

<https://doi.org/10.7236/IIBC.2018.18.2.63>

IIBC 2018-2-8

최소결합손실 기반의 동종 또는 이종 무선시스템 간의 주파수 조정에 대한 연구

A Study on Frequency Coordination between the Same or Different Wireless Systems based upon Minimum Coupling Loss

서경환*

Kyoung-Whoan Suh*

요약 본 논문에서는 동종 또는 이종 무선시스템에 대해 최소결합손실 기반의 주파수 조정을 위한 이론적 모델링 및 계산 결과를 제시한다. 주파수 조정에 핵심 변수들인 시스템 특성, 전파전파 모델, 가용율 및 보호비, 주파수의존제거 또는 인접채널간섭비, 변별각을 고찰하고, 각각에 대해 수치계산 결과를 도출한다. 주파수 조정의 절차를 보이기 위해 도심 또는 부도심에서 간섭원 이동기지국과 피해 고정무선시스템 간의 간섭전력을 분석하며, 가정한 양 시스템 특성에 대해 변별각 및 거리의 함수로 최대허용간섭전력과 간섭 영향을 비교한다. 제시된 방법은 다양한 무선시스템의 주파수 조정에 필요한 상호 공존 또는 양립성을 위한 기술적 분석에 활용이 클 것으로 판단된다.

Abstract Theoretical modelling and computational results for frequency coordination are presented based upon minimum coupling loss regarding the same or different wireless systems. Essential parameters involved in frequency coordination are discussed in view of system characteristics, propagation model, availability and protection ratio, frequency dependent rejection or adjacent channel interference ratio, discrimination angle, and its computational results are also evaluated. To illustrate frequency coordination procedure, received interference power between fixed wireless system of victim and mobile base station of interferer are analyzed in urban or sub-urban area and also compared with maximum allowable interference power as functions of discrimination angle and distance for assumed system parameters. The proposed method will play a practical role in technical analysis on co-existence or interoperability for the various wireless systems needed for frequency coordination.

Key Words : Availability, frequency coordination, minimum coupling loss, protection ratio, frequency dependent rejection

1. 서론

최근 이동통신의 폭발적인 수요와 5G 서비스를 충족하기 위해 한정된 주파수 자원의 효율적 활용과 경제적 가치에 관심이 크게 고조되고 있다. 세계통신연합-전파

(ITU-R)에서는 신규 서비스를 위한 주파수 할당과 기술적 기준 등을 논의 및 정립하며^[1], 또한 각 정부에서는 신규 서비스 수용을 위해 경제성이 낮은 기존 서비스 대역을 회수 또는 타 대역 이전 등의 불가피하게 주파수 조정을 수행하는 일이 발생한다^[2-5].

*정희원, 강남대학교 IoT전자공학과
접수일자: 2018년 1월 24일, 수정완료: 2018년 2월 26일
게재확정일자: 2018년 4월 6일

Received: 24 January, 2018 / Revised: 26 February, 2018
Accepted: 6 April, 2018
Corresponding Author: kwsuh@kangnam.ac.kr
Dept. of IoT Electronics Engineering, Kangnam University, Korea

주파수 조정은 기존 및 신규 서비스 대역 간 또는 주파수 재배치 시 인접대역 간의 상호공존 또는 상호운용성을 위해 필요한 기술적 분석과 판단을 요구한다. 분석은 원하는 신호(S)와 원하지 않는 신호(I) 간에 간섭분석이 이루어지며, 판단은 해당 무선망에 요구되는 전파품질을 만족하는 최소허용간섭으로 표현되는 간섭보호기준을 충족해야 한다^[6-8]. 간섭분석 방법은 정적인 최악 경우를 가정한 최소결합손실(Minimum Coupling Loss: MCL)과 동적인 통계 기반의 확률에 의한 몬테카를로가 있다^[9,10]. 전자는 주로 레이더, 위성지구국, WiMAX, 이동지구국 등의 고정된 무선시스템 간, 그리고 후자는 이동통신의 단말기와 같이 동적환경을 고려한 무선시스템의 간섭분석에 적용된다^[11-15].

이러한 간섭분석에 필요한 핵심 변수들은 크게 송·수신 시스템 특성, 무선채널 환경인 전파 모델링, 최소허용간섭을 나타내는 간섭보호기준, 채널에 유입되는 간섭 전력인 주파수의존제거(Frequency Dependent Channel Rejection: FDR) 또는 인접채널간섭비(Adjacent Channel Interference Ratio: ACIR), 가용율에 관련된 페이드 마진(Fade Margin: FM), 안테나 특성을 고려해야 한다^[9,16-18]. 특히 FDR 및 ACIR은 송신기 스펙트럼 마스크와 수신기 필터특성에 의존하며, 전자는 이중 시스템 간, 후자는 동종 시스템 간에 적용되고 있다^[2,7].

따라서 본 논문에서는 신규 주파수 수요에 부응하기 위해 필요한 동종 또는 이중 서비스 대역과의 간섭문제를 주파수 조정차원에서 해석하고자 한다. 이를 위해 이동지구국과 고정무선시스템 간의 간섭 문제를 분석하며, 이를 위해 최소결합손실 방법에 근거하여 가정한 도심 또는 부도심에 존재하는 피해 고정무선시스템과 간섭원 이동지구국 간의 시스템 특성, 경로손실 모델링, 변별각, 주파수의존제거, 가용율 등을 도출한다. 또한 간섭전력을 도출하고 상호 공존을 위한 판단에 필요한 전파품질인 보호비와 비교 및 분석을 한다.

