

C-대역에서 IMT 기지국과 FSS 지구국간의 주파수 공유 연구

Sharing Studies between IMT Base Stations and FSS Earth Station in C-band

강 영 흥 · 박 종 민* · 오 대 섭*

Young-Heung Kang · Jong-Min Park* · Dae-Sub Oh*

요 약

ITU에서는 고정 위성 업무(이하 FSS: Fixed Satellite Service) 하향 회선(space-to-earth)용으로 광범위하게 사용되어온 3,400~4,200 MHz 대역을 IMT 대역으로 검토한 바 있다. 이에 본 논문에서는 이 대역에서 다수의 IMT 기지국들이 FSS 위성지구국에 미치는 간섭 영향을 이론적으로 분석한 후, 시뮬레이션을 통해 기지국 안테나의 틸트(tilt) 각도 및 3 섹터(sector) 등에 의한 간섭 경감 기법을 고려하여, IMT 기지국과 FSS 지구국간의 주파수 공유 연구 결과를 고찰한다. 또한, 장기간(long-term) 및 단기간(short-term) 간섭 기준치를 이용, 두 무선국간의 주파수 공유를 위한 FSS 지구국 조정 영역(coordination area)을 도출하여 향후 3,400~4,200 MHz 대역에서 IMT 서비스와 기존 FSS 서비스간의 주파수 공유 기준치를 제공하고자 한다.

Abstract

ITU has considered the 3,400~4,200 MHz band, which is allocated worldwide on a primary basis to the FSS, as a candidate band for future development of IMT system. In this band, this paper presents the results of the sharing studies performed between FSS and IMT systems through the theoretical and simulation analysis on the interference from multiple IMT base stations into a receiving FSS earth station considering the interference mitigation techniques such as antenna tilt angle and 3 sectors on the IMT base station. By using the long-term and short-term interference threshold, the coordination areas for the FSS earth station are provided to share frequency in 3,400~4,200 MHz band between FSS earth station and multiple IMT base stations in future.

Key words : Sharing, Fss System, Imt System, C Band, Coordination Area

I. 서 론

ITU는 권고 ITU-R M.1645에서 차세대 이동통신(IMT-Advanced)을 음성·데이터·동영상 자료를 이 동시 100 Mbps, 정지시 1 Gbps의 속도로 제공하는 서비스로 정의하고 있다^[1].

WRC-03에서 권고 ITU-R M.1645^[1]를 바탕으로 향

후 이동통신용 주파수가 추가로 필요하다고 판단하 여 IMT 시스템용 주파수 검토를 WRC-07 의제 1.4에 서 다루어졌다. 의제 1.4 관련 작업은 IMT 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 후보 대역 등에 대한 연구를 진행하여 보고서 ITU-R

「본 연구는 방송통신위원회 및 정보통신연구진흥원의 IT원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음(2008-F-013-01, 스펙트럼공학 및 밀리미터파대 전파자원 이용기술개발)」

군산대학교 전자정보공학부(School of Electronic & Information Eng., Gunsan National University)

*한국전자통신연구원 방송통신융합연구부문 광역무선전송연구팀(Broadcasting & Telecommunications Convergence Research Laboratory, Global Area Wireless Transmission Research Team, Electronics and Telecommunications Research Institute)

· 논문 번호 : 20090106-004

· 수정완료일자 : 2009년 2월 24일

M.2078^[2]에서 2020년까지 IMT 용도로 총 1,280~1,720 MHz의 대역이 필요하다는 결과를 제시하고 있다. 또한, 이 보고서에서는 후보 대역을 7개 대역, 410~430 MHz, 450~470 MHz, 470~806/862 MHz, 2,300~2,400 MHz, 2,700~2,900 MHz, 3,400~4,200 MHz, 4,400~4,990 MHz으로 압축하여 각 후보 대역별 장단점 및 이용 현황, 각 국가별 선호 대역이 정리되었다.

이 대역 중 3,400~4,200 MHz 대역은 오랜동안 전 세계에서 FSS 하향 회선용으로 광범위하게 이용되어 왔다. 이 대역은 특히 낮은 대기 손실에 의해 심한 강우 페이드(fade) 조건을 갖는 지역을 포함한 광역 서비스 커버리지로 고 신뢰의 우주 대 지구 통신 회선을 가능하게 한다. 이 대역의 일부에서 이동 업무를 제2지역 및 제3지역에서는 3,500 MHz 이상의 대역에서 1차 업무(primary service)로, 제1지역에서는 3,400~3,800 MHz 대역, 그리고 제2지역 및 제3지역에서는 3,400~3,500 MHz 대역에서 2차 업무(secondary service)로 분배되어 있다. 현재 한국은 3,400~3,700 MHz 대역, 일본은 3,600~4,200 MHz 대역을 FSS로 사용하고 있다. 그러나, 유럽 CEPT 주파수 분배표에 의하면 3,400~3,800 MHz 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 FWA뿐만 아니라 휴대 이동(NWA) 및 이동(MWA)와 같은 기타 BWA 이용 모드로 확장되어 주파수 공유 연구가 이루어졌다. 그 결과 BWA를 위한 이동 업무가 유럽 주파수 분배표에 포함되었다^[3]. 그림 1에 C 대역 다운 링크에 있어 IMT/BWA 주파수 분배를 보인다.

