

C 대역에서 MIMO SDMA 간섭경감기법을 고려한 IMT와 FSS 시스템간 주파수 공유 연구

Study on the Spectrum Sharing between IMT and FSS Systems Considering MIMO SDMA Interference Mitigation Technique in C Band

강영흥*

Young-Heung Kang*

요 약

새로운 서비스의 출현 및 스펙트럼 부족으로 인하여 기존 무선통신 서비스와의 주파수 공유가 매우 중요하다. 향후 IMT 서비스에 할당된 후보대역 중 C 대역(3400-4200MHz)은 기존에 FSS 서비스에서 활발히 이용되고 있어 유해한 간섭이 예상된다. 본 논문에서는 향후 IMT 서비스와 기존 FSS 서비스간의 주파수 공유를 평가하기 위해, 다수의 IMT 기지국들로부터 FSS 지구국에 수신되는 간섭 대 잡음전력비(I/N)을 구하여 I/N = -10dB 간섭보호 기준치에 의한 IMT 서비스 커버리지와 FSS 지구국간의 최소 분리거리를 파라미터로 두 시스템간의 주파수 공유기준을 제시한다. 특히 IMT 기지국에 MIMO SDMA 간섭경감기법을 적용함으로써 I/N 값을 획기적으로 개선시켜 적절한 분리거리로 두 시스템의 주파수 공유가 가능함을 보인다.

Abstract

Spectrum sharing between wireless systems becomes a critical issue due to emerging new technologies and spectrum shortage. Recently, IMT system has been allocated in the same frequency C band (3400-4200MHz) along with FSS services on co-primary basis, which means that harmful interference probability may be inspired. In this paper, to estimate the spectrum sharing between IMT and FSS systems, I propose the minimum separation distances as a sharing criterion of I/N = -10dB using the interference to noise ratio(I/N) received at the reference FSS earth station from IMT multiple base stations. Especially, some results imply that I/N values can be greatly reduced with MIMO SDMA interference mitigation technique of IMT base station so that FSS and IMT systems can co-exist in the same frequency with appropriate separation distance.

Key words : Spectrum sharing, IMT, FSS, MIMO, SDMA. C band

I. 서 론

무선통신서비스의 폭발적인 수요증가와 다른 한

편으로 스펙트럼 이용의 과도한 혼잡 및 고가비용에 따라 스펙트럼 규정의 기본적 변화를 예상하면서 주파수 공유문제에 대한 쟁점을 불러일으키고 있다. 주

* 군산대학교 전자정보공학부(School of Electronic & Information Eng., Kunsan National Univ.)

· 제1저자 (First Author) : 강영흥

· 투고일자 : 2010년 8월 24일

· 심사(수정)일자 : 2010년 8월 25일 (수정일자 : 2010년 10월 14일)

· 게재일자 : 2010년 10월 30일

파수 스펙트럼의 부족으로 인해 많은 대역들이 하나 이상의 무선서비스에 할당되어 있으며, 이로 인해 주파수 공유는 필연적이다. 그러므로 주파수 공유의 증가는 무선 서비스간의 간섭문제를 쉽게 야기한다 [1],[2].

WRC-03에서 권고 ITU-R M.1645[3]를 바탕으로 향후 이동통신용 주파수가 추가로 필요하다고 판단하여 IMT-2000 및 차세대 이동통신 시스템용 주파수 검토를 WRC-07 의제 1.4에서 다루어졌다. 의제 1.4 관련 작업은 IMT-2000 및 IMT-2000 이후의 시스템 (WRC-07에서 기존 IMT-2000 및 IMT-advanced 모두 IMT 용어로 통일) 관련 연구를 담당하는 ITU-R WP8F(현 WP5D)에서 향후 필요한 주파수 소요량 및 후보대역 등에 대한 연구를 진행하여 보고서 ITU-R M.2078[4]에서 2020년까지 IMT 용도로 총 1,280~1,720MHz의 대역이 필요하다는 결과를 보이고 있다. 또한 이 보고서에서는 후보대역을 7개 대역, 410-430MHz, 450-470MHz, 470-806/862MHz, 2300-2400MHz, 2700-2900MHz, 3400-4200MHz, 4400-4990MHz으로 압축하여 각 후보대역 별 장단점 및 이용현황, 각 국가별 선호대역이 정리되었다.