II. 보호비 및 간섭

1. 주파수 조정 및 신호-간섭 평면

그림 1은 간섭원과 피해 수신기 간의 주파수 조정에 대한 개념을 시스템적으로 도식한 것이다. 입력 변수로부터 간섭 및 잡음전력, 용도별 열화(N/I) 등 계산을 통해

간섭보호기준과 비교를 근거로 상호 공존을 보장하는 주파수 및 거리 이격 등을 결정한다.

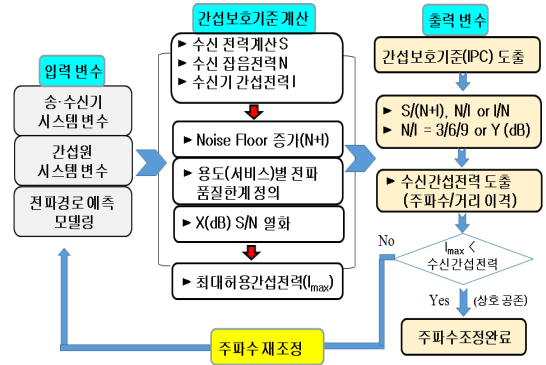


그림 1. 주파수 조정의 개념도

Fig. 1. Pictorial concept of frequency coordination

그림 2는 고정무선시스템과 간섭원이 둘인 경우, 공간상 배치를 신호-간섭(S-I) 평면을 나타낸 것이다. 각 시스템에 대해 공간 좌표(위도, 경도, 고도)가 주어지면 3차원 공간 좌표(x, y, z)로 변환이 가능하다^[2,7]. 따라서 송신기(Tx)에서 수신기(Rx)로 향하는 벡터를 원하는 신호 S, 그리고 간섭원(지구국 및 레이더)에서 피해 고정무선 수신기(Rx)로 향하는 벡터를 간섭 I_1, I_2 라 하면 이들 벡터가 이루는 평면은 2개의 S-I 평면이 된다. 벡터 S, I 간의 각도(변별각), ψ_1, ψ_2 는 벡터 내적으로 구할 수 있으며, 다중간섭일 때도 확장이 가능하다^[7,8].

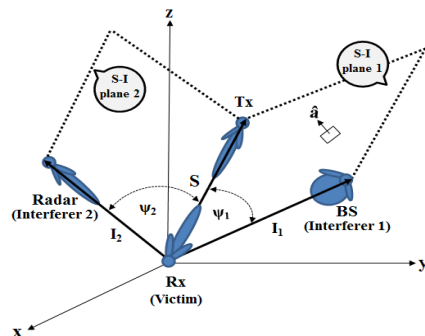


그림 2. 신호-간섭(S-I) 평면

Fig. 2. Signal-Interference (S-I) plane

그림 3에서는 다중간섭원이 존재할 때 피해 수신기에 수신되는 간섭전력을 간섭보호기준(IPC)과 비교하여 주파수 양립성을 판단하는 개념을 도식화한 것이며,

$(C/N)_T$ 는 간섭으로 인해 C/N 이 열화된 것을 의미한다. 가우시안 유형의 다중간섭에 의한 수신신호 열화는 백색 가우시안 잡음채널과 결합되어 전체 캐리어(carrier) 대 잡음의 비($C/N)_T$ 는 다음과 같이 표현된다^[16,19].

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

여기서 N/C 는 잡음 대 캐리어 비, I/C 는 등가간섭 대 캐리어 비로 $I/C = I_1/C + I_2/C + \dots + I_n/C$ 이다.

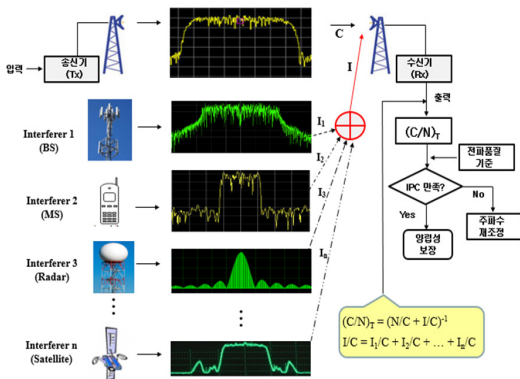


그림 3. 다중 간섭원과 피해 시스템
 Fig. 3. multi-interferes and victim system

2. 시스템 및 보호비

그림 4는 간섭원인 이동기지국과 피해 수신기인 고정무선시스템 간의 배치 보여주며, 이동기지국과 고정무선시스템의 송·수신기와 이루는 각을 변별각(discrimination angle)이라 한다. 고정무선시스템의 안테나는 회전 대칭의 펜슬(pencil) 패턴이며, 양각 및 방위각에 동일한 특성을 갖는다^[20]. 따라서 변별각으로부터 이동기지국(BS) 또는 레이더에서 고정무선시스템 수신기(Rx)의 수신 안테나 이득은 쉽게 구할 수 있다.

