

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2017.17.6.41>

JIIBC 2017-6-6

도심 또는 부도심에서 고정무선시스템과 이동기지국 간의 주파수 조정에 대한 연구

A Study on Frequency Coordination between Fixed Wireless System and Mobile Base Station in Urban or Sub-urban Area

서경환*, 박영민**

Kyoung-Whoan Suh*, Young-Min Park**

요약 본 논문에서는 도심 또는 부도심에서 고정무선시스템과 이동기지국 간의 주파수 조정을 위한 이론적 모델링 및 수치해석 결과를 제시한다. 간섭분석에 필요한 주요 변수인 시스템 특성, 전파전파 모델, 보호비, 주파수의존제거, 신호-간섭 평면의 변별각을 고찰하고, 이들에 대해 수치계산을 통해 결과를 도출한다. 최소커플링손실 방법을 기반으로 가정한 고정무선시스템과 이동기지국의 특성에 대해 도심 또는 부도심에서 높이-이득 모델, 변별각, 그리고 거리의 함수로 수신간섭전력을 계산하고, 그 결과들을 보호비로부터 유도된 최대허용간섭전력과 비교한다. 제시된 방법은 다양한 무선시스템의 주파수 조정 또는 재배치 과정에 요구되는 상호 공존 또는 양립성의 기술적 분석에 유용할 것으로 판단된다.

Abstract Theoretical modelling and computational results for frequency coordination are presented over mobile base station and fixed wireless systems in urban or sub-urban area. Computational results with key parameters needed for interference analysis are performed and discussed in terms of system characteristics, propagation model, protection ratio, frequency dependent rejection, and discrimination angle with signal-interference plane. Based upon minimum coupling loss methodology, calculated interference powers of victim receiver for assumed system parameters are compared with maximum allowable interference power derived from protection ratio as functions of discrimination angle and distance including height-gain model in urban or sub-urban area. The proposed method is applicable for technical analysis on co-existence or interoperability for the various wireless systems, mandatory for frequency coordination or reallocation process.

Key Words : Minimum coupling loss, protection ratio, frequency dependent rejection, discrimination angle, interference

1. 서론

오늘날 산업사회의 변천은 컴퓨터·스마트폰과 인터넷이 연결되는 기존의 온라인 방식에서 모든 사물과 인터

넷의 연결, 즉 물리적 공간과 가상공간이 융합되는 초연결혁명이 도래하는 초연결사회로 진입하고 있다. 또한 IoT, 빅데이터, 인공지능, 로봇 등으로 대표되는 융·복합 형태 기반의 4차 산업혁명과 초연결 사회로의 진입은 5

*정회원, 강남대학교 IoT전자공학과

**정회원, 한국방송통신전파진흥원 전파진흥본부

접수일자: 2017년 10월 26일, 수정완료: 2017년 11월 26일

게재확정일자: 2017년 12월 8일

Received: 26 October, 2017 / Revised: 26 November, 2017 /

Accepted: 8 December, 2017

Corresponding Author: kwsuh@kangnam.ac.kr

Dept. of Electronics Engineering, Kangnam University, Korea

세대 이동통신(5G)과 더불어 주파수 수요와 공급의 불일치를 점차 심화시키는 주요 요인이 될 것이다^[1]. 따라서 정부에서는 한정된 주파수 자원의 효율적 활용과 경제성 기반으로 주파수 자원의 회수 및 재배치를 통해 용도별 주파수 재할당 정책을 이행한 바 있으며, 최근에는 5G 대역 확보를 위한 이동방송 무선중계국에 대한 3.4 ~ 3.7 GHz 대역에 대한 회수를 추진한바 있다^[2,3].

이러한 정책 수행의 전제 조건은 다양한 주파수 대역에 존재하는 이중망 간의 시간적, 공간적 주파수 공존 체계로 기존 무선망의 품질 저하를 유발하는 간섭이 배제되어야 한다^[4,5] 이러한 환경을 구축하기 위해서는 주파수 조정에 필요한 간섭분석의 해석적 방법과 상호 운용성을 보장하는 전과품질(QoS)에 관한 기술 기준이 수반되어야 한다^[2,6]. 간섭분석 방법은 정적인 최악 경우를 가정한 최소커플링손실 (Minimum Coupling Loss: MCL) 과 동적인 통계 기반의 확률에 의한 몬테카를로가 있다^[4,5]. 전자는 주로 고정된 무선시스템 간에, 그리고 후자는 이동통신 서비스와 같이 단말기의 동적환경을 고려한 간섭분석에 적용된다.

한편 이동통신의 새로운 세대 또는 신규 서비스 출현에 대비하여 다양한 선행 연구들이 고정무선과 위성, 이동통신과 위성, 이동통신과 레이더, 고정무선과 이동통신 등 다양한 경우에 따라 상호 공존성을 위한 주파수 간섭 분석을 지속적으로 수행하였다^[7-15]. 최근에는 지리정보에 근거한 레이더와 고정무선시스템 등 이중 시스템에 대한 간섭 및 레이더 주파수의 효율적 활용을 위한 연구도 발표된바 있다^[16-18]. 그럼에도 불구하고 5G 및 IoT 등 서비스 전개는 고정, 레이더, 위성 및 기타 무선시스템 간의 주파수 간섭 및 조정에 대한 문제가 발생할 수 있으며, 다양한 시스템 배치와 주파수 할당, 그리고 전과전파에 따른 연구의 필요성도 대두된다^[19-21].

