

Block Edge Mask의 대역 외 방출 기준치 유도 및 간섭 영향 분석

정회원 김민제*, 준회원 강운석*, 정회원 이혁재*

Derivation of the Baseline and Interference Effects for Block Edge Mask

Minjae Kim*^o *Regular Member*, Yunseok Kang* *Associate Member*,
Hyuckjae Lee* *Regular Member*

요약

최근 무선 멀티미디어 통신 수요의 팽창에 따른 주파수 부족 문제를 해결할 수 있는 방안으로 기술 및 서비스 중립성을 가지는 개방형 주파수 할당 방식의 도입이 예상되면서 여기에 적합한 새로운 간섭 관리의 모델 및 기준 설정이 요구된다. 본 논문에서는 우리나라의 이러한 새로운 간섭 관리를 위한 모델로 여러 가지 후보 방식들을 고려한 결과, Block Edge Mask (BEM) 방식을 가장 적합한 모델로 선정한다. 그리고 BEM의 기준치 설정에 따른 간섭 영향을 알아보기 위해 디지털 방송 전환 여유 대역에 LTE 시스템의 사용을 가정하여, 이중 시스템인 디지털 지상파 텔레비전 방송 (DTV) 서비스와 LTE 이동통신 서비스의 경계 대역에서의 BEM의 대역 외 방출 (Out-of-band emission) 기준을 유도하고 보호 대역의 설정에 따른 영향을 알아본다.

Key Words : Block Edge Mask, Interference Management, DTV, LTE

ABSTRACT

As an introduction of an open spectrum allocation approach with technology and service neutrality is expected as a way to solve problems of frequency shortage due to the expansion of demand for wireless multimedia communications, recently, the new management model of interferences and its standard setting are required. In this paper, as a model for this new interference management considering several candidates, Block Edge Mask (BEM) approach is chosen as the most appropriate model. And to investigate the effects of interference resulting from the standard setting of BEM, assuming the use of LTE systems in the Digital Dividend, BEM out-of-band baseline in the boundaries between digital terrestrial television (DTV) service and LTE mobile communications services which are heterogeneous systems for analysis is derived and the effect of setting guard band is analyzed.

I. 서론

최근 무선 통신 데이터의 급격한 수요 증가와 새로

운 무선 통신 기술 및 서비스의 확산으로 인해 주파수 자원에 대한 수요가 크게 증가하고 있다. 비록 주파수의 전체 자원은 충분할지 모르나, 무선 통신을 하는데

* 본 연구는 한국방송통신전파진흥원과 방송통신위원회의 IT 연구 및 개발 프로그램에 의해 수행되었음 (2008-F-013-1), [스펙트럼 공학 및 밀리미터파 활용 기술의 개발]

* 한국과학기술원 전기 및 전자공학부(mjkim08@kaist.ac.kr), (° : 교신저자)

논문번호 : KICS2011-02-126, 접수일자 : 2011년 2월 25일, 최종논문접수일자 : 2011년 12월 2일

유리한 전파 특성을 갖는 대역에 수요가 주로 집중되어 앞으로 이러한 대역에서의 주파수 부족 문제가 발생할 것으로 예상된다. 그런데 이러한 주파수의 부족 상황은 전파 관리 체계를 효율적으로 변화시킴으로써 크게 개선될 수 있다.

현재까지 우리나라의 주파수 할당 및 분배 방식은 특정 기술 및 서비스에 면허권을 독점적으로 부여함으로써 할당 받은 주파수 대역에서 기술과 서비스의 용도 변경이나 임대 및 재판매가 어렵고, 이로 인해 매우 낮은 사용 빈도를 나타내는 주파수 대역에서의 비효율적 운용과 새로운 서비스를 위한 주파수 재배치의 어려움으로 인한 인위적인 주파수 부족 문제를 발생시켰다. 그런데 주파수의 할당 및 분배에 지정 할당 방식이 아닌 기술 및 서비스에 중립적인 개방형 주파수 할당 방식의 개념을 도입할 경우, 주파수대역 내에서의 용도 변경이 자유로워지고 임대나 재판매 등을 통한 다양한 형태의 운용이 가능해지므로 주파수 이용 효율의 극대화를 이룰 수 있다.

그러나 기술 및 서비스 중립적인 개방형 주파수 할당 방식이 도입될 경우, 다양한 형태의 이종 기술 및 서비스 간의 간섭을 고려해야 하므로 전파 간섭의 관리 모델과 그 기준이 새롭게 정의될 필요가 있다. 즉, 기술 중립성을 높이면 간섭의 조절이 어려워지고, 간섭의 조절이 용이해지려면 기술에 대한 제한이 많아지기 때문에 양쪽을 잘 만족시키면서 보다 쉽게 이용할 수 있는 새로운 간섭 관리 방식이 필요하다.

본 논문에서는 우리나라의 전파 환경에 적합한 새로운 간섭 관리 방식으로서 기존에 제안된 몇 가지 후보 모델들을 고려하고, 결과적으로 Block Edge Mask (BEM) 방식을 사용한다. 그리고 BEM 기준 설정 과정과 설정된 값에 따른 간섭의 영향을 알아보기 위해 디지털 방송 전환 여유 대역 (Digital dividend)에 LTE 시스템의 배치를 가정하여 이종 시스템인 디지털 지상파 텔레비전 방송 (DTV) 서비스와 LTE 이동통신 서비스의 경계 대역에 이를 적용한다.

