

Ka 대역을 공유하는 정지궤도 위성망과 지상망간 주파수 간섭 평가 연구

정희원 오대섭*, 김수영**, 안도섭*

A Study on Assessing the Interference between GSO Satellite Network and Terrestrial Network in Ka Band

Dae-Sub Oh*, Sooyoung Kim**, Do-Seob Ahn* *Regular Members*

요 약

오늘날의 다양한 무선 시스템을 통한 서비스의 공존은 간섭 문제를 야기시킬 수 있으며, 제한된 주파수 대역을 효율적으로 활용하기 위해서는 보다 정확하고 효과적인 주파수 공유 기술에 대한 연구가 필수적이라고 할 수 있다. 특히 위성시스템이 가지는 광역성으로 인하여 지상시스템과의 주파수 공유는 필수적이다. Ka 대역 주파수를 사용하는 위성 시스템은 지향성 안테나를 사용하게 되므로 위성의 방위각을 고려한 주파수 공유 결과에 대한 분석은 주파수 효율성을 높이는데 매우 큰 역할을 할 수 있다. 본 논문에서는 위성망과 지상망과의 간섭을 안테나의 방위각을 고려하여 분석한 결과를 제시하고, 주파수 공유 시 요구되는 망간 최소 이격 거리를 분석한 결과를 제시함으로써 분석 결과가 실제 시스템 설계 및 구현에 활용될 수 있도록 하고 있다.

Key Words : Satellite Communication, Frequency Interference, Frequency Sharing

ABSTRACT

Co-existence of various wireless systems may cause frequency interference problem. For this reason, frequency sharing studies play a very important role in order to use limited spectrum resources efficiently. Especially, because a satellite system covers a global area in nature, the frequency sharing between the satellite system and terrestrial systems is essential. For satellite systems using Ka bands, we can increase spectrum efficiency by considering off-axis angles of earth station antenna. In this paper, we demonstrate the analysis result of separation distance between the satellite earth station and a terrestrial repeater, and the presented results can be used to design and implement Ka band wireless systems.

I. 서 론

무선 통신 시스템의 급격한 발전으로 인하여 오늘날 사용자들은 다양한 무선 서비스를 즐길 수 있게 되었다. 그러나 다양한 무선 시스템을 이용하여 여러 가지 서비스를 사용자들에게 동시에 제공하기

위해서는 정확하고 효과적인 간섭 분석을 통한 사전 주파수 공유 연구가 선행되어야 할 것이다.

인공위성을 이용한 위성통신 서비스는 지상통신망에 비하여 내재해성, 광역성, 동보성 등의 이점을 가지고 있을 뿐만 아니라, 국가의 기간망으로서의 역할을 수행하기 위하여 지속적으로 발전해 왔다.

※ 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 IT신성장동력핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [2005-S-046-02, 전파자원이용 기반기술]

* 한국전자통신연구원 광역무선기술연구그룹(trap@etri.re.kr), ** 전북대학교 (sookim@chonbuk.ac.kr)
논문번호 : KICS2007-09-404, 접수일자 : 2007년 9월 11일, 최종논문접수일자 : 2008년 1월 15일

위성 통신서비스를 제공하기 위해서는 필수적으로 위성 궤도와 주파수가 필요하다. 위성 궤도와 주파수는 그 자원이 한정되어 있기 때문에 효율적인 사용이 무엇보다도 중요하다. 특히, 지상통신 서비스에 비하여 매우 넓은 커버리지를 가지는 위성통신 서비스는 인접한 타 국가에 전파 간섭을 초래할 수도 있기 때문에, 이런 문제들을 해결하기 위한 국가 간 협력 또한 매우 중요하게 인식되고 있다. 실제로 위성통신서비스를 제공하려는 세계 각 국가들은 국제전기통신연합(International Telecommunications Union ; ITU)을 통하여 위성 궤도와 주파수 자원을 효율적으로 활용하기 위한 조정 업무를 수행하고 있다¹¹⁾.

이러한 국가 간의 주파수 간섭에 의한 문제뿐만 아니라, 동일 국가 및 지역 내에서도 위성통신서비스의 광역성으로 인한 위성망과 지상망과의 주파수 간섭 문제가 발생할 수 있다. 그러나, 지상망에서의 안테나 지향 방향은 대부분 지면에 대해 수평 방향이지만, 위성망에서는 지구국의 안테나 포인팅 방향이 위성을 향하여 비교적 높은 양각을 가지고 있기 때문에 이러한 점을 활용하여 동일 대역을 두 개의 망이 공유하여 사용할 수 있다. 실제로 이러한 특성을 고려하여 우리나라 주파수 분배 및 ITU-R 전파 규칙 5조에서는 국제 주파수 분배표에 동일 주파수 대역에 위성망과 지상망을 같이 분배하고 있다¹²⁾.