따라서 본 논문에서는 이러한 주파수 간섭 문제를 해결하기 위해 고정무선시스템과 이동기지국 간의 간섭 문제를 주파수조정 측면에서 다룬다. 이를 위해 최소커플링손실 방법에 근거하여 가정한 도심 또는 부도심에 존재하는 기지국과 고정무선시스템 간의 시스템 특성, 경로손실 모델링, 변별각, 주파수의존제거 등을 도출한다. 끝으로 수치 계산으로 간섭전력을 산출하고 상호운용성 판단에 필요한 보호비와 비교-분석을 수행한다.

II. 시스템 특성 및 간섭신호

1. 시스템 및 신호-간섭 평면

그림 1은 간섭원인 고정무선시스템과 피해 수신기인 이동기지국 간의 시스템 배치 보여주며, 고정무선시스템의 송·수신기와 이동 기지국 간의 각을 변별각 (Discrimination angle)이라 한다. 그림 2는 간섭원 고정무선시스템과 피해 이동기지국 간의 주파수 대역 배치를 가정한 것이다. 이동통신 대역의 상하에는 고정무선시스템 외에 레이더, 위성, 기타 무선 시스템 등이 할당될 수 있다. 그림 2에서 Ch. 1 또는 Ch. N은 이웃하는 타대역 서비스 대역과 간섭 유입을 배제하기 위한 주파수 이격 또는 적절한 지리적 이격 등을 고려해야 한다. 이를 위해 그림 3에서는 간섭분석을 위한 주파수 조정절차 및 관련 변수 등을 나타내었으며, 최종적으로 간섭전력과 상호운용성 보장을 위한 허용최대간섭과 비교를 나타내었다.

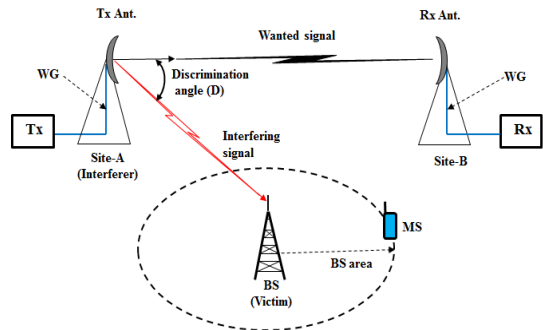


그림 1. 고정무선시스템과 이동기지국 시스템의 배치
Fig. 1. System geometry of fixes wireless system and mobile base station

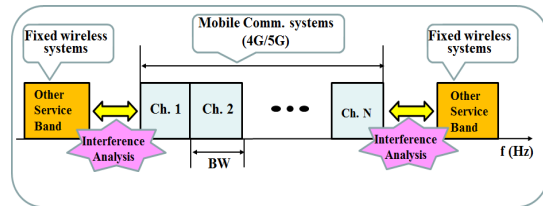


그림 2. 고정무선시스템과 이동통신 시스템 간의 주파수 배치
Fig. 2. Frequency allocation for fixed wireless system and mobile base station

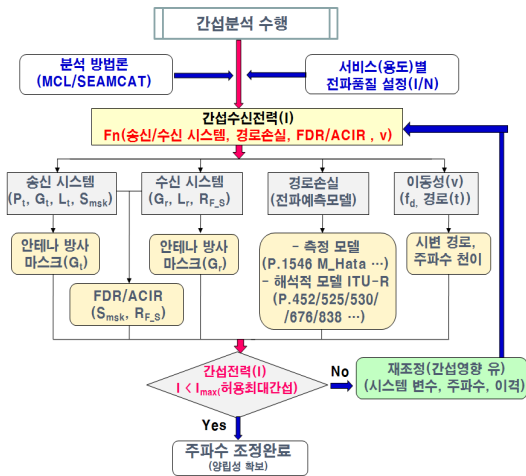


그림 3. 간섭분석 수행의 절차
 Fig. 3. Procedure of interference analysis

그림 4는 두 시스템의 공간상 배치를 신호-간섭(S-I) 평면을 나타낸 것으로, 두 시스템의 공간 좌표(위도, 경도, 고도)로부터 3차원 공간 좌표(x, y, z)로 변환이 가능하다^[17,19]. 따라서 송신기(Tx)에서 수신기(Rx)로 향하는 벡터를 원하는 신호 S, 그리고 간섭원에서 피해 기지국 수신기(BS)로 향하는 벡터를 간섭 I라 하면 두 벡터가 이루는 평면을 S-I 평면이 된다. 이 두 벡터 간의 각, ψ 는 벡터 내적으로 구할 수 있으며, 이것이 그림 1에서 변별각이다^[7,19]. 고정무선시스템의 송·수신 안테나패턴은 펜슬(pencil) 빔의 회전 대칭이므로 이는 양각 및 방위각에 동일한 특성을 갖는다^[22]. 따라서 벡터 내적으로 변별각을 안다면 쉽게 송신기(Tx)에서 이동기지국 수신기로 향하는 안테나 이득을 구할 수 있다.

