

2.1GHz대역에서 LTE-Advanced 서비스를 위한 인접대역과의 간섭평가 및 양립방안 연구

김대중^{1*} · 정광수²

Study on coexistence through interference evaluation between 2.1GHz band and adjacent band for LTE-Advanced service

Daejung KIM^{1*} · Kwangsue Chung²

¹Department of Electronics Communication Engineering, KwangWoon University, Seoul 139-701, Korea

²Department of Electronics Communication Engineering, KwangWoon University, Seoul 139-701, Korea

요 약

현재 이동통신3사가 보유한 총 주파수는 390MHz에 이르지만 LTE 데이터 트래픽의 경우 1년 기준으로 약 6배가량 증가하고 있는 상황에서 폭증하는 트래픽을 감당하기 위해서는 좀 더 많은 주파수 확보가 필요하다. 2.1GHz 대역은 주파수 특성, 대역의 연속성 측면에서 이동통신용 주파수로 이용할 가치가 있다. 본 논문에서는 2.1GHz 대역을 LTE-Advanced로 활용하기 위해 인접 지역과의 양립을 위한 국제법규를 분석하였다. 또한, 간섭평가를 실시하고 그 결과 값 도출을 통해 인접 대역과 양립 가능성을 증명하였다.

ABSTRACT

Currently, the three major Korean mobile operators hold a total of 390MHz of bandwidth, but at the current data traffic increase of almost 6 times per year, more frequency bandwidth should be secured in order to meet the exploding data traffic in the future. It is believed that 2.1GHz frequency band is suitable for mobile communication in the light of frequency characteristics and continuity of the band. In this paper, we perform compliance analysis with the international radio regulation for coexistence with the adjacent region in order to use 2.1GHz band for LTE-Advanced. In addition, we verify that 2.1GHz band can coexist with the adjacent band by conducting an interference evaluation.

키워드 : LTE-Advanced, 2.1GHz, 간섭평가, 양립성, 인접채널 간섭 전력비

Key word : LTE-Advanced, 2.1GHz, Interference evaluation, Coexistence, Adjacent Channel Interference Power Ratio

접수일자 : 2013. 11. 15 심사완료일자 : 2013. 12. 16 게재확정일자 : 2013. 12. 30

* **Corresponding Author** Daejung KIM (E-mail: kdj@tta.or.kr, Tel:+82-31-724-0090)

Department of Electronics Communication Engineering, KwangWoon University, Seoul 139-701, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkice.2014.18.1.32>

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

현재 이동통신 3사가 보유한 총 주파수는 390MHz에 이르지만 LTE 데이터 트래픽의 경우 1년 기준으로 약 6배가량 증가하고 있는 상황에서 폭증하는 트래픽을 감당하기 위해서는 좀 더 많은 주파수 확보가 필요하다. 이동통신용으로서의 활용을 위해 고려중인 다양한 주파수 대역 중에서 2.1GHz 대역은 지상 IMT 또는 위성 IMT 용으로 사용할 수 있도록 분배한 대역이다. 2.1GHz는 주파수 특성, 대역의 연속성 측면에서 이동통신용 주파수로 이용할 가치가 있다. 하지만, 2.1GHz 대역을 이동통신 용으로 사용하기 위해서는 국제적 규제에 대한 분석이 필요하며 인접 대역과의 양립 여부를 판단하여야 한다.[1]. 본 논문에서는 2.1GHz대역의 LTE-Advanced 활용을 위하여 국제 법규 분석을 통하여 인접 지역 양립을 위한 규제 조건을 파악하고 양립 방안을 모색한다. 또한 인접 대역과의 양립 조건을 시뮬레이션을 통해 분석한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 2.1GHz 대역의 이용 현황 및 LTE-Advanced 서비스용으로 활용할 경우에 대한 고려사항을 기술하였고, 3장에서는 국제 법규 분석을 통한 인접 지역과의 양립 방안을 모색하였다. 4장에서는 인접 대역과의 양립 가능성을 간섭평가를 통해 판단하였으며, 마지막으로 5장에서는 결론을 맺었다.

II. 관련 연구

2.1. 2.1GHz 대역 이용 현황

2.1GHz 대역은 정확히 1980-2010MHz 및 2017-2200MHz 대역을 의미하며 1992년 개최된 WRC(World Radio Conference)에서 지상 IMT 또는 위성 IMT용으로 사용할 수 있도록 분배한 대역이다. 그림 1은 2.1GHz 대역 및 인접 대역의 이용 현황을 나타낸다. 이후 본 대역을 이용, 2005년 12월 미국은 2개 사업자에게 위성 IMT용으로 심사, 할당하고 위성을 발사 한 바 있다. 하지만 이후 모두 파산하였고 현재 Dish Network이 위성을 인수하여 서비스하고 있으나 실적이 저조한 실정이다. 해법을 통한 서비스 활성화를 위해 FCC(Federal Communication Committee)는 Dish Network이 동 대역을 지상용과 겸용할 수 있도록 허가할 것으로 알려져 있다.



그림 1. 2.1GHz 대역 현황
Fig. 1 2.1GHz Band Status

또한 유럽에서는 2008년 4월 DBSD, 2009년 7월 TerraStar가 위성을 발사한 바 있고 2009년 Solaris Mobile이 위성을 발사하였으나 기기 결함 등으로 인해 아직까지 서비스가 정상궤도에 오르지 않았다. 이런 상황을 인식하여 EU(European Union)는 할당된 주파수를 회수하고 지상망으로 사용할 것인지, 기존사업자에게 계속 사업을 하도록 할지에 대해 검토 중인 것으로 알려져 있다.

우리나라의 경우, 2011년 모바일 광개토 플랜 [2]에 따라 본 대역을 2013년까지 단기 이동통신용으로 발표 한바 있다. 하지만 국제표준 연계 문제, 인접국 상황을 고려하고 있어 2013년까지는 활용방안이 나오기 어려울 것으로 보인다.