후보대역 중 C 대역(3400-4200MHz)은 40년 동안 전 세계에서 FSS(Fixed Satellite Service) 다운링크 (Space-to-Earth) 용으로 광범위하게 이용되어 왔다. 이 대역은 낮은 대기 흡수, 높은 신뢰성, 광역의 서비스 커버리지, 특히 열대지역에서 낮은 강우감쇄 등 우수한 특징을 갖고 있어 고 신뢰의 우주 대 지구 통신회선을 가능하게 한다. ITU는 이 대역의 일부에서 이동서비스가 Region 2와 3에서는 3500MHz 이상의 대역에서 주업무(primary service)로, Region 1의 3400-3800MHz 대역 및 Region 2와 3의 3400-3500MHz 대역에서 부업무(secondary service)로 할당되어 있다. 현재 한국은 3400-3700MHz 대역, 일본은 3600-4200MHz 대역을 고정위성서비스로 사용하고 있다. 그러나, 유럽 CEPT(European Conference of Postal and Telecommunications Administrations) 주파수 분배표에 의하면 3400-3800MHz 대역 일부에 FWA(Fixed Wireless Access) 서비스를 위해 사용하고 있다. 이 대역에 있어 BWA(Broadband Wireless Access) 시스템과의 주파수 공유와 관련된 CEPT

ECC 보고서가 완성되었으며, 최근에는 FWA 뿐만 아니라 휴대이동(NWA) 및 이동(MWA)와 같은 기타 BWA 이용모드로 확장되어 주파수 공유연구가 이루어졌다. 그 결과 BWA를 위한 주 이동업무가 유럽 주파수분배표에 포함되었다[5]. 그림 1에 C 대역 다운링크에 있어 IMT/BWA 주파수 분배를 보인다.

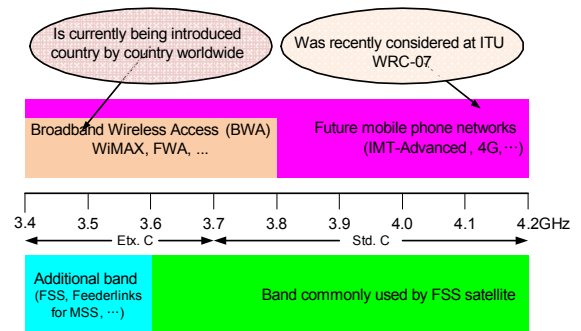


그림 1. C 대역 FSS 다운링크 상에서의 IMT/WBA 주파수 분배

Fig. 1. IMT/WBA spectrum allocation in C-band FSS downlink.

이에 향후 IMT 주파수 대역을 확보하기 위해서는 이들 후보대역에 있어 기존 서비스와 IMT 서비스간의 면밀한 주파수 공유연구를 필요로 하고 있어, ITU-R Report M.2109[6]에서 IMT와 FSS 시스템 간에 주파수 공유연구가 일부 수행되었지만, 연구결과의 활용도가 미비한 실정이다. 한편, IMT(또는 IMT-Advanced) 시스템은 기지국과 이동국 모두 다중안테나 구조 및 MIMO(Multiple Input - Multiple Output) 운용을 포함한 빔포밍(beamforming) 기술을 지원할 예정이어서 이와 같은 간섭경감기술 도입에 의한 주파수 공유연구가 필요한 실정이다. 또한, 마이크로웨이브 주파수에서 지상 간섭평가를 위해 CEPT 및 ITU에서 동의한 표준 전파모델은 ITU-R Rec. P.452-12[7]으로 주어진다. 이 모델은 시골(rural), 교외(suburban), 도시(urban), 밀집도시(dense urban) 지역에 따른 클러터(clutter) 손실을 정의하고 있어, 이 4 가지 전파환경에 대한 FSS 시스템과 IMT 시스템간의 주파수 공유연구가 필요하다.

본 논문에서는 후보대역인 3400-4200MHz 대역에서 MIMO SDMA 간섭경감기법을 적용한 셀룰러 기반의 IMT 기지국들이 한 FSS 기지국에 미치는 간섭영향분석을 위해 4 가지 지역에 있어서의 클러터

(clutter) 손실을 고려하여 주파수 공유연구를 위한 간섭분석 방법을 제시하였다. I/N (간섭대 잡음전력비) = -10dB 간섭보호 기준치를 사용하여 기존 FSS 지구국과 새로운 IMT 매크로(macro)와 마이크(micro) 기지국 서비스 커버리지 간의 최소 분리거리(separation distance)를 파라미터로 두 시스템간의 주파수 공유기준을 도출하여 향후 이 후보대역에 대한 주파수공유 기준 자료로 활용될 수 있도록 한다.

II. 간섭시나리오

그림 1의 3.4-4.2GHz (C 대역) 대역은 ITU 무선규칙(Radio Regulation)의 Article 5에 의해 전 세계적으로 FSS 다운링크(space-to-Earth)에 분배되어 있다. 한편, ITU 무선규칙 Appendix 7에서는 100MHz - 105GHz 대역에서 지상 무선통신 서비스와 주파수 공유를 행하는 송신 또는 수신 지구국 주위의 조정영역(coordination area)의 결정절차를 제공하고 있다[4]. 따라서 IMT 후보대역의 수신 지구국에 대해서도 IMT 서비스와 주파수 공유를 하기 위해 허용간섭 레벨 내에서 지구국 주위의 조정영역이 필요하다. 이를 근거로 FSS 지구국 주위의 조정영역을 고려하여 IMT 기지국들에 의한 간섭영향 분석을 위한 시나리오를 그림 2에 나타낸다.