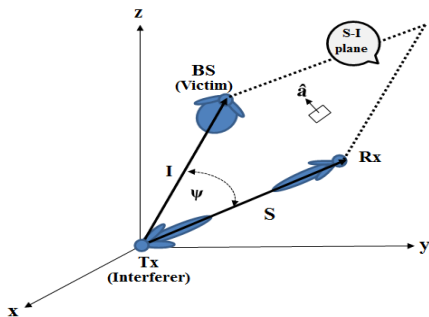


그림 4. 신호-간섭(S-I) 평면
 Fig. 4. Signal-interference (S-I) plane

표 1은 가정한 고정무선과 이동기지국 시스템의 특성을 보여 주며, 적용한 변조방식은 64-QAM이며, 특히 채널 대역폭과 중심 주파수는 관심에 따라 설정하면 된다.

표 1. 간섭원 및 피해 시스템의 변수
 Table 1. System parameters of interferer and victim

Systems	Parameters	Values
Base station (Victim)	Channel BW	6 MHz
	Modulation	64-QAM
	C/N @BER 10 ⁻⁶	26.3 dB (without coding)
	Tx power	43/46 dBm @ 6/12 MHz
	TDD BS activity factor	$\alpha = 0.5$
	Tx/ Rx ant gain	20/20 dBi
	Tx/Rx feeder loss	2/2 dB
Fixed Wireless System (Interferer)	Channel BW	40 MHz
	Modulation	64-QAM
	C/N @BER 10 ⁻⁶	26.3 dB (W/O coding)
	Tx power	33 dBm (2.0 W)
	Tx/ Rx ant gain	40/40 dBi
	Tx/Rx feeder loss	2/2 dB
Noise figure	2 dB	

2. 보호비와 다중간섭

그림 5는 보호비의 개념을 나타낸 것으로 해당 무선망에서 허용하는 희망 신호 대 간섭전력의 최소 비이다. 수신기 한계레벨은 서비스에 의존하며, 이는 BER 10^{-y}로 정의되는 S/N이며, FM(Fade Margin)은 이동통신에서는 웨도빙 마진으로 대개 10 dB이다. 그러나 방송 중계용의 고정무선시스템에서는 다중경로에 의한 페이드 마진으로 대개 연중 가용율과 거리에 따라 다르며, 대개 30 ~ 50 dB 정도이다. N/I는 잡음전력 대 간섭전력의 비로 최대허용간섭레벨을 정의하며, 서비스마다 간섭호보기준(IPC)이 종속되지만 일반적으로 N/I =3, 6, 10 dB를 갖는다.

표 2는 64-QAM 변조의 최소 보호비를 보여 주며, 코딩이 없는 경우, 요구되는 $(C/N)_{reqd} = 26.3 \text{ dB}$ 로 하였다.

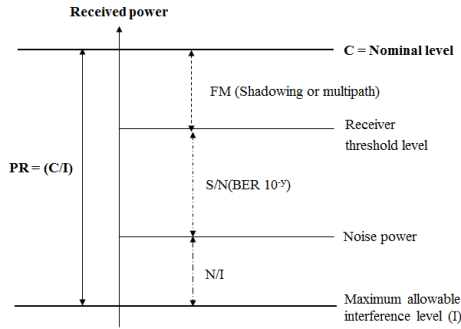


그림 5. 보호비의 도식적 개념
Fig. 5. Pictorial concept of C/I objectives or protection ratio

표 2. 64-QAM에 대한 최소 보호비
Table 2. Minimum protection ratio for 64-QAM

Parameters	Values	Remarks
$(C/N)_{rqrd}$	26.3 dB @ BER 10^{-6}	W/O coding
N	-97.98 dBm	BW=40 MHz
C	-71.68 dBm	$(C/N)_{rqrd} + N$
I	-103.98 dBm	$I/N = -6$ dB (Max. allowable interference level)
$PR(= C/I)$	32.3 dBm	Min. required C/I

주파수 조정절차에 판단기준이 되는 보호비는 해당 무선망의 피해 수신기에서 허용되는 신호와 간섭의 최소 전력비를 말한다. 일반적으로 최대허용 간섭은 다음과 같다^[7,19].

$$I_{\max} = N + NF + (I/N) \quad (1)$$

$$= -174 \text{ dBm} + 10 \log_{10} BW + NF + (I/N)$$

여기서 $N(\text{dB})$ 은 잡음전력, $NF(\text{dB})$ 는 잡음지수, I/N 은 잡음전력에 대한 최대허용간섭전력의 비로 서비스 유형에 따라 다르며, 대개 $-6 \sim -10$ dB, 그리고 $BW(\text{Hz})$ 는 피해 수신기의 대역폭을 의미한다.