그림 5는 고정무선시스템 대역의 양 쪽에는 이동기지국 및 레이더 시스템의 주파수 배치를 가정한 것이다. 고정무선시스템의 채널(Ch.) 또는 채널 N은 이웃하는 대역의 서비스 간에 간섭 유입을 배제하기 위한 주파수 이격 또는 적절한 지리적 이격 등을 고려해야 한다. 그리고 표 1은 가정한 이동기지국 및 고정무선시스템의 특성을 나타낸 것으로, 특히 채널 대역폭과 중심 주파수는 관심에 따라 설정하면 된다.

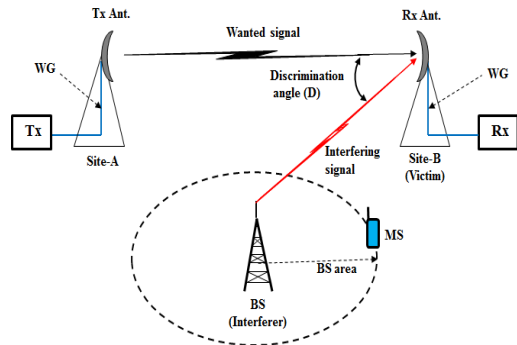


그림 4. 이동기지국 및 고정무선시스템
 Fig. 4. Mobile base station and fixed wireless system

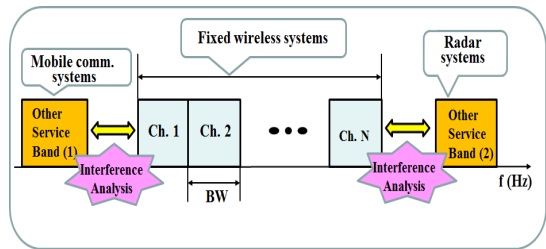


그림 5. 서비스별 대역 배치
 Fig. 5. Frequency band allocations for services

표 1. 간섭원 및 피해 시스템의 변수

Table 1. System parameters of interferer and victim

Systems	Parameters	Values
Fixed Wireless System (Victim)	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
Base station (Interferer)	Noise figure	2 dB
	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	
Noise figure	2 dB	

고정무선시스템에서 다중경로 페이딩은 상호심볼간섭(Inter-Symbol Interference: ISI)으로 인해 전송품질에 영향을 준다. 따라서 무선망 설계 시 페이드 마진(Fade Margin: FM)을 고려한 연간 가용율 예측이 필수적으로

수반된다^[21]. ITU-R 권고 P.530에서는 가용을 설정에 요구되는 페이드 마진은 다음과 같이 주어진다^[22].

$$FM(dB) = 10\log_{10}(Kf^{0.8}d^{3.1}(1+|\epsilon_p|)^{-1.29}) - 10\log_{10}(p_w) - 0.00089h_L \quad (2)$$

여기서 f 는 주파수(GHz), d 는 경로길이(km), $|\epsilon_p| = |h_t - h_r|/d$ 로 경로 경사각(milliradians), p_w 는 시간백분율(%), h_L : 더 낮은 안테나의 해발 높이(m), K 는 지형기후인자로 $K = 10^{-4.6 - 0.0027dN_1}$ 이다. dN_1 은 년 평균 1%를 초과하지 않을 대기의 가장 낮은 65m 이내에서의 점 굴절 기울기(point refractivity gradient)이며, ITU-R 권고 P.453 에서 1.5° 격자로 위도 및 경도에 제공되고 있다. 그리고 p_w (%)는 수신 신호가 통신불능(outage: 수신신호가 수신한계레벨 이하 때 발생)이 되지 않을 연간 확률을 의미한다^[23].

그림 6은 $p_w = 0.001$ (가용율=99.999%), $dN_1 = 100$, $h_L = 100$ m, $|\epsilon_p| = 0$, $f = 4, 6$ GHz 에서 구한 페이드 마진이며, $d = 50$ km, $f = 6$ GHz 에서는 약 40 dB이다.

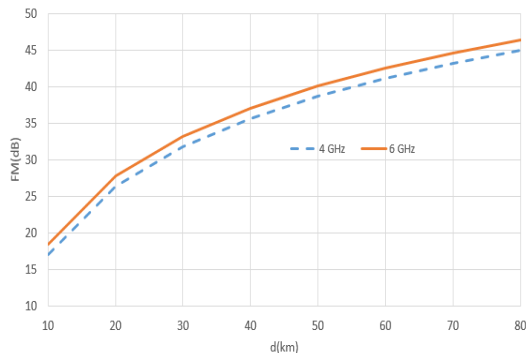


그림 6. 가용율 99.999% 에 대한 페이드 마진
Fig. 6. Fade margin for 99.999% availability

그림 7은 보호비를 도식적으로 나타낸 것으로 이는 해당 무선망에서 허용하는 희망 신호(C) 대 간섭전력(I)의 최소 비이며, S/N, FM, N/I로 구성된다. 신호 대 잡음의 비(S/N)은 BER(비트오율) 10^{-6} 로 표현되는 수신한계레벨, N/I는 잡음 대 간섭의 전력 비로 최대허용간섭을 정의한다. 서비스별 간섭호보기준이 상이하며, 일반적으로 N/I = 3, 6, 10 dB 를 갖는다. 따라서 최대허용간섭 I_{max} 은 잡음을 기준으로 다음과 같이 표현된다^[26,7].

$$I_{max} = N + NF + (I/N) = -174dBm + 10\log_{10}BW + NF + (I/N) \quad (3)$$

여기서 N 은 잡음전력, NF 는 잡음지수, I/N 은 잡음에 대한 최대허용간섭전력의 비로 서비스 유형에 따라 다르며, BW 는 피해 수신기의 대역폭(Hz)을 의미한다.