2.2. 2.1GHz대역에서의 LTE-Advanced 서비스 활용 시 고려 사항

표 1은 2013년 8월에 실시된 주파수 경매결과를 포함, 2013년 10월 현재 이동통신3사가 보유한 총 주파수다. 이 중 주파수 경매 조건에 따라 SKT 주파수 중 1.8GHz 대역 20MHz폭은 6개월 내 반납 예정이므로 사실상 총 390MHz이다. 그림2는 2013년 4월 기준, 무선통신 기술방식 별 트래픽 추이를 나타낸다. LTE 트래픽의 경우 2012년 4월 대비 약 6배가량 증가함을 알 수 있다. 현재와 같은 추세가 지속된다면 표 1에 나타난 주파수만으로는 폭증하는 트래픽을 대처하기에는 힘들 것으로 예측된다. 상기 상황을 고려할 때, 2.1GHz 대역은 주파수 특성, 대역의 연속성 측면에서 LTE-Advanced와 같은 이동통신용으로 유용한 주파수이므로 활용 방안에 대한 분석이 필요하다. 하지만, 2.1GHz 대역을 이동통신용으로 사용하기 위해서는 두 가지 고려 사항이 있다. 첫째, 2.1GHz 대역은 LTE와 같은 지상용으로서의 배타적 사용권을 주지 않았기 때문에 국제적 규제에 대한 분석이 필요하다.

표 1. 이동통신 3사 주파수 할당현황

Table. 1 3Mobile Operator's Frequency Status

구분	SKT	KT	LGU+	계
800/900MHz	30MHz	30MHz	20MHz	80MHz
1.8GHz	55MHz**	35MHz	20MHz	110MHz
2.1GHz	60MHz	40MHz	20MHz	120MHz
2.3GHz (WiBro)	30MHz	30MHz	-	60MHz
2.5GHz			40MHz	40MHz
계	175MHz	135MHz	100MHz	410MHz

[단위:TB]

구분	2G	3G	4G	WiBro	WiFi	합계
2012.1월	21	20,707	2,838	2,685	3,497	29,748
2월	18	20,063	4,181	2,630	3,145	30,037
3월	16	21,627	5,525	3,037	3,695	33,900
4월	14	21,621	7,958	2,989	3,756	36,338
5월	14	22,165	10,578	3,102	4,100	39,958
6월	13	22,199	12,578	3,077	4,118	41,985
7월	11	22,611	15,501	3,115	3,812	45,051
8월	11	22,770	18,035	3,275	4,078	48,169
9월	9	20,376	19,532	3,145	4,519	47,581
10월	9	21,007	21,493	3,164	4,282	49,955
11월	9	19,975	23,614	3,255	4,517	51,370
12월	9	20,267	27,687	3,453	4,546	55,963
2013.1월	8	19,996	30,355	3,522	4,380	58,262
2월	8	17,437	31,946	3,270	3,713	56,375
3월	8	18,565	40,503	3,584	4,567	67,227
4월	8	17,839	42,993	3,658	4,894	69,331
5월	8	17,097	44,497	3,810	5,449	70,861
6월	8	15,669	45,532	3,696	5,592	70,497
7월	8	15,826	50,344	3,884	5,442	75,503
8월	8	15,411	53,578	3,840	5,847	78,684
9월	8	14,061	55,579	3,884	6,164	79,696
10월	7	13,356	59,163	4,113	6,831	83,469

그림 2. 국내 이동통신 트래픽 현황

Fig. 2 Mobile Traffic Status in Korea

상기 상황을 고려할 때, 2.1GHz 대역은 주파수 특성, 대역의 연속성 측면에서 LTE-Advanced와 같은 이동통신용으로 유용한 주파수이므로 활용 방안에 대한 분석이 필요하다. 하지만, 2.1GHz 대역을 이동통신용으로 사용하기 위해서는 두 가지 고려 사항이 있다. 첫째, 2.1GHz 대역은 LTE와 같은 지상용으로의 배타적 사용권을 주지 않았기 때문에 국제적 규제에 대한 분석이 필요하다. 둘째, 인접 대역인 1920-1980MHz 3GPP 밴드1 및 2010-2025MHz TDD 3GPP 밴드34와 양립 조건을 분석하여야 한다.