BEM의 선정 및 분석은 크게 두 가지의 과정을 통해 수행되는데, 먼저 DTV 경계 대역에 LTE 하향 링크 (Downlink)가 할당되어 LTE 기지국이 DTV 수신기에 간섭을 주는 경우로서, LTE 기지국 BEM의 대역 외 방출 (Out-of-band emission) 기준을 우리나라의 DTV 파라미터 및 3GPP LTE 파라미터의 적용 및 [1]의 계산 과정을 참고하여 도출한다. 그리고 LTE 상향 링크 (Uplink)가 DTV 경계 대역에 할당되어 DTV 송신국이 LTE 기지국에 간섭을 미치는 경우로서, LTE 기지국의 QoS (Quality of Service)를 만족

시키기 위한 DTV 송신국의 BEM 대역 외 방출 기준을 LTE 기지국 간의 보호 대역 (Guard band)의 크기에 따라 알아보고 이미 제시된 송출 마스크의 적합 여부를 알아본다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저, II 장에서는 기존의 간섭 관리 모델에 대해서 알아보고 III 장에서 새로운 간섭 관리 후보 모델에 대해 알아본 후 우리나라에 적합한 모델을 선정한다. 그리고 IV와 V 장에서는 우리나라의 전파 환경에서 BEM의 대역 외 방출을 유도한다. 그리고 마지막으로 VI 장에서 결론을 맺는다.

II. 기존의 간섭 관리 방식

우리나라의 현재까지 주된 간섭 관리 방식은 시스템에 맞게 무선기기의 대역 내 (In-band) 및 대역 외 (Out-of-band) 출력을 제한하는 것이고, 이는 다음과 같이 인접 채널 간섭비(ACIR : Adjacent Channel Interference Ratio)로 정의된다.

$$\text{인접 채널 간섭비(ACIR)} = \frac{1}{\frac{1}{\text{ACS}} + \frac{1}{\text{ACLR}}} \quad (1)$$

여기서 ACLR (Adjacent Channel Leakage Ratio)은 인접 주파수 채널의 간섭 전력량을 나타내는 척도이고, ACS (Adjacent Channel Selectivity)는 인접 채널의 신호를 거부하는 능력을 나타내는 척도로서 그림 1과 같이 송수신기의 필터 특성을 조절함으로써 결정된다. 이러한 간섭 관리 방식은 주파수 대역의 시스템 및 서비스들이 모두 지정되어 각 서비스에 정해진 무선기기들의 출력을 제한함으로써 간섭을 쉽게 관리할 수 있는 이점이 있으나, 무선기와 서비스, 기술 간의 다양한 조합 형태를 가지는 개방적 주파수 관리 체계에서는 특정 서비스들에서의 무선기기의 출

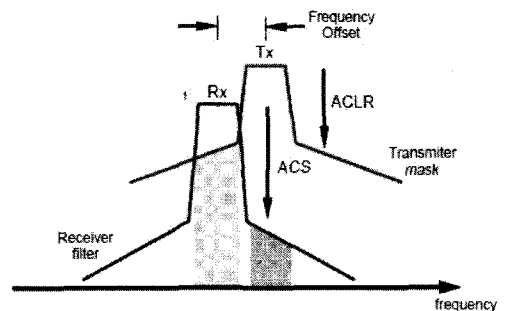


그림 1. 인접 채널 선택성 (ACS) 및 인접 채널 누설비 (ACLR)

력 제한만으로는 간섭을 관리하는데 한계가 있다.

Ⅲ. 새로운 간섭 관리 모델들 및 우리나라에 알맞은 모델 선정

우리나라의 개방형 주파수 관리 체계를 위한 간섭 관리 후보 모델들로 유럽의 제안 모델들을 참고하여²⁾ BEM (Block Edge Mask), 전력 스펙트럼 밀도 총합 (Aggregate power spectral density), 전력속 밀도 총합 (Aggregate power flux density) 방식을 선정하였다. 각 모델들에 대해 간략히 정리하면 다음과 같다.

3.1 Block Edge Mask (BEM)

BEM 방식은 주파수 대역의 경계를 기준으로 최대 출력을 제한하는 것으로 그림 2와 같이 크게 대역 내 제한 (In-block limit), 전이 레벨 (Transition level) 그리고 기준선 레벨 (Baseline level)로 나뉘어 최대 출력이 제한된다. 이러한 최대 출력 값은 허용 가능한 전체 간섭의 출력을 추정하고 무선 기기들의 밀도를 고려하여 하나의 전송기를 기준으로

계산된 값으로, 해당 대역 내의 출력 조건만 만족하면 그 대역에 어떠한 용도나 기술이 오더라도 사용이 가능하다.

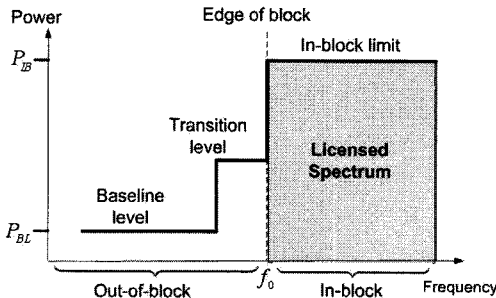


그림 2. Block Edge Mask

3.2 전력 스펙트럼 밀도 총합 (Aggregate power spectral density)

전력 스펙트럼 밀도 총합 방식은 특정 지역 내의 모든 전송기가 특정 주파수 대역 내에서 방사하는 총 전력 스펙트럼 밀도의 양을 제한하는 것이다. 무선기기의 최대 출력을 제한 기준으로 정한다는 점에서 BEM 방식과 유사하나, 전체 밀도를 고려하여 하나의 송신기를 기준으로 출력을 제한하는 BEM과는 달리 이 방식은 특정 지역 내의 모든 무선기기 출력의 총합을 제한한다.

3.3 전력속 밀도 총합³⁾ (Aggregate power flux density)

전력속 밀도 총합은 대역 내 및 대역 외 간섭과 지리적 간섭으로 구분되어 정의된다. 대역 내 및 대역 외 간섭은 지상으로부터 H m의 높이에서 평균 전력속 밀도가 면적이 A km²인 지역의 Y % 이상에서 X dBW/m²/MHz를 넘지 않게 정의된다. 그리고 지리적 간섭은 지리적 경계 지역에서 지상으로부터 H m의 높이에서 대역 내 평균 전력속 밀도가 X dBW/m²/MHz를 넘지 않도록 정의된다. 앞의 두 방식들이 전송기의 출력을 기준으로 제한한 반면, 이 방식은 수신기의 입장에서 간섭의 기준을 정의한 것이 특징이다.

