

## 802.11ah 기반 비면허 무선기기와 LTE 단말기 간 공존 분석

이일규 · 박연규\*

### Analysis on Coexistence between Unlicensed Wireless Device based on 802.11ah and LTE User Equipment

Il-Kyoo Lee · Yeon-Gyu Park\*

Department of Electrical and Electronic Control Engineering, Kongju University, Cheonan 31080, Korea

#### 요 약

최근, 사물인터넷이 초연결사회에 다가서는 발판으로 많은 관심을 받으면서 비면허 대역을 사용하는 비면허 무선 기기의 수가 증가하고 있다. 따라서 본 논문은 효율적인 주파수 사용을 위해서 900 MHz 대역에서 802.11ah 기반 비면허 무선기기가 주면허 무선기기인 LTE 단말기(UE, User Equipment)에 미치는 전파 간섭 영향을 분석하였다. 간섭 분석 방법으로는 최소결합손실(Minimum Coupling Loss) 방법과 몬테카를로(Monte Carlo) 방법을 사용했다. 최악의 상황을 가정한 최소결합손실 방법으로 단일 간섭원일 때 희생원에 간섭이 없음을 보장하기 위한 간섭원과 희생원 사이의 최소이격거리는 약 22 m로 계산되었고, 통계 기법을 기반으로 한 몬테카를로 방법을 통해 희생원의 셀 반경 내에서 간섭 확률 5% 이하를 만족하는 최대 간섭원의 수는 약 3000개로 산출됐다. 본 논문에서 제시한 간섭 분석 방법 및 결과는 향후 비면허 무선기기와 주면허 무선기기의 공유 방안으로 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

#### ABSTRACT

Recently, a lot of attention is fallen to IoT(Internet of Things) for hyper-connected society and the number of unlicensed wireless device has been increasing. Thus, this paper analyzed the impact of unlicensed wireless device on the basis of 802.11ah on licensed LTE user equipment in 900 MHz frequency band for efficient frequency use. As the interference analysis method, Minimum Coupling Loss (MCL) method and Monte Carlo (MC) method were used. In case of one interferer, minimum separation distance between interferer and victim was calculated as about 22 m through the MCL method under the assumption of the worst case. The maximum number of interferer to meet the interference probability of 5% below within a cell radius of the victim was computed as about 3000 by using MC method based on statistical technique. The analysis method and results in this paper are expected to be used for the coexistence between unlicensed wireless device and licensed wireless device.

**키워드** : 비면허 무선기기, 주면허 무선기기, 최소결합손실, 몬테카를로

**Key word** : Unlicensed wireless device, Licensed wireless device, Minimum coupling loss, Monte carlo

Received 07 August 2017, Revised 22 August 2017, Accepted 27 September 2017

\* Corresponding Author Yeon-Gyu Park(E-mail:201002415@kongju.ac.kr, Tel:+82-41-521-9624)

Department of Electrical and Electronic Control Engineering, Kongju University, Cheonan 31080, Korea

Open Access <https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.11.2015>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서론

4차 산업혁명은 정보통신기술(ICT, Information & Communication Technology)이 다양한 산업들과 결합하여 새로운 제품 또는 서비스를 창출하는 것을 말하며 핵심 동력으로 사물인터넷에 대한 관심이 폭발적으로 증가하고 있다. 최근 큰 주목을 받고 있는 사물인터넷은 모든 사물들이 유무선 네트워크를 통해 상호 연결되어 센서로부터 수집되는 정보들을 공유 및 활용하는 인프라를 의미한다[1].

미국의 정보 기술 연구 및 자문 회사인 가트너(Gartner)는 사물인터넷 기기의 수가 2016년에 비해 약 31% 증가하여 약 84억 개에 이르고, 2020년에는 총 200억 개의 사물들이 연결될 것으로 예상하고 있다[2]. 이러한 사물인터넷의 급격한 성장은 기존 산업 생태계뿐만 아니라 일상생활에까지 상당한 파급효과가 있을 거라 예상되며 초연결사회(Hyper-connected society)에 들어서는 시발점이 될 것으로 보인다.