III. 국제법규 분석

3.1. 인접 지역 양립을 위한 규제 조건

주파수는 전 세계 공통 자원으로서 주변국과 혼, 간섭 방지 등을 위해서 특정용으로 운용하기 위해서는 ITU(International Telecommunication Union)에 등록을 하여야 한다. 본 대역 또한 LTE-Advanced 용으로 운용하기 위해서는 지상망의 송수신 제원을 포함하는 문서를 ITU에 제출하는 행위인 지상망 국제등록이 필요하다. 국제 전파규칙 No. 5.389A에 따르면 2.1GHz대역을 이용하는 위성망은 No. 9.11A에 따른 위성망 우주국과 지상국간 조정을 수행하도록 규정하고 있다. 또한 전파규칙 No. 9.17 과 No. 9.18에서 지상망 송, 수신 무선국과 지구국간 조정을 수행하도록 규정하고 있다. 전파규칙에서 조정이란 동일 주파수 대역을 이용하는 무선국간 유해 혼신 발생 방지를 위한 협의를 의미하며 해당 무선국의 국제등록 절차 수행을 통해 조정권이 확보됨을 의미한다. 즉 동일 주파수 대역을 이용하는 위성 망 우주국과 지상망간 유해 간섭, 또는 동일 주파수 대역을 이용하는 위성 망 지구국과 지상망간 유해 간섭 발생할 수 있으므로 조정이 필요하다. 아울러 어떤 시스템이든지 국제 등록된 체원 내에서 실제적인 운용이 이루어져야 한다. 즉, 위성망 우주국과 지상국 간 조정은 위성 망 조정자료 공표일 당시에 운용 중인 지상망과 3년 이내 운용 예정인 지상망의 경우 조정 대상이 되며 실제 운용 중이어야 한다. 또한 위성 망 지구국과 지상국간 조정은 지구국 조정자료 접수일 당시에 운용 중인 지상망과 3년 이내 운용 예정인 지상망의 경우 조정 대상이 된다. 따라서 다른 국가의 2.1GHz 대역 위성 망 조정자료의 공표 현황을 파악한 이후 우리 정부의 이익제기를 통해 조정 대상 국가로의 포함 여부를 확인하여야 한다. 중국, 일본 등 인접국이 2.1GHz 대역에서 위성 망을 운영할 경우 주파수를 보호하기 위해서는 기술한 바와 같이 실제 상용화 망이 없다 할지라도 실험국 등록을 사전에 하여야 하며 이때 향후 사용 계획 예정인 LTE-Advanced와 같은 지상망 송수신 제원을 포함하여야 한다. 또한 실제 조기 구축을 통해 국내 무선망 활용을 위한 호환성 검토와 인접국 위성 망으로부터의 간섭 신호레벨 측정 등을 통해 국내 지상망 운용의 근거를 확보할 필요가 있다. 예를 들어 위성전파감시센터를 통해 중국 및 일본의 위성신호세기 측정을 상시적으로 실

시하여 실질적인 국내무선망의 간섭 여부를 파악할 필요가 있다.

3.2. 인접지역과의 양립방안

중국은 2.1GHz 대역을 위성용으로 이용할 계획임을 발표하였고 일본 또한 2013년 말 까지 2.1GHz 대역 이용 방안을 마련할 계획인 가운데 Softbank는 위성, 지상 겸용 서비스를 준비 중인 것으로 알려져 있다. 인접국인 일본과 중국이 모두 2.1GHz 대역을 위성용으로 사용할 경우 우리나라가 LTE-Advanced로 본 대역을 이용하는 것은 기술적으로 쉽지 않다. 그러므로 중국이 쏘아 올릴 위성과 우리나라가 사용할 LTE-Advanced간 유해 손실이 발생할 수 있음을 중국에 밝혀 협상을 시작하여야 한다. 만일 중국이 우리나라 지상을 보호해줄 규정적 의무가 없다고 주장할 경우 시스템 즉 지상망 TDD 등 사용을 전제로 협상 테이블에 끌어 들여야 할 것으로 보인다. 또한 협상이 진전되지 않을 것을 대비하여 일본과의 공조 방안도 검토해보아야 하며 상기 협상으로도 실질적인 주파수 대역 확보가 쉽지 않을 경우 지상 LTE-Advanced 망 구축이 아닌 지상, 위성 겸용 방식과 같이 분할하여 사용하는 방안으로 전환해야 한다.

IV. 인접대역과의 간섭평가

본 장에서는 2.1GHz 대역의 LTE-Advanced 활용 여부에 대한 두 번째 고려 사항인 인접 대역과의 양립 조건을 시뮬레이션을 통해 분석한다. 이를 위해 먼저 간섭 분석을 위한 시뮬레이션 시나리오를 정의하고 모델링을 수행하였으며, 이후 시뮬레이션 결과를 분석하였다.

4.1. 시뮬레이션 시나리오

그림 3과 표 2는 2.1GHz 대역이 3GPP의 신규 운용 대역(New Band)이 되었다는 가정 하에 인접대역인 Band1, Band34와의 혼, 간섭 분석을 위한 시뮬레이션 시나리오 구성도이다. 신규 운용대역은 간섭원(Aggressor)이며 Band1과 Band34는 피간섭원(Victim)이 된다. 현재 Band1에서는 10MHz 대역폭을 기본으로 하는 LTE시스템이 운용 중에 있고 Band34는 TDD대역으로 지정되어 있으므로 LTE TDD 시스템이 운용되고 있다고 가정하였고 환경은 도시 밀집 지역 및 500m 셀 크기로 가정하

였다.

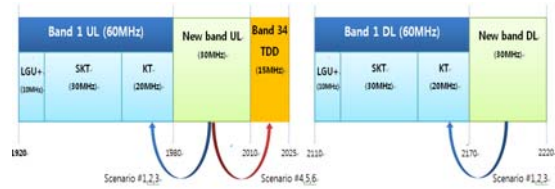


그림 3. 인접대역과 시뮬레이션 시나리오

Fig. 3 Simulation Scenario with Adjacent band

표 2. 인접대역과 시뮬레이션 시나리오

Table. 2 Simulation Scenario with Adjacent band

	AG	VI	Fre.	환경	ISD	셀
1	10MHz LTE-FDD	10MHz LTE-FDD	2.1GHz	Urban	750m	500m
2	15MHz LTE-FDD	10MHz LTE-FDD	2.1GHz	Urban	750m	500m
3	20MHz LTE-FDD	10MHz LTE-FDD	2.1GHz	Urban	750m	500m
4	10MHz LTE-FDD UL	10MHz LTE-TDD UL	2.1GHz	Urban	750m	500m
5	15MHz LTE-FDD UL	10MHz LTE-TDD UL	2.1GHz	Urban	750m	500m
6	20MHz LTE-FDD	10MHz LTE-TDD UL	2.1GHz	Urban	750m	500m

4.1.1. 기지국과 단말기 모델

표 3은 시뮬레이션 시행을 위한 기지국과 단말기의 가정 파라미터 값이다. 기지국을 중심으로 단말기들이 일정하게 분포하지 않는 형태를 가정하였으므로 어떤 단말기의 경우 셀 경계 지역에 위치한 가장 최악의 시나리오가 될 수 있는 상황이 될 것이다. 아울러 단말기와 단말기 간의 경우에도 마찬가지로 단말기들이 일정하게 분포하지 않는 상황 가정과 함께 셀 경계지역에 위치한 최악의 시나리오를 가정하였다. 또한 단말기 안테나의 경우, 0dBi의 안테나 이득을 가진 무방향성 패턴 안테나(Omni-directional Radiation Pattern)로 가정하였다. 표 4는 기지국 안테나의 가정 파라미터 값을 나타낸다. 여기서 안테나 이득 값은 Feeder Loss를 포함하여 15dBi로 가정하였다.