가우시안과 같은 다중간섭에 의한 수신신호 열화는 백색 가우시안 잡음채널과 결합되어 전체 캐리어 대 잡음의 비, 즉 $(C/N)_T$ 는 다음과 같이 표현된다^[16,19].

$$(C/N)_T = (N/C + I/C)^{-1} \quad (2)$$

$$I/C = I_1/C + I_2/C + \dots + I_n/C \quad (3)$$

여기서, N/C 는 열잡음 대 캐리어(carrier) 비, I/C 는 등가간섭 대 캐리어 비, 그리고 $I_i/C(i=1, \dots, n)$ 는 i 번째

무작위 간섭원의 간섭 대 캐리어의 비이다.

그림 6에서는 64-QAM에 대해 N/I 에 따른 BER 곡선을 보여주며, $C/I = \infty$ 곡선은 간섭이 없는 잡음만 고려한 BER 특성을 보여준다.

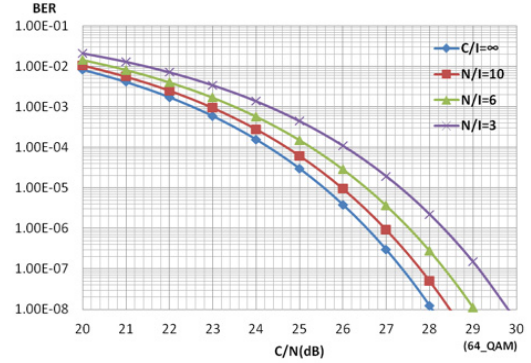


그림 6. N/I 에 따른 BER 곡선
Fig. 6. BER curve as a function of N/I

실제 무선망 설계에서 상호 공존을 위한 조건은 아래 보호비 관계를 만족해야 한다^[16,19].

$$(C/I)_{link} > (C/I)_{\min-rqrd} (= PR) \quad (4)$$

여기서 $(C/I)_{link}$ 는 실제 시스템의 특성과 링크의 전파에 측모형을 적용하여 계산된 신호 대 간섭의 비이며, $(C/I)_{\min-rqrd}$ 는 요구되는 최소 신호 대 간섭 비인 보호비(PR)로 해당 무선망에서 허용하는 최소 C/I 값을 의미한다. 따라서 결론적으로 상호 공존을 위한 주파수 조정에서는 식 (4)를 만족해야 하며, 이는 해당 무선망이 허용하는 간섭범위 내에서 서비스 품질이 보증됨을 시사한다. 만약 그렇지 않다면 주파수 조정, 시스템 또는 국소 변경 등을 통해 품질이 만족될 수 있도록 방안을 모색해야 한다.

3. 간섭 전력

피해 수신기의 간섭전력은 다음과 같다^[7,23].

$$I_{Rx} (\text{dBm}) = P_{Tx} + G_{Tx} + G_{Rx} - L_l - L_r - (92.45 + 20 \log_{10} d_{km} + 20 \log_{10} f_{GHz} + A_h) - FDR \quad (5)$$

여기서 $P_{Tx}(\text{dBm})$ 는 간섭 송신기 출력, $G_{Tx}(\theta, \phi)$ 및 $G_{Rx}(\theta, \phi)$ 는 각각 송신기 및 수신기 안테나의 방위각,

양각에 따른 이득(dB)이며, L_t 및 L_r 은 송신 및 수신 시스템의 손실을 의미한다. 그리고 $FDR(dB)$ 는 송신 스펙트럼 마스크와 수신기 필터 선택도에 의해 결정되는 주파수의존제거(Frequency Dependent Rejection: FDR)이며, 다음과 같이 표현된다^[4,16].

$$FDR(\Delta f) = 10 \log \left(\frac{\int_{-\infty}^{\infty} S(f) df}{\int_{-\infty}^{\infty} S(f) R(f + \Delta f) df} \right) \quad (6)$$

여기서 $S(f)$ 는 송신기 전력 스펙트럼밀도, $R(f)$ 는 송신기 주파수에 동조된 수신기의 수신기 선택도이다.

그림 7은 주파수 의존제거(FDR) 계산에 필요한 가정된 송신 스펙트럼 마스크(a)와 피해 시스템 수신기의 주파수 선택도(b)이며, 수신기 필터 특성은 중심주파수에서 0 dB가 되도록 보정하였다^[24]. 그림 7로부터 수치 계산된 주파수 의존제거의 결과를 그림 8에 제시하였으며, 24 MHz 이격에서 약 31 dB를 갖는다. 결론적으로 주파수 조정에서 보호비를 만족하기 위해서는 식 (5)의 결과가 식 (1)보다 작아야 한다^[6].

