

표준시험장법에 의한 EMI 측정용 안테나의 안테나인자 측정

정회원 신진국*, 김정환*, 박정일*

Antenna Factor Measurement of Antenna for EMI Measurement by Standard Site Method

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

요 약

본 논문은 한국표준과학연구원의 전자파 야외시험장에서 표준시험장법에 의한 안테나인자 측정시스템에 관해 기술한다. 안테나인자 측정을 위한 주파수범위는 30~1000 MHz이며, 모든 제어와 데이터 수집은 IEEE-488 버스를 통한 컴퓨터와 HP-BASIC을 이용하여 자체 개발한 프로그램을 이용하였다. 표준시험장법에 의하여 측정된 안테나인자와 비교하기 위하여 이론적으로 안테나 인자를 계산 하였고 제작자의 안테나 인자를 사용하였다. 안테나인자의 측정불확도는 ± 1 dB 이다.

ABSTRACT

This paper describes the measurement system of antenna factor using standard site method in OATS(Open Area Test Site) of KRISS(Korea Research Institute of Standards and Science). The range of measurement frequency for measuring antenna factor is 30~1000 MHz, All control and data acquisition were done by computer via IEEE-488 bus and program self-developed by using HP-BASIC automatically. For comparing antenna factors measured by SSM(Standard Site Method), we computed the theoretical antenna factor and used the manufacturer's data. The total uncertainty of antenna factor is ± 1 dB.

I. 서 론

전자파 간섭 현상의 측정은 전기전자제품과 같은 전자파 간섭 측정 대상 장비로부터의 전자파 복사량의 측정과 이러한 피측정 장비 주변의 전자기 환경에 대해 어떻게 감응하는가에 관한 측정으로 나뉘어 진다. 이러한 전자파 간섭현상의 측정에는 전자기장의 세기를 정확히 측정하는 방법과 정확한 크기의 전자기장을 생성시키는 기술이 필요하다. 전자파 간섭현상을 정확히 파악하기 위해서는 이러한 전자파 간섭 현상을 정밀·정확하게 측정할 수 있는

대상장비와 기술이 갖추어져야 한다. 다시 말해서 전자파 간섭 현상을 얼마나 정확하게 측정할 수 있는가 하는것은 전자기장의 세기를 얼마나 정확하게 측정할 수 있는냐에 달려 있다고 할 수 있다. 이러한 전자기장의 세기를 측정하는 안테나의 특성을 정확하게 측정하는 것이, 곧 전자파 간섭 현상을 정확하게 측정하는 것이다.

전자기장은 전기장 성분과 자기장 성분으로 이루어져 있으며, 공간상의 한 지점에서 파의 임피던스(Z)는 전기장의 세기(E)와 자기장의 세기(H)의 비($Z=E/H$) 로서 나타내진다. 원역장의 경우 파의 임피던스는 파가 진행해가는 매질의 특성 임피던스와

* 한국표준과학연구원

접수번호: 99110-0328 접수일자: 1999년 3월 28일

감으며(자유공간의 경우 120π), 근역장의 경우에는 전파원의 특성과 전파원에서 전자기장을 관찰하는 지점까지의 거리에 의하여 임피던스 값이 정해진다. 만약 전파원이 높은 전류와 낮은 전압을 가진다면 근역장 영역내에서는 파의 임피던스가 자유공간의 임피던스보다 작아지며, 이 경우 원역장 영역을 만족시키는 조건과 비교하여 볼 때 자기장의 세기가 상대적으로 강하게 되고, 전파원이 낮은 전류와 높은 전압을 가진다면 파의 임피던스가 자유공간의 임피던스보다 커지게 되어 원역장 영역의 조건에서 보다 전기장의 세기가 상대적으로 강하게 나타난다. 안테나 인자는 안테나를 균일한 세기의 평면파가 존재하는 곳에 놓고, 안테나 단자에서 최대전압이 나타나도록 안테나 위치를 변화시켰을때 그 평면파의 전기장의 세기와 출력전압과의 비로 정의한다. 즉, 안테나 인자를 측정하기 위해서는 세기가 균일한 평면파의 표준전계가 필요하며, 이러한 표준전계는 주위에 반사물체가 없는 완전한 자유공간이 아니면 실현시킬 수 없지만, 현실적으로는 충분한 전기장의 세기와 방향의 균일성이 확보되면 된다. 표준 전기장의 생성수법으로서는 송신측에서 표준전계를 만드는 방법인 표준 전자기장법(SFM : Standard Field Method), 수신측에서 표준전계를 만드는 방법인 표준안테나법(SAM:Standard Antenna Method) 및 이들 두 방법의 중간위치에 있는 표준시험장법(SSM : Standard Site Method)이 있다. 그리고, 표준시험장법에 의한 안테나인자 측정에 관한 것은 참고문헌 [1]~[3]에 자세하게 기술되어 있으며, 특히 참고문헌 [2]에는 미국표준기술원에서 표준시험장법을 이용한 시스템과 안테나에 대한 결과를 보여주고 있으며, 표준안테나법과 비교한 데이터를 명시하고 있다.