표 3. 기지국 및 단말기의 가정 파라미터 값

Table. 3 Presumed Parameter Values of Base station and User Terminal

파라미터	가정
Deployment 시나리오	표1의 시나리오
BS 총 Tx 출력 값	46 dBm for 10 MHz LTE,
기지국 노이즈 값	5 dB
UE 총 Tx 출력 값	23 dBm for 10 MHz LTE
단말기 노이즈 값	9 dB

표 4. 기지국 및 단말기의 가정 파라미터 값

Table. 4 Presumed Parameter Values of Base station and User Terminal

파라미터	가정
안테나 패턴 (horizontal)	$A(\theta) = -\min \left[12 \left(\frac{\theta}{\theta_{3dB}} \right)^2, A_0 \right], -180 \leq \theta \leq 180, \theta_{3dB}$ 는 3dB 빔 폭이며 65 각도. $A_0 = 20dB$ 로서 최대감쇄를 가정
안테나 이득 (+ feeder loss)	15dBi

4.1.2. 전파(傳播) 및 채널 모델

송신 안테나 커넥터로부터 수신 안테나 커넥터로의 경로 손실(Path Loss)은 안테나 이득 및 케이블 손실을 포함하며 다음 식(1)에 의해 결정되어진다. G_{Tx} 는 송신 안테나 패턴과 케이블 손실을 고려한 수신 안테나 방향으로의 송신 안테나 이득이다. G_{Rx} 는 송신 안테나 방향으로의 수신안테나 이득이다. 상이한 전개 시나리오에서의 상광 경로 손실은 표 5와 같다.

$$Path_Loss = Max (L(R) + Log_normal_Fading - G_{Tx} - G_{Rx}, MCL) \quad (1)$$

표 5. 경로손실모델

Table. 5 Path Loss Model

파라미터	가정
Shadow fading	10 dB
Shadowing correlation	셀 간: 0.5, 섹터 간: 1.0
MCL	70dB(BS↔UE), 40dB(UE↔UE)
L(R) / (BS ↔ UE)	$L = 128.1 + 37.6 * \log_{10}(R) + 21 * \log_{10}(f_c / 2.0)$ ** 기지국 안테나 높이는 평균 빌딩 높이보다 15m 위이며 R은 기지국과 단말기 사이의 거리이다. f_c 는 중심주파수를 의미한다.

L(R) / (UE ↔ UE)	단말기와 단말기 간 혼, 간섭 모델은 H. Xia 경로손실모델 공식을 적용함 [1][2], 본 공식에 의하면 기지국 안테나 높이는 평균 빌딩 높이보다 아래에 위치해 있음. 또한 이전에 수행되었던 UTRA 양립 연구[1]와 근사 값으로 함. LOS 조건에서 경로손실을 결정하는 거리는 50m로 가정함
------------------	--

4.1.3. 인접채널 간섭 전력비 모델

ACIR (Adjacent Channel Interference power Ratio)은 간섭원으로부터 송신된 총 출력 값과 피간섭원 수신기에 영향을 준 총 혼, 간섭 출력 값 간의 비율로서 결정된다. 사실 ACIR값은 송, 수신기 시스템이 기술 특성상 완벽하지 않기 때문에 발생된다. 즉 ACIR은 $P_{aggressor} / P_{victim}$ 이다. 상향에서 ACIR은 단말기 ACIR값에 의해 좌우된다. 그림 4 및 표 6에서 보는 바와 같이 각각의 ACIR 값의 대역폭은 LTE-Advanced 단말기의 송신 대역폭과 동일한 것으로 간주한다. ACIR1/2 위치 밖에서, ACIR3는 모든 위치를 위해 사용되어 졌다. 이는 실제 스펙트럼 모양에 근거하여 ACIR3가 ACIR2보다 작은 것으로 간주하는 모델이다.

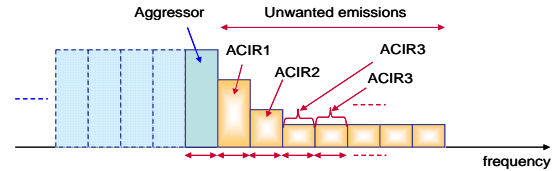


그림 4. 상향 ACIR 모델
Fig. 4 Uplink ACIR Model

표 6. RB 오프셋 및 상향 ACIR 모델

Table. 6 RB Offset 및 Uplink ACIR Model

간섭/피간섭 시스템 간 주파수 오프셋	ACIR 값 (dB)
0RBs	30 + X
16RBs	43 + X
32RBs	50 + X

이하에서 그림 5와 표 7에서 보는 바와 같이 LTE-Advanced 인접채널 누설 전력비(Adjacent Channel Leakage power Ratio)로부터 얻어지는 공통의 ACIR과 간섭원 단말기의 인접채널감도(Adjacent Channel Selectivity) 요구조건은 간섭원 주파수 채널에서 그들의 위치와 독립적인 모든 주파수 자원 블록을 위해 사용될 수 있다.



