

ISM 대역의 WPT 기기와 무선 모뎀의 공존 방안 연구

김승남*, 종신회원, 이일규**, 민경일***

Study on Compatibility between WPT Device at ISM band and Radio Modem

SeungNam Kim*, Lifelong Member, Ilkyoo Lee**, Kyoungil Min***

요 약

최근에 WPT(Wireless Power Transmission)기술을 이용하여 모바일기기에 무선으로 전력을 공급하는 무선충전기술의 관심이 급증하고 있다. 이와 관련하여 한정된 주파수 자원을 효율적으로 운용하기 위한 무선기기 간 간섭 영향 분석이 요구된다. 본 논문에서는 간섭 영향을 분석하기 위해 최소결합손실(Minimum Coupling Loss)방법과 몬테카를로(Monte Carlo)방법을 제안하였다. 제안한 방법으로 휴대폰 무선충전기의 3차 하모닉스를 고려한 인접대역의 무선 모뎀과의 간섭 영향을 분석하여 휴대폰 무선충전기로부터 무선 모뎀을 보호하기 위한 보호이격거리와 무선 모뎀의 반경에 따른 허용 간섭원 수를 도출하였다.

Key Words : Wireless Power Transmission, Interference, Compatibility, Minimum Coupling Loss, Monte Carlo

ABSTRACT

Recently, the interest of Wireless Power Transmission(WPT) has been increased for Mobile device application. It is necessary to analyze interference between wireless devices for the efficient use of frequency resource. The Minimum Coupling Loss(MCL) method and the Monte Carlo(MC) method were used for the interference analysis. In this paper, the impact of the 3rd order harmonics of the wireless charger for Cellular Phone on the existing Radio Modem was analyzed. As a result, the separation distance and the allowable number of interferer on the basis of service radius were obtained to protect the Radio Modem from the wireless charger for Cellular Phone.

I. 서 론

최근에는 다양한 방식의 WPT(Wireless Power Transmission) 기술을 이용하여 전기, 전자기기에 무선으로 에너지를 공급하기 위한 연구에 관심이 급증하고 있다. 응용분야로는 작게는 전동칫솔부터 크게는 전기자동차나 산업용 로봇에 까지 적용이 가능할 정도로 활용 분야가 넓지만, 특히 모바일 기기에 대한 관심이 크다[1]. 21세기에 들어서 현대인들이 가장 많이 사용하는 것은 모바일 기기다. 업무나 여가활동 등 일상 생활하는데 있어서 편리함을 만족시켜주기 때문에 필수품이 되고 있으며 실제로 1인당 1개 이상씩 보유하고 있다. 이러한 모바일 기기의 특징은 휴대성과 이동성이다. 그러나 전력을 공급하는 장소는 제한적이므로 배터리 충전에 있어서 전력 공급이 제한적일 수밖에 없기 때문에 전력을 공

급받는 장소에서 유선으로 배터리를 충전해야 한다는 불편한 점이 있다. 이를 보완하기 위해 WPT 기술을 이용한 무선 충전기가 개발 중에 있으며 유선충전기 없이 언제, 어디서나 자유롭게 전력을 공급받음으로서 무선으로 배터리를 충전하여 사용자의 불편함을 해소할 수 있지만, 한정된 주파수 자원을 사용한다는 단점이 있다.

따라서 한정된 주파수 자원을 효율적으로 운용하기 위해서는 기존의 전파통신업무에 간섭 영향을 주지 않도록 신규 서비스와 공존할 수 있는 정책이 고려되어 이러한 정책을 마련하기 위해 인접대역의 전파통신업무와 간섭 영향 분석이 요구된다.

