직선으로 이동할 수 있는 수레 위에 설치하여 안테나로부터의 거리를 가변시킬 수 있게 하였다. 수레의 앞면에는 전자파 흡수체를 부착하여 송신부측과 함께 무반사벽을 만들었다. 피교정 누설전자파 측정기와 송신측 안테나의

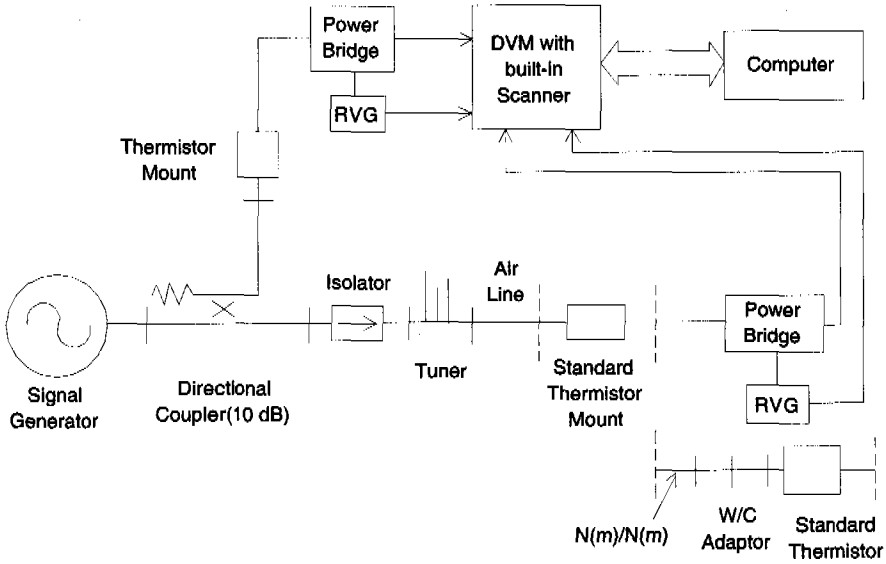


그림 4. 도파관-동축형 어댑터를 가진 써미스터 마운트의 교정.

측이 일직선이 되도록 정렬하기 위하여 수레의 뒤쪽에 레이저를 설치하고 송신측 안테나에 모눈종이를 부착하여 레이저 광선의 방향을 조정하였다.

본 논문에서 측정하고자 하는 것은 미터 지시치와 편파특성오차이며, 미터 지시치를 교정하기 위한 방법은 누설전자파 측정기의 프로브의 끝과 안테나 사이의 거리가 100 cm가 되도록 하고 송신측의 RF 전력을 조절하여 피교정 누설전자파 측정기의 지시치가 0.8, 1.0, 1.2 [mW/cm²]를 가리킬 때 각각의

경우에 피교정 측정기의 출력전압을 기록한다. 이것은 나중에 측정되는 레코더 출력전압을 미터 지시치로 환산하기 위한 것으로서 미터눈금 대 레코더 출력전압의 교정을 위한 것이다.

편파특성오차를 측정하기 위하여 송신되는 RF 전력의 크기를 조절하여 피교정 누설전자파 측정기가 1.0 mW/cm²를 가리키도록 한다. RF 전력을 일정하게 유지한 상태에서 피교정 측정기의 프로브를 360° 회전시키면서 IEEE-488 Bus로 연결된 디지털전압

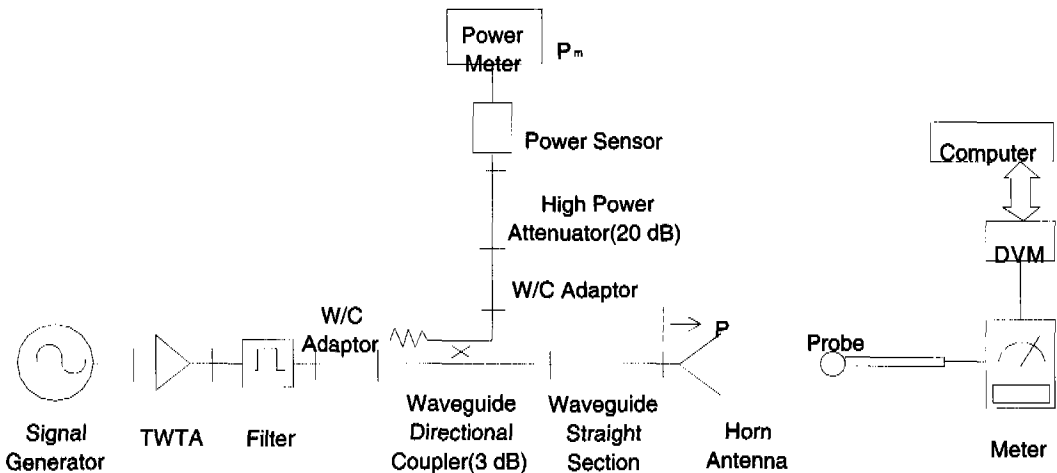


그림 5. 전자파 누설탐지기의 교정.