그림 5. 하향 ACIR 모델
Fig. 5 Downlink ACIR Model

표 7. ACS 및 ACIR 모델
Table. 7 ACS and ACIR model

	간섭원		
	10 MHz LTE	15MHz LTE	20MHz LTE
ACS	ACS1=33dB, ACS2=34.3dB, ACS3=46.3dB [3]		
평균 ACIR	33.6 dB	35.2 dB	36.4dB

LTE-Advanced 기지국의 ACLR은 피 간섭원 시스템의 ACS보다 매우 크다. 그러므로 ACIR을 결정하는데 무시할만한 정도이다. 즉 $ACIR = Average + X$ (in dB)이며 X는 Average와 관계되는 오프셋 값이다. Average는 다음 식(2)에 의해 각각의 규격에 의거한 UE ACS 요구 조건 (ACS1, ACS2 and ACS3)으로부터 결정된다.

$$\frac{1}{10^{0.1 \cdot P_{Average}}} = \frac{1}{Aggressor's\ BW} * \left(\frac{5}{10^{0.1 \cdot P_{ACS1}}} + \frac{5}{10^{0.1 \cdot P_{ACS2}}} + \frac{Aggressor's\ BW - 10}{10^{0.1 \cdot P_{ACS3}}} \right) \quad (2)$$

FDD 상향채널이 인접해 있을 때 TDD 하향의 경우에 ACIR은 ACLR과 ACS 어느 하나의 값에 의해서 특정화 되지 않는다. 단말기의 ACLR과 ACS는 다른 요인보다 그리 크지 않다. 그러므로 ACIR 계산에 있어서 간섭원 단말기의 ACLR과 피간섭원 단말기의 ACS 양쪽 모두를 고려해야 한다. 주파수 채널에서 피 간섭원으로서의 가해 단말기의 위치에 의존하는 피 간섭원의 ACS는 다른 ACS 값이 적용된다. 그림 6에서 UE2와 UE4와 같은 간섭원의 단말기에서 ACS는 두 개의 ACS에 의한 평균값이다. 결과적으로 표 8에서는 주파수 채널에서 간섭원의 단말기의 위치에 따른 ACS 값을 나타내고 있다.

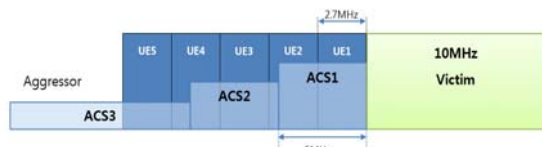


그림 6. TDD 하향, ACS 모델하향 ACIR 모델 (FDD 상향에 의해 간섭을 일으킬 때)
Fig. 6 TDD downlink, ACS model downlink ACIR model (interfered by uplink FDD)

표 8. TDD 하향, ACS 모델하향 ACIR 모델
Table. 8 TDD downlink, ACS model downlink ACIR model

	UE1	UE2	UE3	UE4	UE5
ACS	33.6	33.7	34.3	35.7	46.3

공통 ACLR값은 그림 7 및 그림 8에 나타난 바와 같이 공통 ACLR 값은 피간섭원의 채널 상에 있는 ACLR 값 들을 평균화하여 얻어진다. 평균 ACLR은 채널 상, 간섭원 단말기의 위치에 따라 표9에 나와 있다. 결과적으로 ACIR값은 표10과 같이 $1/(1/ACLR + 1/ACS)$ 식에 의해 계산된다.

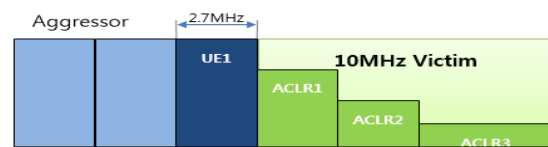


그림 7. 상향 ACLR 모델(UE1)
Fig. 7 Uplink ACLR Model(UE1)

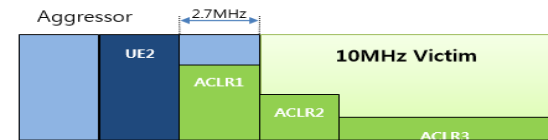


그림 8. 상향 ACLR 모델(UE2)
Fig. 8 uplink ACLR model(UE2)

표 9. 간섭원 단말기에 따른 평균 ACLR 값
Table. 9 Average ACLR values of each Aggressor UEs

	UE1	UE2	UE3
ACLR 평균	37.1	47.6	50

표 10. 간섭원 단말기에 따른 평균 ACIR 값
Table. 10 Average ACIR values of each Aggressor UEs

	UE1	UE2	UE3	UE4	UE5
ACIR	32	33.5	34.2	35.5	44.7

4.1.4. 상향 전력 제어

3GPP 기술규격 TS 36.213에 의해, 서브프레임 i에서 PUSCH(Physical Uplink Shared Channel) 송신 시에 단말기 송신 전력은 다음 식(3)에 의해 구해진다. 여기서 $\Delta_{TF}(i)$ 와 $f(i)$ 는 0dB이고, PL은 규격 5.1.1.6에 규정된

CL과 동일하다 [3]. $P_{o_PUSCH}(j)$ 는 실제 송신 전력이 PC Set 1/2과 동일하게 되어야하는 CLx-ile로부터 유추된 것으로서 이 원칙에 따라, $P_{o_PUSCH}(j)$ 는 각 단말기에는 16RBs (Resource Block)가 점유하고 있다고 가정하고 아래 표 11에 포함되어 있는 값을 따른다. 여기서 P_{cmax} 는 $P_{PowerClass}$ 와 동일한 것으로 가정한다.

$$P_{PUSCH}(i) = \min(P_{cmax}, 10 \log_{10}(M_{PUSCH}(i) + P_{o_PUSCH}(j) + \alpha(j) \cdot PL + \Delta_{TF}(i) + f(i))) \quad (3)$$

표 11. $P_{o_PUSCH}(j)$ 값(dBm)

Table. 11 $P_{o_PUSCH}(j)$ Values(dBm)