따라서, 앞서 언급한 바와 같은 여러 가지 망간의 주파수 공유를 위해서는 공유 가능성을 평가하기 위한 간섭평가가 선행되어야 한다. 이러한 필요성으로 인하여 ITU에서는 몇 가지 주파수 공유를 위한 기준을 제시하고 있다. 예를 들어 위성망 우주국, 즉 위성에서 지상국으로의 간섭 문제를 해결하기 위해 국제법인 전파규칙 제 21조에 전력속밀도(power flux density ; pfd) 제한값을 규정하고 있다¹³⁾. 그러나, 이러한 제한 값은 대표적인 몇 가지 시스템을 기준으로 결정된 값이어서 실제 시스템에서 사용하고 있는 파라미터 등에 따라 실제의 간섭량은 달라 질 것이다. 이러한 이유로 인하여, 실제 발생하는 간섭량을 정확히 계산하는 방법과, 또 실제로 전파 간섭이 발생했을 경우 어떻게 주파수 공유를 해야 하는지에 대해서는 별도의 연구가 필요하다.

이러한 공유 방안에 대한 선행 연구로서 참고 문헌 [4]에서는 Ku 대역의 이동위성서비스 (mobile satellite service ; MSS) 망과 지상망간 간섭 문제를 다루고 있으며, MSS 위성망으로부터 지상망으

로의 간섭 계산 결과를 제시하였다. MSS 망에서는 이동 지구국을 고려해야 하므로 지구국의 이동성을 고려하여 시간율에 따른 간섭량 계산 결과를 보여 주고 있다. 그러나, 계산된 간섭 결과에 따른 구체적인 주파수 공유 방안에 대해서는 언급이 되어 있지 않다.

본 논문에서는, Ka 대역에 속하는 19 GHz 대역의 주파수를 사용하는 정지궤도 위성망과 지상망간의 간섭 계산 결과를 분석하여 그 공유 방안을 구체적으로 제시하고자 한다. 본 논문에서 분석하고자 하는 Ka 주파수 대역은 위성 시스템에 있어서 기존 주파수 대역의 포화로 인하여 향후 활용도가 점차 증대할 대역일 뿐만 아니라, 고품질의 멀티미디어 서비스 제공을 위하여 필수적으로 요구되는 대역에 속한다¹⁴⁾. 또한 지상 시스템에서는, 동일 주파수 대역에서 고정 마이크로웨이브 링크 및 소출력 무선국이 사용되고 있다. 이러한 이유로 인하여, 동 대역에서 위성망과 지상망이 동시에 효율적으로 운용되기 위해서는 위성망과 지상망간 주파수 공유 연구 결과가 필수적으로 요구되고 있다.

본 논문에서는 이러한 점들을 고려하여, 19 GHz 대역의 주파수를 공유하고 있는 정지궤도 위성망과 지상중계 시스템간 주파수 간섭 평가를 보다 실질적이고 정확한 시스템 파라미터를 사용하여 계산하는 방법을 제시한다. 또한 실제 계산 결과를 통하여 주파수 공유 가능성을 판단하고, 구체적인 공유 방안이라고 할 수 있는 이격 거리를 제시한다.

본 서론에 이어 II장에서는 위성망과 지상망간 발생할 수 있는 간섭 시나리오를 소개하고, 이에 따라 간섭 시나리오별로 간섭량을 계산하는 방법을 제시한다. III장에서는 실제 시스템에서 사용하고 있는 여러 가지 파라미터별로 계산한 결과의 예제들을 보이고, 시뮬레이션을 통하여 도출된 간섭량을 분석하여 공유 방안을 제시한다. 마지막으로 IV장에서는 결론을 맺도록 한다.

II. 간섭 시나리오

그림 1은 위성망과 지상망간에 일반적으로 간섭이 발생할 수 있는 예를 보여주고 있다. 그림에서 볼 수 있는 것처럼, 위성망과 지상망이 동일 지역에서 동일 주파수 대역을 사용하여 서비스를 제공할 경우 주파수 간섭이 발생할 수 있음을 쉽게 예상할 수 있다. 아래 그림에서 실선으로 표기된 것은 원래 보내고자 하는 정보를 담고 있는 전파를 나타내는

것으로서 이하 본 논문에서는 희망 신호라고 명한다. 또한, 점선으로 표기된 것은 위성망에서 지상망으로 또는 지상망에서 위성망으로 보내고자 하는 정보가 아닌 다른 망으로 전파가 전달되는 것으로 써, 간섭 신호로 명한다.

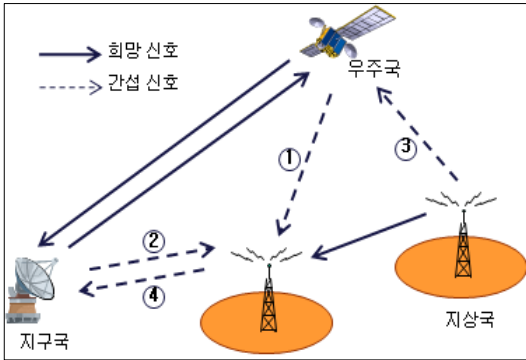


그림 1. 위성망과 지상망간 간섭 시나리오
Fig. 1 Interference scenario between satellite network and terrestrial network

위의 그림 1에 각 신호에 숫자로 표기되어 있는 바와 같이 위성망과 지상망간 주파수 공유 환경에서 발생할 수 있는 간섭은 다음과 같이 4가지로 구분할 수 있다⁶⁾.

