

# 유도성 시스템으로부터 무선기기 보호를 위한 이격 거리에 관한 연구

이일규\*, 심용섭\*\*, 민경일\*\*\*, 차재상\*\*\*\*, 이경근\*\*\*\*\* 정회원

## Study on Separation Distance to Protect Radio Service from Inductive System

Il-Kyoo Lee\*, Yong-Sup Shim\*\*, Kyoung-II Min\*\*\*, Jae-Sang Cha\*\*\*\*, Kyong-gun Lee\*\*\*\*\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문은 산업현장 뿐만 아니라 가정의 일생생활에서 그 사용이 점차 증가하고 있는 유도성 시스템과 기존의 무선기기에 대한 간섭에 관한 것이다. 자계강도 간섭 신호를 방사하는 유도성 시스템의 간섭을 분석하기 위한 모델을 제시하였고 이 모델을 바탕으로, 측정을 통해 구해진 유도성 시스템의 자계강도는 마그네틱 다이폴 모멘트로 변환되고 무선기기의 허용 가능한 간섭 레벨을 고려하여 유도성 시스템으로부터 무선기기를 보호하기 위해 요구되는 이격 거리를 산출하는 방법을 제시하였다. 또한, 실제 적용 가능한 시나리오를 설정하고 본 논문에서 제시한 방법을 이용하여 유도성 시스템으로부터 무선기기를 보호하기 위한 이격거리를 산출하였다. 본 논문에서 제시한 이격 거리 산출 방법은 유도성 시스템과 무선기기의 양립성 확보에 기여할 것이다.

Key Words : Compatibility, Inductive system, Radio device, Separation distance

### ABSTRACT

This paper is related radio interference from inductive system to radio device in home and industrial environment according to increasing the usage of inductive system. In order to analyze interference from magnetic field strength of inductive system, interference model was suggested and explain the method to calculate separation distance by using conversion that from magnetic field strength to magnetic dipole moment based on suggested interference model. Also, scenario that interference occur between inductive system and radio device was shown and the separation distance between inductive system and radio device was calculate with that scenario. The suggested method in this paper will be used to secure the compatibility between inductive system and radio device.

원의 회소성과 그에 따른 가치가 입증되어 왔다[1].

### I. 서 론

전파 자원은 국가적 차원에서 관리되는 한정된 자원으로써, 기술의 발달로 새로운 서비스들이 출현함에 따라 이를 운용하기 위한 주파수 수요가 급증하고 있다. 특히, 1990년대 디지털 이동통신의 고속 성장에 이어, 2000년대에 들어오면서 널리 사용되는 무선 인터넷을 중심으로 무선 데이터 서비스가 도입되고 블루투스, 지그비 등과 함께 스마트 폰의 활성화되면서 와이파이로 대표되는 무선랜 등의 소출력 무선 기기들이 일상화됨에 따라 전파 자

전파의 사용은 그 목적에 따라 정보를 전달하는 것과 에너지를 전달하는 것으로 구분할 수 있다. 이에 따라 전파이용설비도 아날로그 및 디지털 신호의 전파를 이용한 통신기기와 RF(Radio Frequency) 에너지를 이용한 통신용도외의 전파응용설비로 나뉜다. 국내 전파법 58조에서는 전파응용설비를 통신 설비용 전파 응용설비와 산업·과학·의료 및 기타용으로 이용되는 통신설비외의 전파응용설비로 나누고 있고 ITU-R (International Telecommunication Union-Radiocommunication)에서는 통신설비외의 전파응용설비를 ISM(Industrial Scientific Medical) 기기로 규정

\*공주대학교 전기전자제어공학과 (leeik@kongju.ac.kr), \*\*공주대학교 정보통신공학과/한국전자통신연구원 (besttla@kongju.ac.kr), 교신저자

\*\*\*영동대학교 정보통신사이버경찰학과 (kyilmin@youngdong.ac.kr), \*\*\*\*서울과학기술대학교 매체공학과 (chajs@snut.ac.kr),

\*\*\*\*\*성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과

접수일자 : 2011년 5월 9일, 수정완료일자 : 2011년 5월 24일, 최종 게재 확정일자 : 2011년 6월 1일

하고 있다[2].