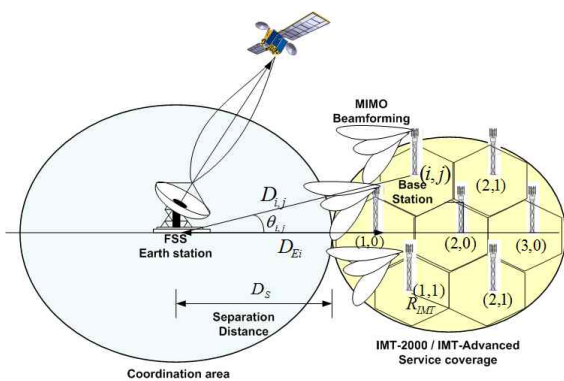


그림 2. FSS 지구국에 미치는 다수의 IMT 기지국의 간섭 시나리오

Fig. 2. Interference scenario of multiple IMT base stations into a FSS earth station.

그림 2에 보이는 바와 같이 IMT 서비스 커버리지와 FSS 지구국간의 최소 분리거리를 D_s , IMT 셀 반경을 R_{IMT} 이라면, IMT 기지국 (i,j) 와 FSS 지구국간의 거리 $D_{i,j}$ 및 이루는 각 $\theta_{i,j}$ 는 각각 다음과 같이 구할 수 있다.

$$D_{i,j} = \sqrt{D_E^2 + 3jR_{IMT}^2 + \sqrt{3}jD_ER_{IMT}} \quad (1)$$

$$\theta_{i,j} = \cos^{-1} \left(\frac{D_{i,j}^2 + D_E^2 - (\sqrt{3}jR_{IMT})^2}{2D_{i,j}D_E} \right) \quad (2)$$

여기서, $D_E = \frac{\sqrt{3}}{2}R_{IMT} + D_s$ 이다.

III. 전파모델

지상 간섭평가를 위해 CEPT 및 ITU에서 동의한 표준 전파모델은 ITU-R Rec. P.452-12[7]으로 주어진다. 이 모델은 주파수 공유 및 공존 연구를 위해 사용되며, 자유공간손실 및 클러터(clutter)에 기인하는 감쇄를 포함한다.

$$L(d) = 92.5 + 20\log r + 20\log f + A_h \quad (3)$$

여기서, r (km)는 간섭원과 피간섭원과의 거리, f (GHz)는 캐리어 주파수, 감쇄 A_h (dB)는 로컬 클러터로부터 보호에 기인하는 손실 또는 소위 클러터 손실이며 다음과 같이 표현된다.

$$A_h = 10.25e^{-d_k} \left[1 - \tanh \left\{ 6 \left(\frac{h}{h_a} - 0.625 \right) \right\} \right] - 0.33 \quad (4)$$

여기서, d_k (km)는 안테나에 대한 공칭 클러터 점(nominal clutter point)으로부터의 거리, h (m)는 지상으로부터 안테나 높이, h_a (m)는 지상으로부터 공칭 클러터 높이이다. ITU-R Rec. P.452-12[7]에 시골(rural), 교외(suburban), 도시(urban), 밀집도시(dense urban)에 따른 클러터 높이 및 공칭거리(nominal distance)를 표 1과 같이 주어진다.

표 1로부터 시골지역에 비해 교외지역의 공칭거리 % 감소는 약 75%, 시골지역에 비해 도시 및 밀집도시의 감소는 각각 80%, 교외지역에 비해 도시 및 밀집도시의 감소는 각각 20% 정도임을 알 수 있다. 이와 같은 공칭거리의 차이는 시골, 교외, 도시와 같은 지역적 특성에 따른 클러터 높이에 기인한다. 그림 3은 표 1의 파라미터를 이용하여 식 (4)로부터 얻어진 시골, 교외, 도시, 밀집도시 지역에서의 클러터 손실을 보이며, 안테나 높이를 클러터 높이까지 증가시킴에 따라 클러터 손실은 감소함을 알 수 있다.

표 1. 공칭 클러터 높이 및 거리
Table 1. Nominal clutter height and distances.

Clutter category	Clutter height h_a (m)	Nominal distance d_k (km)
Rural	4	0.1
Suburban	9	0.025
Urban	20	0.02
Dense urban	25	0.02

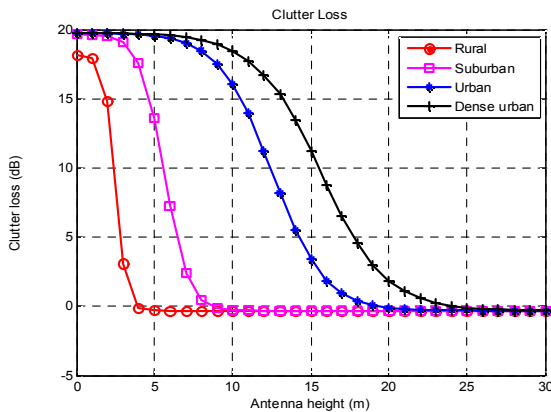


그림 3. 시골, 교외, 도시, 밀집도시에서의 클러터 손실
Fig. 3. Clutter loss for rural, suburban, urban, and dense urban areas.