한편, C 대역(3 GHz 이상)에서의 IMT 후보 대역의 논의는 WRC-07에서 가장 큰 쟁점으로 고정 위성 주요 사용국을 중심으로 극심한 반대에 의해 주요 이동통신 주요 지지국들이 요구한 C 대역의 전세계 또는 지역별 용도 지정은 무산되었다. 이에 향후 IMT 주파수 대역을 확보하기 위해서는 이들 대역에 있어 기존 업무 시스템과 IMT 시스템간의 면밀한 주파수 공유 연구를 필요로 하고 있으며, 특히 3,400~4,200 MHz 및 4,500~4,800 MHz 대역에서 IMT 시스템과 FSS 시스템간의 주파수 공유 연구가 수행되었으나^[4],

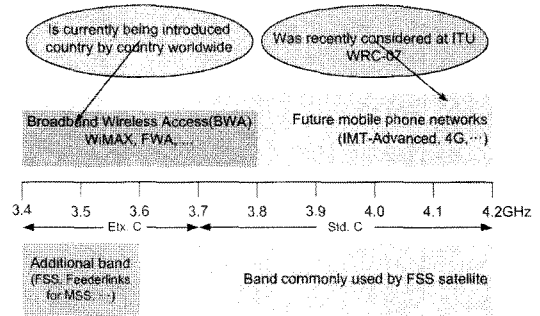


그림 1. C 대역 하향 회선 상에서의 IMT/WBA 주파수 분배

Fig. 1. IMT/WBA frequency assignment in C-band down-link.

시뮬레이션에 의존하고 있어 그 이론적 분석 및 연구 결과의 활용도가 미비한 실정이다.

본 연구에서는 3,400~4,200 MHz 대역에서 지상 기지국들이 위성 지구국에 미치는 간섭 영향을 이론적으로 분석한 후 시뮬레이션을 통해 전파 모델의 확장, IMT 기지국 안테나의 틸트 각(tilt angle), 3 섹터(sector) 등 여러 파라미터들을 고려하여 두 시스템간의 간섭분석을 행하고, I/N(간섭대 잡음전력비) 보호기준치를 사용, 두 시스템간의 주파수 공유 가능성을 제시하였다.

II. 간섭시나리오

3,400~4,200 MHz 대역은 ITU 전파규칙(radio regulations)의 제5조에 의해 전세계적으로 FSS 하향 회선으로 분배되어 있다. 한편, ITU 전파규칙 부록 7에서는 100 MHz~105 GHz 대역에서 지상 무선 통신 업무와 주파수 공유를 행하는 송신 또는 수신 지구국 주위의 조정 영역(coordination area)의 결정 절차를 제공하고 있다^[3]. 따라서, IMT 대역 내의 FSS 수신 지구국에 대해서도 IMT 시스템과 주파수를 공유하기 위해 허용 간섭 레벨내에서 지구국 주위의 조정 영역이 필요하다. 이를 근거로 지구국 주위의 조정 영역을 고려하여 다수의 IMT 기지국들로부터의 간섭 영향 분석을 위한 시나리오를 그림 2에 나타내었다.

그림 2에 보이는 바와 같이 IMT 시스템은 기본적으로 셀룰러 시스템을 이용하게 되므로, FSS 지구국 주변의 조정 영역을 제외한 셀룰러 커버리지(coverage) 내에 일정 간격으로 고르게 분포하는 모든 IMT

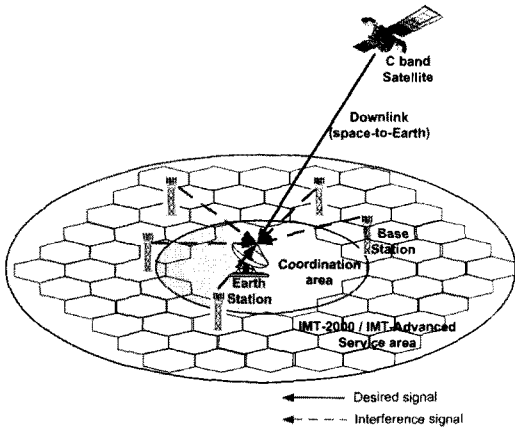


그림 2. 위성 지구국에 미치는 다수의 IMT 기지국들의 간섭 시나리오

Fig. 2. Interference scenario on the earth station affected by multiple IMT base stations.

기지국들의 간섭 영향을 고려한 총간섭(aggregated interference) 경우, 이들 IMT 기지국으로부터 FSS 지구국에 미치는 총간섭 전력은 다음과 같이 표현된다.

$$I_a = \sum_i \frac{P_b g_{bi} g_{ei}}{l_i} \quad (1)$$

여기서, I_a 는 다수의 IMT 기지국들로부터의 총간섭, P_b 는 IMT 기지국 송신 전력, g_{bi} 는 IMT 기지국 i 에서 FSS 지구국에 미치는 IMT 기지국 안테나의 송신 이득, g_{ei} 는 IMT 기지국 i 로부터의 전력을 수신하는 FSS 지구국 안테나 수신 이득, l_i 는 IMT 기지국 i 로부터 FSS 지구국에 이르는 전파 경로 손실이다. 이로부터 FSS 지구국 안테나 및 IMT 기지국 안테나 특성, 두 시스템간의 전파 경로 특성이 간섭 전력 분석에 필요한 주요 파라미터임을 알 수 있다.