이러한 세 가지의 간섭 관리 방식들 가운데서 앞으로 우리나라의 전파 관리에 가장 적합한 방식을 선정하고자 한다. 먼저, 크게 간섭 제한 기준을 송신기 기준과 수신기 기준으로 나누어 고려할 필요가 있다. 수신기 기준인 전력속 밀도 총합 방식은 면허권자가 실제로 받는 간섭량을 기준으로 하기 때문에 더 정밀하고 유연한 간섭 관리가 가능하다. 그러나 이러한 이점을 얻기 위해서는 더 정밀한 측정과 큰 계산의 복잡도가 요구되는데, 이로 인해 현실적으로 사용하기에는 어려움이 있을 것으로 판단된다.

BEM 방식과 전력 스펙트럼 밀도 총합 방식은 모두 송신기의 출력을 제한하는 방식이지만 전력속 밀도 총합은 특정 지역 내의 전체 출력의 합만을 제한하므로 좀 더 유연한 관리가 가능하다.

그러나 이렇게 전체 출력만을 제한하는 경우, 단말 기기들에 대해서는 그 이동의 자유로움으로 인하여 전체 출력의 제한이 원활히 지켜지지 않는 경우들이 발생할 수 있다²⁾. 결국 송신기의 출력을 제한하는 방식을 택하면서 단말 기기들에 대해서도 간섭 관리를 무리 없이 적용할 수 있는 BEM 방식이 후보 방식들 가운데 현실적으로 가장 적절한 방식으로 판단된다. 그래서 본 장 이후에는 BEM 방식의 구체적인 레벨 선정의 유도 과정 및 그로 인한 간섭의 영향 분석에 대해 알아본다.

Ⅳ. BEM 대역 외 방출 기준 설정 유도

본 장에서는 우리나라의 전파 환경에 BEM 방식의 구체적인 적용을 통한 간섭 영향을 알아보기 위해 BEM의 대역 외 방출 (Out-of-band emission) 기준을 [1]의 유도 과정을 참고하여 도출하고 그 결과를 분석한다. 먼저, 이를 적용할 환경으로 그림 3과 같이 디지털 지상파 텔레비전 방송 (DTV) 전환 이후의 여유 대

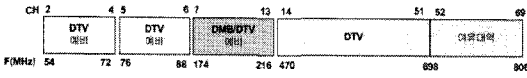


그림 3. 아날로그 방송 종료 후의 주파수 계획

역에 LTE 시스템의 사용을 가정하고, 특히 DTV 서비스와의 경계 대역에 LTE 하향링크 (Downlink) 시스템을 배치를 가정한다. 그리고 이 때 DTV 서비스 채널 51번 (692 ~ 698 MHz, 6 MHz 대역폭)과 LTE 하향링크 채널 (698 ~ 703 MHz, 5 MHz 대역폭)의 경계에서 LTE 기지국이 DTV 수신기에 간섭을 주는 상황을 고려하여 LTE 기지국의 BEM 대역 외 방출 기준을 몬테카를로 (Monte-Carlo) 모의실험을 이용하여 도출하고자 한다.

4.1 배치 시나리오

DTV 수신기가 DTV 송신국으로부터 원하는 신호를 받는 가운데, 주변의 LTE 기지국들로부터 간섭을 받는 상황을 고려한 모의실험의 배치 시나리오는 그림 4와 같다. DTV 송신국을 기준으로 DTV 송신 신호의 도달 범위 내에 7개의 LTE 기지국들이 그림과 같이 조밀 육방 구조를 형성하여 위치하고, 그 위치가 매 모의실험마다 무작위로 (randomly) 결정된다. 그리고 LTE 기지국들 중에서 중앙에 위치한 LTE 기지국의 전송 범위 내에 DTV 수신기를 배치시키고 그 위치 또한 무작위로 결정되도록 한다.

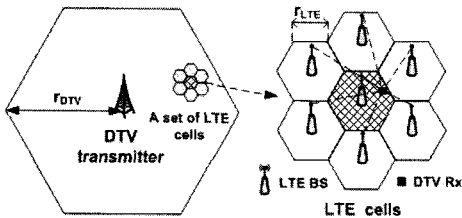


그림 4. DTV와 LTE 시스템의 배치 구조

4.2 모의실험 파라미터

본 모의실험에서 사용하는 시스템의 파라미터 값들은 다음과 같다. DTV 시스템의 파라미터들은 [5,6]을 참고하여 표 1에서, LTE 시스템의 파라미터들은 3GPP 표준을 참고하여[7,8] 표 2에 각각 제시한다.

그리고 전파 전파 모델 (propagation model) 은 JTG 5-6 경로 손실 모델을 사용한다[1]. 이 모델은 방송 시스템과 이동통신 시스템의 공존 연구를 수행하기 위해 ITU-R 에서 만든 모델로서 거리가 100 m 이하에서는 Hata 모델, 1 km 이상에서는 ITU-R

표 1. DTV 시스템 파라미터

파라미터	값
시스템 표준	ATSC 방식
주파수 대역	470 ~ 698 MHz
채널 대역폭	6 MHz
송신국 출력	67 dBm (5kW, 남산)
송신국 안테나 이득	7.8 dBi
송신국 안테나 높이	100, 200 m
수신기 안테나 이득	10 dBi
수신기 안테나 높이	10 m
수신기 안테나 패턴	ITU-R BT.419-3[4]
수신기 잡음 지수	7 dB
수신기 요구 SINR	15 dB
전송 범위	30 km

표 2. LTE 시스템 파라미터

파라미터	값
기지국 송신 출력	43 dBm (20 W)
기지국 안테나 이득	12 dBi
기지국 안테나 높이	30 m
기지국 수신 잡음 지수	5 dB
채널 대역폭	5 MHz
전송 범위	2.7 km

P.1546-3 모델을 사용하고, 100 m 와 1 km 사이의 거리에서는 로그-선형 보간법을 사용한다. 또한, 세도잉은 로그 노말 분포를 갖고 표준편차가 100 m 이내의 거리에서 3.5dB, 100 m 이상의 거리에서는 5.5dB의 값을 사용한다.