IV. 시스템 특성

4-1 FSS 파라미터

FSS 수신 지구국에 미치는 간섭을 평가하는데 사용되는 주요 FSS 파라미터를 표 2에 나타낸다[6]. 안테나 직경은 2.4m 및 11m(피더 링크)이며, 안테나 고

도는 30m(urban case) 및 3m(rural case)이다.

무선통신 위성시스템 지구국간, 이들 지구국과 동일 주파수 대역을 공유하는 타 서비스 무선국간의 상호간섭 평가에는 다음의 지구국 안테나를 위한 단일 방사패턴을 사용하는 것이 필요하다[2],[8].

$$G_r(\theta) = \begin{cases} 32 - 25\log\theta, & \text{for } 1^\circ \leq \theta \leq 48^\circ \\ -10, & \text{for } 48^\circ < \theta \leq 180^\circ \end{cases} \text{ (dBi)} \quad (5)$$

여기서, θ 는 안테나 메인로브(main lobe) 축으로부터 이루는 각이다.

표 2. 전형적인 C 대역 FSS 다운링크 파라미터
Table 2. Typical C-band downlink parameters.

Parameter	Typical value	
Range of operating frequencies	3400-4200MHz, 4500-4800MHz	
Earth station off-axis gain towards the local horizon(dBi)	Elevation angle	5°, 10°, 20°, 30°, 48°, >85°
	off-axis gain	14.5, 7.0, -0.5, -4.9, -10, 0
Antenna reference pattern	Recommendation ITU-R S.465(up to 85°)	
Range of emission bandwidths	40kHz-72MHz	
Receiving system noise temperature	100K	
Earth station deployment	All regions, in all locations(rural, semi-urban, urban)	

4-2 IMT 파라미터

IMT 기지국의 주요 파라미터를 표 3에 보인다.

표 3. IMT 기지국 파라미터[5]
Table 3. IMT base station parameters[5].

Parameter	Value
EIRP density range	46 dBm/MHz(Macro base station) 22 dBm/MHz(Micro base station)
Antenna gain	20 dBi(Macro cell) 5 dBi(Micro cell)
Antenna pattern	MIMO
Feeder loss	4 dB(Macro cell) 0 dB(Micro cell)
Base station antenna height	30m(Macro cell) 5m(Micro cell)
Bandwidth	20-100MHz

그림 4는 FSS 지구국에 미치는 간섭을 억압시키기 위한 IMT 기지국 널스티어링(null-steering) 빔포머 (beamformer) 구조를 보인다[6]. 여기서는 일정 간격

의 N_T 개의 소자를 갖는 선형 안테나를 고려하면, 빔 셀렉터로부터 데이터 신호 x_k ($k = 1, 2, \dots, N_T$)는 FSS 지구국 방향으로 널(null)을 형성하기 위해 웨이트(weight) 벡터집합 $U = \{w_1, w_2, \dots, w_{N_T}\}$ 을 직접 공급한다.

$w_m = [w_1^{(m)}, w_2^{(m)}, \dots, w_{N_T}^{(m)}]$ 는 행 벡터 m 번째 웨이트 벡터로서 다음 식으로 주어진다.

$$\begin{cases} w_m \dot{a}(\phi_d) = 1 \\ w_m \dot{a}(\phi_i) = 0, i = 1, 2, \dots, N_T - 1 \end{cases} \quad (6)$$

여기서, $\dot{a}(\theta)$ 는 어레이 브로드사이드(broadside)에 대한 각 θ 에서의 스티어링 벡터로서 다음과 같이 정의된다.

$$\dot{a}(\phi) = \left[1 \ e^{j2\pi \frac{d}{\lambda} \sin\phi} \ \dots \ e^{j2\pi (N_T-1) \frac{d}{\lambda} \sin\phi} \right]^T \quad (7)$$