이러한 규칙을 바탕으로 ISM 기기로 대표되는 전자기기는 산업분야에 있어 신호발생, 유도가열, 아크용접 등을 목적으로 널리 사용되었고 이후, 우리 생활 곳곳에 전자레인지, 초음파 세척기, 고주파 치료기와 같이 생활 밀착형 전자기기로 그 응용 분야가 확장되었다[3].

이처럼, 전자기기의 사용이 급증하는 현상은 같은 대역을 사용하는 기존의 무선기기와의 잠재적 간섭 가능성을 높이고 있다. 따라서 전자기기로부터 방사되는 간섭신호에 대한 분석이 요구되고 있다.

전자기기의 간섭과 관련된 EMC(Electro Magnetic Compatibility) 분야에서는 기존의 30 MHz의 이하의 주파수에 대해서 전도성 방출만을 규제하였으나 최근 복사성 방출에 대한 규제의 필요성이 꾸준히 제기됨에 따라 고주파수 대역뿐만 아니라 저주파수 대역(30 MHz 이하)에 대한 복사성 방출을 평가하기 위한 모델이 요구되고 있다.

이와 관련하여 본 논문은 30 MHz 이하의 주파수를 사용하는 전자기기 중에서 유도성 시스템에 대한 복사성 방출 분석을 위한 간섭 모델을 제시하고 이 모델을 이용하여 유도성 시스템으로부터 무선기기 간에 적정 이격 거리를 산출하였다.

적정 이격 거리는 유도성 시스템과 무선기기의 수신기 사이의 거리가 증가함에 따라 유도성 시스템으로부터 방사되는 간섭이 점차 감소하여 무선기기의 수신 감도 이하의 수준이 되는 거리를 말한다.

본 논문은 유도성 시스템과 무선기기와의 양립성을 확보하기 위해 유도성 시스템의 특징을 분석하고 간섭 분석을 위한 모델을 제시하였다. 또한, 적정 이격 거리 산출 과정을 설명하는 동시에 이격 거리 산출 예를 나타냄으로써 본 논문의 활용가치를 높이고자 한다.

## II. 유도성 시스템

### 1. 방사 특징

방사되는 전자파는 전계강도와 자계강도로 구분되며 일반적으로 사용되는 전자기기는 그 구조적 특성에 따라 자계강도 보다 전계강도가 우세하게 방사되는 특징을 갖는다. 따라서 전자기기의 허용 가능한 한계치를 결정하는데 전계강도의 단위로써 규정된다[4]. 이에 반해 유도성 시스템은 자계강도가 우세한 방사 특징을 갖기 때문에 자계강도로써 그 방사 크기가 규정되어야 한다. 이와 같이 자계강도의 방사 특성을 갖는 대표적인 유도성 시스템으로 RFID(Radio Frequency IDentification), 무선전력전송장치, PDP(Plasma Display Panel) TV, 유도가열기 등이 널리 사용되고 있고 PDP TV의 경우 방사되는 간섭신호가 AM 서비스에 영향을 미치는 것으로 보고되었으며 이에 대한 연구가 이루어진바 있다[5]. 그림 1은 유도성 시스템의 자계강도 방사를 나타낸다.

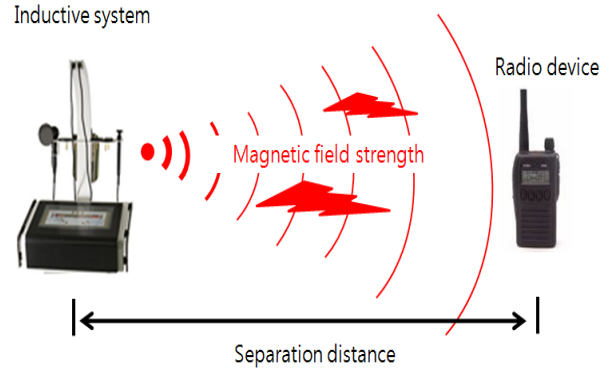


그림 1. 자계강도 방사

무선기기 보호 방안으로, 유도성 시스템으로부터 방사되는 간섭 신호는 거리에 따라 경로 손실을 겪으며 감쇄되므로 특정 거리 이상을 이격함으로써 간섭의 영향으로부터 무선기기를 보호할 수 있다. 즉, 유도성 시스템의 간섭 신호로부터 무선기기를 보호할 수 있는 최소 이격 거리의 설정이 필요하다.