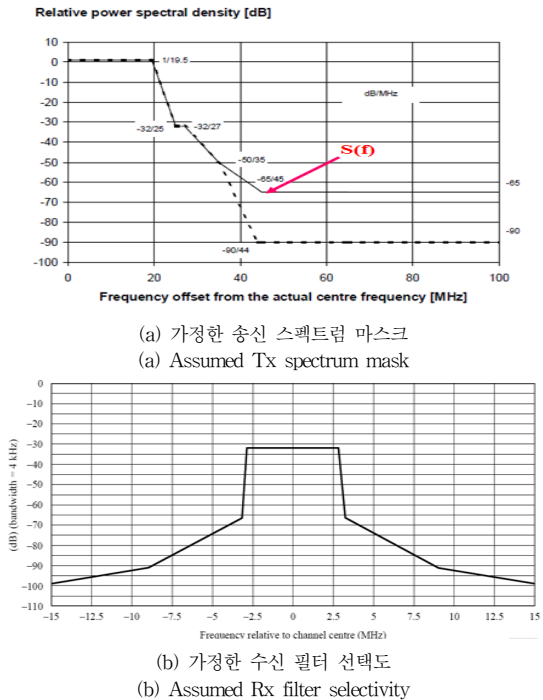


그림 7. FDR 계산에 필요한 스펙트럼마스크 및 필터
 Fig. 7. Spectrum mask and selectivity for FDR calculation

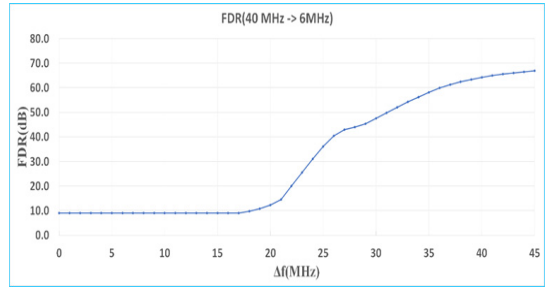


그림 8. 계산된 주파수의존제거
 Fig. 8. Calculated FDR

한편 이동통신에서는 식 (5)의 FDR 대신에 $ACIR$ 로 대체되며, 대역폭이 다른 경우에는 대역폭 정정인자를 포함하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_{Rx} (dBm) = P_{Tx} + G_{Tx} + G_{Rx} - ACIR + BW_{corr} - (92.45 + 20 \log_{10} d_{km} + 20 \log_{10} f_{GHz} + A_h) \quad (7)$$

여기서 $ACIR$ 은 인접채널 간섭 비로 송신 스펙트럼에 관련된 $ACLR$ 와 수신필터 특성에 결정되는 ACS 의 병렬로 결정되며, $BW_{corr} (dB)$ 은 서로 간섭 송신기와 피해 수신기의 대역폭이 다른 경우의 대역폭 정정이다. $ACIR$ 과 BW_{corr} 는 각각 다음과 같이 표현된다^[11,16]

$$\frac{1}{ACIR} = \frac{1}{ACLR} + \frac{1}{ACS} \quad (8)$$

$$BW_{corr} = \begin{cases} 0, & BW_{ifr} < BW_{vtm} \\ -10 \log_{10} \left(\frac{BW_{ifr}}{BW_{vtm}} \right), & BW_{ifr} > BW_{vtm} \end{cases} \quad (9)$$

4. 전파모델 및 안테나

시스템 배치를 고려한 간섭분석에 적용된 전파모델은 자유공간손실(L_{fs})에다 추가손실인 높이-이득(A_h)을 고려하였으며, 이들은 각각 다음과 같이 표현된다^[23].

$$L_{fs} (d) = 92.45 + 20 \log_{10} f_{GHz} + 20 \log_{10} d_{km} + A_h \quad (10)$$

$$A_h = 10.25 F_{fc} \times e^{-d_s} [1 - \tanh(6(\frac{h}{h_a} - 0.625))] - 0.33 \quad (11)$$

$$F_{fc} = 0.25 + 0.375 [1 + \tanh(7.5(f - 0.5))] \quad (12)$$

여기서 $d_k (km)$ 명목상의 클러터에서 안테나까지 거리, h 는 지상 안테나 높이(m), $h_a (m)$ 는 지상 명목상의 클

러터 높이이다. 그림 9는 주파수 6 GHz에서 명목상의 클러터 높이 20 m(도심), 25 m (과밀도심), $d_k = 0.02$ km에서 구한 높이-이득을 나타낸 것이다. 결과에서 알 수 있듯이 안테나 높이가 약 24 m 이상이면 A_h 가 거의 0 dB가 되어 자유공간 손실만 고려하면 된다.