파라미터 세트	알파값	P0_PUSCH(j)[dBm]	
		10,15,20 MHz LTE-FDD	15 MHz LTE-TDD
Set 1	1	-101	-101
Set 2	0.8	-92.2	-92.2

4.1.5. 서브 프레임 당 단말기 수

하향에서 서브 프레임 당 단말기 수는 시뮬레이션 결과에 영향을 주지 않는다. 그 이유는 총 송신전력은 일정하기 때문이다. 하지만 총 송신전력이 서브 프레임 당 단말기의 수에 따라 달라지기 때문에 상향에서의 서브 프레임 당 단말기 수는 시뮬레이션 결과에 영향을 줄 수 있다. 하나의 단말기의 자원 블록의 수는 통상적으로 실제 상향 스케줄러에서 8개에서 16개이기 때문에 서브 프레임 당 단말기의 수는 다음 식(4)에 의해 결정된다.

$$(\text{서브 프레임 당 단말기의 수}) = \text{round down} \left(\frac{(\text{시스템에서 RB 총 수})}{15} \right) \quad (4)$$

시뮬레이션에서 스케줄러는 라운드 로빈 스케줄러로 가정하였고 트래픽 모델은 풀 버퍼 트래픽으로 가정하였으며 시뮬레이션 인터페이스는 Shannon bound [4] 인터페이스로 가정하였다.

4.2. 시뮬레이션 결과

4.2.1. 하향FDD LTE에 의한 10MHzLTE-FDD 영향

하향 FDD LTE에 의한 10MHz LTE-FDD 영향 시뮬레이션은 다음 가정에 의해 시행되었다. 먼저 간섭원은 10/15/20MHz LTE-Advanced이고, 피 간섭원 시스템은 10

MHz LTE이다. 시뮬레이션 주파수는 2100 MHz이며 Macro Cell, Urban Area 환경을 가정하였다. 셀 레인지는 500 m이다. 평균 하향 셀 용량 손실과 관련된 시뮬레이션 결과는 표 12 및 그림 9와 같이 얻어지며 5% CDF 하향 사용자 용량 손실 시뮬레이션 결과는 표 13 및 그림 10과 같이 얻어진다.

표 12. 평균 하향 셀 용량 손실

Table. 12 Average downlink cell throughput loss

오프셋 값 [dB]	간섭원		
	10 MHz LTE-A	15 MHz LTE-A	20 MHz LTE-A
-20	13.71	11.06	9.48
-15	6.70	5.21	4.34
-10	3.14	2.39	1.97
-5	1.46	1.12	0.93
0	0.49	0.35	0.27
5	0.31	0.26	0.23
10	0	0	0
15	0	0	0

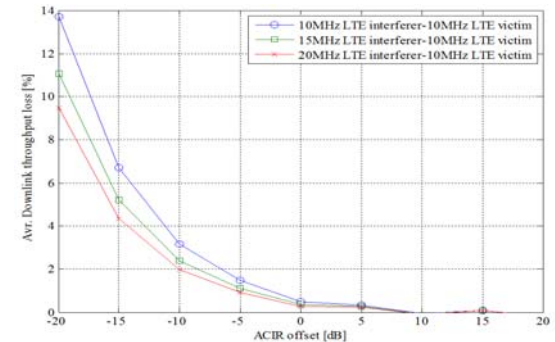


그림 9. 평균 하향 셀 용량 손실

Fig. 9 Average downlink cell throughput loss

표 13. 5%-ile 하향 용량 손실

Table. 13 5%-ile downlink throughput loss

오프셋 값 [dB]	간섭원		
	10 MHz LTE-A	15 MHz LTE-A	20 MHz LTE-A
-20	54.08	43.73	37.25
-15	11.87	20.03	16.78
-10	5.07	9.12	7.66
-5	1.71	3.65	2.96
0	0.36	1.34	1.07
5	0.2	0.18	0.11
10	0.2	0.14	0.11
15	0	0	0

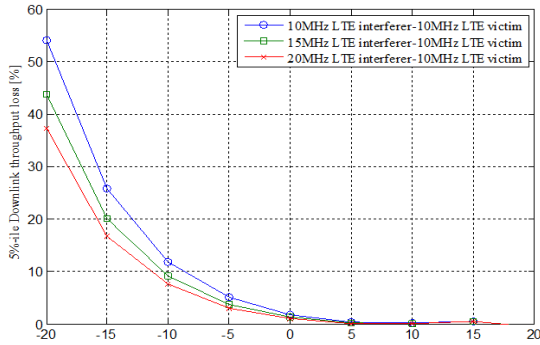


그림 10. 5%-ile 하향 용량 손실
Fig. 10 5%-ile downlink throughput loss

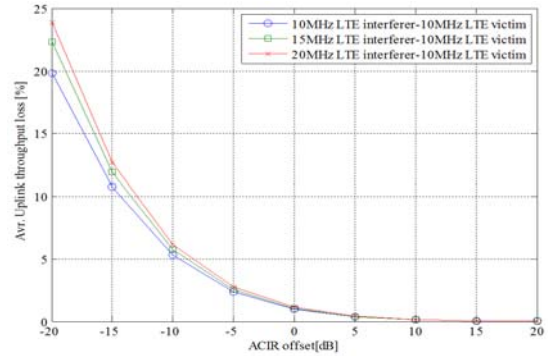


그림 11. 평균 상향 용량 손실
Fig. 11 Average Uplink throughput loss

4.2.2. 상향 FDD LTE에 의한 10MHz LTE-FDD 영향

상향 FDD LTE에 의한 10MHz LTE-FDD 영향 시뮬레이션은 하향 FDD LTE 시뮬레이션과 동일한 가정에 의해 시행되었다. 셀 총 용량 손실을 평균한 시뮬레이션 결과 값은 표 14 및 그림 11과 같다. 5% CDF 상향 사용자 용량 손실에 관련된 시뮬레이션 결과는 표 15 및 그림 12와 같다.