4.3 BEM 대역 외 방출 기준 계산 과정

LTE 기지국이 간섭을 미치는 가운데 DTV 수신기가 제대로 동작하기 위해서는 다음의 SINR 요구사항이 만족되어야 한다.

$$SINR = \frac{P_s}{P_N + P_{LCC} + P_{LAC}} \geq SINR_T \quad (2)$$

여기서 $SINR_T$ 는 수신기의 최소 동작을 위한 목표 SINR 값이고, P_s 는 DTV 송신국으로부터 수신된 신호의 전력, P_N 은 DTV 수신기의 잡음 전력, P_{LCC} 는 인접 채널로부터 대역 외 누설 전력으로 인해 수신된 전력, 그리고 P_{LAC} 는 수신기의 불완전한 필터 특성으로 인해 인접 채널로부터 수신된 전력이다. P_{LCC} 가 인접 채널의 사용자인 LTE 기지국의 대역 외 방출로부터 수신된 전력이므로, 식 (2)는 최종적으로 BEM 대역

의 방출 기준 레벨에 관해 표현될 수 있다.

먼저, P_S 는 그림 5와 같이 DTV 시스템의 전송 링크의 파라미터를 통해 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned}
 P_S &= P_{D_{TX}} g_{\alpha, D_{TX}}(\delta\alpha) G_{PL, (D_{TX}, D_{RX})} G_{A, D_{RX}} g_{\beta, D_{RX}}(\delta\beta) \\
 &= P_{D_{TX}} G_{DTV}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

여기서 $P_{D_{TX}}$ 는 DTV 송신국의 실효 복사 전력이고, $g_{\alpha, D_{TX}}(\delta\alpha)$ 는 양각 $\delta\alpha$ 에 따른 송신 안테나의 이득, $G_{PL, (D_{TX}, D_{RX})}$ 는 DTV 송수신기 사이의 경로 손실 이득, $G_{A, D_{RX}}$ 는 DTV 수신 안테나의 이득, $g_{\beta, D_{RX}}(\delta\beta)$ 는 양각 $\delta\beta$ 에 따른 수신 안테나의 이득, 그리고 G_{DTV} 는 링크의 총 이득으로서 $P_{D_{TX}}$ 를 제외한 모든 값들의 곱을 나타낸다. 그리고 DTV 수신 안테나는 항상 송신 안테나 방향을 향한다고 가정하여 DTV 송수신 안테나 간의 방위각에 대한 이득은 항상 1이다.

7 개의 LTE 기지국에 의해 DTV 수신기가 받는 간섭의 크기는 $P_{I,AC}$ 와 $P_{I,CC}$ 의 합으로, 먼저 $P_{I,AC}$ 을 계산하면 식 (4)와 같고, 그림 6은 LTE 기지국과 DTV 수신기 링크의 파라미터를 나타낸다.

$$\begin{aligned}
 P_{I,AC} &= \sum_{i=1}^7 P_{I,AC,i} = ACS^{-1} \sum_{i=1}^7 P_{IB,BS} g_{\gamma,BS}(\delta\gamma_i) \\
 &\quad \cdot G_{PL, (BS, D_{RX}),i} G_{A, D_{RX}} g_{\mu, D_{RX}}(\delta\mu_i) g_{\phi, D_{RX}}(\delta\phi_i) \\
 &= ACS^{-1} P_{IB,BS} G_{BS}
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

여기서 $P_{I,AC,i}$ 는 i 번째 LTE 기지국의 대역 내 전송 전력에 의한 수신 간섭의 크기, $P_{IB,BS}$ 는 모든 LTE 기지국에서 같은 전력으로 송신한다고 가정할 때, 각 LTE 기지국의 대역 내 송신 실효 복사 전력, $g_{\gamma,BS}(\delta\gamma_i)$ 는 i 번째 LTE 기지국의 송신 안테나에서 DTV 수신 안테나와의 양각 $\delta\gamma_i$ 에 대한 이득, ACS는

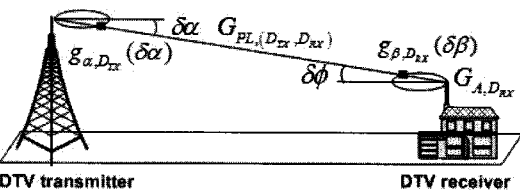
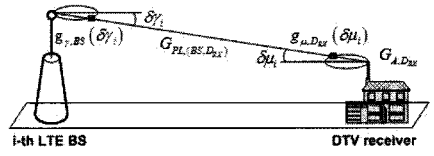
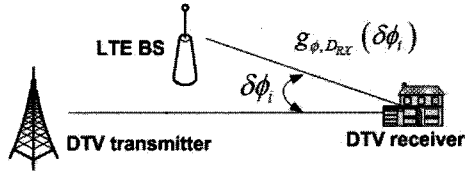


그림 5. DTV 시스템 전송 링크



(a) 양각 (Elevation) 성분



(b) 방위각 (Azimuth) 성분

그림 6. LTE 기지국-DTV 수신기의 링크

DTV 수신기의 인접 채널 선택성, $G_{PL, (BS, D_{RX}),i}$ 는 i 번째 LTE 기지국과 DTV 수신기 사이의 경로 손실 이득, $G_{A, D_{RX}}$ 는 DTV 수신 안테나의 이득, $g_{\mu, D_{RX}}(\delta\mu_i)$ 는 DTV 수신 안테나에서 i 번째 LTE 기지국의 송신 안테나와의 양각 $\delta\mu_i$ 에 대한 이득, $g_{\phi, D_{RX}}(\delta\phi_i)$ 는 DTV 수신 안테나에서 i 번째 LTE 기지국의 송신 안테나와의 방위각 $\delta\phi_i$ 에 대한 이득, 그리고 G_{BS} 는 7개의 LTE 기지국-DTV 수신기 링크의 이득의 합을 나타낸다.