이와 관련하여 본 논문에서는 ISM(Industrial Scientific and Medical) 대역을 사용하는 휴대폰 무선충전기가 기존 전파통신업무와 간섭 영향을 분석하기 위하여 3차 하모닉스를 고려한 주파수 대역의 인접대역인 무선 모뎀과의 공존 연

*공주대학교 정보통신공학 나노인지무선시스템연구실 (ksn1989@kongju.ac.kr)

**공주대학교 전기전자제어공학부 부교수(leeik@kongju.ac.kr), 교신저자 : 이일규

***영동대학교 정보통신보안학과 (kyilmin@yd.ac.kr)

접수일자 : 2014년 10월 15일, 수정완료일자 : 2014년 10월 31일, 최종 게재확정일자 : 2014년 11월 12일

구를 수행하기 위해 최소결합손실(Minimum Coupling Loss) 방법과 몬테카를로(Monte Carlo) 방법을 제안하였다. 최소결합손실 방법을 이용하여 최악의 상황을 가정한 환경에서 휴대폰 무선충전기로부터 무선 모델을 보호하기 위한 보호이격거리를 도출하였으며, 몬테카를로 방법을 이용하여 시뮬레이션을 위한 다양한 시나리오를 설정하고 휴대폰 무선충전기로부터 무선 모델의 동작에 지장을 주지 않기 위한 간섭 영향을 분석하여 그 결과를 도출하였다.

II. 전파 간섭의 기본 구조

전파 간섭은 사용자가 원하는 통신 시스템이 인접대역의 원하지 않은 다른 통신 시스템으로부터 간섭 신호의 영향을 받아 원하는 통신 시스템의 동작에 지장을 주는 것을 말한다. 간섭 영향은 간섭원과 희생원의 이격거리에 따른 간섭 신호 세기에 결정되며 전파 간섭의 기본 구조를 아래 그림 1과 같이 나타냈다.

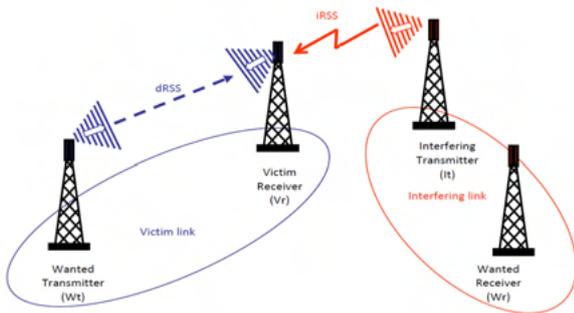


그림 1. 전파 간섭의 기본 구조

여기서 Victim link의 Wt(Wanted Transmitter)는 희생원의 송신기, Vr(Victim Receiver)은 희생원의 수신기이며 Interfering link의 Wr(Wanted Receiver)은 간섭원의 수신기, It(Interfering Transmitter)는 간섭원의 송신기를 나타낸다. Wt와 Vr사이의 dRSS(desired Received Signal Strength)는 희생원의 송신기와 수신기 사이의 신호세기를 의미하며 It와 Vr사이의 iRSS(interfering Received Signal Strength)는 간섭원의 송신기와 수신기 사이의 신호세기를 의미한다. dRSS와 iRSS의 비로 간섭의 정도를 판단할 수 있다.

III. 간섭 분석 방법

1. 최소결합손실 방법

최소결합손실 방법이란 한 사업자에 속한 사용자가 인접 사업자에 미칠 수 있는 간섭이 가장 클 때 즉, 결합 손실(Coupling Loss)이 가장 적을 때를 고려하여 이러한 최악의

가정 하에서도 시스템이 안정적으로 동작할 수 있을 만큼 충분한 보호대역을 할당하는 방법이다. 최소결합손실 방법은 단순한 경로 손실 값만을 계산하면 되므로 보호이격거리를 간단히 설정할 수 있다는 장점이 있으나, 최악의 상황을 가정하기 때문에 희생원과 간섭원의 거리를 얼마로 가정하는가에 따라 그 값이 매우 크게 변할 수 있다는 점과 최악의 상황을 고려하므로 주파수를 효과적으로 사용하지 못할 수 있다는 단점이 있다.

최소결합손실 방법을 사용하기에 앞서 간섭원의 신호 특성이 원 역장 영역 특성인지 근 역장 영역 특성인지 구분할 필요가 있다. 원 역장(Far field) 영역 특성의 신호는 다이폴 안테나(Dipole Antenna)와 같은 원거리 통신에 속하며 안테나 높이, 안테나 이득, 전파 환경 계수에 따라 간섭원의 송신기와 희생원의 수신기 사이의 경로손실(Path loss)을 계산하여 이격거리를 도출한다. 근 역장(Near field) 영역 특성의 신호는 루프 안테나(Loop Antenna)와 같은 근거리 통신에 속하며 자계 및 전계에 따라 간섭원의 송신기와 희생원의 수신기 사이의 경로손실을 계산하여 이격거리를 도출한다.