현재 국내에서는 냉장고, 에어컨, 세탁기와 같은 다양한 가정용 전자제품부터 지능형 CCTV, 진동센서, 화재 감지 센서 등을 설치한 스마트 건설 현장에까지 사물인터넷이 적용되고 있다. 이들은 네트워크에 접속하기 위하여 다양한 무선통신기술을 사용하는데 대표적인 예로 Wi-Fi(Wireless Fidelity), Z-wave, LoRa(Long Range), Zigbee, Bluetooth가 있다. 최근 Wi-Fi Alliance는 900 MHz 주파수 대역에서 동작하는 Wi-Fi HaLow를 발표했다. 이는 ISM(Industrial, Scientific and Medical) 대역인 2.4 GHz 주파수 대역을 사용하는 기존 Wi-Fi보다 확장된 서비스 반경과 지원하는 기기의 수가 많아지고 낮은 전력소모를 주요 특징으로 빠른 성장세를 보이는 사물인터넷 시장을 겨냥한 것이다.

그러나 900 MHz 주파수 대역에는 KT의 LTE(Long Term Evolution) 하향 링크(Down link)가 서비스되고 있다. 앞으로 사물인터넷 기기의 수가 지속해서 증가할 것을 고려하고 한정된 주파수 자원의 효율적인 사용을 위해서 900 MHz 대역에서 동작하는 두 무선통신기술 간 상호 공존 평가가 요구되고 있다.

본 논문에서는 Wi-Fi HaLow 기반의 사물인터넷 기기가 900 MHz 주파수 대역의 LTE 하향 링크에 미치는 간섭 영향을 분석하였다. 분석 방법으로 최소결합손실(Minimum Coupling Loss) 방법과 몬테카를로

(Monte Carlo) 방법을 사용했다. 최소결합손실 방법으로는 단일 간섭원으로부터 희생원을 보호하기 위한 최소 이격거리를 계산하였고, 몬테카를로 방법으로는 희생원을 기준으로 일정한 반경 내에서 간섭 확률 5% 이하를 만족하면서 사용 가능한 최대 간섭원의 수를 도출하였다[3].

## II. 간섭 시나리오 및 시스템 특성

### 2.1. 간섭 시나리오

900 MHz 주파수 대역에서 운용되는 Wi-Fi HaLow 기반의 STA(STation)가 LTE UE(User Equipment)에 미치는 전파 간섭 영향을 분석하기 위해 Wi-Fi HaLow 시스템을 간섭 링크로, LTE 하향 링크 시스템을 희생 링크로 설정하였으며 그림 1에 나타내었다.

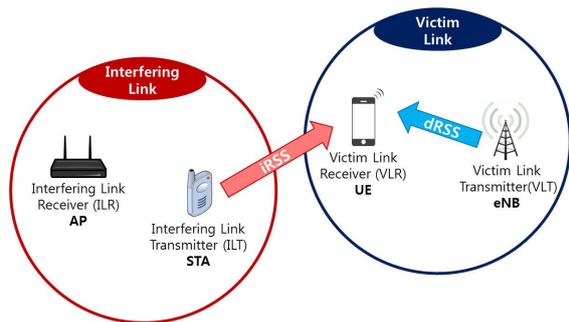


Fig. 1 Interference scenario

### 2.2. 희생원 시스템 특성

LTE는 3세대 이동통신기술을 장기적으로 진화시킨 차세대 이동통신기술로 흔히 4G로 알려져 있다. LTE 하향 링크는 기지국(eNB)이 단말기(UE) 방향으로 전파를 송신하는 것을 말한다. 3GPP(3rd Generation Partnership Project) TS(Technical Specification)에서 LTE의 상·하향 링크의 운용 주파수 대역을 Band 1~70까지 정하고 각 대역에서의 이중통신 방식을 명시하고 있다[4]. 현재 국내에는 3개의 대표적인 이동통신 사업자가 있으며 SKT은 800 MHz, 1.8 GHz, 2.1 GHz, 및 2.6 GHz 주파수 대역에서, KT는 900 MHz, 1.8 GHz 및 2.1 GHz 주파수 대역에서, LGU+는 800 MHz, 2.1 GHz 및 2.6 GHz 주파수 대역에서 10 MHz 혹은 20 MHz 대

역폭으로 LTE 하향 링크를 서비스하고 있다[5]. 본 연구에서는 802.11ah의 동작 주파수와 인접한 KT의 900 MHz 주파수 대역의 LTE 하향 링크를 희생원으로 선정하였다. 아래 표 1은 희생링크의 송신기인 기지국(eNB)의 특성을 나타내고, 표 2는 희생링크의 수신기인 단말기(UE)의 특성을 나타낸다.