$P_{I,CC}$ 는 다음의 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 P_{I,CC} &= \sum_{i=1}^7 P_{I,CC,i} = \sum_{i=1}^7 P_{OOB,BS} g_{\gamma,BS}(\delta\gamma_i) \\
 &\quad \cdot G_{PL, (BS, D_{RX}),i} G_{A, D_{RX}} g_{\mu, D_{RX}}(\delta\mu_i) g_{\phi, D_{RX}}(\delta\phi_i) \\
 &= P_{IB,BS} G_{BS}
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

여기서 $P_{I,CC,i}$ 는 i 번째 LTE 기지국의 대역 외 누설 전력에 의한 수신 간섭의 크기, $P_{OOB,BS}$ 는 각 LTE 기지국의 대역 외 방사 전력, 나머지 파라미터들은 $P_{I,AC}$ 의 경우와 같아서 결과적으로 $P_{I,CC}$ 는 $P_{OOB,BS}$ 와 G_{BS} 의 곱으로 나타낼 수 있다.

최종적으로, LTE 기지국의 대역 외 방출 기준 값인 $P_{OOB,BS}$ 의 최대값을 얻기 위해 식 (3), (4), (5)를 식 (2)에 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$P_{OOB,BS} \leq Z = \frac{1}{G_{BS}} \left\{ \frac{P_{D_{TX}} G_{DTV}}{SINR_T} - \frac{G_{BS} P_{IB,BS}}{ACS} - P_N \right\} \tag{6}$$

여기서 식 (6)이 만족될 때 DTV 수신기는 성공적으로 수신할 수 있는데, 이 때 $SINR_T$, ACS , P_N , P_{DTX} , $P_{IB,BS}$ 은 고정된 값이지만 P_{DTV} 와 G_{BS} 은 배치 위치의 변화에 따라 그 값이 바뀌게 되어, 식의 만족 여부를 결정하게 된다. 결국 특정 $P_{OOB,BS}$ 값에 대해 식 (6)의 달성 확률을 구하면 DTV 시스템의 수신 실패율을 얻을 수 있고, 식 (7)과 같이 목표로 하는 최대 수신 실패율 ϵ 을 설정함으로써 이를 만족시키는 $P_{OOB,BS}$ 의 최대값을 구할 수 있다. 그리고 이 $P_{OOB,BS}$ 의 최대값이 BEM의 대역 외 방출 기준이 된다.

$$\Pr\{SINR < SINR_T\} = \Pr\{P_{OOB,BS} > Z\} \leq \epsilon \quad (7)$$

4.4 모의실험 결과

모의실험의 결과로 $P_{OOB,BS}$ 의 값에 따른 DTV 수신 실패율은 ACS와 DTV 송신 안테나의 높이 변화에 따라 그림 7과 그림 8과 같이 얻어진다. 먼저, 결과를 통해 ACS 값이 클수록 수신 실패 확률이 감소함을

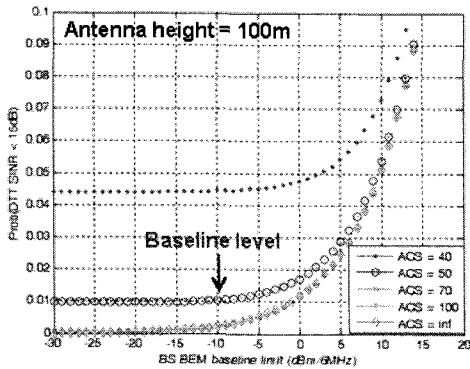


그림 7. DTV 송신 안테나 높이가 100 m 일 때 DTV 수신 실패 확률

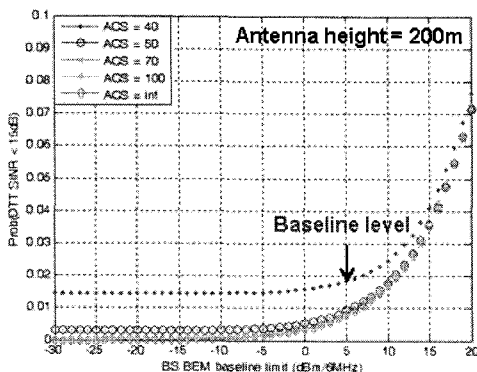


그림 8. DTV 송신 안테나 높이가 200 m 일 때 DTV 수신 실패 확률

예상대로 확인할 수 있다. 특히, ACS가 40 dB일 때와 50 dB 일 때의 성능 차이가 크고 DTV 송신 안테나의 높이가 200 m의 경우에는 ACS가 50 dB 이상에서의 성능 차가 거의 없으므로 최소 50 dB 이상의 ACS를 갖는 수신기를 사용하는 것이 간섭을 줄이는 데 크게 유리할 수 있다.

결국, ACS를 50 dB로 설정하고 수신 실패 확률의 최대 허용치 ϵ 을 1 % 로 정할 때, DTV 송신 안테나 높이가 100 m 인 그림 7 에서는 $P_{OOB,BS}$ 의 최대값이 -10 dBm/6MHz, 200m인 그림 8에서는 5 dBm/6MHz의 값으로 설정된다. 그리고 DTV 송신국 안테나 높이가 100 m에서 200 m 로 높아지면서 원하는 신호인 DTV 신호의 수신 전력의 세기가 증가하고, 이는 같은 SINR 요구값에 대해 더 많은 간섭을 허용할 수 있음을 의미하므로 결국 BEM의 기준 값이 -10 dBm/6MHz에서 5 dBm/6MHz로 증가하는 것을 설명한다.

결과적으로 LTE 기지국은 BEM을 적용할 경우 대역 외 방출 기준으로 위의 값들을 사용할 수 있다. 그러나 이 값은 ϵ 이나 $SINR_T$ 와 같은 목표 설정 값, 배치 시나리오 설정과 다양한 시스템 파라미터들의 값의 변화에 따라서 크게 변할 수 있다는 것 또한 계산 과정을 통해 확인하였다. 그러므로 BEM의 설계를 위해서는 영향을 주는 모든 파라미터들의 구체적인 값을 정확히 고려해야 할 필요가 있다.