III. 시스템 안테나 특성

무선통신 위성 시스템 지구국간, 이들 지구국과 동일 주파수 대역을 공유하는 타 서비스 무선국간의 상호 간섭 평가에는 참고문헌 [5]의 단일 복사 패턴을 사용하여 FSS 지구국 안테나 특성으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$g_e(\theta) = \begin{cases} G_{e0} \left(\frac{360}{2\pi} \theta \right)^{2.5}, & \frac{\pi}{180} \leq \theta \leq \frac{4\pi}{15} \text{의 경우} \\ 0.1, & \frac{4\pi}{15} < \theta \leq \pi \text{의 경우} \end{cases} \quad (2)$$

여기서, θ 는 안테나 주엽(main lobe) 축으로부터 이루는 각이며, $G_{e0}=1585$ 이다.

한편, IMT 기지국에 사용되는 안테나 패턴은 FSS 지구국에 미치는 간섭 레벨에 상당한 영향을 주게 되는데, 간섭 분석과 관련하여 기존에 기지국 수직 패턴 특성으로 ITU-R 권고 F.1336-1^[6]에 주어진 이득 패턴이 많이 이용되어 왔지만, 본 권고의 Note 5에 근거하여 다음의 안테나 패턴을 이용한다^[7].

$$g_b(x) = \begin{cases} G_{b0}/(15.85)^x, & 0 \leq x < 1 \text{의 경우} \\ G_{b0}/(15.85x^{1.5}), & 1 \leq x \text{의 경우} \end{cases} \quad (3)$$

여기서, 참고문헌 [4]에서의 마찬가지로 안테나 최대 이득 $G_{b0}=20$ dB=100으로 가정하며, $x=\varphi/\varphi_a$ 및 $\cos \varphi = \cos \phi \cos \theta$ 이다. 또한, φ 는 안테나 주 빔 축으로부터 (ϕ, θ)=(방위각, 고각) 방향에서 이루는 각이며, φ_a 는 3 dB 빔폭이다. ITU-R 권고 F.1336-1에 $\varphi_a = \frac{31000 \times 10^{-0.1 G_{max}}}{\phi_s}$ (ϕ_s 는 수평면(azimuthal plane)의 3 dB 빔폭)이다.

IV. 전파손실

지구표면상의 무선국들간에는 다양한 형태와 조합의 간섭 경로들이 존재하게 되며, 마이크로 간섭은 기후, 무선 주파수, 시간 퍼센트, 거리 및 경로 지형 등에 따른 전파 메커니즘, 즉 가시거리(line-of-sight), 회절(diffraction), 대류권 산란(tropospheric scatter), 표면 덕팅(surface ducting), 대기 강우 산란(hydrometeor scatter) 등의 범위에서 야기된다. 이를 고려한 전파 손실 예측 모델이 ITU-R 권고 P.452-11^[8]에서 권고되고 있으며, 가시거리에 기인하여 시간율(time percent)을 50 %로 가정하면, 운용주파수가 3.8 GHz일 때 전파 손실은 l 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$l = ab^r r^2 \quad (4)$$

여기서, 상수 $a=2.568 \times 10^{10}$, $b=1.01625$ 이며, r 는 IMT 기지국과 FSS 지구국간의 거리(km)이다.

V. 간섭분석

5-1 이론적 분석

다수의 IMT 기지국들로부터 FSS 지구국에 미치

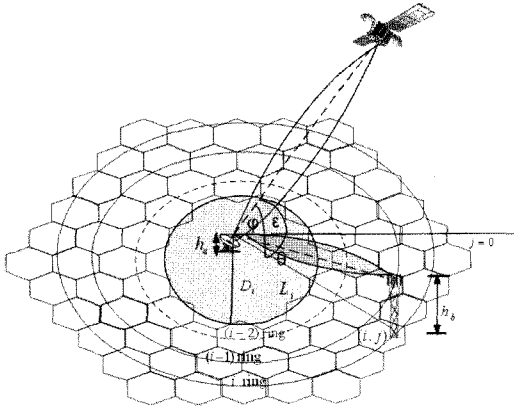


그림 3. 한 셀룰러 기지국이 FSS 지구국에 미치는 간섭 분석 개념도

Fig. 3. Analysis diagram for FSS earth station interfered by a cellular base station.