Table. 1 Characteristics of LTE eNB

Parameter	Value	Unit
Frequency	954.3	MHz
Bandwidth	10	MHz
Transmit power	43	dBm
Cell radius	430	m
Antenna height	30	m
Channel model	Extended Hata	-

Table. 2 Characteristics of LTE UE

Parameter	Value	Unit
Frequency	954.3	MHz
Bandwidth	10	MHz
Receiving sensitivity	-94	dBm
Protection ratio	12	dB
Thermal noise	-103.97	dBm
Antenna height	1.5	m
Channel model	Extended Hata	-

### 2.3. 간섭원 시스템 특성

Wi-Fi HaLow는 IEEE 802.11ah 표준을 만족하는 무선랜 기술이다. 1 GHz 이하 대역을 사용함으로써 1 km 까지 확장된 커버리지를 제공하며, 응용 목적에 따라 대역폭과 전송속도를 가변으로 할당할 수 있다. 16 MHz 대역폭과 256QAM을 사용 시, 최대 346.7 Mbps의 데이터 전송속도를 제공한다. 국내에 신규로 할당된 940.1~946.3 MHz의 주파수 대역폭 6.2 MHz를 감안하면, 사용 가능한 대역폭은 8, 16 MHz를 제외한 1, 2, 4 MHz가 된다. 그림 2는 대역폭에 따른 채널 현황을 나타낸다. 그림에서 보듯이 LTE 하향 링크 대역에 가장 인접한 1 MHz 대역폭의 6번 채널이 LTE 하향 링크에 지배적인 영향을 미칠 것으로 예상된다. 따라서 Wi-Fi HaLow의 대역폭을 1 MHz로, 중심주파수를 945.7 MHz로 선정하고 간섭 분석을 수행하였다.

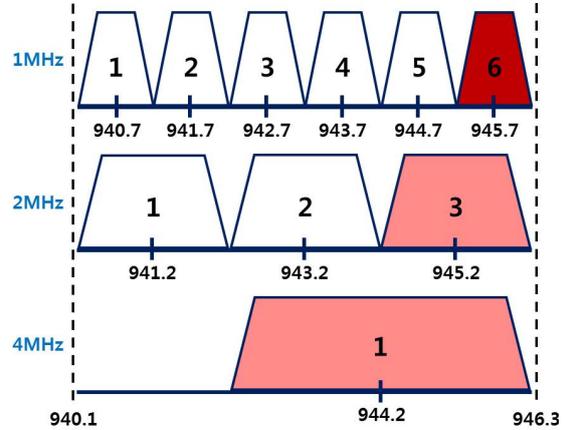


Fig. 2 Channel status by bandwidth of Wi-Fi HaLow

아래 표 3은 간섭원인 STA의 특성을 나타낸다.

Table. 3 Characteristics of Wi-Fi HaLow STA

Parameter	Value	Unit
Frequency	945.7	MHz
Bandwidth	1	MHz
Transmit power	23	dBm
Duty cycle	0.1	%
Antenna height	1.5	m
Channel model	Extended Hata-SRD	-

Wi-Fi HaLow의 스펙트럼 방사 마스크는 그림 3과 같다[6].

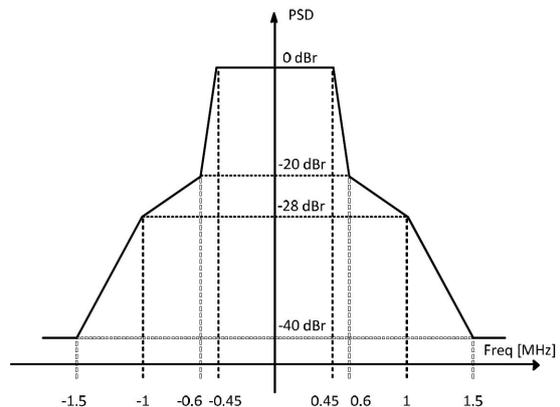


Fig. 3 Spectrum emission mask of Wi-Fi HaLow

### III. 간섭 분석 방법

#### 3.1. 최소결합손실 방법

최소결합손실 방법은 간섭원으로부터 희생원에 어떠한 간섭도 없음을 보장하는 최소한의 이격거리를 구하는 방법이다[7]. 이 방법은 간섭원과 희생원간의 물리적 분리로 인한 경로 손실(Path Loss)만 계산할 수 있으면 이격거리를 구할 수 있는 장점이 있다. 그러나 희생원이 자신의 송신기로부터 수신하는 원하는 신호의 세기가 수신감도와 동일한 최악의 상황을 가정하기 때문에 스펙트럼 측면에서 비효율적인 결과를 산출하는 단점이 있다. 아래 식 (1)은 희생원을 보호하기 위해 필요한 최소결합손실을 나타낸다.

$$MCL[dB] = P_{INT} - (S_{VICT} - C/I_{VICT}) \quad (1)$$

여기서  $P_{INT}$ 는 간섭원의 송신전력이고,  $S_{VICT}$ 와  $C/I_{VICT}$ 는 각각 희생원의 수신감도와 보호비이다.