V. BEM의 기준 설정에 따른 간섭의 영향 분석

본 장에서는 BEM 기준 설정에 따른 간섭 영향 분석을 수행한다. 간섭 분석 시나리오로서 IV 장에서 DTV 전환 여유 대역에 LTE 하향링크(Downlink)를 배치한 것과 달리 LTE 상향링크(Uplink)의 배치를 그림 9와 같이 가정하여 대역의 최 외곽에 있는 채널을 사용하는 DTV 시스템과 LTE 시스템의 공존 환경을 고려한다. 일반적으로 FDD(Frequency Division Duplex) 시스템의 주파수 배치의 경우, 상향 링크를 낮은 주파수 대역에 할당하므로 앞의 시나리오보다 실제 구현 가능성이 큰 경우로 볼 수 있다. 이 때, DTV 송신국이 LTE 기지국의 수신에 간섭을 미치는 경우에 대해 LTE 기지국의 설정한 서비스 요구 사항

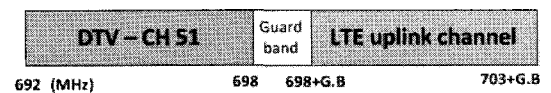


그림 9. DTV와 LTE 상향 링크의 주파수 배치

을 만족시키기 위한 BEM의 대역 외 방출 기준을 시뮬레이션을 통해 알아보고 기존에 정의된 DTV 송신국의 마스크 규격이 이러한 기준을 만족시키는 지의 여부 또한 확인한다. 그리고 이 두 대역의 경계에 보호 대역 (guard band)을 둘 경우 대역 외 방출 기준치가 어떻게 변하는지에 관한 분석 결과 또한 알아본다.

5.1 배치 시나리오

DTV 송신국으로부터 LTE 상향 링크에 미치는 간섭 영향을 알아보기 위한 배치 구조는 그림 10과 같다. 특정 DTV의 전송 범위 내에 특정 LTE 기지국이 무작위로 배치되도록 한다. 이 때 이 LTE 기지국은 DTV 송신국으로부터 인접 채널 간섭(Adjacent channel interference)의 영향을 받게 되고, 이러한 간섭 하에서 LTE 시스템이 가질 수 있는 모든 위치에 대해 정해진 최소 QoS (Quality of Service)를 보장하기 위한 DTV 송신국의 BEM 대역 외 기준을 시뮬레이션 결과를 통하여 설정한다. 이 때, 시스템의 대역 폭으로 DTV 채널의 대역폭은 6 MHz이고 LTE 채널의 대역폭은 3GPP LTE 표준^[7]을 통해 여러 가지 대역폭을 취할 수 있으나, 본 실험에서는 5 MHz 대역폭의 사용을 가정한다.

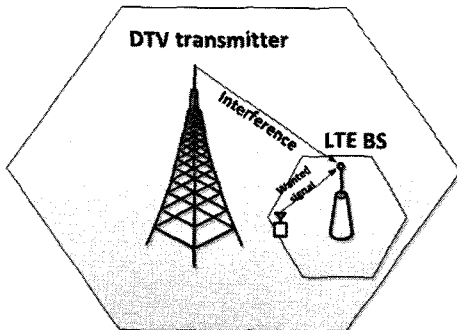


그림 10. DTV 송신국과 LTE 시스템 배치 구조

5.2 파라미터 값 및 BEM의 설정

DTV 시스템과 LTE 시스템의 전파 파라미터 값들은 IV 장에서 정의된 값을 사용하고, 추가적인 파라미터들은 표 3과 같다.

여기서 기지국의 수신 요구 SINR은 셀 내의 최대 처리율 (throughput)의 최소 95 % 이상의 처리율을 보장하기 위해 요구되는 최소 SINR로서^[9], 본 실험에서는 1/3의 부호율을 가지는 QPSK 변조 방식에 대한 값인 9 dB로 설정한다.

우리나라의 DTV 방식은 미국의 DTV 표준인 ATSC (Advanced television systems committee) 방

표 3. LTE 시스템의 추가 파라미터

파라미터	값
단말기 출력	최대 24 dBm
단말기 안테나 이득	0 dBi
단말기 안테나 높이	1.5 m
채널 대역폭	5 MHz
기지국 전송 범위	1 km
기지국의 ACS[7]	45 dB
기지국의 수신 요구 SINR	9 dB

식을 표준으로 채택하였고, 미국 FCC에서 정한 DTV의 송출 마스크는 그림 11과 같다^[5]. 그리고 이 마스크와 표 1에서 설정한 DTV의 대역 내 실효 복사 전력 74.8 dBm을 이용하여 LTE 채널의 대역폭인 5 MHz를 기준 대역폭으로 적용하면 그림 12의 BEM을 얻을 수 있다.

전파 전파 모델 (propagation model)은 크게 두 가지 모델을 사용하는데 DTV 송신국과 LTE 기지국 사이에는 IV 장에서 설명 JTG 5-6 경로 손실 모델을 사용하고 둘 간의 LOS (Line of Sight) 특성으로 인해

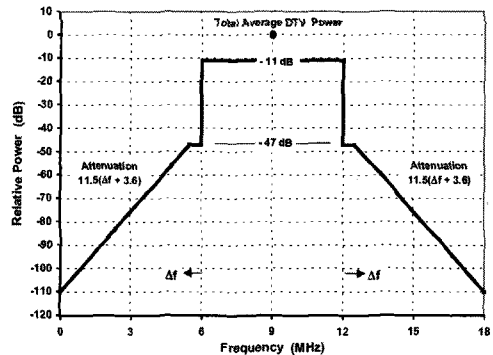


그림 11. FCC DTV 송출 마스크 (500 kHz의 측정 대역폭)