2. 몬테카를로 방법

몬테카를로 방법은 구하고자 하는 수치의 확률적 분포를 반복 가능한 실험의 통계로부터 결과를 얻는 방법이며 몬테카를로 방법을 이용하여 휴대폰 무선충전기로부터 무선 모델의 간섭 영향을 분석하기 위해 SEAMCAT(Spectrum Engineering Advanced Monte Carlo Analysis Tool) 이라는 프로그램 툴을 사용하였다. SEAMCAT은 호환성을 갖는 다양한 무선 통신 시나리오를 분석하는데 유용하게 사용되는 공공 목적의 소프트웨어이며 정의된 확률 분포함수로부터 무작위변수들의 분포를 찾아 그를 선택하는 몬테카를로 방법에 기초한다. 복잡한 통계적 문제들을 푸는 가장 유용한 방법이며 간섭 분석을 위한 가장 좋은 방법 중의 하나이다.

SEAMCAT에서 간섭을 판정하는 과정으로 각각의 시행에서 생성된 원하는 신호(C)와 간섭 신호(I)의 비율은 통신 가능한 기준으로 설정된 C/I를 초과하는지 비교하는 것을 그림 2에 나타냈다[2]. C/I를 초과하지 않으면 간섭이 없다고 판단하고 C/I를 초과하면 C/I가 낮아지면서 간섭의 정도를 확률로 나타낸다.

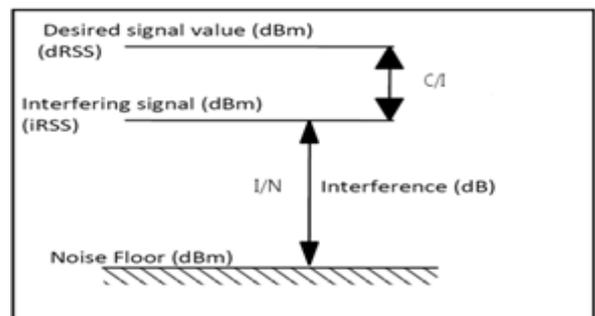


그림 2. 문턱값 C/I의 비교

각 사건의 C/I값과 기준 C/I값의 비교를 반복하여 통신이 가능한 확률(P)을 식 (1)과 같이 산출한다.

$$P = P\left(\frac{dRSS}{iRSS} > \frac{C}{I} \mid dRSS > \text{Sensitivity}\right) \quad (1)$$

간접 확률은 식 (2)와 같이 식 (1)에서 구한 통신이 가능한 확률을 뺀 값으로 계산된다. 여기서 Sensitivity는 희생원의 수신감도를 의미한다.

$$\text{Interference rate} = 1 - P \quad (2)$$

IV. 특성 파라미터 설정

1. 휴대폰 무선충전기의 특성 파라미터

분석에 사용된 휴대폰 무선충전기의 특성 파라미터와 방사마스크는 국립전파연구원에서 실험을 바탕으로 얻은 데이터를 참고하여 각각 표 1 및 그림 3과 같이 설정했다[3].

표 1. 휴대폰 무선충전기의 특성 파라미터

Parameter	Value	Unit
주파수	13.56	MHz
3차 하모닉스 주파수	40.68	MHz
열잡음	-131.7	dBm
송신전력	36.99	dBm
3차 하모닉스 송신전력	-23.01	dBm
대역폭	17	kHz
수신 안테나 높이	0	m
수신 안테나 이득	-30	dBi
전파 모델	Free space	-

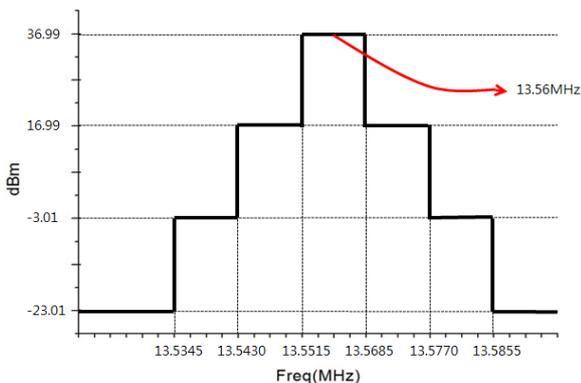


그림 3. 휴대폰 무선충전기의 방사마스크

다음 그림 4는 휴대폰 무선충전기의 3차 하모닉스를 고려한 주파수 대역의 방사마스크이다.