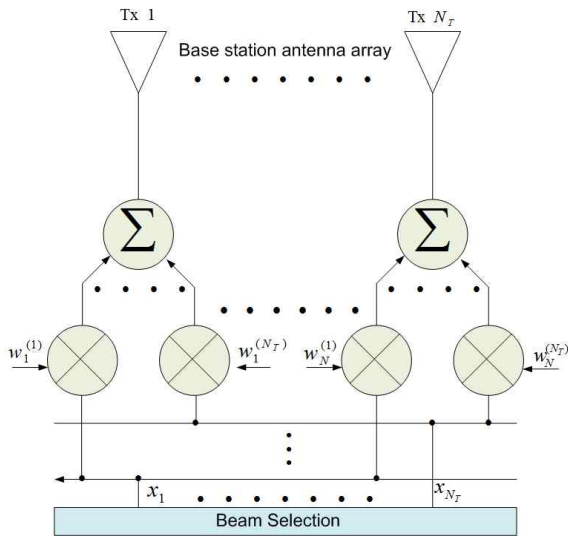


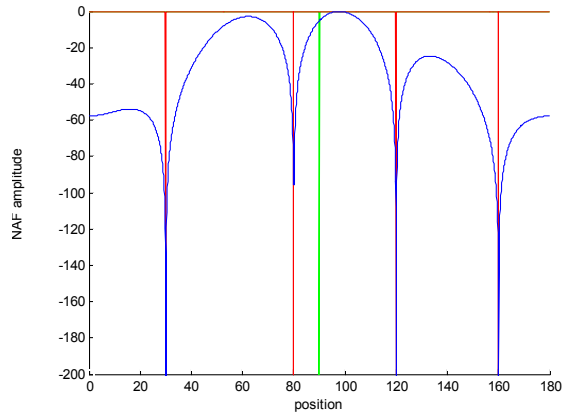
그림 4. 선형 어레이 MIMO 다운링크용 널스티어링에 근거한 IMT 기지국

Fig. 4. IMT base station based on null-steering for MIMO downlinks with linear array.

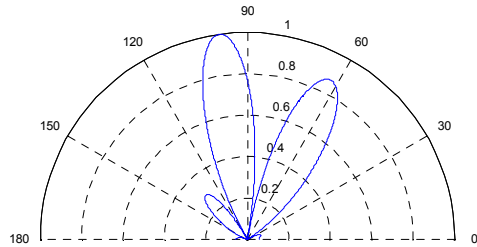
식(6)으로부터 만일 모든 스티어링 벡터가 선형적으로 독립이면, 웨이트 벡터 해는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$w^H = e_1^T \hat{A}^{-1} \quad (8)$$

여기서, $\hat{A} = \{\dot{a}(\phi_d) \ \dot{a}(\phi_1) \ \dots \ \dot{a}(\phi_{N_T-1})\}$ 는 스티어링 행렬이며, $e_1 = (1 \ 0 \ \dots \ 0)^T$ 는 단위 벡터이다. 한 예로서 유저(user)는 90° 에, 간섭원은 $30^\circ, 80^\circ, 120^\circ, 160^\circ$ 에 놓일 때, 5개의 소자로 구성된 MIMO 안테나에 대한 특성을 그림 5에 보인다.



(a) Logarithmic (in dB)



(b) Polar plot

그림 5. 널스티어링 빔포머 예
Fig. 5. An example of null-steering beamformer.

V. 간섭평가

만일 주파수공유 기준치가 만족되면 두 시스템은 주파수 공유가 가능하다. 주파수공유 및 간섭보호 기준치는 절대 간섭레벨 I 로서, 간섭 대 잡음 전력비, I/N , 또는 캐리어 대 간섭신호 전력비, C/I 로 정의된다[1]. ITU-R Recommendation F.758-3[9]은 고정 서비스 수신기에 미치는 장기간(long-term) 간섭을 위해 간섭 대 잡음전력비(I/N)에 대한 두 가지 일반적

허용치를 상세히 다루고 있다. 이 접근법은 잡음지수와는 별도로 피간섭원의 대부분의 특성에 관계없는 허용 한계치를 정의하기 위한 방법을 제공한다. 각 고정서비스는 수신기 민감도(sensitivity)에서 1dB 열화(즉, 캐리어 대 잡음비(C/I)와 캐리어 대 잡음 간섭비($C/(N+I)$ 간의 차)를 허용한다.

이전부터 시스템간의 주파수 공유를 위해 간섭 대 잡음전력비(I/N) 기준이 사용되었으며, 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$I - N \leq \alpha \quad (9)$$

여기서, I (dB)는 M 개의 IMT 동일채널 기지국 간섭원들에 의한 총 간섭레벨이며, 다음과 같이 구할 수 있다.

$$I = 10 \log \left(\sum_{m=1}^M 10^{(P_{tm} + G_{tm}(\phi) + G_r(\theta) + B_r - L_m(d))/10} \right) \quad (10)$$

여기서, P_{tm} (dB)은 IMT m 기지국 간섭원의 송신전력, $G_{tm}(\phi)$ (dBi) 및 $G_r(\theta)$ (dBi)은 각각 off-axis ϕ 및 θ 에서의 IMT m 기지국 간섭원 및 FSS 지구국 피간섭원의 안테나 이득이다. $L_m(d)$ 는 식(3)으로 주어지는 자유공간 및 클러스터 손실에 기인하는 감쇄이다. B_r 은 대역비 정정인자(correction factor)를 나타내며, 다음과 같이 간섭원 대역폭, BW_i 와 피간섭원의 대역폭, BW_w 에 의존한다.

$$B_r = \begin{cases} -10 \log \left(\frac{BW_i}{BW_w} \right), & \text{if } BW_i \geq BW_w \\ 0, & \text{if } BW_i < BW_w \end{cases} \quad (11)$$

한편, 식(9)의 N (dB)은 수신기의 열잡음으로서 다음에 의존한다.

$$N = -144 + NF + 10 \log_{10}(BW_w) \quad (12)$$

여기서, NF (dB)는 수신기의 잡음지수, BW_w (MHz)은 피간섭원, 즉 FSS 지구국 수신기 대역폭을 나타낸다. 또한, 식(9)의 α (dB)는 보호비로서 -10dB

의 값을 갖는데 이는 간섭이 열잡음보다 대략적으로 10dB 이하이어야 한다는 점을 의미한다.