본 논문에서는 표준시험장법을 이용하여 한국표준과학연구원의 야외시험장에서 안테나의 특성을 나타내는 파라미터들 중에서 안테나 인자를 측정 하였으며, 반파장 공진 다이폴 안테나 2대와 바이코너럴 안테나와 대수 주기형 안테나를 각각 1대씩 이용하였다. 이방법은 표준안테나법과 더불어 미국표준기술원에서도 야외시험장에서 30MHz~1000MHz 범위에서 사용되는 EMI/EMC 측정용 안테나의 안테나인자를 측정하기 표준방법으로 사용하고 있다. 정확한 측정과 계산을 하기위해 전과정을 컴퓨터를 이용하여 자동화 하였다. 측정에 이용되는 장비들을 IEEE-488 인터페이스 케이블을 이용하여 컴퓨터로 제어할 수 있도록 하였으며, 이러한 장비

들을 제어하고 데이터를 수집하는 모든 과정과 수집된 자료를 처리하는 방법으로 자체 개발한 프로그램을 이용하였다.

II. 표준시험장법에 의한 안테나 인자 측정

1. 개요

표준시험장을 이용한 안테나 인자 측정 방법은 시험장이 이상적인 조건을 만족한다고 보고 이 시험장에서 종래의 3-안테나법을 응용하여 시험장의 정규화 시험장 감쇠량을 측정하여 이 값으로 부터 안테나 인자를 계산하는 방법이다. 측정법은 3-안테나 방법에서와 같이 3개의 안테나를 각각 조합하여 시험장 감쇠량을 측정하면 3개의 시험장 감쇠량 값이 얻어지며, 이 시험장 감쇠량을 나타내는 3개의 방정식을 연립하여 풀면 각 안테나의 안테나 인자를 구할 수 있게된다.

2. 표준시험장법

표준 시험장법은 이상적이라고 가정된 야외시험장에서 시험장 감쇠량을 측정하여 안테나 인자를 구하는 방법이다. 높이 h_1 으로 고정된 신호원이 연결된 송신 안테나와 높이 h_2 인 수신안테나에 연결된 부하 R_L 에 걸리는 전압 V_L 은

$$V_L = \frac{E}{AF_L} \quad (1)$$

여기서, E 는 수신 안테나에 생성되는 전계이고, AF_L 은 수신 안테나의 안테나 인자이다.

50 Ω 의 내부저항을 갖는 신호원에 연결된 송신 안테나로부터 거리 d 만큼 떨어진 지점의 전계 E 는

$$E = \frac{(30 P_T G)^{1/2}}{d} \exp(-j\beta d) \quad (2)$$

P_T : 입사전력

G : 안테나 이득

송신 안테나에 흐르는 전류를 I , 안테나의 임피던스를 R_A 라 할때 입사전력 P_T 는

$$P_T = I^2 R_A \quad (3)$$

이므로 전계 E 는

$$E = \frac{I(30 R_A G)^{1/2}}{d} \exp(-j\beta d) \quad (4)$$

으로 나타낸다. 송신 안테나에 흐르는 전류 I 를 안테나 인자를 이용하여 나타내면

$$I = \frac{V}{50 A F_T} \frac{\pi}{\lambda} \left(\frac{120}{G R_A} \right)^{1/2} \quad (5)$$

와 같다. 따라서 자유공간에서의 원역장 전계 E 는

$$E = \frac{V \pi (120 \times 30)^{1/2}}{50 A F_T \lambda} \frac{e^{-j\beta d}}{d} \quad (6)$$

$$= \frac{V f_M}{79.58 A F_T} \frac{e^{-j\beta d}}{d}$$

여기서, V : 신호원 개방전압
 A F_T : 송신 안테나의 안테나 인자
 f_M : 주파수(MHz)

수평편파에 대한 송수신 안테나 사이의 전자파의 전송은 직접 전달되는 전자파와 지표면을 통해 반사되어 전달되는 전자파의 합으로 나타낼 수 있다. 그 이유는 30 MHz 이상의 주파수에서는 표면파 성분을 무시할 수 있기 때문이다.