는 총 간섭전력은 식 (1)~(4)와 그림 3을 참조하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$I_a = \frac{p_b}{a} \sum_{i=D_i}^{\infty} \sum_{j=0}^{6i-1} \frac{g_e(\varphi_{i,j})g_b(\beta_{i,j})}{r_{i,j}^2} \quad (5)$$

여기서, (i, j) 는 각각 셀룰러 구조에서 i 번째 링(ring)의 j 번째 기지국 위치를 나타내며, D_i 는 FSS 지구국 주변의 조정 영역의 반지름, $\varphi_{ij} = \cos^{-1}(\cos \epsilon \cos \theta_{ij})$ 는 FSS 지구국 안테나 주엽에서 IMT 기지국을 바라보는 각이며, 여기서 ϵ 은 FSS 지구국이 위성을 바라보는 양각, θ_{ij} 는 IMT 기지국이 $j=0$ 을 기점으로 이루는 수평면상의 각을 나타낸다. 또한, β_{ij} 는 FSS 지구국이 IMT 기지국을 바라보는 양각을 나타내는데, 만일 기지국 안테나의 주엽이 FSS 지구국을 향하고 있다고 가정하고(기지국으로부터의 최대 간섭 조건을 가정), IMT 매크로셀의 기지국 안테나 높이, $h_b(=30 \text{ m})$ 가 FSS 지구국 안테나 높이, $h_2(=3 \text{ m})$ 보다 훨씬 크다고 하면, $\beta_{i,j} \approx \beta_j = \tan^{-1}\left(\frac{h_b}{L_i}\right)$ 이다.

한편, 그림 3의 셀룰러 구조에서 셀 반경을 $R(\text{km})$

표 1. FSS 지구국에 대한 셀룰러 사이트 관계
Table 1. Cellular site relation for FSS earth station.

Ring number	Number of cell sites on the ring	Horizontal distance L_i
1	6	$\sqrt{3}R$
2	12	$2\sqrt{3}R$
⋮	⋮	⋮
i	$6i$	$\sqrt{3}iR$

를 고려하면, FSS 지구국으로부터 IMT 기지국까지의 수평면상의 거리 L_i 와 링 번호 및 링 내의 셀의 수는 표 1과 같다^[9]. 여기서, 셀 반경은 매크로 셀에 적합한 3 km로 가정한다.

식 (2) 및 (3)과, 표 1의 셀룰러 구조의 관계를 이용하면 식 (5)는 식 (6)과 같이 FSS 지구국이 위성을 바라보는 양각, ϵ 의 함수로 구해진다.

여기서,

$$q(\epsilon) = \cos^{-1}\left(\frac{0.669}{\cos \epsilon}\right) / \pi \quad (7)$$

$$t(\epsilon) = \cos^{-1}\left\{\cos \epsilon \cos\left(\frac{2\pi}{6i}\right)\right\} \quad (8)$$

$$x_i = \tan^{-1}\left(\frac{h_b}{L_i}\right) / \varphi_a \quad (9)$$

또한, $\lceil x \rceil$ 는 x 이하의 최대 정수, $\lfloor x \rfloor$ 는 x 보다 큰 최소정수를 나타낸다. ITU-R 보고서 M.2019에서는 IMT 매크로셀 기지국인 경우, 1 MHz 대역폭당 EIRP 범위를 39~46 dBm/MHz로 주어지고 있으며^[4], 안테나 이득(=20 dBi) 및 피더 손실(feeder loss=4 dB)를 고려하면, 식 (6)의 기지국 송신 전력, $P_b=0.2 \sim 1 \text{ W/MHz}$ 이다.

$$I_a(\epsilon) \approx \begin{cases} \frac{p_b}{a} \sum_{i=D_i+1}^{\infty} \left[0.6i \times b^{-r} \left(\sqrt{L_i^2 + h_b^2} \right)^{-2} \times G_{b0} / (15.85)^{x_i^2} \right], & \epsilon > \frac{4}{15} \pi \text{의 경우} \\ \frac{p_b}{a} \sum_{i=D_i+1}^{\infty} \left\{ \left[G_{e0} / \left(\frac{360}{2\pi} \epsilon \right)^{2.5} + 2 \sum_{j=1}^{\lceil q(\alpha)(3i-1) \rceil} G_{e0} / \left(\frac{360}{2\pi} t(\epsilon) \right)^{2.5} + 2 \sum_{\lfloor q(\alpha)(3i-1) \rfloor}^{3i-1} 0.1 + 0.1 \right] \right. \\ \left. \times b^{-r} \left(\sqrt{L_i^2 + h_b^2} \right)^{-2} \times G_{b0} / (15.85)^{x_i^2} \right\}, & \frac{2\pi}{360} \leq \epsilon \leq \frac{4}{15} \pi \text{의 경우} \end{cases} \quad (6)$$

5-2 시뮬레이션

FSS 지구국에 미치는 다수의 IMT 기지국에 의한 총간섭 영향을 시뮬레이션하기 위해 그림 4에 보이듯이 FSS 지구국을 중심으로 조정 영역(coordination area)을 제외한 나머지 셀 중심에 기지국들이 일정(uniform)하게 분포한다고 가정한다. 그림 4는 조정 영역이 2 ring으로 표 1에 의하면 IMT 셀 반경이 3 km인 경우, 약 10.4 km 반경의 원을 형성하게 되며, 간섭에 미치는 셀들은 3~6 ring까지 분포하는 형태의 한 예이다.