VI. 주파수 공유 시나리오

IMT 시스템과 기존의 FSS 시스템간의 주파수 공유를 분석하기 위해서는 IMT 기지국으로부터 FSS 지구국 및 위성에 미치는 간섭영향과 IMT 이동국으로부터 FSS 지구국 및 위성에 미치는 간섭영향을 종합적으로 판단해야 하지만, 이전의 연구[5]로부터 IMT 이동국보다는 기지국에 의한 간섭영향이 지배적이므로 본 논문에서는 IMT 기지국들로부터 FSS 지구국에 미치는 간섭영향만을 식(9)에 의해 평가하여 두 시스템간의 주파수 공유 시나리오를 설정한다. 이를 위해 IMT 시스템은 그림 2와 같이 7개의 기지국으로 구성하며, 표 3을 참고로 시골지역에서 매크로기지국(셀 반경 3km, 안테나 최대이득 및 높이를 20dBi 및 30m로 고정), 도시지역에서 마이크로기지국(셀 반경 500m, 안테나 최대이득 및 높이를 5dBi 및 5m로 고정)을 가정한다.

한편, FSS 기준 지구국 하나는 그림 2와 같이 위치하고, 나머지 2개의 지구국은 각각 30도 및 160도(FSS 지구국 방향을 90도로 가정) 방향의 3개의 FSS 피간섭원 지구국 및 50도 방향에 IMT 유저가 놓인다고 가정하여 안테나 소자(element) 4개로 구성된 IMT 기지국 MIMO 안테나를 고려한다.

그림 6에 최악의 간섭 시나리오로서 IMT 기지국에 MIMO SDMA 간섭경감기법을 적용하지 않고 안테나 최대이득을 고려하여, FSS 양각이 10도로 아주 낮은 경우에 시골 및 도시지역에서의 그림 2의 분리거리, D_s 에 따른 I/N 값을 계산하여 나타내었다. $I/N = -10$ dB를 간섭기준치로 설정하여 시골 및 도시지역에서의 IMT 및 FSS 시스템간의 주파수 공유조건은 최소 서비스 분리거리가 각각 1500km, 100km 이상으로 매우 비현실적인 주파수 공유조건을 보이고 있다.

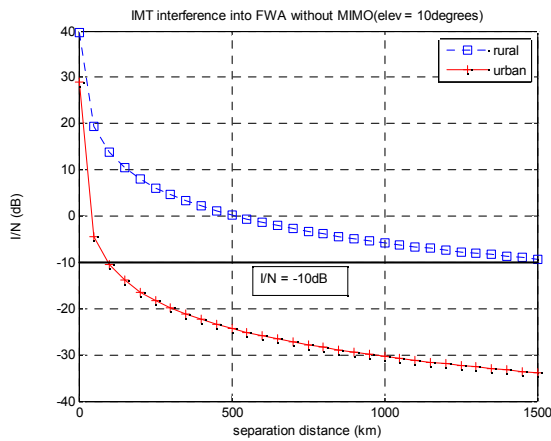


그림 6. IMT MIMO 안테나 적용하지 않을 때의 분리거리에 따른 I/N(양각 10°)

Fig. 6. I/N versus separation distance without IMT MIMO antenna(elevation angle=10°).

본 논문에서는 IMT 서비스와 FSS 서비스간의 주파수 공유조건을 개선하기 위해 IMT 기지국에 MIMO SDMA 간섭경감기술을 사용하여 식(2)의 도래각을 갖는 FSS 지구국 및 가정한 다른 2개의 지구국 전파 도래각에 널(null)을 형성시켜 간섭을 최소화하였다. 3개의 FSS 지구국 방향과 1개의 유저 방향을 고려하여 4개의 안테나 소자로 구성된 그림 4의 MIMO 안테나에 의한 주파수 공유조건 개선효과를 FSS 지구국 양각이 비교적 높은 60도에서의 분리거리, D_s 에 따른 I/N 결과값을 그림 7에 나타내었다. 시골지역에서 IMT 기지국에 MIMO 안테나를 사용할 때는 사용하지 않을 때와 비교하여 최소 분리거리를 250km에서 0km로 획기적으로 줄여 나갈 수 있다. 또한, 도시지역에서는 높은 FSS 지구국 양각에 의해 MIMO를 사용하지 않을 때는 최소 분리거리가 12km 이상을 요구하지만, MIMO를 사용하면 0km에서도 $I/N = -30\text{dB}$ 로 -10dB 의 주파수 공유조건보다 20dB 정도 마진을 얻을 수 있다.