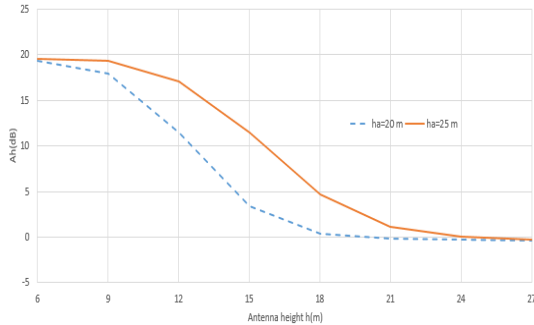


그림 9. 안테나 높이 모델에 따른 추가적 손실
Fig. 9. Additional loss with height-gain model

그림 10은 6 GHz에서 일반적으로 적용되는 고정무선 시스템의 안테나 직경 $D=2.5, 3$ m에 대해 각도(양각=방위각)에 따른 안테나 이득을 나타낸 것이며, 최대이득은 40 dB로 가정하였다^[22]. 그림 11(a)는 6 GHz에서 이동통신 기지국 안테나 이득을 각도(양각=방위각)에 최대 이득을 20, 15 dB에 대해 나타낸 것이며, 개선된 부엽레벨을 설명하는 k 는 0로 하였다^[25]. 그림 11(b)는 이동통신 기지국의 특성은 양각으로 이득이 급격히 변화하나 방위각으로는 완만히 이득이 변화함을 보여주며, -3 dB인 반전력 대역폭은 좌우 대칭을 감안하면 3-sector 구성에 필요한 약 120° 됨을 알 수 있다.

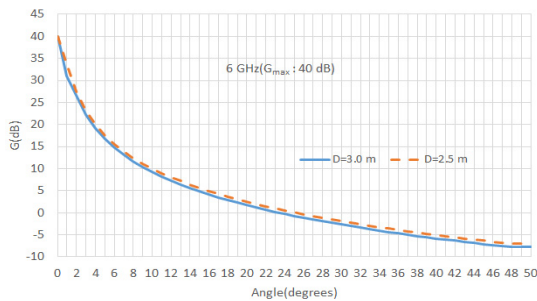
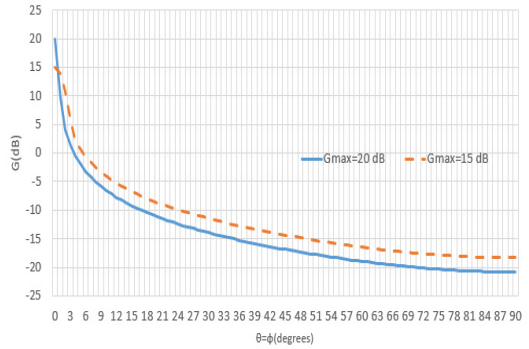
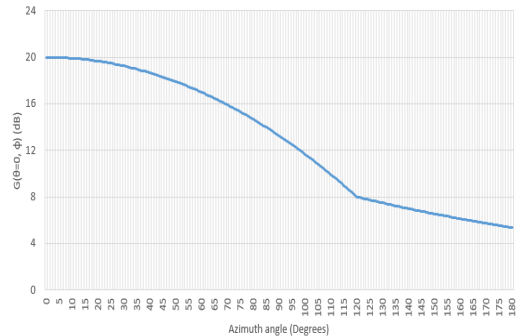


그림 10. 고정무선시스템의 안테나 이득
Fig. 10. Antenna gain of fixed wireless system



(a) 각도(양각=방위각)에 따른 안테나 이득
(a) Antenna gain with angle (azimuth = elevation)



(b) 방위각에 따른 안테나 이득(양각=0도)
(b) Antenna gain with azimuth (elevation = 0 degrees)

그림 11. 이동통신 기지국 안테나 이득
Fig. 11. Antenna gain of mobile base station

III. 수치해석 및 고찰

그림 12는 고정무선시스템에서 이동 기지국으로 간섭이 유입되는 경우, 변별각 $D=0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ 에 따른 기지국 수신기에 유입되는 간섭전력을 보여준다. 계산에 적용된 변수 값은 표1과 같으며, 피해 수신기 안테나 이득은 변별각에 관계없이 최대 20 dB로 고정하였으며, FDR은 주파수 이격 24 MHz에서 31 dB를 적용하였다. 결과에서 알 수 있듯이 변별각 10° 에서는 이격 거리 약 30 km 이상에서는 간섭전력이 최대허용간섭(I_{max})보다 적으며, 변별각 20° 이상에서는 13 km 이격만 두어도 I_{max} 보다 적어 고정무선시스템의 중심주파수로부터 약 24 MHz 이격에서는 상호운용이 가능함을 보여준다. 간섭원의 채널폭이 40 MHz, 피해 수신기(이동기지국)의 채널대역폭을 6 MHz로 가정하였으므로 두 시스템

의 중심주파가 24 MHz 이격은 1 MHz 가드밴드(guard band)을 유지함을 의미한다.