### 2. 유도가열의 원리

유도성 시스템 중에서도 유도가열기의 원리에 대해 알아보려 한다. 유도가열은 가열이 필요한 도체 주위에 높은 주파수의 전류를 입력하여 변화하는 자속선을 생성하고 이 자속이 도체를 통과함에 따라 도체에 기전력이 발생하고 이로부터 와전류가 유도된다. 전류가 통과할 때, 도체 안에서 소비되는 전력은 열에너지로 변환된 줄열이 발생하고 이로부터 발생된 열에너지는 도체의 내부를 발열시킨다. 이와 같이 유도가열의 원리를 그림 2에 나타내었다[6].

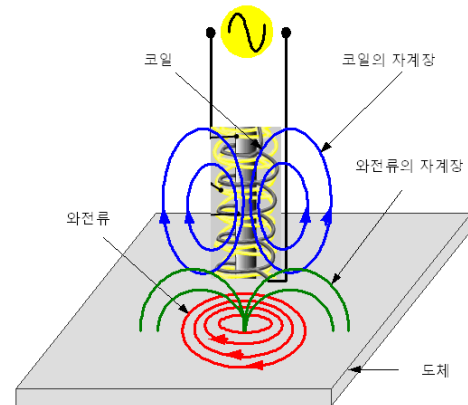


그림 2. 유도가열의 원리

가열재의 흡수전력  $P$ 는 가열재 표면의 자계강도  $H[A/m]$ 에 의해서 결정되는데 원주의 경우에 적용할 수 있는 흡수전력  $P$ 는 다음 식 1과 같이 산출된다.

$$P = \pi f H^2 \mu_0 \mu_s S L Q [W] \quad (1)$$

여기서,

$f$  : 인버터의 출력주파수,  $\mu_0$  : 진공 투자율,  $\mu_s$  : 금속의 비투자율,  $S$  : 가열재의 단면적,  $Q$  : 가열재의 전력발생 계수

또한, 인버터의 출력 주파수는 가열재의 특성에 따라 변화하는 가열재 전력발생 계수(Q)의 최대치를 사용하기 때문에 유도가열기로부터의 전파 간섭과 깊은 연관성을 갖는다.

### III. 간섭 분석 방법

#### 1. 간섭 모델

제시한 모델은 사용주파수 30 MHz 이하의 유도성 시스템에 적용되는 모델로 그림 3과 같이 유도성 시스템과 무선기기 사이에 측정 장비가 위치한다. 이 모델을 사용하여 동대역을 사용하는 무선기기를 보호하기 위해 무선기기의 허용 가능한 전계강도를 고려하여 유도성 시스템과 무선기기 사이의 이격 거리를 도출한다.

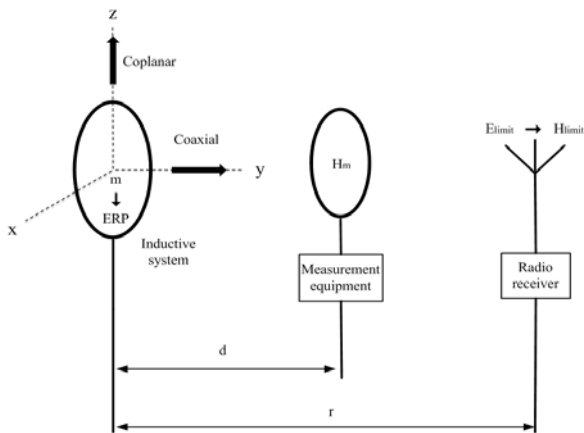


그림 3. 간섭 모델

유도성 시스템에서 방사되는 간섭 전력은 마그네틱 다이폴 모멘트로부터 구할 수 있는데 여기서 마그네틱 다이폴 모멘트는 측정 루프의 표면에 발생하는 전류의 총 합으로 측정된 자계강도를 변환하여 얻을 수 있다.