이를 좀 더 구체적으로 평가하기 위해 FSS 지구국 양각에 의한 최소 분리거리를 구해 그림 8에 나타내었다. IMT 기지국에 MIMO 간섭경감기술을 사용하면, 시골지역에서 지구국 양각이 5도로 매우 낮을 때 최소 분리거리가 16.5km이지만, 양각이 16도 이상이면 분리거리가 0km의 주파수 공유조건이 얻어진

다. 한편, 도시지역에서는 양각에 상관없이 항상 0km의 주파수 공유조건이 얻어진다.

이러한 결과들로부터 식(2)에 의한 FSS 지구국 방향에 널빔(null beam)을 형성시키는 이상적인 경우를 고려하여 간섭평가가 이루어진다면 MIMO SDMA 기술을 적용한 IMT 기지국들에 의해 FSS 지구국과 IMT 서비스 커버리지 간의 최소 분리거리를 획기적으로 줄일 수 있어 동일 주파수를 사용하는 두 시스템간의 적절한 분리거리로 주파수 공유가 가능함을 알 수 있다. 그러나, FSS 지구국 안테나 방향에 대한 평가가 불완전하다면, 두 시스템간의 주파수 공유조건에 열화를 가져오게 된다. 이러한 FSS 지구국 안테나 방향에 대한 평가에러에 따른 최소 분리거리를 그림 9에 나타내었다. 여기서, FSS 지구국 양각이 낮은 10도로 가정할 때, 시골지역에서 FSS 안테나 방향 평가에러가 증가함에 따라 주파수 공유를 위한 최소 분리거리가 증가함을 알 수 있으며, 5도에서 20km, 20도에서 75km 이상으로 급격히 증가하고 있다. 한편 도시지역에서는 어느 정도 FSS 안테나 방향 평가에러에 상관없이 0km의 주파수 공유 조건이 유지되고 있다.

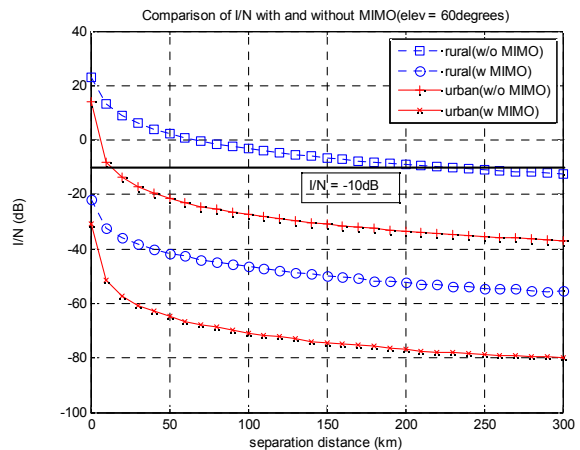


그림 7. IMT MIMO 안테나 적용과 적용하지 않을 때의 I/N 비교(양각 60°)

Fig. 7. Comparison of I/N with and without IMT MIMO antenna(elevation angle=60°).

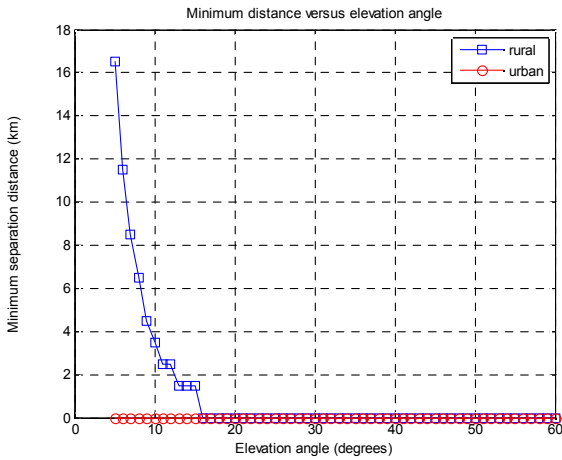


그림 8. IMT MIMO 적용의 FSS 지구국 양각에 따른 최소 분리거리

Fig. 8. Minimum separation distance versus elevation angle of FSS earth station with IMT MIMO.

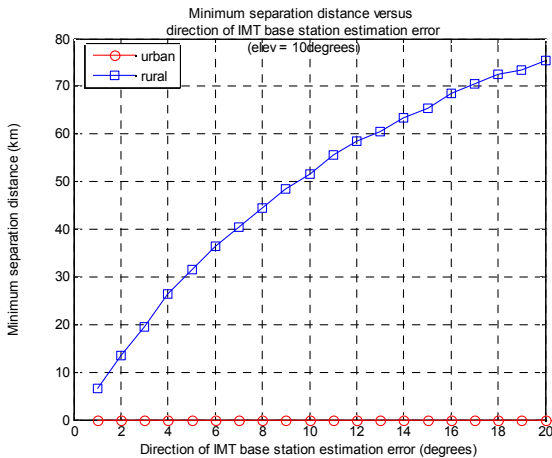


그림 9. FSS 지구국 방향평가 에러에 대한 최소 분리거리(양각 10°)

Fig. 9. Minimum separation distance versus direction of FSS earth station estimation error(elevation angle=10°).