하향에서 ACIR offset 0 dB일 경우, 평균 용량손실 및 셀 경계에서의 손실은 모두 5%이하이며 상향에서 ACIR offset 0 dB일 경우, 평균 용량손실 및 셀 경계에서의 손실은 모두 5%이하로 나타났다. 그러므로 3GPP LTE Band1과 2.1GHz 대역 간 양립은 단말기 ACLR 모델 (ACLR1-30dB, ACLR-43dB and ACLR-50dB)과 단말기 ACS 모델 (ACS1: 33dB, ACS2: 34.3dB, 및 ACS3:46.3 dB)에서는 가능함을 알 수 있다.

표 14. 평균 상향 용량 손실

Table. 14 Average Uplink throughput loss

오프셋 값 [dB]	간섭원		
	10 MHz LTE-A	15 MHz LTE-A	20 MHz LTE-A
-20	19.81	22.32	22.85
-15	10.75	11.9	12.69
-10	5.29	5.74	6.13
-5	2.38	2.55	2.74
0	0.97	1.02	1.12
5	0.36	0.37	0.42
10	0.12	0.12	0.14
15	0.11	0.04	0.04

표 15. 5%-ile 상향 용량 손실

Table. 15 5%-ile downlink throughput loss

오프셋 값 [dB]	간섭원		
	10 MHz LTE-A	15 MHz LTE-A	20 MHz LTE-A
-15	29.56	32.73	32.17
-10	11.56	11.91	11.12
-5	3.59	2.96	3.84
0	1.12	1.28	1.59
5	0.37	0.37	0.37
10	0.11	0.18	0.05
15	0.02	0.16	0

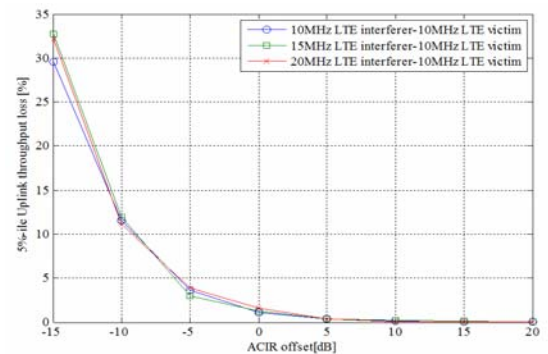


그림 12. 5%-ile 상향 용량 손실
Fig. 12 5%-ile Uplink throughput loss

4.2.3. 상향 FDD LTE에 의한 Band34 영향

상향 FDD LTE에 의한 Band34 영향 시뮬레이션에서 셀 총 용량 손실을 평균한 시뮬레이션 결과 값은 표 16 및 그림 13과 같다. 5% CDF 상향 사용자 용량 손실에 관련된 시뮬레이션 결과는 표 17 및 그림 14와 같다.

표 16. 평균 TDD 하향 용량 손실

Table. 16 Average TDD downlink throughput loss

오프셋 값 [dB]	간섭원		
	10 MHz LTE-A	15 MHz LTE-A	20 MHz LTE-A
-30	1.14	1.39	1.47
-25	0.63	0.77	0.8
-20	0.33	0.41	0.42
-15	0.17	0.21	0.21
-10	0.08	0.10	0.10
-5	0.04	0.04	0.05
0	0.02	0.02	0.02
5	0.01	0.01	0.01
10	0	0	0

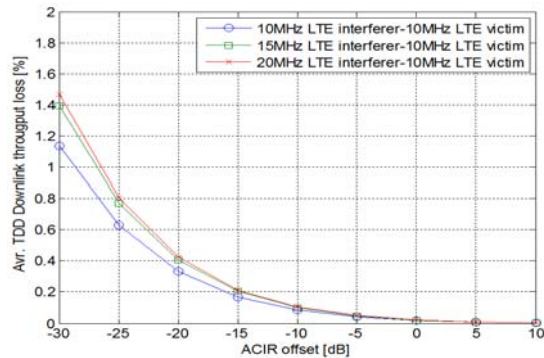


그림 13. 평균 TDD 하향 용량 손실

Fig. 13 Average TDD downlink throughput loss

표 17. 5%-ile TDD 하향 용량 손실

Table. 17 5%-ile TDD downlink throughput loss

오프셋 값 [dB]	가해시스템		
	10 MHz LTE-A	15 MHz LTE-A	20 MHz LTE-A
-30	4.10	5.11	5.42
-25	2.19	2.79	2.88
-20	1.10	1.47	1.48
-15	0.56	0.80	0.68
-10	0.27	0.36	0.34
-5	0.16	0.17	0.17
0	0.10	0.07	0.10
5	0.05	0.02	0.01
10	0.03	0.02	0.01

그림 15는 LTE 단말기 송신 전력 분포를 나타내며, 그림 16은 주요 간섭원(Major Interferer)과 혼신을 받는 단말기 간 결합손실(Coupling Loss)을 보여준다. 이를 통해 동일채널 시스템과 인접 시스템 각각에 있어 주요

간섭원 TDD 하향 단말기에 가장 큰 혼, 간섭을 유발하는 요인임을 알 수 있다.