그림 5는 다수의 IMT 기지국으로부터 FSS 지구국에 수신되는 총간섭 전력밀도(W/MHz)에 대해 식 (6)에 의한 이론적 분석 결과와 그림 4에서 조정 영역, D_i 를 각각 1 ring 및 5 ring을 가정하고 15 ring까지의 일정분포를 갖는 다수의 기지국으로부터의 간섭 전력을 시뮬레이션 결과를 비교한 것이다. 이 결과로부터 이론적 분석과 시뮬레이션 결과가 거의 동일하며, $D_i=1$ ring 및 FSS 지구국 양각이 10° 일 때 이론적 분석 결과는 약 2.1×10^{-9} W/MHz인 반면, 시뮬레이션 결과는 약 2.3×10^{-9} W/MHz로 차이를 보이고 있다. 이는 이론적 분석에서 동일 ring 선상의 기지국들은 FSS 지구국으로부터 일정한 거리를 보이는 반면, 시뮬레이션에서 6각 셀에 근거하여 동일 ring 상의 기지국들의 거리가 조금씩 차이를 갖고 있기 때문이다. 하지만, 이 차이는 조정 영역, D_i 가 5 ring

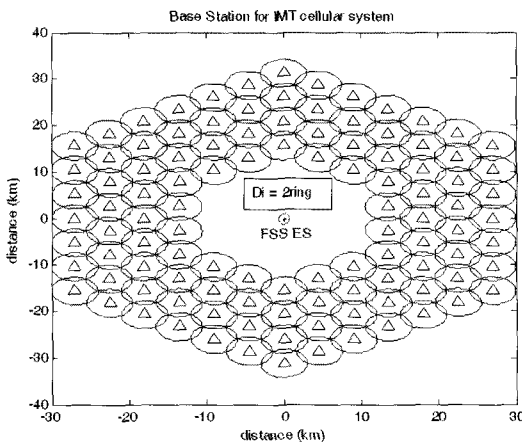


그림 4. 시뮬레이션을 위한 6 ring IMT 기지국 분포 예($D_i=6$ ring)
 Fig. 4. An example of 6 ring IMT base distribution for simulation($D_i= 6$ ring).

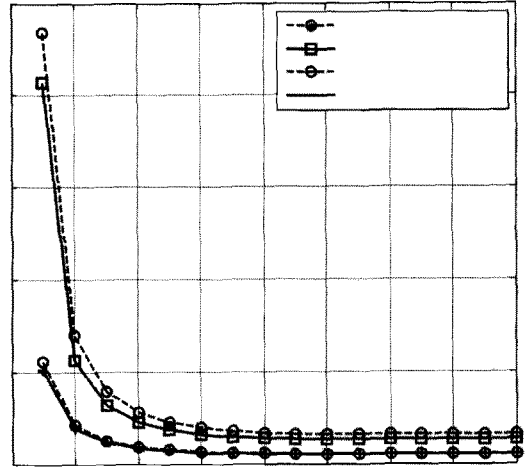


그림 5. 다수의 IMT 기지국들이 FSS 지구국에 미치는 간섭 전력
 Fig. 5. Interference power of multiple IMT base stations on FSS earth station.

으로 넓어지면 거의 무시되므로 이론적 분석 결과와 일치하게 된다. FSS 지구국의 양각이 20° 이하가 되면, 양각에 따라 간섭전력이 급격히 증가하지만, 양각이 40° 이상이 되면 지구국의 안테나 패턴(식 (2) 참조)에 따라 거의 동일한 간섭 전력이 얻어진다.

VI. I/N 기준치

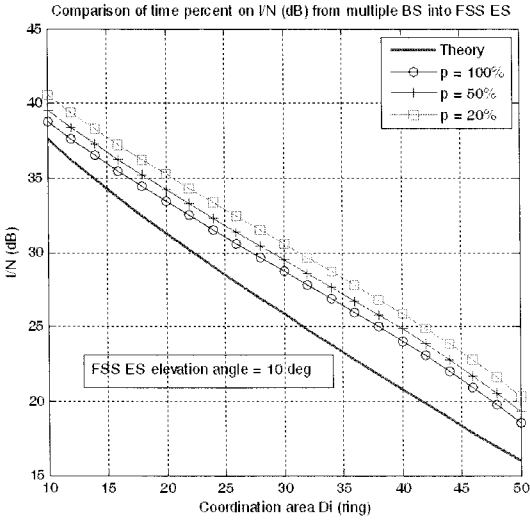
IMT 서비스로부터 FSS 지구국에 미치는 간섭 평가에는 다음의 두 가지 간섭 기준, 장기간(long-term) 및 단기간(short-term) 기준이 적용되고 있다^[4]. I/N 에 대한 평가는 식 (6)으로부터 다음과 같이 얻어진다.

$$\frac{I}{N}(\varepsilon) = 10 \log \left(\frac{I_a(\varepsilon) B_{IMT}}{kTB_{ES}} \right) - FL_{IMT} - FL_{ES} \quad (10)$$