- ① 우주국에서 지상국으로 주는 간섭
- ② 지구국에서 지상국으로 주는 간섭
- ③ 지상국에서 우주국으로 주는 간섭
- ④ 지상국에서 지구국으로 주는 간섭

위의 각 간섭들은 각 망에서 사용하는 안테나 패턴 및 무선국간 거리, 포인팅 방향 등에 따라 그 크기가 결정된다. 본 논문에서 분석하고자 하는 19 GHz 대역의 정지궤도 위성망과 지상망간의 주파수 간섭량을 분석하기 위해서는, 두 망에 대한 주파수 분배 현황을 먼저 살펴볼 필요가 있다. 그림 2는 분석 대상 주파수 대역인 19 GHz 대역에 할당된 국제 및 국내 주파수 분배 현황을 보여주고 있다.

그림 2에 나타나 있는 바와 같이 ITU에서는 18.8 - 19.7 GHz 대역에 1차 업무로서 고정업무, 이동업무 그리고 고정위성업무를 할당하고 있다. 특히 19.3 GHz 대역 이하는 고정위성업무의 하향 링크로 분배되어 있다. 우리나라는 이러한 국제 분배를 바탕으로 동 대역에 고정위성업무의 하향 링크를 분배하고 있다⁷⁾.

	18.8 GHz	19.3 GHz	19.7 GHz
국제분배 (ITU)	고정업무, 이동업무		
	고정위성업무 (우주 대 지구)	고정위성업무 (우주대 지구, 지구대 우주)	
	고정업무, 이동업무, 고정위성업무 (우주 대 지구)		
국내분배	지상중계 업무		

그림 2. 19GHz 대역 주파수 분배 현황
Fig. 2 Frequency allocation in 19 GHz band

본 논문에서 분석하는 대상인 지상 중계 업무는 19.1 - 19.26 GHz 대역을 사용하고 있기 때문에, 19.1 - 19.26 GHz 대역의 정지궤도 고정위성망과 지상망간 주파수 간섭을 중점적으로 분석할 필요가 있을 것이다. 그림 2에 나타나 있듯이, 이 주파수 대역은 위성의 경우 위성에서 지구국으로 전송하는 하향 링크에만 분배되어 있으므로, 그림 1에 나타나 있는 간섭 시나리오 중 실제로 동일 주파수 대역에서 간섭을 야기하는 경우는 ①과 ④라고 할 수 있다. 다시 말해서, 지구국에서 위성으로의 상향 링크는 사용하는 주파수 대역이 다르기 때문에 ②와 ③의 간섭 시나리오 즉, 위성 지구국이 지상국으로 주는 간섭과 지상국이 우주국으로 주는 간섭은 실제로 발생하지 않게 된다. 따라서 다음 장에서는 위의 ①에 해당하는 위성에서 지상 시스템의 무선국으로 간섭과 ④에 해당하는 지상 시스템의 무선국에서 위성망의 지구국으로 간섭계산 방법을 살펴보기로 한다.

Ⅲ. 19 GHz 대역의 위성 지상망간 간섭 계산 방법

3.1 간섭 평가를 위한 시스템 파라미터 정의

표 1은 간섭 평가를 위한 시스템 파라미터를 보여 주고 있다.

표 1에 제시된 지구국 안테나 패턴은 ITU-R 전파규칙에 의하면 안테나 크기 D 와 파장 λ 의 비 값이 100을 기준으로 큰지 작은지에 따라 두가지 패턴을 아래와 같이 제시하고 있다⁸⁾. 본 논문에서는 지구국 안테나로서, 주로 대형 지구국 안테나에 해당하는 2.4 m 지구국 안테나와 소형 안테나 (very small aperture terminal ; VSAT)에 해당하는 0.6 m 안테나를 고려한다. 따라서 2.4 m 안테나의 경

표 1. 시스템 파라미터
Table 1. System parameters

파라미터	값
사용 주파수 대역	19 GHz
위성 e.i.r.p	최대 57 dBW/MHz
우주국과 지상망간 거리 (R)	36000 km
지구국 안테나 패턴	RR Appendix 8
지구국 안테나 크기 (D)	2.4 m, 0.6 m
지구국 간섭 기준, I/N	-10 dB
지상국 송신전력	-20 dBW/MHz
지상국 최대안테나 이득	13.2 dBi
지상국 허용 간섭 레벨	-130 dBW/MHz

우에는 D/λ 값이 100보다 큰 경우에 해당하며, 0.6 m 안테나의 경우에는 D/λ 값이 100보다 적은 경우에 해당한다. 위와 같은 조건 안테나 크기 (D)와 주파수를 이용하여 참고 문헌 [8]의 안테나 패턴을 계산하면 다음 식(1), 식(2)의 결과를 얻을 수 있다.