그림 1 에서 지표면의 반사계수를 ρ_h = I_{ph} exp(jϕ_h)라 할 때 전계 E_H 는 식 (6) 의 자유공간 전계와 그림 1의 구조에 의하여 다음과 같이 표시된다^[1].

$$E_H = \frac{V f_M}{79.58 A F_T} \left(\frac{e^{-j\beta d_1}}{d_1} + \frac{|\rho_h| e^{-j\beta d_2}}{d_2} e^{-j\phi_h} \right) \quad (7)$$

E_H의 크기는 다음과 같다.

$$E_H = \frac{V f_M}{79.58 A F_T} \frac{1}{d_1 d_2} [d_2^2 + d_1^2 |\rho_h|^2 + 2 d_1 d_2 |\rho_h| \cos(\phi_h - \beta[d_2 - d_1])]^{1/2} \quad (8)$$

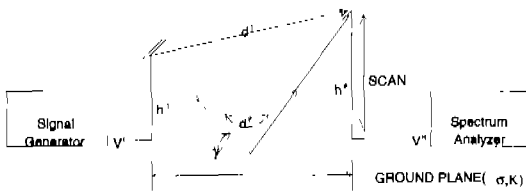


그림 1. 표준시험장비를 이용하여 안테나인자를 측정하는 구성도

여기서,

$$d_1 = [R^2 + (h_1 - h_2)^2]^{1/2}$$

$$d_2 = [R^2 + (h_1 + h_2)^2]^{1/2}$$

$$\rho_h = \frac{\sin \gamma - (K - \beta 0 \lambda \sigma - \cos^2 \gamma)^{1/2}}{\sin \gamma + (K - \beta 0 \lambda \sigma - \cos^2 \gamma)^{1/2}}$$

K : 상대유전상수

σ : 도선율(sienems/meter)

전계 E_H의 크기를 다음과 같이 달리 표현하자

$$E_H = \frac{V f_M E_{DH}}{79.58 A F_T \sqrt{49.2}} \quad (9)$$

식 (9) 에서 E_{DH} 는 다음과 같다.

$$E_{DH} = \frac{\sqrt{49.2}}{d_1 d_2} [d_2^2 + d_1^2 |\rho_h|^2 + 2 d_1 d_2 |\rho_h| \cos(\phi_h - \beta[d_2 - d_1])]^{1/2} \quad (10)$$

위의 E_{DH} 에서 (49.2)^{1/2}는 P_T = 1 pW 이고 반파장 안테나의 이득(G = 1.64)으로 부터 계산된 값이다.

시험장 감쇠량은 송신 안테나에 연결된 신호원의 전압을 V_L, 수신 안테나에 연결된 부하에 걸리는 전압을 V_L 이라 할때

$$A = \frac{V_I}{V_L} \quad (11)$$

으로 부터 구할 수 있다. 이때, 신호원의 개방전압은 V = 2V_L 이므로

$$A = \frac{V}{2V_L} \quad (12)$$

이고 식(1)로부터

$$A = \frac{V A F_L}{2E} \quad (13)$$

식 (9)를 식(13)에 대입하면

$$A = \frac{79.58 A F_L A F_T \sqrt{49.2}}{2 f_M E_D^{max}} \quad (14)$$

$$= \frac{279.1 A F_L A F_T}{f_M E_D^{max}}$$

여기서 E_D^{max}는 수신 안테나를 수직으로 이동시키

면서 측정된 전계 E 의 최대값이다.

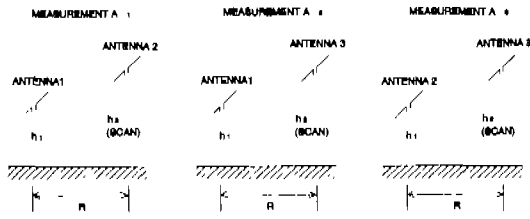


그림 2. 세쌍의 다른 안테나를 이용한 세 개의 시험장 감쇠량 측정.