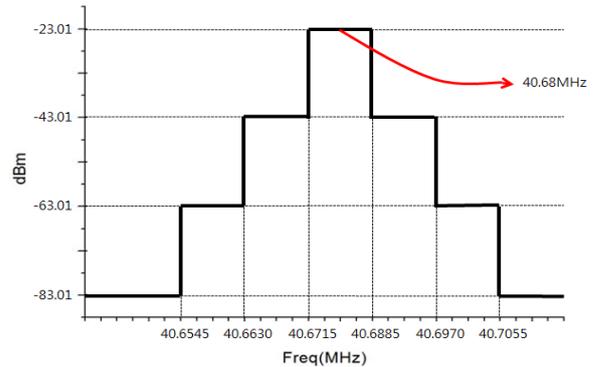


그림 4. 휴대폰 무선충전기의 3차 하모닉스를 고려한 주파수 대역의 방사마스크

2. 무선 모뎀의 특성 파라미터

무선 모뎀은 우리나라 주파수분배 표에서 40~41MHz 사이에 특정 소출력 무선기기로 RF감지기, 센서, 데이터 전송, 대역에 따라서는 공유기, 경보 시스템, 실내 무선 컨트롤 등으로 사용됨을 표 2에 나타냈다[4].

표 2. 주파수분배 표

한 국	
주파수대별 분배	용 도 등
0.01-37.5 고정 이동	
37.5-38.25 고정 이동 전파전문	
5.149	
38.25-39.5 고정 이동	도로관리용 K16A
5.150	
39.5-40 고정 이동(항공이동 제외) 무선탐지 5.132A	
40-41 고정 이동	특정소출력(무선조정용) K37A 40.665 MHz(구내전용무선호출) K50
5.150	

휴대폰 무선충전기의 3차 하모닉스를 고려한 주파수 대역은 40.68MHz 이므로 무선 모뎀과 인접대역이라 볼 수 있다. 무선 모뎀의 특성 파라미터는 실제 사용하고 있는 제품의 특성 파라미터를 참고로 하여 다음 표 3과 같이 설정했다[5].

표 3. 무선 모델의 특성 파라미터

Parameter	Value	Unit
주파수	40.695	MHz
열잡음	-134.5	dBm
수신감도	-85	dBm
대역폭	4	kHz
C/I	10	dB
수신 안테나 높이	0	m
수신 안테나 이득	0	dBi
전파 모델	Free space	-

휴대폰 무선충전기의 3차 하모닉스를 고려한 주파수 대역의 방사마스크에서 무선 모델의 주파수 대역은 다음 그림 5와 같이 나타내었으며 무선 모델이 받는 간섭 신호의 세기를 표시하였다. 휴대폰 무선충전기의 특성 파라미터에서 수신 안테나 이득이 -30dBi이므로 간섭 신호의 세기는 -73.01dBm으로 볼 수 있다.

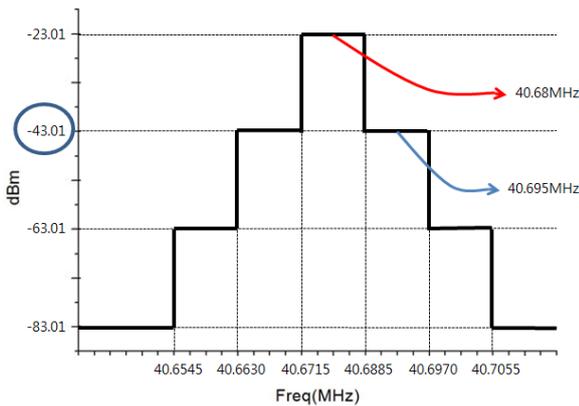


그림 5. 무선 모델이 받는 간섭 신호 세기

V. 분석 수행 절차

1. 최소결합손실 방법 분석 수행 절차

휴대폰 무선충전기는 근거리 전력 전송을 위해 루프안테나를 이용하여 전력을 방출한다. 따라서 근 역장 영역 특성을 가지므로 루프안테나의 자계 및 전계에 의해 수신전력이 결정된다. 식 (3)과 식 (4)는 각각 루프안테나에서의 자계와 전계를 의미하며 수신전력은 다음 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다[6].