#### 2. 유도성 시스템의 간섭 전력

그림 3과 같이 유도성 시스템에서 방사되는 자계강도는 루프를 기준으로 측방향인 Coaxial과 면방향의 Coplanar로 방사된다. 따라서 측정 장비로 거리  $d(m)$ 에서 측정된 유도성 시스템의 자계강도는 Coaxial과 Coplanar의 두 방향 중에서 큰 크기의 값을 선택하여 마그네틱 다이폴 모멘트로 변환한다.

먼저, Coaxial 방향의 자계강도에 대한 마그네틱 다이폴 모멘트( $m_1$ )를 구하는 식은 2와 같다.

$$m_1 = |H_m| \frac{2\pi\lambda_r d^3}{\sqrt{\lambda_r^2 + d^2}} \quad (2)$$

여기서,

$$\lambda : \text{파장}, \lambda_r : \lambda/2\pi$$

이어서, Coplanar 방향의 자계강도에 대한 마그네틱 다이폴 모멘트( $m_2$ )를 구하는 식은 3과 같다.

$$m_2 = |H_m| 4\pi \frac{\lambda_r^2 d^3}{\sqrt{\lambda_r^4 - \lambda_r^2 d^2 + d^4}} \quad (3)$$

식 2와 3으로부터 구해진 마그네틱 다이폴 모멘트는 측정거리 ( $d$ )에 따라 그 크기의 우세가 달라진다. 즉, 거리 ( $d$ )가  $2.345 * \lambda_r (m)$  지점이 될 때, 두 방향의 자계강도는 같은 크기를 갖고 이 지점을 기준으로 작은 거리에서 Coaxial 방향이, 큰 거리에서 Coplanar 방향의 전계강도가 우세한 크기를 갖는다.

식 2와 3으로부터 구해진  $m_1$ 과  $m_2$ 를 비교하여 큰 값을  $m(Am^2)$ 로 결정한다.

$m$ 은 식 4를 이용하여 유도성 시스템의 유효방사전력  $ERP(kW)$ 로 환산된다.

$$ERP = \frac{20m^2}{1000\lambda_r^4} \quad (4)$$

식 4로부터 산출된 유도성 시스템의  $ERP$ 는 이격 거리를 산출하기 위해 적용되는 전파 모델에 따라 요구되는 파라미터로 변환된다.

#### 3. 무선기기의 허용 가능한 전계강도

무선기기의 허용 가능한 전계강도는 잡음 레벨을 이용하는 방법과 무선기기의 보호비(S/N)을 이용하는 방법이 있다.

먼저, 잡음 레벨을 기준으로 허용 가능한 전계강도를 산출하는 방법으로, ITU-R P.372에서 언급된 전계 잡음 레벨( $E_{noise,b}$ )에 피간섭원의 수신대역폭( $b_{victim}$ )을 고려하여 식 5와 같이 환산한다[7].

$$E_{noise} = E_{noise,b} + 10\log(b_{victim}/b_{noise}) \quad (5)$$

여기서,

$E_{noise,b}$  : 측정 대역폭 2.7 kHz의 전계강도(dBuV/m)

$b_{victim}$  : 피간섭 수신대역폭,  $b_{noise}$  : 2.7 kHz

간섭원이 광대역 특성을 가질 경우, 대역폭 비( $BWR$  : Bandwidth Ratio)를 고려하여 식 6과 같이 허용 가능한 전계강도( $E_{limit}$ )를 산출한다.

$$E_{limit} = E_{noise} + BWR \quad (6)$$

식 6에서 대역폭 비는 식 7과 같이 정의되고 간섭원의 측정 대역폭이 피간섭원의 대역폭보다 작은 경우에는 적용하지 않는다.

$$BWR = 10 \log(b_{measuring}/b_{victim}) \quad (7)$$

여기서,

$b_{measuring}$  : 간섭원의 측정 대역폭

이어서, 무선기기의 보호비를 이용하여 허용 가능한 전계강도를 산출하는 방법으로 식 8을 이용한다.

$$E_{limit} = E_{min} + SNR + BWR \quad (8)$$

여기서,

$E_{min}$  : 무선기기의 수신 감도

$SNR$  : 무선기기의 보호비

#### 4. 전파 모델에 따른 이격 거리

무선기기 보호를 위해 요구되는 이격 거리 산출에 적용되는 전파 모델은 Ground wave와 Free space 모델로 구분되고 각 모델에 따라 아래와 같이 거리별로 세부적으로 나뉜다.