그림 2에 나타난 것처럼 표준시험장법은 송신안테나의 높이(h_1)가 1 m이고 수신안테나의 높이(h_2)는 전계의 세기가 최대가 되는 지점에 위치하게 되며 송수신 안테나 사이의 거리는 10 m 이다. 이렇게 쌍으로 이루어진 3개의 다른 안테나를 이용하여 똑같은 기하학적인 구조 아래에서 3개의 시험장감쇠량을 측정하고 이로부터 안테나 인자값 구하는 방법으로 각각의 시험장감쇠량은

$$A_1 = \frac{279.1 AF_1 AF_2}{f_M E_D^{\max}} \quad (15)$$

$$A_2 = \frac{279.1 AF_1 AF_3}{f_M E_D^{\max}} \quad (16)$$

$$A_3 = \frac{279.1 AF_2 AF_3}{f_M E_D^{\max}} \quad (17)$$

다시쓰면

$$AF_1 AF_2 = \frac{f_M E_D^{\max}}{279.1} A_1 \quad (18)$$

$$AF_1 AF_3 = \frac{f_M E_D^{\max}}{279.1} A_2 \quad (19)$$

$$AF_2 AF_3 = \frac{f_M E_D^{\max}}{279.1} A_3 \quad (20)$$

와 같다. 따라서, 위의 3식으로부터 각각의 안테나 인자값 구할 수 있다.

$$AF_1 = 10 \log f_M - 24.46 + \frac{1}{2} [E_D^{\max} + A_1 + A_2 - A_3] \quad (21)$$

$$AF_2 = 10 \log f_M - 24.46 + \frac{1}{2} [E_D^{\max} + A_1 + A_3 - A_2] \quad (22)$$

$$AF_3 = 10 \log f_M - 24.46 + \frac{1}{2} [E_D^{\max} + A_2 + A_3 - A_1] \quad (23)$$

위의 식 (21), (22), (23)으로부터 3개의 안테나를 조합하여 각각의 안테나에 대한 안테나 인자값 구할 수 있으며, 이것을 정규화 시험장 감쇠량 (normalized site attenuation : NSA)으로 다르게 표현할 수 있다.

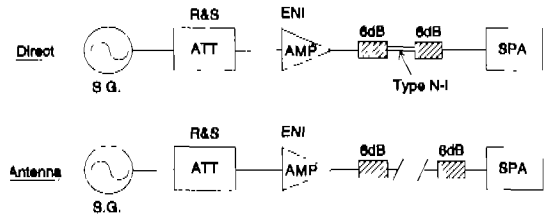


그림 3. 표준시험장법.

정규화 시험장 감쇠량의 측정은 그림 3과 같이 송·수신 안테나를 제거하고 신호발생기에 연결된 케이블을 어댑터를 통해 연결하여 수신기에 나타나 는 전압 V_{direct} 와 케이블을 송·수신 안테나에 연결 하고 수신안테나를 정해진 높이 범위에서 오르내릴 때 수신기에 나타나는 최대전압 V_{site} 의 측정으로 이루어진다. 여기에서 정규화 시험장감쇠량은

$$NSA = V_{direct} - V_{site1} - AF_1 - AF_2 - \Delta AF_{TOT} \quad (24)$$

$$NSA = V_{direct} - V_{site2} - AF_2 - AF_3 - \Delta AF_{TOT} \quad (25)$$

$$NSA = V_{direct} - V_{site3} - AF_3 - AF_1 - \Delta AF_{TOT} \quad (26)$$

여기서, AF_1, AF_2, AF_3 = 안테나인자,

ΔAF_{TOT} = 상호임피던스 보정계수

으로 표현되며, 이 때 $V_{direct} - V_{site}$ 는 시험장감쇠량의 고전적 개념으로서 측정에 사용되는 두 안테나를 포함하였을 때 생기는 전송손실의 삽입손실로서 대체된다. 여기에서, V_{direct} 는 V (신호발생기의 출력) - C_T - C_R 로서 C_T 와 C_R 은 별도 측정이 필요없는 송·수신 케이블에서의 전송손실이다. ΔAF_{TOT} 는 이론치로서 3 m법 시험장에서 반파장 공진다이폴 안테나를 사용하여 수평편파 정규화 시험장감쇠량을 측정할 때 고려된다. 측정시에 신호발생기의 출력단과 측정수신기의 입력단에서 발생하는 임피던스 부정합은 반사파를 일으킬 수 있기 때문에 이를 방지하기 위하여 6 dB의 감쇠기를 사용하였다. 3개의 안테나를 3개의 pair로 조합하면 위의 식(24), (25),