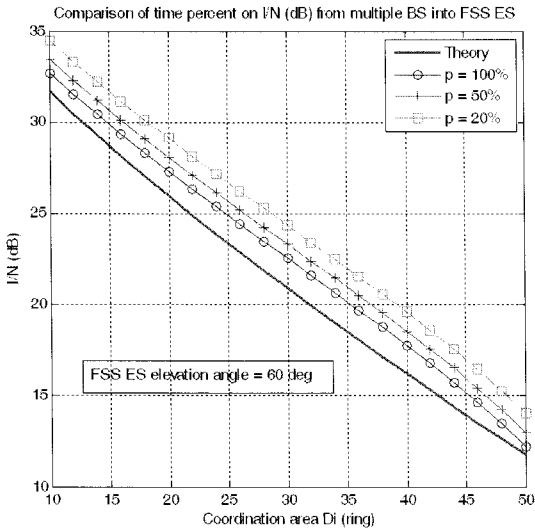
여기서, B_{IMT} 및 B_{ES} 는 각각 IMT 시스템 및 FSS 지구국 대역폭으로 30 MHz와 40 MHz를 가정한다. k 는 Boltzman 상수($=-228.6$ dB), T 는 시스템 잡음온도($^\circ K$)로 $100^\circ K$, FL_{IMT} 및 FL_{ES} 는 각각 IMT 시스템 및 FSS 지구국 안테나 피더 손실로서 4 dB 및 5 dB를 가정한다.

6-1 장기간 간섭 기준

ITU-R 권고 S.1432^[10]에 근거하여, 동일 대역 주파수 공유에 대한 간섭 기준은 최악월(worst month)의



(a) FSS 지구국 앙각=10°
(a) Elevation angle of FSS earth station=10°



(b) FSS 지구국 앙각=60°
(b) Elevation angle of FSS earth station=60°

그림 6. 조정 영역 및 시간율에 따른 I/N
Fig. 6. I/N versus coordination area and time percent.

100 % 동안 동일 1차 업무(co-primary)의 타 시스템으로부터의 총간섭에 대해서는 $I/N = -12.2 \text{ dB} (\Delta T/T = 6 \%)$, 또는 월 20 % 동안 동일 1차 업무로부터의 aggregate 간섭에 대해서는 $I/N = -10 \text{ dB} (\Delta T/T = 10 \%)$ 이다.

그림 6은 FSS 지구국 앙각이 비교적 낮은 경우(10°)와 비교적 높은 경우(60°)를 택하여 전파 손실 예측 모델 ITU-R 권고 P.452-11^[8]에 주어진 파라미터

시간율(time percent), $p\%$ 에 따라 조정 영역 D_i 를 파라미터로 구한 결과를 각각 (a) 및 (b)에 나타낸다. 여기서, 시뮬레이션을 위해 총 60 ring까지의 셀들을 고려하였다. 두 경우, 모두 이론치보다 큰 값이 얻어지고 있으며, 시간율 p 가 낮을수록 I/N 이 커지며, $p=20 \%$ 와 100% 를 비교하면 약 2 dB 정도 차이를 보인다. 또한, 예를 들어 $p=20 \%$ 인 경우, 조정 영역 D_i 를 50 ring(=약 260 km)까지 확장을 하여도 앙각이 10° 및 60°일 때 I/N 비가 각각 20 dB 및 14 dB가 얻어져, 장기간 간섭 기준치 $I/N = -10 \text{ dB} (p=20 \%)$ 를 만족하지 않는다.

한편, IMT 기지국들은 내부 서비스(intra-service)간 이라든지 이들 기지국과 FSS 지구국간의 주파수 공유를 위한 간섭 경감 기법으로 IMT 기지국 안테나 상에 다운틸트(downtilt)를 이용하고 있다. 그림 7은 FSS 지구국 앙각이 비교적 높은 60°, 전파 예측 모델의 $p=20 \%$ 인 경우 IMT 기지국들이 지구국에 미치는 간섭 전력에 미치는 안테나 다운틸트의 영향을 시뮬레이션한 결과이다. 안테나 틸트 각이 2°, 4° 증가함에 따라 I/N 은 약 7 dB, 14 dB 정도 개선됨을 알 수 있다. 하지만, 조정 영역은 50 ring에서도 간섭 기준치를 만족하지 않으며, 이외에도 IMT 기지국 안테나의 3섹터에 의한 간섭 경감 효과 분석이 필요하다.

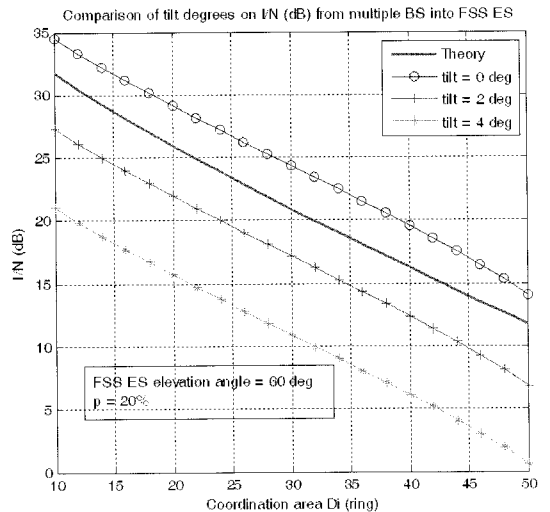


그림 7. 안테나 틸트 각에 따른 I/N(앙각=60도, $p=20 \%$)

Fig. 7. I/N versus antenna tilt angle(elevation angle=60°, $p=20 \%$).