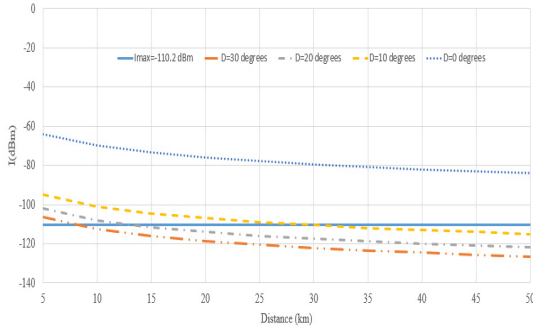


그림 12. 변별각 및 거리에 따른 기지국 수신 간섭전력
 Fig. 12. Received interference power of base station with discrimination angle and distance

그림 13은 그림 12의 결과에서 높이-이득을 고려한 기지국 수신 간섭전력이다. 앞의 그림 9에서 도심 $h_a (=20$ m), 기지국 안테나 높이 15 m 대해 $A_h = 3.5$ (dB)가 되며, 이는 자유공간 손실에 추가 손실로 더하면 된다. 결과에서 알 수 있듯이 변별각 10° 에서는 거리 약 20 km 이격이 필요하나, 변별각 20° 이상에서는 약 8 km 이격을 두면 이동통신 기지국의 최대허용 간섭보다 작아 두 시스템의 상호운영에는 문제가 없다.

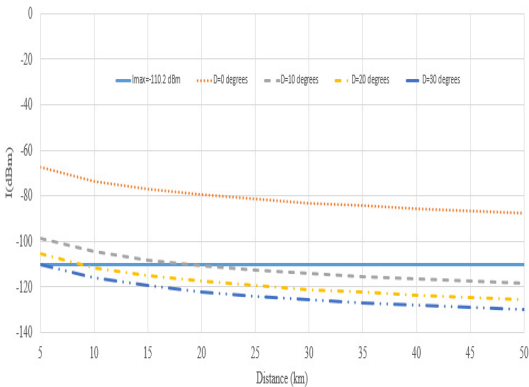


그림 13. 높이-이득 모델을 적용한 기지국 수신 간섭
 Fig. 13. Received interference with height-gain model

한편 기지국 안테나의 양각(수평을 0도 취함)의 변화에 대한 간섭전력을 살펴보기 위해 그림 14에서는 앞의 그림 11에서 $G(\theta = \phi = 3^\circ)$ 는 약 2.5 (=20-17.5) dB가 된다. 이 결과를 그림 13에 적용한 것이 그림 14이다. 변별

각 $10^\circ \sim 30^\circ$ 에서는 간섭원 송신기와 피해 수신기 간 최소 약 2.7 km 이격을 이면 상호운용이 가능할 것이며, 변별각 30° 에서는 거리 0.75 km 이상이면 만족함을 알 수 있다.

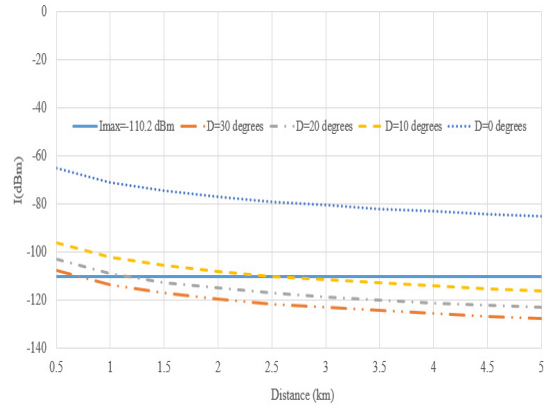


그림 14. 기지국 안테나 $G(\theta = \phi = 3^\circ)$ 에서 최소이격거리
 Fig. 14. Minimum separation distance under base station antenna $G(\theta = \phi = 3^\circ)$

IV. 결론

본 논문에서는 도심 또는 부도심 등에서 고정무선시스템과 이동기지국 간의 최소커플링 간섭분석을 위한 이론적 모델링 및 수치해석을 통한 결과를 제시하였다. 간섭분석을 위한 절차와 각 단계에서 필요한 변수들의 모델링을 통한 계산 방법, 그리고 전파전파 모델을 통한 결과를 도출하였다. 가정된 고정무선시스템과 이동기지국의 특성에 대해 S-I 평면에서 변별각 및 주파수 의존제거의 함수로 수신간섭전력을 거리 및 변별각에 따라 보호비와 비교 및 고찰하였다. MCL에 근거한 제시된 방법은 다양한 무선시스템(고정, 이동, 레이더, 위성 등) 간의 간섭분석을 위한 절차, 모델링, 보호비 및 주파수의존제거 등의 도출에 활용이 가능하여 주파수 회수 및 재배치에 요구되는 상호 양립성 판단의 기술적 분석에도 적용할 수 있다.

향후 이동 기지국에서 고정무선시스템으로 간섭에 대한 분석과 주파수의존제거(FDR)와 ACIR(인접채널간섭비)로 표현된 간섭전력의 비교 및 분석 등이 남아 있다.