(26)과 같은 3개의 식으로 표현할 수 있다. 이 식을 풀면 3개의 안테나에 대한 안테나 인자를 구할 수 있다.

■. 안테나 인자 측정

표준시험장법을 이용하여 안테나인자를 측정하기 위한 측정시스템을 살펴보면, 그림 3에서와 같이 먼저 송·수신 안테나를 제거하고 신호발생기에 연결된 케이블을 어댑터를 통해 연결하여 수신기(Spectrum Analyzer : SPA)에 나타나는 전압을 읽는다. 그림 3에 나타난 direct의 경우가 이것인데 여기서 신호발생기의 출력단과 측정수신기의 입력단에서 발생하는 임피던스 부정합은 반사파를 일으킬 수 있으며, 결과적으로 오차를 유발시킬 수 있다. 이러한 현상은 그림 3에서 처럼 감쇠기를 사용함으로써 피할 수 있으며, 이러한 감쇠기는 측정동안 케이블에 연결되어 계속 사용되어야 한다. 케이블을 송·수신 안테나에 연결하고 수신안테나를 정해진 높이 범위에서 오르내릴때 수신기에 나타나는 최대 전압 V_{direct} 를 측정하여 송·수신 안테나를 제거하고 신호발생기에 연결된 케이블과 수신기에 연결된 케이블을 어댑터를 통해 연결하여 수신기에 나타나는 전압인 V_{direct} 를 식 (24)~(26)에 대입한다. 이 식에서 나타내는 NSA는 정해진 주파수, 거리, 높이에 따라 미국의 표준규격협회(American National Standards Institute, ANSI)에서 정한 정규화 시험장 감쇠량을 대입하여 3개의 식을 풀면 각각의 안테나에 대한 안테나 인자를 알 수 있다.

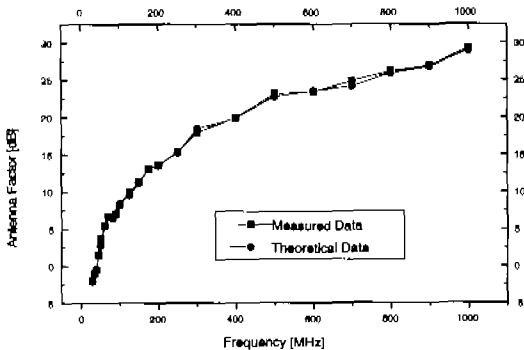


그림 4. 반파장 공진다이폴 안테나 #1의 안테나인자.

그림 4는 반파장 공진 다이폴 안테나의 측정된 안테나 인자와 이론적인 계산에 의한 안테나 인자를 나타내었다. 이론적인 계산에 의한 데이터와 측정된 데이터가 거의 일치하는 것을 볼 수 있다.

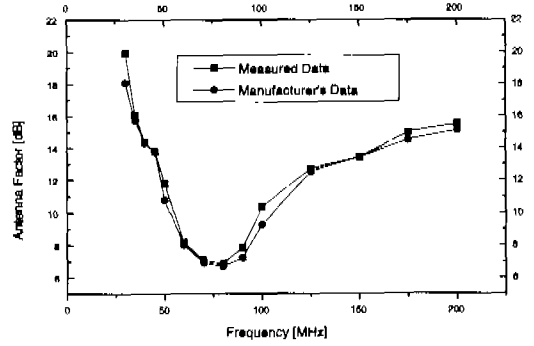


그림 5. 바이코니칼 안테나의 안테나인자.