계의 전압을 컴퓨터를 이용하여 읽는다. 측정된 레코더 출력전압의 최소치 V_{min} 과 최대치 V_{max} 를 찾아 다음 식과 같이 정의되는 편파특성오차 (Polarization Ellipticity Error)를 계산한다^[11].

$$P.E.E. = \frac{V_{max} - V_{min}}{(V_{max} + V_{min})/2} \times 100 (\%) \quad (13)$$

피교정측정기의 프로브를 회전시켜 위에서 측정된 레코더 출력전압의 평균치가 되는 위치에 놓고 송신출력을 조절하여 피교정측정기의 지시치가 1.0 mW/cm² 가 되게 한 후, 이때의 전력계의 지시치 P_m 을 읽어 식(12)에 의해 1 mW/cm² 레벨에서의 보정인자 K_1 을 계산한다. 송신출력을 증가시켜 피교정측정기가 2.0 mW/cm² 가 되게 한 후 마찬가지로 방법으로 2 mW/cm² 레벨에서의 보정인자 K_2 를 계산한다.

III. 결과 및 고찰

누설전자파 측정시스템을 이용하여 편파특성오차와 1 mW/cm² 및 2 mW/cm² 레벨에서의 보정인자 K_1 , K_2 의 측정결과를 그림 6에 나타내었다.

그림 6과 그림 7의 결과는 3~5번 반복하여 측정 한 후 평균한 값이며, 여기서 프로브의 편파특성오차는 Holaday사의 측정기에 비해 Narda사의 측정기가 훨씬 큰데 이것은 Holaday 프로브가 4쌍의 다이폴로 구성된 것에 비해 Narda 프로브는 2쌍의 다이폴로 구성되어 있기 때문이다. 그리고 K_1 과 K_2 의 차 즉 1 mW/cm²에서의 보정인자와 2mW/cm²에서의 보정인자의 차이는 누설전자파 측정기의 비직선성을 나타내는데 DUT에 따라 1~5 %로 측정되었다. 비직선성의 원인으로는 피교정 누설전자파 측정기 자체의 비직선성과 교정시스템의 전력측정의 비직선성으로 볼 수 있다. 전력측정의 비직선성은 열전대 감지기의 비직선성을 써미스터 마운트로 측정 한 후 보정을 해서 결과적으로 비직선성 오차가 0.2 % 이하가 되게 하였다.

본 논문에서 누설전자파 측정기의 불확도는 0.66 dB이며, 표 1에 나타내었다. 여기서, 안테나 이득과 안테나에 전달되는 전력 측정의 불확도는 측정 시스템에서 사용된 측정장비 및 연결기들의 불확도를 합산한 것이며, 거리는 혼안테나의 개구면 중앙과 전자파 누설측정기의 프로브 중앙의 끝부분과의 거리를 측정할 때 생기는 오차로써 positioner가 움직

일 때 생기는 미끄러짐을 포함한다. 그리고, 4번항의 프로브의 불확도는 전자파 무반향실의 다중경로에 의한것과 전자기장의 굴곡 등이 고려되었으며, 5번항은 3~5회 반복해서 측정할 때 생기는 불확도이다.

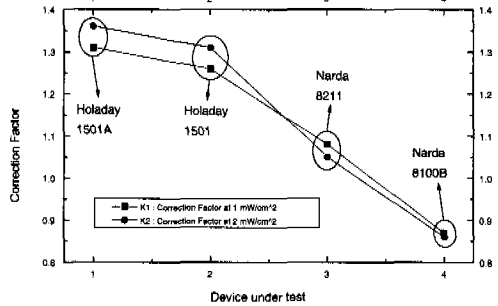


그림 6. 전자파 누설탐지기의 보정인자.