최소결합손실을 이용하여 간섭원으로부터 희생원을 보호하기 위한 이격거리는 식 (2)를 통해서 계산된다.

$$PL[dB] = 20\log\left(\frac{4\pi fd_0}{c}\right) + 10\log\left(\frac{d}{d_0}\right)^n \quad (2)$$

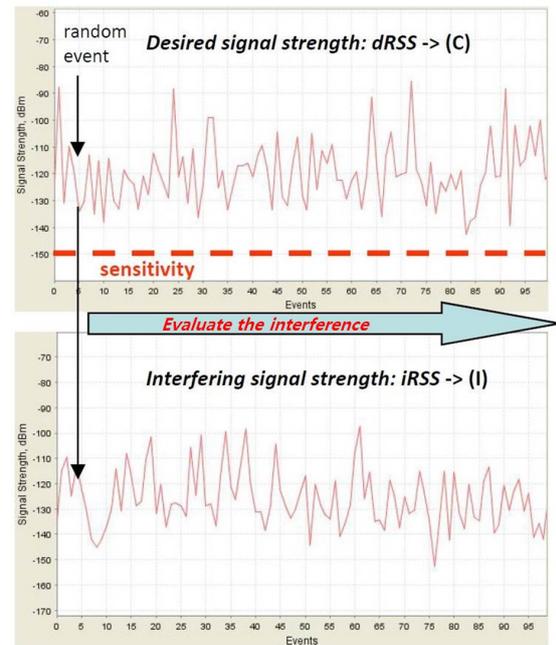
여기서  $c$ 는 광속,  $d$ 는 간섭원의 송신기와 희생원의 수신기 간 이격거리,  $d_0$ 는 기준거리,  $n$ 는 통신환경에 따른 경로손실계수를 나타낸다. 아래 표 4에 경로손실 계수에 대해 자세히 나타내었다.

**Table. 4** Path loss factor according to communication environment

Communication environment	Path loss factor
Free space	2
Cellular wireless in urban	2.7 ~ 3.5
Shadowed wireless in urban	3 ~ 5
LOS in the building	1.6 ~ 1.8
Blocked building	4 ~ 6
Blocked factory	2 ~ 3

#### 3.2. 몬테카를로 방법

몬테카를로 방법은 확률 통계를 기반으로 원하는 값의 확률적 분포를 반복 가능한 실험을 통해 계산하는 분석이다. 이를 통한 간섭 분석은 동일 또는 인접한 주파수 대역에서 동작하는 서로 다른 무선 시스템 간 공유 연구를 위해 사용된다[8]. SEAMCAT(Spectrum Engineering Advanced Monte Carlo Analysis Tool)은 유럽에서 주로 사용되는 몬테카를로 기반의 간섭 분석 시뮬레이션으로 다양한 무선 통신 시나리오를 구성하고 서비스별 특성 파라미터를 입력하여 실환경에 가까운 분석 결과를 제공한다. 전파 환경에서 신호는 시간에 따라 변하기 때문에 그림 4와 같이 각 이벤트마다 독립적으로 dRSS(desired Received Signal Strength)와 iRSS(interfering Received Signal Strength)를 산출하여 그 비율에 따라 간섭의 유무를 평가한다[9].



**Fig. 4** dRSS and iRSS in each event

간섭 유무의 평가는, 각 이벤트마다 계산된 iRSS 대비 dRSS의 비율이 희생원의 보호비보다 높으면 간섭이 없다고 판단하고, 낮으면 간섭이 있다고 판단한다. 최종적으로 간섭 확률은 식 (3)과 같이 계산된다.

$$P_I = 1 - P_{NI} \quad (3)$$

여기서,  $P_{NI}$ 는 간섭이 없는 확률이며, 각 이벤트에서 간섭이 없기 위해서는 먼저  $dRSS$ 가 희생원의 수신감도보다 높아 유용한 신호로 판단되어야하고, 희생원에서 수신되는  $iRSS$  대비  $dRSS$ 의 비율이 희생원의 보호비보다 높아야함으로 식 (4)와 같이 정의된다.

$$P_{NI} = P\left(\frac{dRSS}{iRSS} > \frac{C}{I} | dRSS > Sensitivity\right) \quad (4)$$

위 식에서  $C/I$  및  $Sensitivity$ 는 각각 희생원의 보호비와 수신감도이다.