표 2는 64-QAM 변조의 최소 보호비와 간섭과 가용율을 고려한 요구되는 보호비를 나타내었으며, 코딩이 없는 경우에 요구되는 $(C/N)_{rqrd}$ 을 26.3 dB로 하였다.

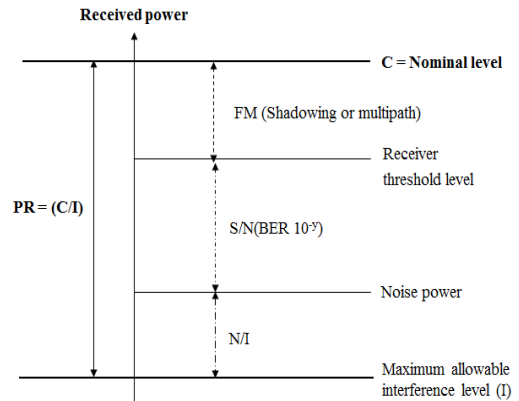


그림 7. 보호비의 개념
Fig. 7. Concept of protection ratio

표 2. 64-QAM의 최소 보호비
Table 2. Minimum protection ratio of 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 W/O interference
	72.3 dBm (=32.3+40)	@ Availability =99.999% d=50 km, f=6 GHz

그림 8은 64-QAM에 대해 $C/I = \infty, 40, 30, 25$ dB 에 따라 산출된 BER 특성을 보여주며, $C/I = \infty$ 의 특성은 간섭이 없는 순수 잡음만 고려한 결과임을 알 수 있다.

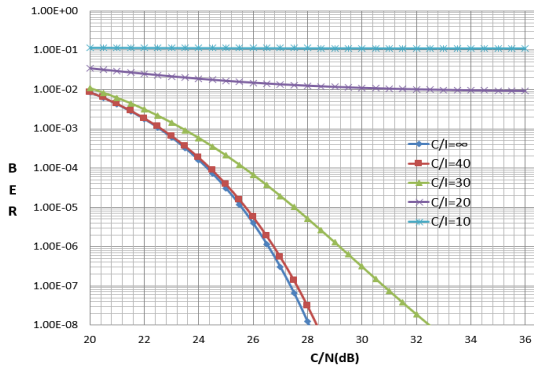


그림 8. N/I 에 따른 BER 곡선
 Fig. 8. BER curve as a function of N/I

실제 무선망 설계에서 상호공존 또는 운영에 요구되는 조건은 다음과 같다^[8,17].

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

여기서 $(C/I)_{link}$ 는 시스템의 특성과 링크의 전파모델을 적용하여 계산된 신호 대 간섭의 비이며, $(C/I)_{min-rqrd}$ 는 요구되는 최소신호 대 간섭의 비인 보호비(PR)로 해당 무선망에서 허용하는 최소 C/I 값을 의미한다. 만약 식 (4)가 만족되지 않을 경우에는 주파수, 시스템, 국소 변경 등을 통해 요구되는 품질이 만족되도록 해야 한다.

3. 간섭전력 및 FDR/ACIR

이중 시스템 간의 간섭분석에서 피해 수신기의 간섭 전력, I_{Rx} (dBm)은 다음과 같이 표현된다^[8,17].

$$I_{Rx} = P_{Tx} + G_{Tx} + G_{Rx} - L_t - L_r - L_{pl} - FDR \quad (5)$$

여기서 P_{Tx} 는 간섭원의 송신출력, G_{Tx} 및 G_{Rx} 는 방위 각(ϕ), 양각(θ)에 따른 송신 및 수신 안테나의 이득(dB)이며, L_t 및 L_r 은 송신 및 수신 시스템의 손실(dB)이다. 그리고 L_{pl} 은 전파경로 손실(dB), FDR 은 송신기의 스펙트럼 마스크와 수신기의 필터 선택도에 의해 결정되는 주파수존제거(dB)로 다음과 같이 표현된다^[7,9].

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

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

한편 채널 대역폭이 동일한 동종 또는 이종 무선시스템의 간섭분석에서는 FDR 대신에 $ACIR$ 을 적용하며, 대역폭이 다른 경우에는 대역폭 교정인자를 포함하여 식 (6)은 다음과 같이 표현된다^[2,17].

$$I_{Rx} = P_{Tx} + G_{Tx} + G_{Rx} - L_t - L_r - L_{pl} - ACIR + BW_{corr} \quad (7)$$

여기서 $ACIR$ 은 인접채널 간섭 비(dB)로 송신 스펙트럼에 관련된 $ACLR$ (Adjacent Channel Leakage Ratio) 및 수신필터 특성에 의존하는 ACS (Adjacent Channel Selectivity)와의 병렬로 산출되며, BW_{corr} 은 간섭원과 피해 수신기의 대역폭이 다른 경우에 적용되는 교정 값(dB)이며, 이들은 각각 다음과 같이 표현된다^[2,11,15].