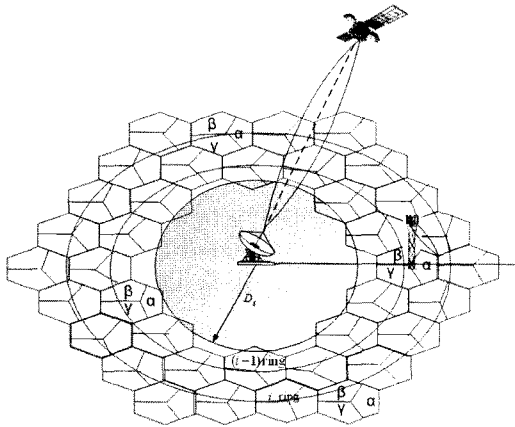


그림 8. IMT 기지국의 3 섹터 분포도
Fig. 8. 3 sector distribution of IMT base station.

이를 위해 그림 8에 IMT 기지국 3 섹터의 분포를 보인다. 이 분포에서 섹터 α 의 안테나 주 빔은 FSS 지구국의 주 빔 방향에서 반대로 향하고 있어 이 섹터와 FSS 지구국간에 간섭 영향이 최소임을 알 수 있으며, 이들 간의 주파수 공유를 위한 조정 영역을 그림 9에 나타낸다.

그림 9의 결과로부터 3 섹터에 의한 최대 I/N 개선 값은 14 dB 정도이며, 조정 영역 $D_i=40$ ring(약 208 km)에서는 장기간 간섭 기준치를 만족하지 않고 있지만, $D_i=50$ ring(약 260 km)에서는 FSS 지구국 양각

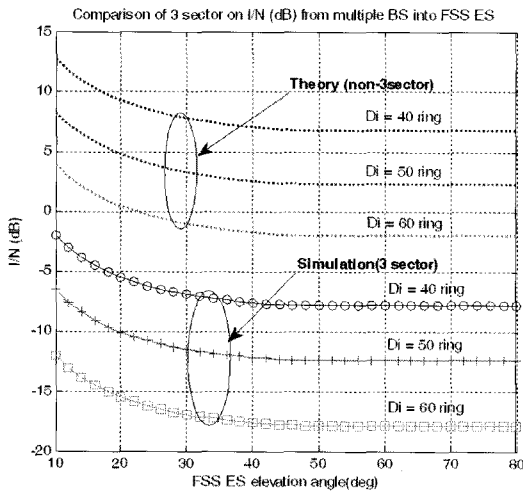


그림 9. 3 sector를 고려한 FSS 지구국 양각에 따른 I/N (tilt = 2°, $p=20\%$)
Fig. 9. I/N versus elevation angle of FSS earth station considering 3 sector(tilt=2, $p=20\%$).

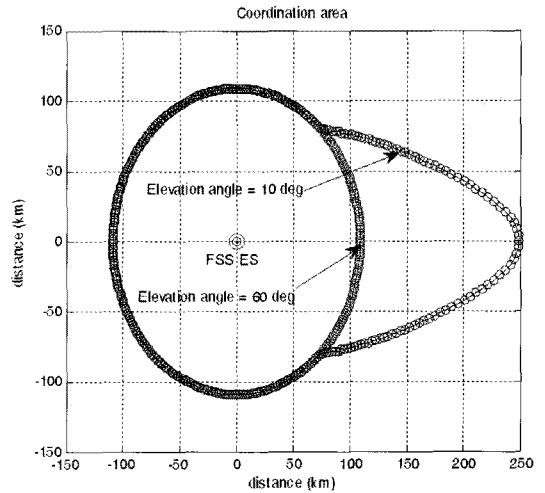


그림 10. 단일 엔트리에 대한 조정 영역($I/N=-1.3$ dB, $p=0.001667\%$)
Fig. 10. Coordination area for single entry($I/N=-1.3$ dB, $p=0.001667\%$).

이 20° 이상일 때 섹터 α 와 지구국간에 주파수 공유가 가능하며, 조정 영역 $D_i=60$ ring(약 312 km)에서는 FSS 지구국 양각이 10° 이하로 낮은 경우에도 섹터 α 와 지구국간에 주파수 공유가 가능하다.

6-2 단기간 간섭 기준

ITU-R 권고 SF.1006^[11]에 근거하여 단기간 간섭 기준치는 0.001667% 동안 단일 엔트리(single entry) $I/N=-1.3$ dB를 초과하지 않아야 한다. 이를 이용하여 FSS 지구국과 단일 엔트리의 IMT 기지국간의 주파수 공유를 위한 조정 영역을 구하면 그림 10과 같다. FSS 지구국 양각이 60°로 비교적 높은 경우에는 반경 약 110 km 정도의 원으로 조정 영역을 필요로 하지만, 양각이 10°로 아주 낮은 경우에는 지구국 주 빔 방향으로 최대 약 250 km, 지구국 안테나 후면 방향으로 최소 약 110 km의 조정 영역을 필요로 한다.