1) $D/\lambda > 100$ 인 경우 ($D = 2.4$ m)

$$G(\theta) = \begin{cases} 51.78 - 2.5 \times 10^{-3} (160\theta) \text{ dB}, & 0^\circ < \theta \leq 0.51^\circ \\ 35 & \text{dB}, 0.51^\circ < \theta \leq 0.75^\circ \\ 32 - 25 \log \theta & \text{dB}, 0.75^\circ \leq \theta \leq 48^\circ \\ -10 & \text{dB}, 48^\circ \leq \theta \leq 180^\circ \end{cases} \quad (1)$$

2) $D/\lambda < 100$ 인 경우 ($D = 0.6$ m).

$$G(\theta) = \begin{cases} 39.7 - 2.5 \times 10^{-3} (40\theta) \text{ dB}, & 0^\circ < \theta \leq 0.51^\circ \\ 26 & \text{dB}, 0.51^\circ < \theta \leq 0.75^\circ \\ 36 - 25 \log \theta & \text{dB}, 0.75^\circ \leq \theta \leq 48^\circ \\ -6 & \text{dB}, 48^\circ \leq \theta \leq 180^\circ \end{cases} \quad (2)$$

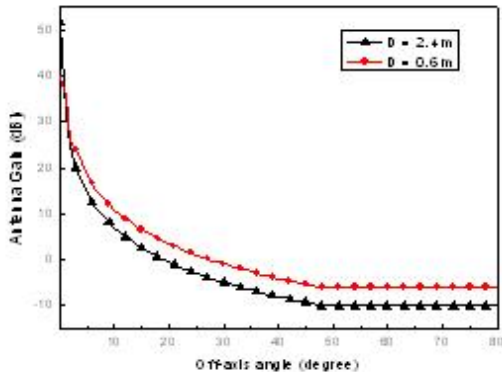


그림 3. 지구국 안테나 패턴
Fig. 3 antenna patterns of Earth station

여기서 $G(\theta)$ 는 안테나 이득이고, θ 는 off-axis 각이다.

그림 3은 본 논문에서 고려하고 있는 두가지 안테나 크기에 따른 이득 패턴을 그린 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 안테나 직경이 클수록 최대 이득은 커지고, off-axis 각에서의 안테나 이득은 낮아짐을 알 수 있다.

3.2 위성에서 지상 무선국의 간섭 계산

ITU에서 규정한 국제법인 전파규칙 제 21조에 의하면 위성망의 우주국은 pfd 제한값을 반드시 준수하도록 하고 있다. 이 제한값은 지표면의 단위 면적 당 전력 값을 의미하며, 지상망으로의 간섭을 평가할 때 가장 중요하게 여겨지는 파라미터들 중 하나이다. 그러나, 이 값은 심각한 간섭을 피하기 위하여 최소한으로 지켜야 할 제한 값일 뿐이고, 이 제한 값을 따르고 있다고 해서 간섭이 없다는 의미는 아니다. 즉, 이 값은 지상망을 보호하기 위한 최소의 조치로 이해하여야 하며, 이 값을 적용하여도 지상망과 간섭이 발생한다면 다른 기술적, 규정적 조치를 취하여야 한다.

따라서, 보다 실질적인 간섭 양에 대한 계산이 필요하다. 위성망의 우주국, 즉 위성에서 지상시스템의 무선국으로 주는 간섭의 양, I_{s-t} 는 위성의 송신 e.i.r.p (equivalent isotropically radiated power; 등가 등방성 복사 전력) 값에서 경로 손실, FSL을 뺀 값이라고 할 수 있다. 즉,

$$I_{s-t} = e.i.r.p_{satellite} - FSL \text{ (dB)}. \quad (3)$$

모든 우주국은 위에서 언급한 pfd 제한 값을 준수하여야 하므로 이 규정된 pfd 제한 값을 이용하여 아래 식 (4)의 pfd값과 e.i.r.p와의 상관관계를 이용하여 우주국의 e.i.r.p 값을 구하면 해당 주파수 대역에서의 최대 위성 e.i.r.p 값을 구할 수 있을 것이다 [9].

$$pfd = \frac{e.i.r.p}{4\pi R^2}, \quad (4)$$

여기서 R은 위성에서 지상까지의 거리이며, 본 논문에서는 정지궤도 위성을 고려하고 있으므로 표 1에 제시된 바와 같이 약 36,000 km에 해당한다. 또한, 본 연구에서 다루고 있는 FSL은 자유공간 상의 경로 손실로 이해할 수 있으므로 아래와 같이 정리될 수 있다^[10].

$$FSL = 92.45 + 20\log(f) + 20\log(d) \text{ (dB)}, \quad (5)$$

여기서 f 는 GHz 단위의 주파수 값을 의미하며, d 는 두 무선국간 km 단위의 거리이다.