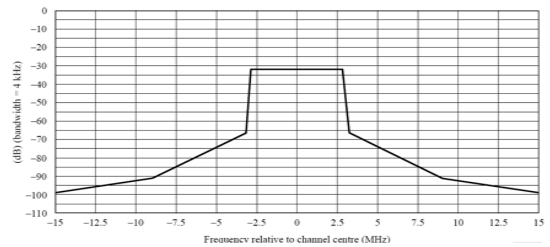
$$\frac{1}{ACIR} = \frac{1}{ACLR} + \frac{1}{ACS} \quad (8)$$

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

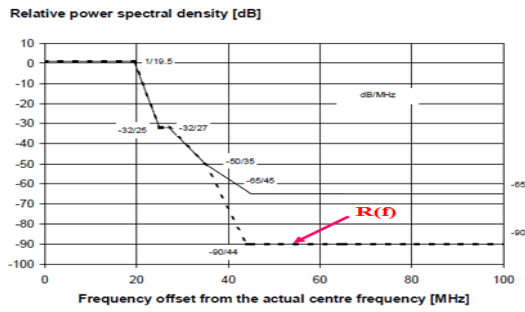
여기서 BW_{ifr} 및 BW_{vtm} 은 각각 간섭원 및 피해 수신기의 주파수 대역폭(Hz)이다.

결론적으로 주파수 조절을 통해 상호공존을 보장하기 위해서는 식 (5) 또는 (7)의 결과가 식 (2)보다 작아야 한다^[6,8].

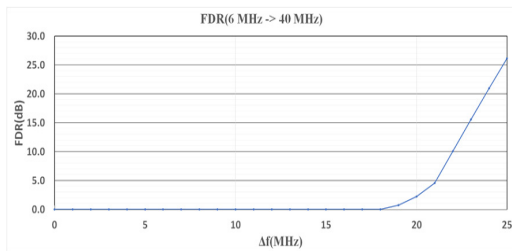
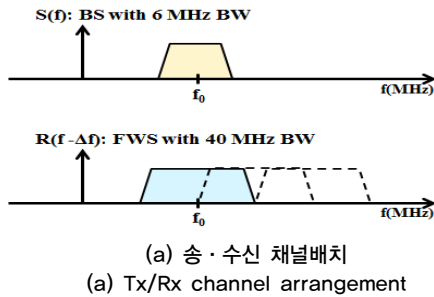
그림 9는 FDR 계산을 위해 가정한 송신 스펙트럼 마스크와 피해 수신기의 주파수 선택도이며, 송신 스펙트럼 마스크는 중심 주파수에서 0 dB 가 되도록 보정하였다^[24]. 계산된 결과를 그림 10에 나타내었으며, 20, 25 MHz 이격에서 각각 약 2.2, 26.5 dB를 갖는다.



(a) 가정한 송신 스펙트럼 마스크
 (a) Assumed Tx spectrum mask

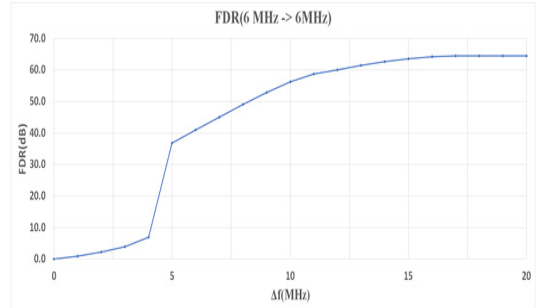
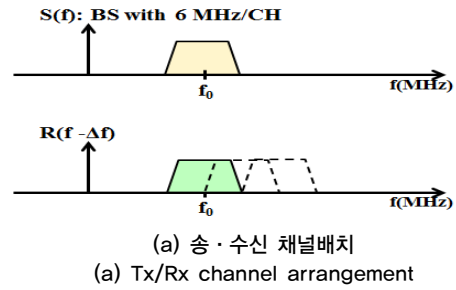


(b) 가정한 수신 필터 선택도
(b) Assumed Rx filter selectivity
그림 9. FDR 계산에 필요한 스펙트럼마스크 및 필터
Fig. 9. Spectrum mask and selectivity for FDR calculation



(a) 송·수신 채널배치
(a) Tx/Rx channel arrangement
(b) 계산된 FDR
(b) Calculated FDR
그림 10. 채널배치 및 주파수의존제거
Fig. 10. Channel arrangement and FDR

한편 그림 9(a)와 같이 이동통신 기지국의 채널 대역폭이 6 MHz, 송신 스펙트럼 마스크와 수신 필터 선택도가 동일한 것으로 가정한 경우, 계산된 FDR 및 ACIR을 각각 그림 11 및 표 3에 나타내었다. 첫 및 두 번째 인접 채널의 중심주파수 6 및 12 MHz에서 FDR과 ACIR의 결과들이 매우 일치함을 알 수 있다. 따라서 동종 또는 이종 무선시스템 간의 간섭분석에 적용되는 식 (5) 또는 식 (7) 중에 어느 것을 적용해도 무방함을 알 수 있으며, 대역폭이 동일한 경우에는 BW_{corr} 이 0 dB 가 된다.