Ⅶ. 결 론

본 연구에서는 ITU에서 차세대 이동통신용 주파수 확보를 위해 검토했던 주파수 대역 중 하나인 3,400~4,200 MHz 대역에서 FSS 지구국에 미치는 다수의 IMT 기지국들의 간섭영향을 이론적으로 분석

하고 그 결과를 시뮬레이션을 통해 검증하였다. 또한, IMT 기지국 안테나의 틸트 각과 3 섹터를 고려하여 이들에 의한 간섭 경감 효과를 시뮬레이션한 후, 두 시스템간의 주파수 공유를 위한 장기간 및 단기간 간섭 기준치를 적용하였다.

다수의 IMT 기지국들로부터 FSS 지구국에 미치는 간섭 전력은 지구국의 위성을 향한 양각(elevation angle)에 따라 40° 이상에서는 동일한 형태를 보이나, 40° 이하로 낮아짐에 따라 급격히 증가한다. 이에 낮은 양각으로 운용되고 있는 FSS 지구국 서비스 지역에서는 향후 IMT 서비스와의 주파수 공유 연구를 면밀히 분석해야 하며, 여러 가지 간섭 경감 기법을 도입할 필요가 있다. 그 예로서 IMT 기지국 안테나의 틸트 각과 3 섹터에 의한 간섭 경감 기법을 고려하면, 장기간 간섭 기준을 적용할 때, 약 14 dB의 I/N 개선효과가 있으므로 주파수 공유를 위한 FSS 지구국의 조정 영역의 범위를 크게 줄일 수 있다. 즉, 조정 영역 $D=60$ ring(약 312 km) 이상이면, 10° 이하의 FSS 지구국 양각에서도 다수의 IMT 기지국들과 주파수 공유가 가능하다. 또한, 단기간 간섭 기준에 따라 IMT 기지국의 단일 엔트리(entry)에 의한 주파수 공유조건은 FSS 양각이 10° 이상에서 110~250 km 조정 영역이 필요하나, 안테나 틸트 및 3 섹터를 고려하면 이 조정 영역을 더욱 줄일 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] *ITU-R Recommendation M.1645*, "Framework and overall objectives of the future development of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000", Jun. 2006.
- [2] *ITU-R Report M.2078*, "Estimated spectrum bandwidth requirements for the future development of IMT-2000 and IMT-Advanced", 2006.
- [3] *WiMAX Forum*, "Compatibility of service using WiMAX technology with satellite services in the 2.3~2.7 GHz and 3.3~3.8 GHz bands", 2007.
- [4] *ITU-R Report M.2109*, "Sharing studies between IMT-Advanced systems and geostationary satellite networks in the fixed-satellite service in the 3,400~4,200 and 4,500~4,800 MHz frequency bands", 2007.
- [5] *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 30 GHz", Apr. 1993.
- [6] *ITU-R Recommendation F.1336-1*, "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", May 2000.
- [7] *ITU-R 9D/173*, "Proposed revision of recommendation ITU-R F.1336-1", Feb. 2002.
- [8] *ITU-R Recommendation P.452-11*, "Prediction procedure for the evaluation of microwave interference between stations on the surface of the Earth at frequencies above about 0.7 GHz", 2003.
- [9] Y. R. Tsai, J. F. Chang, "Feasibility of adding a personal communications network to an existing fixed-service microwave system", *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-44, pp. 76-83, Jan. 1996.
- [10] *ITU-R Recommendation S.1432*, "Apportionment of the allowable error performance degradations to fixed-satellite service(FSS) hypothetical reference digital paths arising from time invariant interference for systems operating below 15 GHz", 2000.
- [11] *ITU-R Recommendation SF.1006*, "Determination of the interference potential between earth stations of the fixed-satellite service and stations in the fixed service", 1993.

강 영 흥



1984년 2월: 한국항공대학교 통신 공학과 (공학사)
1986년 2월: 한국항공대학교 전자 공학과 (공학석사)
1993년 2월: 한국항공대학교 전자 공학과 (공학박사)
1995년 8월~1996년 8월: 일본 오사

카대학 객원교수

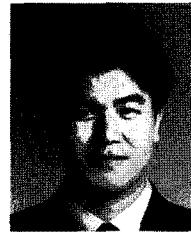
2003년 8월~2005년 2월: 영국 요크대학 객원교수

2000년 1월~현재: 한국 ITU-R 연구위원

1990년 4월~현재: 군산대학교 전자공학부 교수

[주 관심분야] 이동통신, 위성통신, 표준화

오 대 섭



1996년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)

1998년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)

1998년 3월~2000년 7월: LG 정보통신 주임연구원

2000년 7월~현재: 한국전자통신연구원 과제책임자/선임연구원

2000년 7월~현재: 한국 ITU-R 연구위원

[주 관심분야] 위성통신, 표준화

박 중 민



1991년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)

1993년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학석사)

1993년 3월~2000년 9월: 국방과학연구소 선임연구원

2000년 10월~현재: 한국전자통신연구원 전문위원/선임연구원

2000년 10월~현재: 한국 ITU-R 연구위원

[주 관심분야] 위성통신, HAPS, 표준화