3.3 지상 무선국에서 위성 지구국으로의 간섭 계산

지상국과 지구국간 간섭 계산에 있어서는 지상국 및 지구국의 위치를 알고 있고 또 고정되어 있는 경우에는 쉽게 계산할 수 있으나, 실제로는 그림 4에 나타나 있는 바와 같이 하나의 지구국 주위에 상대적으로 많은 지상국이 위치하는 경우가 일반적이어서 절대적인 간섭 양을 구체적으로 계산하기가 쉽지 않다. 이런 경우, 최악의 경우를 가정하여 계산하는 방법을 사용하기도 한다. 최악의 경우란 위성 지구국은 정지궤도 위성을 바라보고 있는 상태에서, 지상 무선국들이 모두 지구국 방향으로 최대 방사하고 있고, 지구국의 안테나 방위각을 따라 지상국이 배치되어 있는 시나리오를 생각할 수 있다. 본 논문에서는 일반적으로 지상 무선국에서 위성 지구국으로 줄 수 있는 간섭의 양을 계산하는 식을 유도하고, 위의 최악의 시나리오에서 발생할 수 있는 간섭의 양을 계산한다. 그 다음으로 지상국과 지구국 사이의 거리 변화에 따른 간섭량의 변화가 어떻게 되는지 분석하도록 한다.

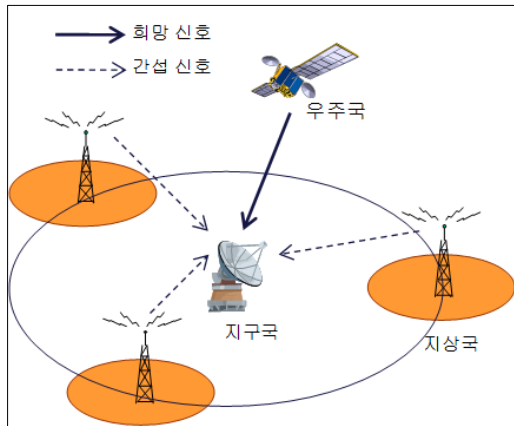


그림 4. 지상 무선국에서 위성 지구국으로 주는 간섭의 예제
Fig.4 Example of interference scenario from terrestrial station to Earth station

먼저 위성 지구국이 지상시스템의 무선국으로부터 받는 간섭, I_{t-E} 는 다음 식 (6)과 같이 구할 수 있다.

$$I_{t-E} = P_t + G_t + G_r(\theta) - FSL \text{ (dB)}, \quad (6)$$

여기서 P_t 는 지상 무선국의 송신 전력 (dBW/Hz)이다. 그리고 G_t 는 지상 무선국의 송신 안테나 이득 (dBi), $G_r(\theta)$ 는 지구국 안테나 이득 (dBi)으로서, 지구국이 우주국을 지향하고 있을 때, θ 각도 상에 위치해 있는 지상 무선국으로부터 받는 간섭 전파에 대한 수신 안테나 이득을 의미한다.

위 식(6)의 간섭 양의 계산에 있어서 P_t 와 G_t 는 시스템에서 고정된 값이며, $G_r(\theta)$ 는 지상 무선국과 위성 간의 위치에 따라 달라질 수 있는 값이다. 여기서, 최악의 조건을 고려하기 위해, 지상국은 어떤 방위각에 대해서도 지구국을 향하여 송신한다고 가정한다. 또한, 지구국을 중심으로 임의의 지상국이 존재한다고 할 때 지구국의 안테나 이득은 위성-지구국-지상국으로 만들어지는 각에 따라 변하게 된다. 그림 5에는 이러한 위성, 지구국 및 지상 무선국과의 위치에 따른 off-axis 각 θ 의 관계를 보여주고 있다. 그림 5에 나타나 있는 바와 같이 지구국에서 위성을 바라보는 양각을 α 라 하고, 지구국 주위의 지상 무선국을 방위각 β 에 위치시킨다고 하면, off-axis 각 θ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

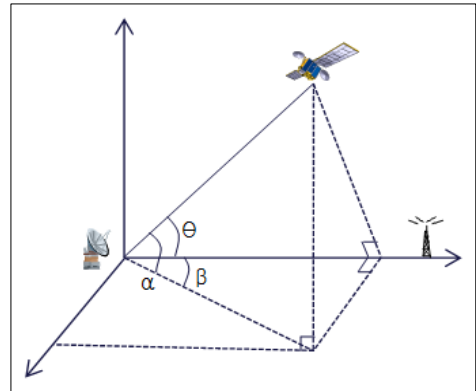


그림 5. 무선국 배치 구조도
Fig.5 Location of radio stations

$$\theta = \cos^{-1}(\cos\alpha \cdot \cos\beta) \quad (7)$$

따라서 식 (6)의 간섭량은 위의 off-axis 각과 위성망 지구국과 지상 무선국과의 거리에 따라 달라지게 될 것이다.