첫 번째, 이격 거리( $r$ )가  $d_{tr}$ (m) 과  $2.354 \times \lambda_r$ (m)보다 큰 경우로,  $d_{tr}$ 은 20 dB/decade와 40 dB/decade 접금선의 교차점 식 9로부터 구할 수 있다[8].

$$d_{tr} = 1000 \cdot 10^{-\left(\frac{E_{asymptote,20} - E_{asymptote,40}}{20}\right)} \quad (9)$$

여기서,

$E_{asymptote,20}$  : 40 dB/decade의 경로 손실로 109.5 dBuV/m을 입력한다.

$E_{asymptote,40}$  : 1 kW의 신호가 40 dB/decade의 경로 손실을 겪을 때, 1 km 떨어진 거리의 세기로 ITU-R P.368-7에서 참고한다.

이 모델은 Ground wave 모델에서만 사용되며 식 10과 같이 계산된다.

$$r = 1000 \cdot 10^{\frac{E_{int} - E_{limit}}{40}} \quad (10)$$

여기서,

$E_{limit}$  : 허용 가능한 전계 강도

$E_{int}$  : 1 km 거리에서의 간섭 레벨

식 10에서  $E_{int}$ 는 식 11을 이용하여 구할 수 있다.

$$E_{int} = E_{asymptote,40} + ERP_{dB} \quad (11)$$

두 번째, 이격 거리( $r$ )이  $2.354 \times \lambda_r$ (m) 보다 큰 경우로 식 12를 이용하여 산출한다.

$$r = 10^{\frac{120 + 49.5 + ERP_{dB} - E_{limit}}{20}} \quad (12)$$

세 번째, 이격 거리( $r$ )이  $\lambda/2\pi$ (m) 보다 큰 경우로 식 13을 이용하여 산출한다.

$$r = \sqrt{\frac{m}{H_{limit} \lambda_r 2\pi}} \quad (13)$$

여기서,

$H_{limit}$  : 허용 가능한 자계 강도

식 13의  $H_{limit}$ 는 식 14와 같이  $E_{limit}$ 로부터 구할 수 있다.

$$H_{limit} = 10^{\frac{E_{limit} - 120 - 51.5}{20}} \quad (14)$$

네 번째, 이격 거리( $r$ )이  $\lambda/2\pi$ (m) 보다 작은 경우로 식 15를 이용하여 산출한다.

$$r = \sqrt[3]{\frac{m}{2\pi H_{limit}}} \quad (15)$$

#### 5. 이격 거리 산출 흐름도

그림 4는 측정된 유도성 시스템의 자계강도로부터 마그네틱 다이폴 모멘트 및 유효방사전력으로 변환하고 무선기기의 허용 가능한 전계강도를 고려하여 이격 거리를 산출하는 과정을 나타낸다.