VI. 결 론

동일채널을 사용하는 시스템간의 주파수 공유는 매우 어려운 일이며, 시스템 규격, 전파모델, 구현하는 지역 전파환경, 간섭형태 등 많은 파라미터들에 의존한다. 본 논문에서는 다수의 IMT 기지국들로부터 한 FSS 지구국에 미치는 간섭영향을 간섭 대 잡음

전력비(I/N) 기준으로 평가하여 FSS 지구국과 IMT 서비스 커버리지 간의 최소 분리거리에 의한 주파수 공유조건에 대해 분석하였다. 특히, IMT 기지국에 MIMO SDMA 간섭경감기법을 적용함으로써 동일조건하에서 두 시스템간의 최소 분리거리를 획기적으로 감소시켜 향후 FSS 서비스지역에 적절한 분리거리로 IMT 서비스 제공을 위한 주파수 공유가 가능함을 제시하였다.

여기서는 IMT 기지국들로부터 한 FSS 지구국에 미치는 간섭평가를 통해 주파수 공유기준을 제시하였지만, 이와 반대로 FSS 지구국으로부터 IMT 기지국에 미치는 간섭영향도 본 논문에서와 동일한 간섭평가방법을 이용하여 주파수 공유조건을 구할 수 있다.

본 논문에서의 주파수 공유조건을 도출하기 위한 간섭평가 모델은 IMT 기지국 수, 송수신 안테나 높이, 셀 반경 등 여러 파라미터들에 의한 I/N 및 최소 분리거리 등을 분석할 수 있도록 일반화 시켰으며, 이들 파라미터를 고려한 주파수 공유조건을 쉽게 구할 수 있다.

IMT 기지국에 MIMO SDMA 간섭경감기법을 사용하지 않았을 때의 최악의 간섭시나리오에서는 FSS 지구국 양각이 비교적 낮은 10도에서는 도시지역에서 1500km, 시골지역에서 100km 이상, 양각이 비교적 높은 60도에서는 시골지역에서 250km, 도시지역에서 12km 이상의 비현실적인 최소 분리거리의 주파수 공유조건이 얻어졌지만, MIMO 기술을 적용하면, 도시지역은 FSS 양각에 상관없이 항상 0km의 최소 분리거리, 시골지역은 높은 양각인 60도에서 0km, 양각이 낮은 10도에서도 16.5km이면 FSS 시스템과 IMT 시스템간의 주파수 공유가 가능하므로 향후 MIMO SDMA 간섭경감기술은 향후 주파수 스펙트럼 관리 및 시스템간의 주파수 공유차원에서 반드시 요구되는 기술이라 하겠다.

참 고 문 헌

[1] Z, A. Shamsan and T. A. Rahman, "On the comparison of intersystem interference scenarios between IMT-advanced and fixed services over various deployment areas at 3500MHz", *Progress In Electromagnetic Research C*, vol.5, pp.169-185, 2008.

[2] 강영홍, "C 대역에서 IMT와 FSS 시스템간주파수 공유를 위한 최소 이격거리 분석," *한국항공학회 논문지*, 제13 권 제6호, pp.907-915, 2009. 12.

[3] ITU-R Recommendation M.1645, *Framework and overall objectives of the future development of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000*, June 2006.

[4] ITU-R Report M.2078, *Estimated spectrum bandwidth requirements for the future development of IMT-2000 and IMT-Advanced*, 2006.

[5] WiMAX Forum, *Compatibility of service using WiMAX technology with satellite services in the 2.3-2.7GHz and 3.3-3.8GHz bands*, 2007.

[6] ITU-R Report M.2109, *Sharing studies between IMT-Advanced systems and geostationary satellite networks in the fixed-satellite service in the 3400-4200 and 4500-4800MHz frequency bands*, 2007.

[7] TU-R Recommendation P.452-12, *Prediction procedure for the evaluation of microwave interference between stations on the surface of the Earth at frequencies above about 0.7GHz*, 2005.

[8] ITU-R Recommendation S.465-5, *Reference earth-station radiation pattern for use in coordination and interference assessment in the frequency range from 2 to about 30GHz*, April 1993.

[9] ITU-R Recommendation F.758-3, *Considerations in the development of criteria for sharing between the terrestrial fixed service and other services*, 2003.

강 영 흥 (姜榮興)



1984년 2월 : 한국항공대학교 통신공학과(공학사)
 1986년 2월 : 한국항공대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1993년 2월 : 한국항공대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
 1988년 3월~1990년 2월 : 한국항공대 통신공학과 조교
 1995년 8월~1996년 8월 : 일본 오사카대학 개원교수
 2003년 8월~2005년 2월 : 영국 York대학 방문교수
 1990년 4월~현재 : 군산대학교 전자정보공학부 교수
 관심분야 : 위성통신공학, 통신공학, 이동통신공학
 정보통신 표준화, USN