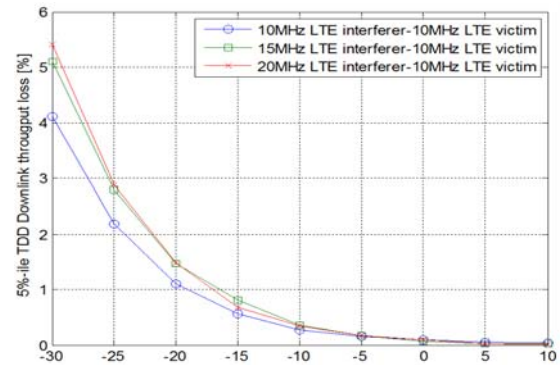


그림 14. 5%-ile TDD 하향 용량 손실

Fig. 14 5%-ile TDD downlink throughput loss

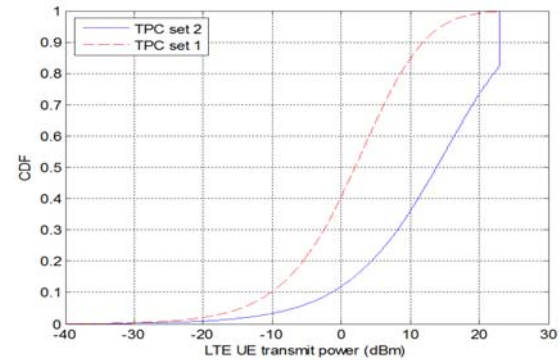


그림 15. LTE 단말기 송신전력 CDF

Fig. 15 LTE terminal transmitting power CDF

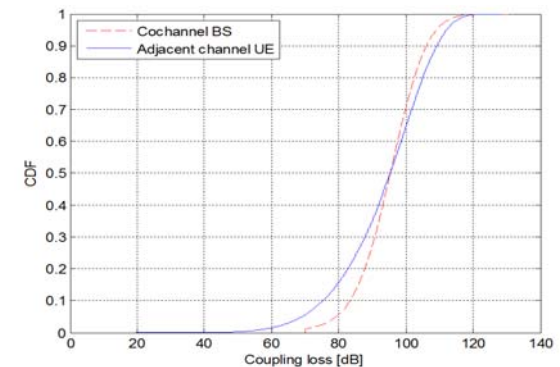


그림 16. 주요 간섭요인의 Coupling loss 분포

Fig. 16 Coupling loss distribution of major interference factor

3GPP LTE TDD Band34의 기지국과 2.1GHz 대역 단말기간의 시나리오에서 시뮬레이션 결과 또한 3GPP LTE Band1과 2.1GHz 대역 간 양립 시뮬레이션 결과와 비슷하다. 3GPP LTE TDD Band34의 단말기와 2.1GHz 대역 단말기 간 시나리오에서 시뮬레이션 결과 또한 무시할 만 한 수준으로 시스템 용량 손실에 영향을 주지 않는 것으로 밝혀졌다. 주요 요인은 기지국과 단말기 간 전송 출력의 차이에 의한 것이다. 대부분의 단말기 송신 출력은 46dBm에 이르는 기지국 송신 출력보다 훨씬 더 적은 값이다. 비록 피간섭된 단말기로의 인접 단말기 채널의 결합손실이 피해단말기로의 동일 채널에 있는 기지국보다 더 적을 지라도 그것의 차이는 기지국과 단말기 간의 전력차이보다 여전히 적다. 결론적으로 3GPP Band1과 Band 34에 큰 영향 없이 본 대역을 LTE 서비스로 이용할 수 있음을 증명하였다 [5].

V. 결 론

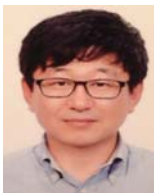
본 논문에서는 2.1GHz대역의 LTE-Advanced 활용을 위하여 국제 법규 분석을 통하여 인접 지역 양립을 위한 규제 조건을 파악하고 양립 방안을 모색하였고, 인접 대역과의 양립 조건을 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 먼저 인접 지역과의 양립을 위하여 주변국과의 공조 및 협상을 이끌어 내야하며, 협상으로도 실질적인 주파수 대

역 확보가 쉽지 않을 경우 지상 LTE-Advanced 망 구축이 아닌 지상, 위성 겸용 방식과 같이 지리적 및 주파수 대역으로 분할하여 사용하는 방안으로 전환해야 한다. 인접 대역과의 양립은 시뮬레이션 결과를 통해 인접 대역인 3GPP Band1과 Band 34에 큰 영향 없이 2.1GHz 대역을 LTE 서비스로 이용할 수 있음을 증명하였다.

향후에는 2.1GHz 주파수 대역이 Band1과 함께 동시에 사용가능한 듀플렉서 방식으로 정의될 경우를 대비하여 Band1 및 Band34와 간섭 없이 효율적으로 사용될 수 있는 듀플렉서 방안과 자원블록 할당 방안에 대해서 연구를 지속할 예정이다.

REFERENCES

- [1] Radio Regulations, Articles. Edition of 2012 RR5-74 5.389A
- [2] KCC. "Mobile Broadband Plan" 2012
- [3] J.E. Berg, "A Recursive Model For Street Microcell Path Loss Calculations," *International Symposium on Personal Indoor and Mobile indoor Communications*, pp. 140-143, 2005.
- [4] ECC Report 119, "Coexistence Between Mobile Systems in the 2.6 GHz Frequency Band at the FDD/TDD Boundary," 2008.
- [5] 3GPP TR 36.942. V11.0.0, "E-UTRA, Radio Frequency (RF) System Scenario," 2012.



김대중(Daejung KIM)

2004년 9월 경희대학교 정보통신공학과 석사
 2008년 12월 광운대학교 전자통신공학과 박사(수료)
 2001년 5월~현재 TTA 표준화본부 전파방송부장
 ※관심분야 : 차세대 이동통신, 전파관리, 센서네트워크



정광수(Kwangsue Chung)

1983년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
 1991년 2월 University of Florida 전기공학과 박사
 1983년 3월~1993년 2월 한국전자통신연구원 선임연구원
 1993년 3월~현재 광운대학교 전자통신공학과 교수
 ※관심분야 : 인터넷 QoS, 유·무선 비디오 스트리밍, 센서 네트워크