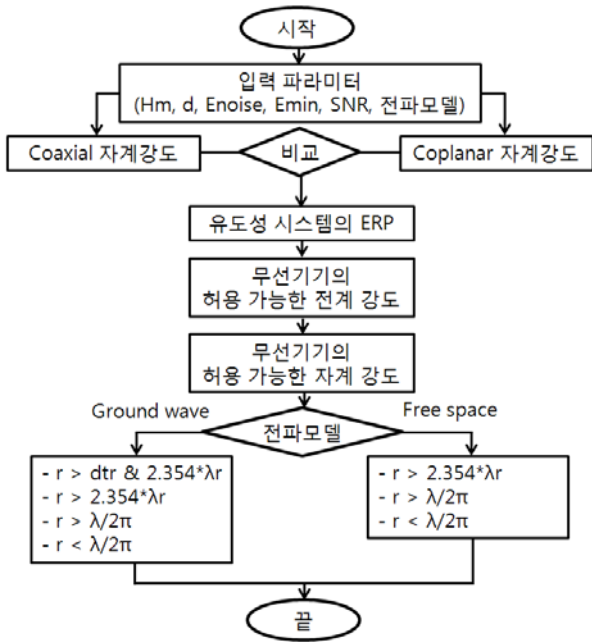


그림 4. 이격 거리 산출 흐름도

#### IV. 이격 거리 산출

##### 1. 유도성 시스템과 무선 기기의 특성 파라미터

유도성 시스템으로부터 무선기기 보호를 위한 이격 거리를 산출하기 위해 간섭원 유도성 시스템 및 피간섭원 무선기기의 특성을 반영하는 파라미터가 요구된다. 이격 거리 산출에 필요한 파라미터를 표 1에 나타내었다.

표 1. 입력 파라미터

입력 파라미터	값
주파수(F)	3 MHz
자계강도(Hm)	20 dBuA/m
측정 거리	3 m
$E_{asymptote,40}$	97 dBuV/m
허용 가능한 전계강도( $E_{limit}$ )	10 dBuV/m
무선기기 대역폭(BW)	3 kHz

##### 2. 간섭 모델을 이용한 출력 파라미터

이격 거리 산출을 위해 필요한 표 1의 입력 파라미터로부터 산출된 이격 거리 및 출력 파라미터를 표 2에 나타내었다.

표 2. 출력 파라미터

출력 파라미터	값
dtr	234.14 m
대역폭비	4.77 dB
우세 방향	Coaxial
마그네틱 다이폴 모멘트	0.001666 $A^2m$
유효방사전력	-120.63 dBkW
이격 거리	48.1 m

표 1의 입력 파라미터 중에서 주파수를 3 MHz, 5

MHz, 10 MHz, 자계강도를 20~50 dBuA/m로 변화시켜 이에 따른 이격 거리를 표 3과 그림 5에 정리하였다.

표 3. 이격 거리

자계 강도 (dBuA/m)	사용 주파수에 따른 이격 거리 (m)		
	3 MHz	5 MHz	10 MHz
20	48.10	129.72	330.49
25	85.54	230.14	440.71
30	152.11	311.90	587.70
35	253.27	415.92	783.71
40	337.74	554.64	1045.09
45	150.39	739.62	1393.65
50	600.60	986.31	1858.47

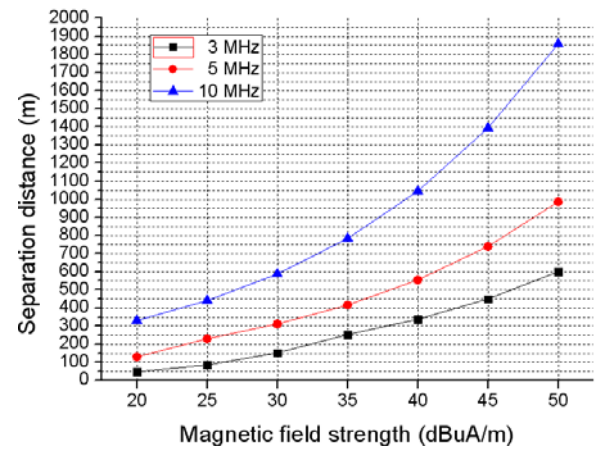


그림 5. 이격 거리

이격 거리 산출 결과를 바탕으로 유도성 시스템의 방사 자계강도가 클수록, 사용 주파수가 높을수록 더 큰 이격 거리가 요구됨을 알 수 있다. 이는 사용주파수가 높을수록 신호의 경로 손실이 적어 무선기기의 수신기에 높은 간섭 신호가 수신됨에 따른 것으로 분석된다.

#### V. 결론

본 논문은 유도성 시스템에서 방사되는 신호가 무선기기에 미치는 간섭에 관한 것이다. 간섭 분석을 위해 사용 주파수 30 MHz 이하에서 적용 가능한 모델을 제시하였고 유도성 시스템의 자계강도 방사 특성에 따라 이를 무선기기의 허용 가능한 전계강도와 비교하기 위해 마그네틱 다이폴 모멘트를 이용하였다.