$$|H_{av}| \cong \frac{I \cdot S}{2\pi R^3} (1 + \beta^2 R^2)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

$$|E_{av}| \cong \frac{60\pi r_1^2}{R^3} (1 + \beta^2 R^2)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

$$P_r = |H_{av}| \cdot |E_{av}| \quad (5)$$

여기서 전계를 자유공간에서의 고유 임피던스로 보면 $120\pi H$ 로 나타낼 수 있기 때문에 수신전력은 $120\pi H^2$ 이 되어 다음 식 (6)과 같이 풀이 될 수 있다.

$$P_r = 120\pi \left[\frac{I^2 S^2}{4\pi^2 R^6} (1 + \beta^2 R^2) \right] \quad (6)$$

여기서 I 는 루프안테나의 전류, S 는 루프안테나의 면적, $4\pi^2$ 은 수신안테나의 단위 구 표면적, β 는 $\frac{2\pi}{\lambda}$, R 은 이격 거리를 의미한다.

$(1 + \beta^2 R^2)$ 은 거리에 따라서 방사전력이 감소되는 기준 거리를 나타내며 1보다 작을 경우 생략한다.

식 (6)에서 $120\pi \cdot I^2 \cdot S^2$ 은 송신전력인 P_t 를 의미하므로 다음 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_r = P_t \frac{\beta^2 R^2}{4\pi^2 R^6} \quad (7)$$

경로손실은 송신전력에서 수신전력을 뺀 값이므로 다음 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$PathLoss = P_t - P_r = \frac{4\pi^2 R^4}{\beta^2} = 10\log(\lambda^2 R^4) \quad (8)$$

경로손실은 무선 모델이 받는 간섭 신호 세기에 대역폭에 따른 전력 보상 값을 취한 후 수신감도와 C/I값의 더한 값을 빼면 구할 수 있다. 무선 모델이 받는 간섭 신호세기를 식 (9)에 나타내었고, 대역폭에 따른 전력 보상은 식 (10)에 나타내었다. 수신감도와 C/I값을 더한 후 얻은 최종 경로손실 값은 식 (11)과 같이 나타내었다.

$$36.99dBm + (-30dBi) + (-80dBc) = -73.01dBm \quad (9)$$

$$-73.01dBm - \log(17/4) = -73.63dBm \quad (10)$$

$$-73.63dBm - (-95dBm) = 21.37dB \quad (11)$$

2. 몬테카를로 방법 분석 수행 절차

몬테카를로 방법을 이용하기 위해 SEAMCAT 시뮬레이션에서 휴대폰 무선충전기와 무선 모델의 간섭 영향을 분석하기 위한 2가지의 시나리오를 적용했다. 첫 번째 시나리오에서는 자유공간 환경에서 휴대폰 무선충전기가 무선 모델의 동작에 지장을 주지 않는 5%이하의 간섭 확률을 만족하

기 위한 보호이격거리를 도출하였고, 두 번째 시나리오에서는 자유공간 환경에서 무선 모뎀을 중심으로 반경 2m, 3m, 4m, 5m안에 간섭원인 휴대폰 무선충전기의 수를 1개에서 5개까지 변화를 주었을 때 무선 모뎀의 동작에 지장을 주지 않는 5%이하의 간섭 확률을 만족하는 간섭원 수를 도출하였다.

간섭 영향을 분석하기 위해 SEAMCAT에서 간섭원과 희생원의 특성 파라미터를 입력하고 전파 환경을 설정한다. SEAMCAT에서 간섭원을 설정하기 위해 표 1의 휴대폰 무선충전기의 특성 파라미터를 참고하여 그림 6과 같이 설정했고, 그림 5를 참고하여 SEAMCAT에서의 방사마스크를 그림 7과 같이 설정했다.