IV. 간섭 평가 방법 및 결과

본 장에서는 앞서 언급한 계산 방법에 따라 실제 사용되는 파라미터를 적용하여 계산한 결과를 제시한다.

4.1 우주국으로부터 지상국으로의 간섭 평가

앞 장에서 언급한 대로 전파규칙에는 각 주파수 대역별 pfd 제한값이 양각별로 제시되어 있다. 전파 규칙에 따르면 18.8 - 19.7 GHz 대역에서 우리나라에서 정지궤도 위성에 대한 양각에 해당하는 pfd 제한값의 최대 값은 -105 dB (W/m²) 이다 [5].

pfd 제한값은 위성 우주국으로부터 방사되는 e.i.r.p 값이 36000 km의 거리를 지나 지표 단위면 적에 주는 전력값이므로, 위의 pfd 제한 값을 이용하면 식 (4)에 따라 최대 허용 가능한 e.i.r.p 값 $e.i.r.p_{max}$ 를 아래와 같이 구할 수 있다.

$$e.i.r.p_{max} = -105 + 10\log(4\pi \times (36000)^2) \quad (8)$$

$$= 57 \text{ dBW/MHz}$$

위의 $e.i.r.p_{max}$ 값을 이용하여 우주국과 지상국간 경로 손실 값을 빼면 우주국이 지상국에 미치는 간섭량을 구할 수 있다. 우주국과 지상국간의 경로는 자유공간으로 간주할 수 있으므로 식 (5)에 따라 계산할 수 있고, 이 경우 d 는 정지궤도 위성까지의 거리 약 36,000 km가 되므로 FSL은 아래 식 (9)과 같이 약 209 dB임을 알 수 있다.

$$FSL_{d=36000km} = 92.45 + 20\log(19) + 20\log(36000) \quad (9)$$

$$\approx 209 \text{ dB}$$

따라서, 지상국으로의 간섭량은 57 dBW/MHz - 209 dB = -152 dBW/MHz 가 되고, <표 1>에 제시된 바에 따르면 지구국 기준 간섭량이 -130 dBW/MHz 이므로 우주국으로부터의 간섭은 허용 가능한 간섭임을 알 수 있다. 그러므로 위성망 하향링크와 지상망간 주파수 공유는 가능하다고 볼 수 있다.

4.2 지상국으로부터 지구국 간섭 평가

지상국에서 지구국으로 주는 간섭을 평가하기 위해 우선 지상국이 지구국에서 단위거리 $d = 1 \text{ km}$ 떨어진 거리에 위치해 있는 경우 방위각에 대한 간섭량을 평가한다. 위성 지구국이 위성을 바라보고 있는 양각을 40도로 가정하면, 식 (7)을 이용하여 방위각 β 를 변수로 하는 off-axis 각을 구할 수 있을 것이다. 그 다음 off-axis 각에 따른 안테나 이득을 사용하여 식 (6)에 간섭량 I_{L-E} 를 구할 수 있을 것이다. 여기에서 지상국과 지구국 사이의 거리 d 를 1 km라고 가정하였으므로 이때의 FSL은 아래 식 (10)과 같이 약 118 dB가 될 것이다.

$$FSL_{d=1km} = 92.45 + 20\log(19) + 20\log(1) \quad (10)$$

$$\approx 118 \text{ dB}$$

따라서 식 (6)은 표 1에 제시된 파라미터를 이용하여 아래 식 (11)과 표현될 수 있으며, 그림 6은 안테나 사이즈에 따른 간섭량을 방위각 β 에 따라 나타낸 것이다.

$$I_{L-E} = -20 + 13.2 + G_r(\theta) - 118 \text{ (dB)} \quad (11)$$

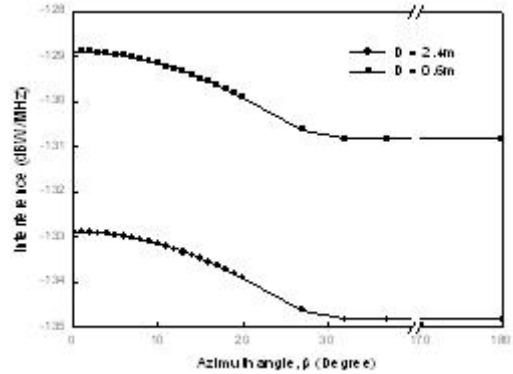


그림 6. 방위각에 따른 간섭량
Fig.6 Interference level with azimuth angle

그림 6에서 직관적으로 알 수 있듯이, 지구국 안테나 포인팅 방향의 수평 방향인 방위각 0 도에서 간섭량이 최대임을 알 수 있다. 또한 위성 지구국의 포인팅은 수평 기준 양각 40도로 위성을 바라보고 있으므로 수신 간섭량은 지구국 안테나의 off-axis 이득에 의한 영향을 받는다. 일반적으로, 안테나의 직경이 클수록 빔폭이 좁아져서 주 빔은 커지고 사이드로브의 off-axis 이득은 낮아진다. 따라서, 안테나 직경이 클수록 off-axis 이득이 작아서 간섭량 또한 적음을 알 수 있다.