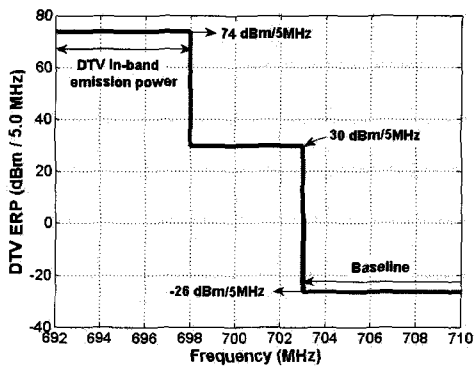


그림 12. DTV의 BEM (dBm/5 MHz)

쇄도잉 효과는 없는 것으로 가정한다. LTE 기지국과 단말기 사이에는 다음과 같이 정의된 매크로 셀 전파 모델⁸⁾을 사용하고 쇄도잉 모델은 로그 노말 분포를 갖고 표준편차는 5.5 dB의 값을 사용한다.

$$PL(dB) = 40 \cdot (1 - 4 \cdot 10^{-3} \cdot hrf) \cdot \log_{10}(D) - 18 \cdot \log_{10}(hrf) + 21 \cdot \log_{10}(f) + 80 \quad (8)$$

여기서 D (km)는 기지국과 단말기 사이의 거리, f (MHz)는 반송파 주파수, hrf (m)는 평균적인 지붕 높이(15 m)로부터 측정된 기지국의 높이를 나타낸다.

그리고 LTE 기지국의 셀 선택팅은 고려하지 않아 DTV 송신국과 LTE 기지국 사이의 방위각은 0도로 가정하고, 양각은 그 영향이 매우 작아서 무시하기로 한다.

5.3 LTE 기지국의 수신 요구사항을 보장하는 DTV 송신국의 BEM 대역 외 기준치 설정 유도

먼저, LTE 기지국이 제대로 동작하기 위한 조건은 다음과 같이 IV 장에서의 식 (2)와 같은 형태이다.

$$SINR = \frac{P_S}{P_N + P_{LCC} + P_{LAC}} \geq SINR_T \quad (9)$$

여기서 P_S 는 LTE 단말기에서 송신한 출력에 대해 기지국에서 수신된 전력으로 P_S = P_{UE} · G_{A,UE} · G_{PL,(UE,BS)} · G_{A,BS} 으로 표현된다. P_{UE}는 단말기 송신 출력, G_{A,UE} 는 단말기 안테나 이득, G_{A,BS} 는 기지국 안테나 이득이고, 단말기와 기지국 사이의 전파 경로 손실 이득인 G_{PL,(UE,BS)} 는 식 (8)을 사용하고, P_N은 LTE 기지국의 잡음 전력이다.

P_{LAC}는 식 (4)를 참고하여 P_{LAC} = ACS⁻¹ · P_{IB,DTV} · G_{PL,(DTV, BS)} · G_{A,BS} 로 표현되고, 여기서 파라미터 값을 적용하면, ACS는 45 dB, DTV의 실효 복사 전력인 P_{IB,DTV} 는 74 dBm, 수신 안테나 이득인 G_{A,BS} 는 12 dB 이다. 그런데 G_{PL,(DTV, BS)} 는 DTV와 LTE 기지국 사이의 전파 경로 손실로서 JTG 5-6 경로 손실 모델¹¹⁾을 사용한다.

또한, P_{LCC}는 식 (5)의 과정을 참고하면 P_{LCC} = P_{OOB,TV} · G_{PL,(DTV, BS)} · G_{A,BS} 로 표현되고, 여기서 P_{OOB,TV}는 DTV의 대역 외 출력으로 이 값이 BEM의 대역 외 방출 기준치의 설정 값이며, 수신 안테나 이득인 G_{A,BS}는 12 dB, 그리고 G_{PL,(DTV, BS)}는 P_{LAC}에서

얻어진 값이다.

앞의 설정을 토대로 특정 P_{OOB,TV} 값에 대해 LTE 기지국을 DTV 전송 범위 내에서 무작위로 배치하고 이를 반복하여 SINR이 SINR_T를 만족시키지 못하는 경우의 수를 계산하여 특정 P_{OOB,TV} 값에 대한 outage 확률을 얻을 수 있다. 그리고 이 P_{OOB,TV} 값을 다양하게 변화시키으로써 그림 13과 같이 P_{OOB,TV}의 증가에 따른 outage 확률의 분포에 관한 그래프를 얻을 수 있다.

LTE 시스템의 동작 요구사항으로 outage 확률을 5% 미만으로 선정한다면, 그림 13에서 보호 대역이 없는 경우(G.B = 0 MHz)의 결과로부터 이를 만족시키는 BEM 대역 외 방출량이 없다는 것을 확인할 수 있다. 이는 그래프에서 확인할 수 있듯이 특정 P_{OOB,TV} 값 이하에서는 outage 확률이 거의 일정하게 되는데 이 때는 outage를 발생시키는 간섭이 P_{LAC}가 되기 때문이다. 즉, 인접 채널인 DTV 채널의 대역 내(in-band) 전송 전력으로부터 기지국 수신 필터의 불완전성으로 인해 들어오는 간섭의 양이 커져 P_{LCC} 값의 조절이 의미가 없게 되는 것이다. 이러한 상황에서는 ACS 값을 높여 더 성능이 좋은 수신 필터를 사용하거나 두 주파수 블록 경계에 보호 대역을 둬으로써 outage를 낮출 수 있다.

그림 13에서 G.B=0 MHz를 제외한 나머지 그래프들이 보호 대역(G.B)을 둔 경우의 결과이다. 보호 대역의 크기가 클수록 LTE 시스템 성능이 크게 향상됨을 확인할 수 있다. 특히 P_{OOB,TV} 값에 상관없이 P_{LAC}만 영향을 미치는 구간의 outage 확률 또한 보호 대역이 커짐에 따라 낮아지는데 이는 보호 대역이 커질수록 주파수 대역에서 간극이 멀어져서 필터로 수신되는 전력의 양이 줄어들기 때문이고 이는 P_{LAC}와 P_{LCC} 모두에 해당된다.