#### IV. 간섭 분석 결과

##### 4.1. 최소결합손실 방법 결과

간섭원의 송신전력은 23 dBm이므로 간섭원의 스펙트럼 방사마스크를 고려하여, 954.3 MHz에서 송신전력은 -17 dBm이다. 또한 0.1 %의 Duty cycle을 적용하면 간섭원의 송신전력은 -47 dBm이다. 최악의 상황을 가정한 분석이기 때문에 최소결합손실은 간섭원 송신전력, 희생원 수신감도 및 보호비를 고려하여 식 (5)와 같다.

$$MCL = -47 - (-94 - 12) = 59 dB \quad (5)$$

이격거리는 식 (6)과 같이 경로손실을 통해 구할 수 있으며, 최소결합손실 방법이므로 경로 손실 계수로 자유공간 값( $n = 2$ )을 적용하였다.

$$59 = 20 \log 954.3 + 20 \log d - 27.55 \quad (6)$$

따라서 희생원에 간섭이 없음을 보장하기 위해서 간섭원의 송신기와 희생원의 수신기 간 약 22.27 m의 이격거리가 필요하다.

##### 4.2. 몬테카를로 방법 결과

실제 환경을 고려한 간섭 분석을 위해 매 이벤트마다 LTE UE를 eNB의 셀 반경 430 m 내에 무작위로 배

치하였고 정확한 분석을 위해 이벤트 수를 20000번으로 설정하였다. SEAMCAT에서 설정한 간섭 시나리오를 그림 5에 묘사했다. 실제 운용 시나리오를 고려하여 LTE UE를 기준으로 시뮬레이션 반경을 100 m, 200 m, 300 m, 400 m 로 증가시키면서 20000번의 이벤트 중 간섭이 없는 경우가 1000번 이하인 경우 즉, 유럽우편전기통신주관청회의(CEPT) 산하 전자통신위원회(ECC)에서 제시하고 있는 간섭 확률 5% 이하를 만족하면서 사용 가능한 간섭원의 수를 산출하여 표 5에 요약하였다[10].

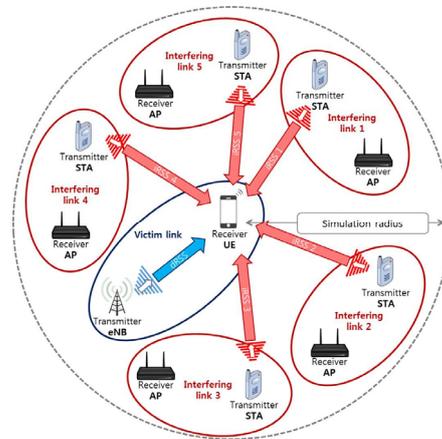


Fig. 5 Interference scenario outline

Table. 5 Interference probability vs. simulation radius and the number of interferer

Simulation radius (m)	The number of interferer	Interference probability (%)
100	100	2.10
100	150	3.03
100	200	3.89
100	250	4.73
100	300	5.31
200	400	2.16
200	600	3.44
200	800	4.28
200	1000	5.27
300	1500	3.63
300	2000	4.84
300	2500	5.79
400	2500	3.83
400	3000	4.19
400	3500	5.01

간섭 확률 5% 이하를 만족시키기 위해서는 시물레이션 반경이 100 m일 때는 250개, 200 m일 때는 800개, 300 m일 때는 2000개, 400 m일 때는 3000개까지 간섭원을 사용할 수 있음을 확인하였다.

## V. 결 론

본 논문은 900 MHz 주파수 대역에서 동작하는 Wi-Fi HaLow 기반의 사물인터넷 기기가 KT의 LTE 하향링크에 미치는 전파 간섭 영향을 분석하였다. 최악의 상황을 가정한 최소결합손실 방법으로는 자유공간 전파모형을 적용하여 Wi-Fi HaLow 기반의 사물인터넷 기기가 LTE UE에 간섭이 없음을 보장하는 최소 이격 거리가 약 22.27 m로 계산되었다. 확률 통계 기반의 몬테카를로 방법으로는 LTE UE를 기준으로 시물레이션 반경을 100 m 씩 증가시키면서 시물레이션 반경 내에서 간섭 확률 5% 이하를 만족하면서 사용 가능한 최대 간섭원의 수를 산출하였다. 시물레이션 반경이 100 m, 200 m, 300 m, 400 m 일 때, 각각 250개, 800개, 2000개, 3000개의 간섭원의 수가 얻어졌다.