간섭 양의 허용 가능성을 평가하기 위하여, 표 1에 제시된 지구국 허용 간섭 기준인 $I/N = -10 \text{ dB}$ 을 이용하여 허용 간섭량을 구해 보기로 한다. 계산된 간섭량이 MHz 당 간섭량이므로 $B = 1 \text{ MHz}$ 이고, $T = 300 \text{ K}$ 로 가정하면 시스템 잡음은 다음 식 (12)과 같이 구할 수 있으며, 따라서 허용 가능한 간섭량 I_o 는 아래 식 (13)과 같이 구할 수 있다.

$$N_o = kT \quad (T=300K, B=1MHz) \quad (12)$$

$$= -143.82 \text{ dBW/MHz}$$

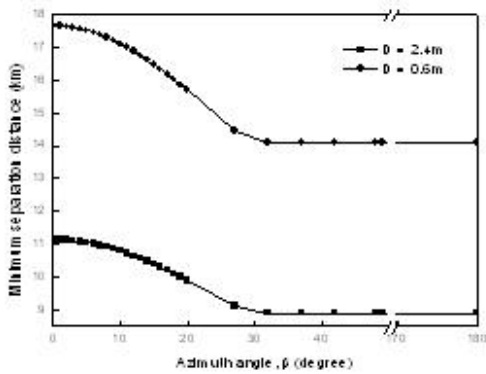
$$I_o = N_o - 10 \text{ dB} = -153.82 \text{ dBW/MHz} \quad (13)$$

따라서, 그림 6에 제시된 결과를 볼 때 기준 거리 1 km에서는 기준 간섭량인 -153.82 dBW/MHz 보다 큰 간섭이 지상국에 의해 지구국으로 방사되어 지구국에 해로운 간섭(harmful interference)을 주고 있음을 알 수 있다. 따라서 지상망과 위성 망간의 주파수 공유를 위해서는 적절한 간섭 경감 조치를 취하여야 한다. 이러한 방법들 중 가장 현실적으로 접근 가능한 방법이 물리적인 이격 거리를 두는 것이다. 즉, 간섭 허용 레벨을 준수 할 수 있는 적절한 d 값을 구하는 것이다.

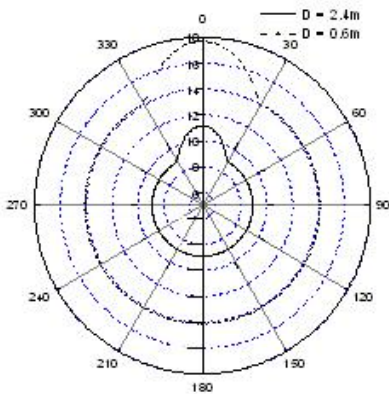
이제 위의 식 (13)의 결과를 이용하여, 식 (6)을 최소 이격 거리 d_{min} 에 따라 정리하면 아래 식 (14)과 같이 정리 할 수 있다.

$$20\log(d_{min}) = P_t + G_t + G_r(\theta) + 35.8 \text{ (dB)} \quad (14)$$

그림 7은 위의 식 (14)을 이용하여 방위각에 따른 d_{min} 값을 나타낸 것이다.



(a) 방위각 대 d_{min} (직교좌표)
(a) Azimuth angle vs. d_{min} (rectangular coordinates)



(b) 방위각 대 d_{min} (극좌표)
(b) Azimuth angle vs. d_{min} (polar coordinates)

그림 7. 방위각에 따른 최소 이격 거리
Fig. 7 Minimum separation distance with azimuth angle

그림 7의 (a)는 방위각에 따른 d_{min} 을 각도의 변화에 따라 나타낸 것이고, 그림 7의 (b)는 결과를 극좌표로 나타내어 실제 지형에서의 이격 거리를 직관적으로 알 수 있게 보여주고 있다.

여기서, 방위각 0도는 지구국 안테나 포인팅의 수평 방향이며, 따라서 방위각 0도에 지상국이 있다는 것은 지구국과 지상국이 마주보고 있다는 것을 의미한다.

그림 7을 보면 지구국 수신 안테나 off-axis 이득의 영향으로 방위각 -30 - 30도 사이에서는 위성 지구국 안테나와 마주보는 방향에서 최대 간섭이 발생하며, 그로 인해 이격 거리가 최대가 된다. 지구국과 지상국이 마주보며 송신하는 경우, 즉 방위각 0도에서 그 값이 최대가 되어 지구국 안테나 크기 D 가 0.6 m일 경우 최소 이격 거리 d_{min} 이 약 11.4 km가 된다. 반면에, D 가 2.4 m일 경우 d_{min} 이 약 17.8 km가 된다.