References

- [1] ITU, Radiocommunication sector (ITU-R), <http://www.itu.int/itu-r>.
- [2] A study on radio frequency quality and service for frequency reallocation, Research Report, KCA, Korea, 2010.
- [3] K.W. Suh and J.H. Lee, "Experimental analysis of frequency reallocation to FM broadcasting link system for effective use in 900 MHz band," *Journal of Broadcast Engineering*, Vol. 15, No. 1, pp.99-111, 2010.
- [4] ITU, Rec. ITU-R SM.337, Frequency and distance separations, Switzerland 1997.
- [5] ITU, Report ITU-R SM.2028-1, "Monte Carlo simulation methodology for the use in sharing and compatibility studies between different radio services or systems", 2002.
- [6] NTIA technical report: INTERFERENCE PROTECTION CRITERIA Phase 1-Compilation from Existing Sources, NTIA Report 05-432, US Department of Commerce, Oct. 2005.
- [7] ITU, Rec. ITU-R M.1461-1, Procedure for determining the potential for interference between radar operating in the radiodetermination service and systems in other services, Switzerland, 2003.
- [8] ITU, Rec. ITU-R F.1095, "A procedure for determination coordination area between radio-relay stations of the fixed service".
- [9] ITU, rec. ITU-R SF.1486, "Sharing methodology between fixed and wireless access systems in the fixed service and very small aperture terminals in the fixed-satellite service in the 3400-3700 Band. Switzerland, 2000.
- [10] NTIA technical report, "technical characteristics of radiolocation systems operating in the 3.1-3.7 GHz band and procedures for assessing emc with fixed earth station receivers, NTIA TR-99-361. Dec. 1999.
- [11] ECC Report 174: Compatibility between the mobile service in the band 2500-2690 MHz and the radiodetermination service in the band 2700-2900 MHz, March 2012.
- [12] L. F. Abdulrazak and A. O. Arshed, "Interference Mitigation Technique through shielding and antenna discrimination," *IJMUE*, Vol. 10, No. 3, pp. 343-352, 2015
- [13] N.H. Jeong, J.H. Lee, K.W. Suh, "Analysis of frequency sharing between mobile systems and radiolocation radars in VHF band", The 12th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), Korea, pp.1179-1183. Feb. 7-10, 2010.
- [14] 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," *JKIICE*, Vol. 18, No. 1, p.32-41, 2014.
- [15] J. S. Yang, Y. H. Kim, J. Y. Kim, "Research on Spectral Interference of Microwave Systems", *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (JIIBC)*, Vol. 12, No. 6, pp. 241-249, 2012.
- [16] A study on analysis methodology of multi-interferences under dynamic warfare environment, Research Report, ADD, Dec. 2012.
- [17] K. W. Suh and J. S. Jang, "A study on compatibility analysis based on minimum coupling loss applicable to frequency coordination combined with geographic information", *IJMUE*, Vol. 8, No. 6, 2013.
- [18] K.W. Suh, A study on multi-site radar operations based on LFM signal, *The Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC)*, Vol. 15, No. 3, pp. 91-98, 2015.
- [19] Roger L. Freeman, *Radio system design for telecommunication*, 2nd Ed., John Wiley & Sons, Inc. 1997.
- [20] ITU, Report ITU-R M.2037, Technical feasibility of IMT in bands above 6 GHz. 2015.
- [21] Shu Sun, George R. MacCartney, Jr., and Theodore S. Rappaport, "Millimeter-Wave Distance-Dependent Large Scale Propagation Measurements and Path

Loss Models for Outdoor and Indoor 5G Systems”,
(*EuCAP 2016*), April. 2016.

- [22] ITU, Rec. ITU-R F. 699, Reference radiation patterns for fixed wireless system antennas for use in coordination studied and interference assessment in the frequency range from 100 MHz to about 70 GHz, Switzerland, 2006.
- [23] ITU, Rec. ITU-R P.452-16, Prediction procedure for the evaluation of microwave interference between stations on the surface of the Earth at frequencies above about 0.7 GHz.
- [24] ETSI EN 301 669 1.2.1 2001-02, Fixed Radio Systems; Point-to-point equipment; High capacity digital radio systems carrying STM-4 in two 40 MHz channels or 2 x STM-1 in a 40 MHz channel with alternate channel arrangement, Sophia Antipolis, France, 2001.
- [25] ITU, Rec. ITU-R F.1336-3, Reference radiation patterns of omnidirectional, sectoral and other antennas in point-to-multipoint systems for use in sharing studies in the frequency range from 1 GHz to about 70 GHz.

저자 소개

서 경 환(정회원)



- 1983년 2월: 경북대학교 전자공학사
- 1988년 3월: KAIST 전기및전자공학 공학석사
- 1991년 8월: KAIST 전기및전자공학 공학박사
- 1983년 1월 ~1988년 10월: 삼성전자 기간네트워크사업부 수석연구원
- 1999년 3월 ~현재: 강남대학교 IoT전자공학과 교수
<관심분야> : 주파수 조정 및 간섭분석, 초고주파 회로설계, 무선통신시스템설계 및 성능분석 등

박 영 민(정회원)



- 2005년 2월: 수원대학교 전자공학사
- 2004년 12월 ~2010년 1월: 로테슈바 르즈코리아 기술지원팀
- 2010년 2월 ~현재: KCA 전파진흥본부
- <관심분야> : 주파수 간섭분석 및 전송품질, 초고주파 회로 설계, 무선설비 성능분석 등

※ 본 연구는 (2017년도) 한국방송통신전파진흥원 과제지원에 의해 수행되었음