(b) FDR 결과
(b) FDR result
그림 11. 6 MHz 채널 및 주파수의존제거
Fig. 11. 6 MHz channel and FDR

표 3. 계산된 ACIR

Table 3. Calculated ACIR

	ACLR(dB)	ACS(dB)	ACIR(dB)
1 st adjacent ch.	43.8	43.8	40.8
2 nd adjacent ch.	65.2	65.2	62.2

4. 전파모델링 및 안테나 이득

도심 또는 부도심에서 그림 4와 같이 이동기지에서 고정무선시스템의 수신기로 간섭이 유입되는 경우, 식 (5)의 전파경로손실 L_{pl} 은 자유공간손실(L_{fs}) 및 추가손실인 높이-이득(A_h)을 고려해야 하며, 이들은 각각 다음과 같이 표현된다^[25].

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

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

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

여기서 f_{GHz} 및 d_{km} 는 각각 주파수(GHz) 및 거리(km)이며, F_{fc} 는 중심주파수(GHz) $d_k(km)$ 명목상의 클러터(clutter)에서 안테나까지 거리, h 는 지상 안테나 높이(m), $h_a(m)$ 는 지상 명목상의 클러터 높이이다.

그림 12는 주파수 6 GHz에서 $h_a=20$ m(도심), 25 m(과밀도심), $d_k=0.02$ km 에서 구한 높이-이득이다. 결과에서 알 수 있듯이 안테나 높이가 약 24 m 이상이면 $A_h \approx 0$ dB로 자유공간 손실만 고려하면 된다^[17].

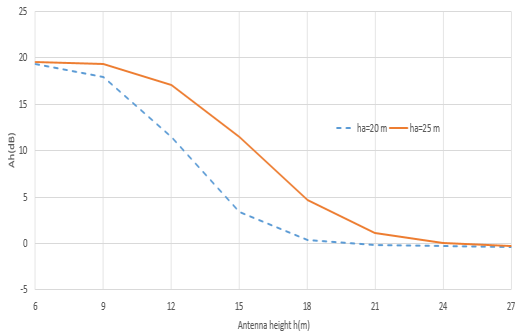


그림 12. 안테나 높이-이득 모델의 추가적 손실
 Fig. 12. Additional loss with antenna height-gain model

그림 13은 6 GHz에서 일반적으로 근 ~ 장거리 방송 중계에 적용되는 고정무선시스템의 안테나 직경(D)에 대해 회전 대칭적인 각도(양각=방위각)에 따른 이득으로 최대 이득(G_{max})은 40 dB로 설정하였다^[17,20]. 그림 14(a)는 6 GHz 에서 이동통신 기지국 안테나 이득을 각도(양각=방위각) 및 최대 이득에 대해 나타낸 것으로 개선된 부엽레벨을 설명하는 $k=0$ 로 하였다^[26]. 그림 14(b)에서 알 수 있듯이 이동통신 기지국 안테나 특성은 양각으로 급격히 변화하나 방위각으로는 완만함을 보여준다.

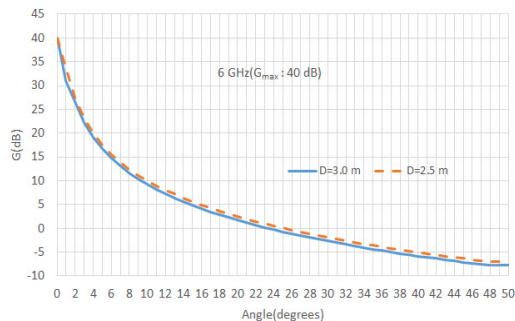
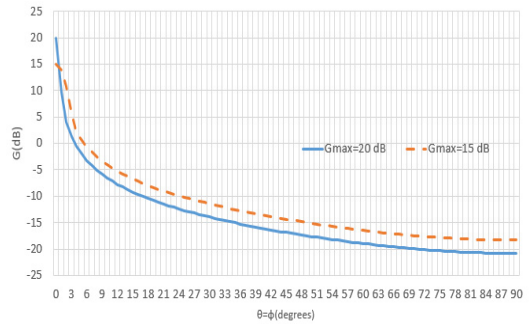
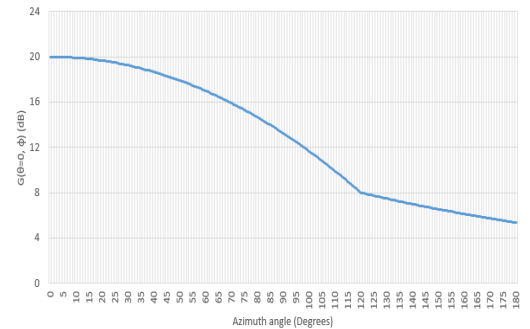


그림 13. 고정무선시스템의 안테나 이득
 Fig. 13. Antenna gain of fixed wireless system



(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 14. 이동통신 기지국 안테나 이득
 Fig. 14. Antenna gain of mobile base station

이상에서 설명한 주파수 조정에 필요한 간섭분석의 변수 및 조건 등을 그림 15에 종합적으로 정리하였으며, 최종적으로 간섭전력과 상호공존을 위한 허용최대간섭과의 비교가 이루어진다.