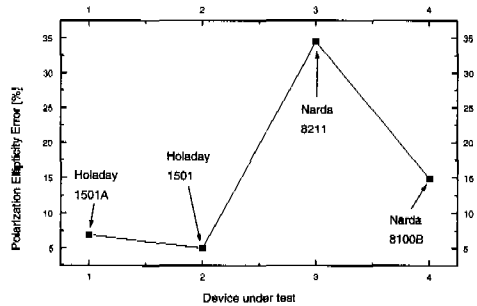


그림 7. 전자파 누설탐지기의 편파특성오차.

표 1. 누설전자파 측정기 교정시스템의 총불확도

구 분	불확도
1. Antenna gain	0.3 dB
2. Measurement of antenna transmitting power	0.13 dB
1) Side arm power measurement of directional coupler (0.06 dB)	
2) Power ratio of D. C. + att. (0.07 dB)	
3. Distance	0.02 dB
4. Probe	0.09 dB
1) Residual chamber multipath (0.02 dB)	
2) Residual cart reflection (0.02 dB)	
3) Field curvature (0.05 dB)	
5. Repeatability of measurement	0.12 dB

IV. 결론

전력밀도의 표준을 이용하여 2.45 GHz 용 누설 전자파 측정기에 대한 교정시스템을 구성하였고 측정결과에 대해 고찰하였다. 누설전자파 측정기 교정 시스템은 안테나, 신호원, 안테나 전달전력 측정시스템, 측정기 프로브 운반대 등으로 구성되는데 본 논문에서는 안테나 전달전력 측정시스템과 측정기 프로브의 정열과 회전에 역점을 두었으며, 누설전자파 측정시스템의 전체 불확도는 0.66 dB(16 %)이지만 안테나 이득 측정정확도를 개선하면 전체불확도를 줄일 수 있을 것이다.

참고 문헌

[1] E. H. Braun, "Gain of electromagnetic horns," *Proc. IRE*, vol. 41, No. 1, pp. 109-115, Jan. 1953.

[2] E. V. Jull, "Errors in the predicted gain of pyramidal horns," *IEEE Trans. Antennas & Propagation*, vol. AP-21, pp. 25-31, Jan. 1973.

[3] Slayton, W. T., "Design and calibration of microwave antenna gain standard," *Naval Research Lab.*, Washington D. C., Rept. 4433, Nov. 1954.

[4] A. C. Newell et al., "Accurate measurement of antenna gain and polarization at reduced distances by an extrapolation technique," *IEEE Trans. on Antennas and Propaga.*, vol. AP-21, No. 4, pp. 418-431, Jul. 1973.

[5] C. Balanis, "Antenna theory," *Harper & Row Publishers*, New York, 1982.

[6] M. Kanda and R. D. Orr, "A radio frequency power delivery system : Procedures for error analysis and self calibration," *NBS Tech. Note 1083*, National Bureau of Standards, Aug. 1985.

[7] H. I. Bassen and W. A. Herman, "Precise calibration of plane-wave micro-wave power density using power equation techniques," *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.* vol. MTT-25, No. 8, pp. 701-706, Aug. 1977.

[8] R. R. Bowman, "Calibration techniques for

electromagnetic hazard meters : 500 MHz to 20 GHz," *NBSIR 75-805*, National Bureau of Standards, Apr. 1976.

[9] W. A. Herman and D. M. Witters, "Microwave hazard instruments : An evaluation of the Narda 8100, Holaday HI-1500, and Simpson 380M," *Bureau of Radiological Health*, FDA, U.S. Dept. of Health and Human Services, June 1980.

[10] "Guide for establishing and maintaining a calibration constancy intercomparison system for microwave oven compliance survey instruments," *Center for Devices and Radiological Health*, FDA, U.S. Dept. of Health and Human Services, March 1988.

[11] John and Jasik, *Antenna Engineering Handbook*, McGraw-Hill, pp. 23.5-9, 1984.

신진국(Jin Koog Shin)

정회원

1983년 2월 : 인하대학교 전자공학과 졸업

1995년 2월 : 충북대학교 대학원 공학석사

1999년 2월 : 충북대학교 대학원 공학박사

1987년 8월 ~ 현재 : 한국표준과학연구원

<주관심 분야> 어레이 안테나, EMI/EMC

김정환(Jeong Hwan Kim)

정회원

1978년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업

1980년 2월 : 한국과학기술원 공학석사

1980년 3월 ~ 현재 : 한국표준과학연구원