본 논문에서 사물인터넷 기기와 LTE 단말기의 공존을 위한 이격거리와 LTE 단말기 주변에서 5% 이하의 간섭 확률을 만족하면서 사용 가능한 사물인터넷 기기의 수를 제한함으로써 두 서비스가 공존할 수 있는 방안을 제시하였다. 제시된 간섭 분석 방법 및 결과는 비면허 대역을 사용하는 사물인터넷 기기의 폭발적인 증가에 대비해 주면허 대역과 비면허 대역을 사용하는 기존 서비스와 신규 서비스 간 공존 방안에 유용하게 활용될 것으로 보인다. 또한, 연구결과는 국가 스펙트럼 관리 등 전파정책 마련 시 도움이 될 것으로 기대된다.

## ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the ICT R&D program of MSIP/IITP, Republic of Korea. [2016-0-00141, Development of coexistence technology and analysis tool for the promotion of free band/unlicensed band]

## REFERENCES

- [1] B. I. Jang, and C. S. Kim, "A Study on the Security Technology for the Internet of Things," *Journal of Security Engineering*, vol. 11, no. 5, pp. 429-438, Oct. 2014.
- [2] Gartner, Inc. Gartner says 8.4 billion connected "things" will be in 2017, up 31 percent from 2016 [Internet]. Available: <http://www.gartner.com/newsroom/id/3598917>.
- [3] ECC, "Adjacent band co-existence of SRD in the band 863-870 MHz in light of the LTE usage below 862 MHz," CEPT, ECC Report 207, 2014.
- [4] 3GPP TS 36.104, *Base Station (BS) radio transmission and reception*, 3GPP, Sophia Antipolis, France, 2017.
- [5] D. J. Kim, and K. S. Chung, "Study on coexistence through interference evaluation between 2.1 GHz band and adjacent band for LTE-Advanced service," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 18, no. 1, pp. 32-41, Jan. 2014.
- [6] ETSI Std. TR 103 245, *Technical characteristics and spectrum requirements of wideband SRDs with advanced spectrum sharing capability for operation in the UHF 870-876MHz and 915-921MHz frequency bands*, ETSI, 2014.
- [7] ECC, "A comparison of the minimum coupling loss method, enhanced minimum coupling loss method, and the monte-carlo simulation," CEPT, ERC Report 101, 1999.
- [8] ITU-R SM.2028-1, Monte Carlo simulation methodology for the use in sharing and compatibility studies between different radio services or systems, ITU, 2002.
- [9] ECC, "SEAMCAT Handbook Edition2," CEPT, ECC Report 252, 2016.
- [10] I. K. Cho, T. Y. Kim, J. W. Jang, K. D. Jang, and G. W. Moon, "Analysis on Compatibility between wireless headset and WiFi in ISM bands," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 19, no. 2, pp. 272-278, Feb. 2015.



**이일규(Il-Kyoo Lee)**

1992년 2월 : 충남대학교 전자공학교육학과(공학사)  
1994년 2월 : 충남대학교 전자공학과(공학석사)  
2003년 2월 : 충남대학교 전자공학과(공학박사)  
1997년 ~ 2004년 : 한국전자통신연구원 선임연구원  
2007년 ~ 2008년 미국 조지아텍 교환교수  
2012년 ~ 2013년 : 미국 조지아텍 교환교수  
2015년 ~ 2018년 : 중국 북화대학교 석좌교수  
2015년 ~ 2019년 : ITU-R SG1(전파관리) 부의장  
2004년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 전기전자제어공학부 교수  
※관심분야 : RF 시스템, 스펙트럼 공학, 전파간섭, 전파정책 및 제도



**박연규(Yeon-Gyu Park)**

2016년 2월 : 공주대학교 전기전자제어공학부(공학사)  
2016년 2월 ~ 현재 : 공주대학교 전기전자제어공학과 석사과정  
※관심분야 : 전파 간섭, 이동통신, 스펙트럼 공학