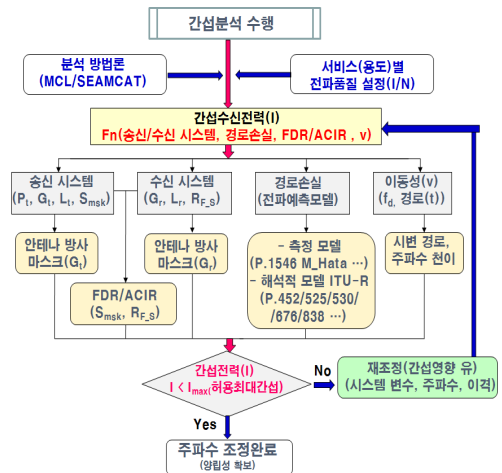


그림 15. 간섭분석에 필요한 핵심 요소
 Fig. 15. Key parameters needed for interference analysis

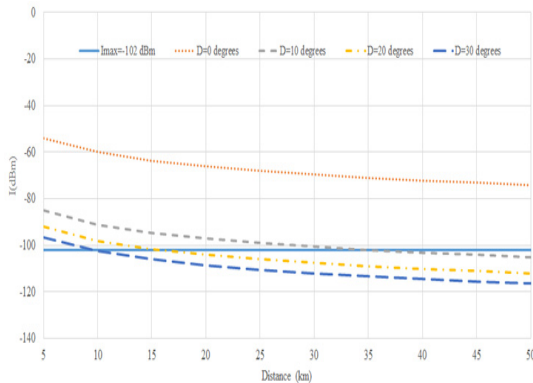


그림 16. 변별각 및 거리에 따른 고정무선시스템 간섭전력
 Fig. 16. Interference power of fixed wireless system with discrimination angle and distance

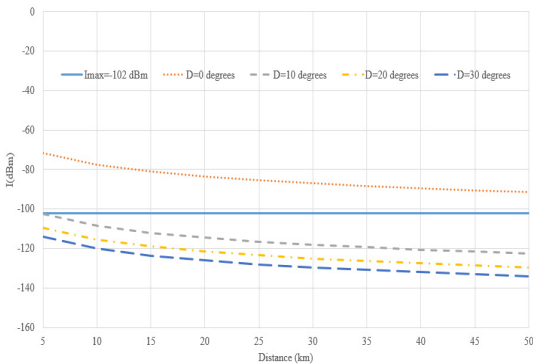


그림 17. 이동기지국 안테나 이득 $G(\theta = \phi = 3^\circ)$ 에서 고정무선시스템의 간섭전력
 Fig. 17. Interference power of fixed wireless system with mobile base station antenna gain $G(\theta = \phi = 3^\circ)$

III. 수치해석 및 고찰

그림 16은 그림 4와 같이 이동기지국에서 고정무선시스템으로 간섭이 유입되는 경우, 변별각 $D=0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ 에 따른 수신 간섭전력을 보여준다. 계산에 적용된 시스템 변수 값은 표1과 같으며, 전파모델은 자유공간손실만 적용하였다. 간섭원 송신기의 안테나 이득은 변별각에 관계없이 최대 20 dB로 고정하였으며, FDR은 주파수 이격 24 MHz에서 약 21 dB를 적용하였다. 변별각 10° 에서는 이격 거리 약 35 km 이상이 되어야 간섭전력이 최대허용간섭(실선) 보다 적으며, 변별각 20° 이상에서는 16 km 이격만 두어도 최대허용간섭보다 적어

고정무선시스템의 중심주파수로부터 약 24 MHz 이격에서는 상호운용이 가능함을 보여준다. 즉 간섭원의 채널대역폭이 6 MHz, 피해 수신기인 고정무선시스템의 채널대역폭은 40 MHz로 가정하였으므로 피해 수신기의 중심주파수로부터 24 MHz 이격은 이동기지국의 중심주파수로부터 3 MHz를 제외하면 상호간 1 MHz 보호 주파수대가 있음을 의미한다.

한편 기지국 안테나의 양각(수평= 0°)의 변화에 대한 간섭 전력을 살펴보기 위해 그림 17에서는 그림 14에서 기지국 안테나를 수평에서 아래로 $\theta=3^\circ$, 그리고 기지국의 최대 안테나 이득으로부터 방위각 $\phi=3^\circ$ 에서 안테나 이득 $G(\theta=\phi=3^\circ)$ 은 약 2.5 ($=20-17.5$) dB가 되며, 이 결과를 동일하게 적용한 것이다. 변별각 10° 이상에서는 간섭원 송신기와 피해 수신기 간 최소 약 5.0 km 이격을 두면 상호운용이 가능하며, 변별각 30° 에서는 해당 곡선을 연장해 보면 거리 약 1.0 km 이상이면 만족할 것으로 추정된다.