제시한 모델을 이용하여 유도성 시스템으로부터 무선기기를 보호하기 위한 이격 거리를 산출하는 과정을 설명하였으며 이격 거리 산출을 위한 파라미터를 입력하여 요구되는 이격 거리를 도출하였다.

본 논문에서 제시한 이격 거리 산출 방법은 향후, 유도성 시스템과 무선기기가 양립할 수 있는 방안 마련에도움이 될 것이며 보다 실제 환경에 부합하는 간섭 모델 개발을 통해 높은 신뢰성을 갖는 간섭 분석이 필요할 것이다.


참 고 문 헌

- [1] 정신교, “WiBro(휴대인터넷)용 주파수 연구”, 한국 전파진흥협회, 2004년 12월.
- [2] 박승근, 박진아, “국내 ISM 산업 활성화를 위한 제도 개선 방향”, 전자통신동향분석, 제22권, 제2호, pp. 102-113, 2007년 4월.
- [3] 박진아, 박승근, “ISM 기기의 전파간섭 모형 및 방사 기준치 분석”, 전자통신동향분석, 제24권, 제6호, pp. 133-143, 2009년 12월.
- [4] Technical Report CISPR 16-4-4, “Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods”, CISPR in IEC, July. 2007.
- [5] 김남 외, “EMC(전자파 적합성) 표준화 연구”, 전파 연구소, 2009년 11월.
- [6] 박승근, 박진아, “ISM 전파이용과 전파관리”, 한국전파진흥협회, 2009년 6월.
- [7] Rec. ITU-R P.372-10, “Radio noise”, ITU-R, 9. 2009.
- [8] Rec. ITU-R P.368-7, “Ground-wave propagation curves for frequencies between 10 kHz and 30 MHz”, ITU-R, 3. 2011.


저 자

이 일 규 (Il-Kyoo Lee) 정회원  

 1994년 2월 : 충남대학교 전자공학과 석사졸업  
 2003년 2월 : 충남대학교 전자공학과 박사졸업  
 1997년 9월~2004년 : 한국전자통신연구원 선임연구원  
 2004년 3월~현재 : 공주대학교 전기전 전자제어공학부 부교수

<관심분야> RF 부품 및 시스템, 안테나 및 전파 전파, 전파 간섭

심 용 섭 (Yong-Sup Shim) 정회원  

 2005년 2월 : 공주대학교 전기전자공학과 학사졸업  
 2010년 2월 : 공주대학교 정보통신공학과 석사졸업  
 2010년 9월~현재 : 한국전자통신연구원 위촉연구원  
 2011년 3월~현재 : 공주대학교 정보통신공학과 박사과정

<관심분야> RF 시스템, 전파 간섭, EMC


민 경 일 (Kyoung-II Min) 정회원  

 1984년 8월 : 충남대학교 전자공학과 석사졸업  
 1995년 8월 : 충남대학교 전자공학과 박사졸업  
 1996년 9월~현재 : 영동대학교 정보통신사이버경찰학과 부교수

<관심분야> RF 시스템, RFID/USN 기술, 안테나 및 전파 전파

차 재 상 (Jae-Sang Cha) 정회원  

 2000년 2월 : 일본 東北(Tohoku) 대학교 전자공학과 (공학박사)  
 2000년~2002년 : 한국전자통신연구원 (ETRI)무선방송기술연구소 선임연구원  
 2002년~2005년 : 서경대학교 정보통신공학과 전임강사  
 2008년 : 미국 Florida University, Visiting Professor  
 2005년~현재 : 서울과학기술대학교 매체공학과 교수

<관심분야> RF 시스템, RFID/USN 기술, LBS, ITS, UWB, 무선홈네트워크, DMB 및 디지털 방송

이 경 근 (Kyong-Gun Lee) 정회원  

 2010년 2월 : 한국외국어대학교 학사  
 2010년~현재 : 성균대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과 석사과정  
 <관심분야> RF 시스템, RFID/USN 기술