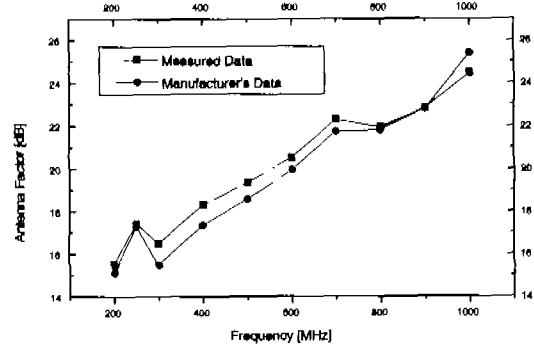


그림 6. 대수주기형 안테나의 안테나인자.

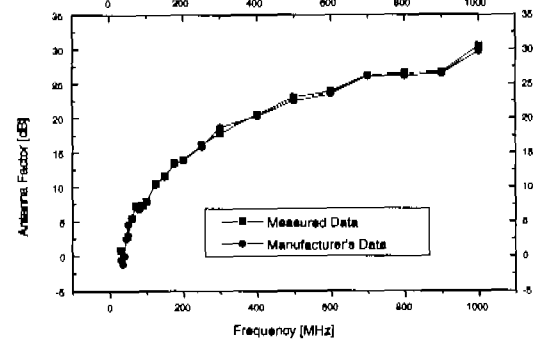


그림 7. 반파장 공진 다이폴 안테나 #2의 안테나인자.

그림 5와 그림 6은 각각 바이코니칼 안테나와 대수주기형 안테나의 측정된 안테나인자와 제작자의 안테나인자를 나타냈다. 그리고 그림 7은 두 대의 반파장 공진 다이폴 안테나중 안테나 #2의 안테나인자를 나타냈다. 그림 4-7의 경우에서 알 수 있듯이 광대역 안테나의 경우는 제작자의 데이터와 측정된 데이터가 차이가 있는 것을 알 수 있고, 반파장 공진다이폴 안테나의 경우는 측정, 계산 및 제작자의 데이터가 서로 잘 일치하는 것을 알 수 있다.

IV. 결 론

표준안테나법과 더불어 미국표준기술원을 비롯한 선진 표준기관에서 안테나를 교정하는 표준방법으로 채택하고 있는 표준시험장법을 이용하여 한국표준과학연구원의 야외시험장에서 안테나의 특성을 나타내는 파라미터들 중에서 안테나 인자를 측정하였으며, 정확한 측정과 계산을 하기위해 전파장을 컴퓨터를 이용하여 자동화 하였다. 이 방법은 미국표준기술원이 주관연구기관으로 하여 시행한 전자기장의 세기에 관한 국제비교를 통하여 입증된 측정능력을 토대로 표준시험장법을 이용한 전자기장의 세기 표준이 ± 1 dB의 불확도로 확립되었으며, 안테나인자 측정시스템이 구축되었다. 앞으로 측정정확도를 개선하기 위하여 주변 노이즈에 대한 영향을 줄일 수 있는 방법이 요구된다.

참 고 문 헌

- [1] ANSI C63.5-1988, "American National Standard for calibration of antennas used for radiated emission measurements in electromagnetic interference (EMI) control"
- [2] A. A. Smith, Jr., "Standard-site method for determining antenna factor," *IEEE Trans., EMC-24*, No. 3, Aug. 1982.
- [3] A. A. Smith, Jr., "Calculation of Site Attenuation From Antenna Factors", *IEEE Trans., EMC-24*, No. 3, Aug., 1982.
- [4] M. Kanda, "Standard Antennas for Electromagnetic Interference Measurements and Methods to Calibrate Them", *IEEE Trans., EMC-36*, No. 4, Nov. 1994.
- [5] A. Sugiura, "Formulation of Normalized Site Attenuation in Terms of Antenna Impedances", *IEEE Trans., EMC-32*, No. 4, Nov. 1990.
- [6] J. Berry, B. Pate and A. Knight, "Variations in Mutual Coupling Correction Factors for Resonant Dipoles Used in Site Attenuation Measurements", *IEEE 1990 International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, pp. 444- 449, Aug. 1990, Washington, D.C.

- | | |
|-------------------------------|-----|
| 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 | |
|
 | |
| 박점일(Jeong Il Park) | 정회원 |
| 1988년: 충남대학교 전자공학과 졸업 | |
| 1990년: 충남대학교 대학원 전자공학과 석사 | |
| 1995년~현재: 한국표준과학연구원 | |
| <주관심 분야> 전자파 전력, 잡음온도, 안테나 측정 | |