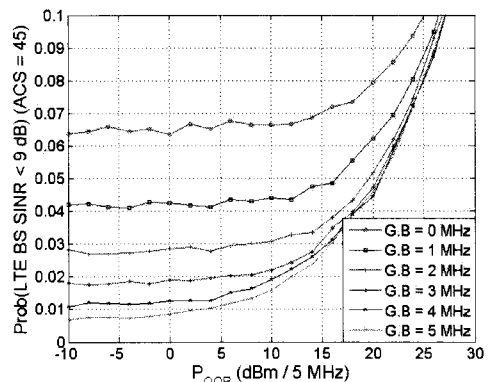


그림 13. DTV의 BEM 대역 외 방출 기준치에 따른 outage 확률

표 4. 기존 DTV 마스크에서 정의된 대역 외 방출 기준치

보호 대역(MHz)	0	1	2	3	4	5
BEM 대역 외 방출 기준치 (dBm/5MHz)	30	18	8	-5	-16	-28

결국 시스템 요구 사항인 0.05를 기준으로 각그래프 별로 해당하는 $P_{OOB,TV}$ 의 값을 얻을 수 있는데, 1 MHz의 보호 대역의 경우에는 약 16 dBm/5 MHz 이고 나머지 2 ~ 5 MHz의 보호 대역에는 약 20 dBm/5 MHz 전후로 크게 차이가 나지 않음을 알 수가 있다.

그리고 표 4는 기존의 DTV 송출 마스크로부터 계산한 각 보호 대역 별 BEM 대역 외 방출 기준치를 나타낸다. 이 결과를 그림 13의 결과와 비교해 보면, 보호 대역이 없는 경우 기존의 마스크로는 outage 확률이 10% 보다 크게 발생하여 실제 사용하기에는 어렵다. 그러나 1 MHz의 보호 대역에서는 outage 확률이 5.5 % 로 시스템 요구치를 조금 넘었지만 거의 유사함을 확인할 수 있고, 그 이상의 보호 대역에서는 시스템 요구치보다 매우 낮은 outage 확률을 얻을 수 있다. 결국, 기존의 DTV 송출 마스크를 사용하여 DTV의 전송 반경 내의 LTE 시스템에 대해 약 5 % outage 확률의 시스템 요구 사항을 정하는 경우, 보호 대역 없이는 이를 달성할 수 없고 1 MHz의 보호 대역을 사용함으로써 보호 대역의 추가 소모 없이 적절하게 공존 환경을 가능하게 할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 우리나라에서 개방형 주파수 할당 방식의 도입 시 사용할 간섭 관리 방식으로 BEM 방식을 선정하였다. 그리고 우리나라에 DTV와 LTE 시스템의 공존 상황을 가정하여 BEM의 대역 외 방출 기준 값 설정 과정을 유도하고, 간섭을 최소화하기 위한 보호 대역을 도출하였다. 이러한 과정을 통하여 BEM의 기준 값 설정은 시스템의 요구 사항, 시스템의 배치, 그리고 수많은 시스템 전파 파라미터들에 의해 크게 영향 받음을 확인할 수 있었고, BEM 선정 과정에서 시스템들 간의 상대적 배치 및 보호 대역 또한 고려되어야 함을 알 수 있었다.

결국, BEM이 기술 중립적인 주파수 관리에 적합한 방법으로 제안되었으나, 실제로는 오히려 구체적인 기술 및 시스템 값에 크게 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 그러므로 다양한 기술에 대해 만족시킬 수 있는 BEM을 설계하기 위해서는, 그 설계 과정에서 적용 가능성이 있는 모든 기술들에 대해 미리 본 연구 과정

과 같은 분석이 충분히 수행될 필요가 있다.

참 고 문 헌

- [1] ECC, "The identification of common and minimal (least restrictive) technical conditions for 790 - 862 MHz for the digital dividend in the European Union", *CEPT Report 30*, Oct. 2009.
- [2] ECC, "Report from CEPT to the European Commission in response to the Mandate to develop least restrictive technical conditions for frequency bands addressed in the context of WAPECS," *CEPT Report 19*, Oct. 2008.
- [3] Ofcom, "Spectrum usage rights - a guide describing SURs," June 2008.
- [4] ITU-R Recommendation BT.419-3, "Directivity and polarization discrimination of antennas in the reception of television broadcasting"
- [5] ATSC Recommended Practice: Transmission Measurement and Compliance for Digital Television.
- [6] Korea Radio promotion association
- [7] 3GPP TS 36.104 V9.6.0 : "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception (Release 9)"
- [8] 3GPP TS 36.942 V9.2.0 : "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Frequency (RF) system scenarios (Release 9)"
- [9] Stefania Sesia, Issam Toufik, and Matthew Baker, LTE, *The UMTS Long Term Evolution : From theory to practice*, 2009 John Wiley & Sons Ltd.

김민제 (Minjae Kim)

정회원

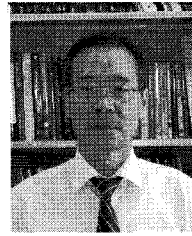


2005년 8월 아주대학교 전자공학부 졸업
2008년 2월 한국정보통신대학교 공학부 석사
2008년 2월~현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사과정

<관심분야> 통신 이론, 인지 무선, 간섭 관리

이혁재 (Hyuckjae Lee)

정회원



1970년 2월 서울대학교 전기공학과 졸업
1977년 2월 Oregon 주립대학교 전기 및 전자공학과 석사
1982년 2월 Oregon 주립대학교 전기 및 전자공학과 박사

1983년~2000년 한국전자통신연구원 무선방송연구 소장

2000년~2009년 한국정보통신대학교 공학부 교수

2009년~현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 교수

<관심분야> 무선 통신, 디지털 통신, 전파 관리, 전자공학, RFID

강윤석 (Yunseok Kang)

준회원



2010년 2월 광운대학교 전자학과 졸업
2010년 2월~현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사과정

<관심분야> 전자공학, 간섭 관리