그리고 그림 12와 같이 안테나 높이-이득 모델을 적용할 수 있는 도심 또는 부도심의 전파환경에서는 추가 손실이 발생하는 경우 즉, 수신 안테나의 높이가 명목상 클러터의 높이(h_a)보다 낮은 경우에는 그림 17의 결과보다 두 시스템 간의 거리 이격은 더 근접하게 됨을 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 동종 또는 이종 무선시스템에 대해 최소결합손실 기반의 주파수 조정을 위한 이론적 모델링 및 수치해석 결과를 제시하였다. 고정무선시스템의 주파수 조정에 핵심 변수인 시스템 특성, 전파전파, 가용용 및 보호비, 주파수의존제거 또는 인접채널간섭비, 변별각을 고찰하고, 각각에 대해 수치계산 결과를 제시하였다. 도심 또는 부도심에서 가정한 간섭원 이동기지국과 피해 고정무선시스템의 특성에 대해 S-I 평면에서 변별각 및 주파수의존제거의 함수로 수신간섭전력을 거리 및 변별각에 따라 계산하고, 최대허용간섭레벨과 비교 및 고찰하였다. 최소결합손실에 근거한 제시된 방법은 다양한 무선시스템(고정, 이동, 레이더, 위성 등) 간의 간섭분석을 위한 절차 및 모델링, 보호비, 주파수의존제거 또는 인접채널간섭비 등의 산출에 활용이 가능하여 주파수 회수

및 재배치에 요구되는 상호 양립성 판단을 위한 기술적 분석의 근간으로 정립될 수 있다.

향후 주어진 이중 무선시스템에 대해 상호 공존에 요구되는 최소보호대역 정립에 필요한 송신 스펙트럼 마스크와 수신 필터의 최적설계, 그리고 그에 따른 성능분석 등이 남아 있다.

References

- [1] ITU, Radiocommunication sector (ITU-R), <http://www.itu.int/itu-r>.
- [2] A study on measurement of the radio frequency quality regarding frequency bands and their services for frequency reallocation, Research Report, KCA, Korea, 2017.
- [3] A study on radio frequency quality and service for frequency reallocation, Research Report, KCA, Korea, 2010.
- [4] 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.
- [5] K.W. Suh, A study on multi-site radar operations based on LFM signal, *The Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, Vol. 15, No. 3, pp. 91-98, 2015.
DOI: <https://dx.doi.org/JIIBC.2015.15.3.91>
- [6] NTIA technical report: INTERFERENCE PROTECTION CRITERIA Phase 1-Compilation from Existing Sources, NTIA Report 05-432, US Department of Commerce, Oct. 2005.
- [7] A study on analysis methodology of multi-interferences under dynamic warfare environment, Research Report, ADD, Dec. 2012.
- [8] 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.
- [9] ITU, Rec. ITU-R SM.337, Frequency and distance separations, Switzerland, 2008.
- [10] ITU, Report ITU-R SM.2028, "Monte Carlo simulation methodology for the use in sharing and compatibility studies between different radio services or systems", Switzerland, 2017.
- [11] ITU, Rec. ITU-R M.2030, "Coexistence between IMT-2000 time division duplex and frequency division duplex terrestrial radio interface technologies around 2 600 MHz operating in adjacent bands and in the same geographical area", Switzerland, 2003.
- [12] ITU, Rec. ITU-R F.1095, "A procedure for determination coordination area between radio-relay stations of the fixed service", Switzerland, 1994.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] ITU, Rec. ITU-R SF.766, "Methods for determining the effects of interference on the performance and the availability of terrestrial radio-relay systems and systems in the fixed satellite service", Switzerland, 1992.
- [17] K.W. Suh and Y.M. Park, "A Study on frequency coordination between fixed wireless and mobile base station in urban or sub-urban area", *JIIBC*, Vol. 17, No. 6, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2017.17.6.41>
- [18] L. F. Abdulrazak and A. O. Arshed, "Interference

Mitigation Technique through shielding and antenna discrimination,” IJMUE, Vol. 10, No. 3, pp. 343-352, 2015.

- [19] A. A. R. Townsend, “Digital line-of-sight radio links: A handbook”, Prentice-Hall, Upper Saddle River, N. J., 1988.
- [20] 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.
- [21] K. W. Suh, “A generalized formulation of the protection ratio applicable to frequency coordination in digital radio relay networks,” Radio Science, vol. 42, RS1007, doi:10.1029/2006RS003470, 2007.
- [22] ITU, Rec. ITU-R P.530, “Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems”, Switzerland, 2017.
- [23] ITU, Rec. ITU-R P.453, “The radio refractive index: its formula and refractivity data”, Switzerland, 2017.
- [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 P.452, “Prediction procedure for the evaluation of microwave interference between stations on the surface of the Earth at frequencies above about 0.7 GHz”, Switzerland, 2015.
- [26] ITU, Rec. ITU-R F.1336, “Reference radiation patterns of omnidirectional, sectoral and other antennas for the fixed and mobile services for use in sharing studies in the frequency range from 400 MHz to about 70 GHz”, Switzerland, 2014.

저자 소개

서 경 환(정회원)



- 1983년 2월 : 경북대학교 전자공학사
- 1988년 3월 : KAIST 전기및전자공학 공학석사
- 1991년 8월 : KAIST 전기및전자공학 공학박사
- 1983년 1월 ~ 1998년 10월 : 삼성전자 수석연구원
- 1999년 3월 ~ 현재 : 강남대학교 IoT전자공학과 교수
 <주관심분야 : 주파수 조정 및 간섭분석, 초고주파 회로설계, 무선통신시스템설계 및 성능분석 등>

※ 본 연구는 (2017학년도) 강남대학교 교내연구비 지원에 의해 수행되었음