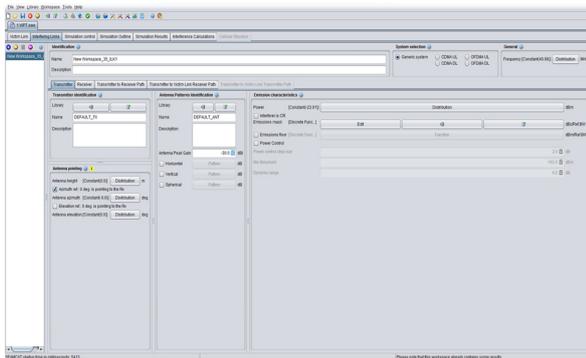


그림 6. SEAMCAT의 간섭원 설정

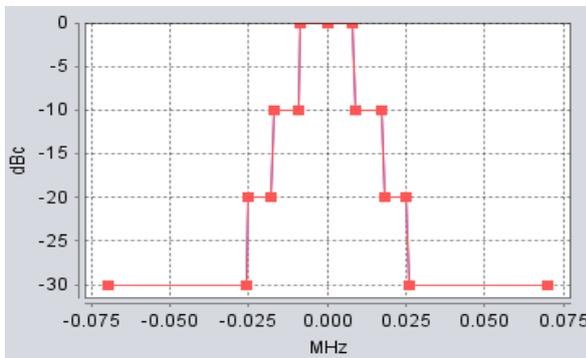


그림 7. SEAMCAT의 간섭원 방사마스크 설정

SEAMCAT에서 희생원을 설정하기 위해 표 3의 무선 모뎀의 특성 파라미터를 참고하여 다음 그림 8과 같이 설정했다.

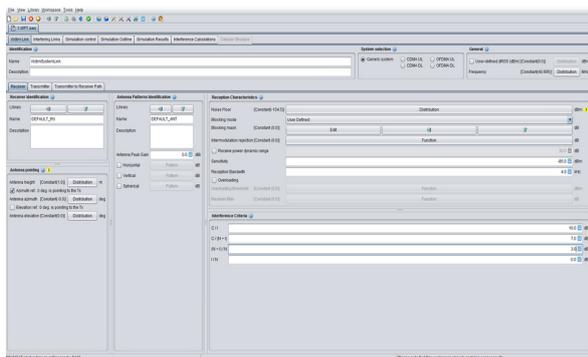


그림 8. SEAMCAT의 희생원 설정

VI. 분석 결과

1. 최소결합손실 방법 분석 결과

최악의 상황에서 간섭원인 휴대폰 무선충전기와 희생원인 무선 모뎀의 경로손실은 21.37dB로 도출되었다.

따라서 경로손실 21.37dB를 식 (8)에 대입하면 휴대폰 무선충전기로부터 무선 모뎀의 보호이격거리는 1.26m로 도출되었음을 확인할 수 있다.

2. 몬테카를로 방법 분석 결과

자유공간 환경에서 휴대폰 무선충전기가 무선 모뎀의 동작에 지장을 주지 않는 5%이하의 간섭 확률을 만족하기 위한 보호이격거리는 0.9m로 도출하였으며 그 결과를 표 4와 그림 9에 나타냈다.

표 4. 첫 번째 시나리오 분석 결과

Distance(m)	Interference Probability(%)
0.5	14.02
0.6	10.99
0.7	8.38
0.8	6.23
0.9	4.95
1.0	3.36

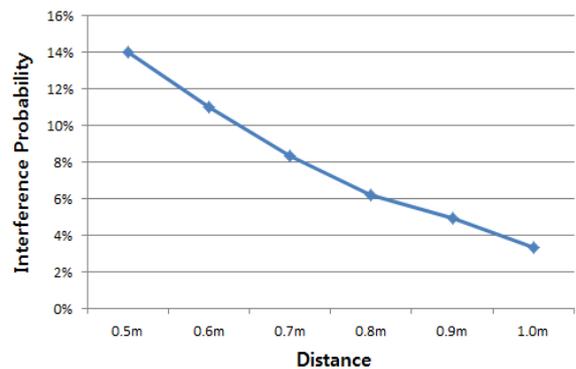


그림 9. 첫 번째 시나리오 분석 결과

자유공간 환경에서 무선 모뎀을 중심으로 반경 2m, 3m, 4m, 5m안에 간섭원인 휴대폰 무선충전기의 수를 1개에서 5개까지 변화를 주었을 때 무선 모뎀의 동작에 지장을 주지 않는 5%이하의 간섭 확률을 만족하는 간섭원 수는 2m에서는 1개, 3m에서는 1개, 4m에서는 2개, 5m에서는 3개로 도출하였으며 그 결과를 표 5에 나타냈다.