여기서 한 가지 고려해야 할 점은 위성의 안테나 패턴의 실제 모습은 그림 3과 같이 단순한 형태가 아니라 주 빔과 많은 사이드 빔이 존재하는 형태가 되며, 따라서 실제의 이격거리도 패턴의 영향으로 방위각에 대해 다소 복잡한 형태가 될 것이라는 것을 예상할 수 있다. 본 논문에서 간섭 계산에 적용한 그림 3의 안테나 패턴은 간섭 예측 및 시뮬레이션을 위한 패턴 마스크로서, 실제 패턴은 이 마스크 아래에 존재하게 될 것이다. 따라서 분석 결과로서 보여주는 최소 이격 거리는 실제 안테나 패턴을 고려할 때 실제 안테나 패턴을 이용한 결과보다 좀 더 큰 이격거리 즉, 보다 안정적인 공유 조건을 보여주고 있다고 할 수 있다.

이상의 간섭평가를 종합해 보면, 19 GHz 대역을 사용하는 위성에서 지상국으로의 간섭은 동일지역에서 문제를 발생 시키지 않으며, 지상국에서 지구국으로의 간섭은 그림 7에서 제시한 방위각에 대한 이격거리를 유지하여야 주파수 공유가 가능하다는 것을 알 수 있다.

V. 결론

다양한 무선 통신 시스템의 발전으로 인하여 향후에도 지속적으로 새로운 주파수 대역에 대한 개척이 필요할 뿐만 아니라, 기존 주파수 대역에 대한 효율적인 공유 기술이 요구되고 있다. 본 논문에서는 향후 위성 시스템에서 그 활용도가 매우 커질 것으로 예상되는 19 GHz 대역을 사용하는 정지궤

도 위성망과 지상망간의 주파수 간섭 양을 실제적인 시스템 파라미터를 사용하여 계산하는 방법과 그 결과를 제시하였다.

본 논문에서는 최악의 조건을 고려하여 위성 시스템의 지구국과 지상국과의 방위각을 파라미터로 한 주파수 공유가 가능한 최소 이격거리를 제시함으로써 실제적인 공유 조건을 분석하였다. 본 논문에서 제시한 방법을 적용하면 다양한 지구국 안테나 패턴에 대한 간섭 분석이 가능하여 구체적인 공유 조건을 제시할 수 있으므로, 향후 제한되어 있는 주파수 자원의 효율성을 극대화하는데 크게 기여할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] <http://www.itu.int>
- [2] ITU-R, "Radio Regulations", ITU, Article 5, 2004.
- [3] ITU-R, "Radio Regulations", ITU, Article 21, 2004.
- [4] Koletta, M; Milas, V; Constantinou, P, "Interference and Compatibility Issues between the Mobile Satellite Service and the Fixed Service in the Ku Band", VTC2004-Spring, Volume 5, pp.2881-2885, 2004.
- [5] 류근태, 윤양문, "Ka 대역 정지궤도 위성서비스 개발 동향", TTA 저널, pp.95-107, 1999.
- [6] ITU-R, "Handbook on Satellite Communications", ITU, pp.815-899, 2002.
- [7] 정보통신부, "대한민국 주파수 분배표", 정보통신부, pp.62, 2005.
- [8] ITU-R, "Radio Regulations", ITU, Appendix 8, 2004.
- [9] Theodore S. Rappaport, "Wireless Communications Principles and Practice", Prentice Hall, pp.107-113, 2002.
- [10] Roger L. Freeman, "Radio System Design for Telecommunications", John Willey & Sons, INC, pp.2-4, 1997.

오 대 섭 (Dae-Sub Oh)

정회원



1996년 2월 경북대학교 전자공학과 학사

1998년 2월 경북대학교 전자공학과 석사

2000년 7월 LG정보통신 주임연구원

2000년 7월~현재 한국전자통신연구원 선임연구원

<관심분야> 전파통신, 디지털통신공학

김 수 영 (Sooyoung Kim)

정회원



1990년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 학사

1991년 2월~1991년 9월 ETRI 연구원

1992년 10월 Univ. of Surrey, U.K 공학석사

1995년 2월 Univ. of Surrey, U.K 공학박사

1994년 11월~1996년 6월 Research Fellow, Univ. of Surrey, U.K

1996년 8월~2004년 2월 ETRI 광대역무선전송연구팀장

2004년 3월~현재 전북대학교 전자정보공학부 조교수
<관심분야> 오류정정부호화방식, 이동/위성통신 전송 방식

안 도 섭 (Do-Seob Ahn)

정회원



1988년 2월 경북대학교 전자공학과 학사

1990년 2월 경북대학교 전자공학과 석사

1990년 2월 현재 한국전자통신연구원 팀장(책임연구원)

<관심분야> 위성통신, 성층권통신