표 5. 두 번째 시나리오 분석 결과

Radius (m)	Interference Number	Interference Probability(%)
2	1	2.99
3	1	1.25
4	1	0.85
4	2	2.49
5	1	0.52
5	2	1.63
5	3	2.84

Ⅶ. 결론

한정된 주파수 자원에서 신규 서비스를 사용하기 위해선 기존 전파통신업무와 공존할 수 있는 방안이 요구된다.

이와 관련하여 본 논문에서는 한정된 주파수 자원을 효율적으로 운용하기 위한 간섭 영향 분석 방법으로 최소결합손실 방법과 몬테카를로 방법을 제안하였고, 제안한 방법으로 휴대폰 무선충전기의 3차 하모닉스를 고려한 주파수 대역의 인접대역인 무선 모델과의 간섭 영향 분석을 수행하였다.

최소결합손실 방법을 이용하여 휴대폰 무선충전기로부터 무선 모델의 보호이격거리는 1.26m로 도출하였으며 몬테카를로 방법을 기반으로 한 SEAMCAT 시뮬레이션의 첫 번째 시나리오에서 휴대폰 무선충전기로부터 무선 모델을 보호하기 위한 보호이격거리는 0.9m로 도출하였으며 두 번째 시나리오에서는 무선 모델으로부터 반경에 따른 허용 간섭원 수는 2m에서 1개, 3m에서 1개, 4m에서 2개, 5m에서 3개로 도출하였다.

따라서 본 논문의 간섭 영향 분석 방법 및 간섭 시나리오는 신규 서비스와 기존 전파통신업무의 공존 방안으로써 한정된 주파수 자원을 효율적으로 운용하기 위한 간섭 영향 분석 평가에 활용될 수 있을 것으로 보인다.

참 고 문 헌

- [1] 삼성전자, 무선전력전송의 모바일 기기 응용 동향 및 전망, 2011.
- [2] ECO, "SEAMCAT Handbook", CEPT, 2013.
- [3] 한국전파진흥협회, 무선전력전송기기 기술기준 연구반 추진결과, 2013.
- [4] 미래창조과학부, 대한민국 주파수 분배표, 2013.
- [5] VF Data RADIO NARROW BAND SERIES, <http://www.elco-electronics.com/rfix90.pdf>
- [6] Frank M. Greene, "The Near-Zone Magnetic Field of a Small Circular-Loop Antenna", JOURNAL OF RESEARCH of the National Bureau of Standards - C. Engineering and Instrumentation, Vol. 71C, No. 4, Oct-Dec. 1967.

저자

김 승 남(SeungNam Kim)



- 2014년 2월 : 공주대학교 전기전자제어 공학부 나노정보공학과 (공학사)
- 2014년 2월 ~ 현재 : 공주대학교 대학원 정보통신공학과(공학석사과정)

<관심분야> : 스펙트럼 공학, RF시스템, 전파 간섭분석

이 일 규(Ilkyoo Lee)

정회원



- 1994년 2월 : 충남대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 2003년 2월 : 충남대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
- 1997년 ~ 004년 : ETRI 선임연구원
- 2007년 ~ 2008년 : 조지아텍 교환교수

· 2012년 3월 ~ 2013년 1월 : 조지아텍 교환교수

· 2004년 9월 ~ 현재 : 공주대학교 전기전자제어공학부 부교수

<관심분야> : RF 시스템, 스펙트럼 공학, 이동통신 시스템, 전파간섭

민 경 일(Kyoungil Min)



- 1984년 8월 : 충남대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 1995년 2월 : 충남대학교 대학원 자공학과(공학박사)
- 1996년 3월 ~ 현재 : 영동대학교 정보통신보안학과 교수

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