

# 비정지궤도 위성이동지구국과 육상이동국간의 주파수 공유에 따른 간섭 확률 계산

정희원 朴志雄\*, 崔在薰\*, 金熙東\*\*

## Interference Probability Calculation of Frequency Sharing between Non-Geostationary-Satellite Orbit Mobile Earth Station and Land Mobile Station

Ji Woong Park\*, Jae Hoon Choi\*, Hee Dong Kim\*\* *Regular Members*

### 요약

1 GHz 이하의 주파수 대역에서 비정지궤도 위성이동지구국과 육상이동국간의 주파수 공유에 따른 간섭 확률을 계산하였다. 전파전파 모델(Propagation model)로서 Flat earth 모델과 Hata 대도시 모델을 사용하고 그에 따른 이동지구국(MES : Mobile earth station)의 전력값에 대한 확률밀도함수를 구한 후 이를 이용하여 간섭 기준을 초과할 확률을 도출하였다. 비정지궤도 위성이동서비스(MSS : Mobile satellite service) 전체 영역의 단위 시간당 평균 전송량과 단말의 비율을 변화시킴으로서 단위시간당 평균전송량을 구하였고, 이로부터 주어진 전력 한계값을 초과하는 확률을 통계적인 방법으로 예측하였다. 그 결과, MSS 전체 영역의 단위 시간당 평균 전송량과 단말의 비율이 각각 증가함에 따라 간섭허용기준을 초과할 확률이 증가하였다. 또한, LMS(Land Mobile Service)와 MSS의 사용 주파수의 중심주파수로부터의 편차에 따른 분리 효과를 고려하였다.

### ABSTRACT

The interference probability between non-geostationary-satellite orbit mobile earth station and land mobile station is calculated when the two systems are sharing the frequency band below 1 GHz. The probability density function of a mobile earth station(MES) is calculated based on the established propagation model and then, a probability of exceeding the threshold level is derived. By changing the average transmission per unit time of total MSS(Mobile satellite service) area and the ratio of transmitters for specific area, we obtain the average transmission per unit time for the area under consideration. From this, the exceedance probability for the given pfd threshold level is evaluated. The exceedance probability is increased as the average transmission per unit time and ratio become larger. Also the effect of filter isolation between channels is accounted for.

\* 한양대학교 전파공학과

\*\* 한국의국어대학교 정보통신공학과

論文番號 : 97443-1204

接受日字 : 1997年 12月 4日

## I. 서 론

미국, 캐나다 등 미주지역의 여러 국가에서는 전 세계를 대상으로 한 비정지궤도 위성이동통신서비스(MSS : Mobile satellite service)를 실시할 예정이다. MSS란 현재의 이동전화 크기의 단말기를 휴대하고 고도 약 1,000km 이하의 낮은 궤도를 돌고 있는 수십개의 위성을 통해 전화통화나 무선호출을 가능하게 하는 서비스로서 전세계 어디에서나 통신이 가능하다는 것이 특징이다. 저궤도 위성이동서비스(LEO : Low earth orbit)는 전파통신을 위한 Big LEO와 저속도의 데이터 통신을 위한 Little LEO로 나누어진다. Little LEO에서는 사용주파수 대역으로 1GHz이하의 VHF대역을 사용하는데, 특히 MSS에 할당된 주파수 대역 중 148.0~150.5 MHz대역은 이미 각국에서 육상이동서비스(LMS : Land Mobile Service)의 운용주파수로 사용되고 있다. 따라서 이 주파수대역을 비정지궤도 위성이동지구국(MES : Mobile Earth Station)과 육상이동국(MS 또는 BS : Mobile Station 또는 Base Station)에서 동시에 사용할 경우 서로 간섭이 발생<sup>[1]</sup>하게 됨은 분명하다.

본 논문에서는 MES가 MS(또는 BS)에 미치는 간섭 확률을 통계적인 방법으로 계산하였다. 본 논문에서 사용한 간섭확률의 계산은 ITU-R의 권고안<sup>[2]</sup>에 기초를 두고 있다. 참고문헌[2]에서는 2개 이상의 MES가 동시에 전송을 해서 발생할 충돌률을 고려하지 않은 반면에 본 논문에서는 충돌의 발생으로 인한 재전송까지도 고려하였다. 전파전파 모델을 Flat earth 모델과 Hata 대도시 모델로 설정하고<sup>[2,9]</sup>, MES가 균일하게 분포하고 MES가 동시에 전송을 할 가능성은 Poisson 분포<sup>[10, 11]</sup>를 따른다는 가정하에 MES의 확률 밀도함수<sup>[12]</sup>를 구하였다. 이 확률밀도함수의 누적분포함수(CDF : Cumulative Distribution Function)와 Poisson분포를 이용하여 간섭 허용 기준을 초과할 확률을 구하였다. 특정의 간섭허용기준하에서 초과확률 범위 내의 고려 대상 영역의 단위 시간당 최대 평균 전송량을 알아 보기 위해 MSS 전체 영역의 단위 시간당 평균 전송량과 단말의 비율을 변화시켜 보았다.

## II. 이론적 해석

이 장에서는 MES와 MS(또는 BS)간의 간섭을 예측하기 위하여 두 단말간의 전송 손실을 계산하기 위

한 전파전파 모델을 설정하고, 이를 토대로 간섭조정 거리를 유도하였다. 간섭조정거리를 이용하여 MES의 확률밀도함수를 구하고 특정한 전력 한계값을 초과할 확률에 대하여 누적분포함수를 구하였다. 또한 고려 대상지역에서 다수의 MES가 동시에 동작할 확률을 Poisson 분포를 이용하여 구하고 최종적으로 간섭허용기준을 초과할 확률을 다루었다.

### 2.1 전파전파 모델

저궤도 위성이동서비스(LEO MSS : Low-Earth Orbit MSS) 상향링크 송신기로부터 MS(또는 BS)에 미치는 간섭의 확률을 구하기 위해서는 기준이 되는 링크 모델을 설정해야 한다. 전파전파 손실은 송신기와 수신기 사이의 거리에 대한 함수로 표현된다. 설정하는 전파전파 모델에 따라서 간섭확률은 변하게 된다.

#### 2.1.1 자유 공간에서의 전파

자유공간에 위치한 송신안테나에 의한 거리  $d$ 만큼 떨어진 곳의 전력밀도<sup>[13]</sup>(Power density)  $W$ 는

$$W = \frac{P_T G_T}{4\pi d^2} \quad (W/m^2) \quad (1)$$

로 표시되는데, 여기서  $P_T$ 는 송신 안테나에 공급되는 전력,  $G_T$ 는 송신 안테나의 이득이다.

유효면적(Effective area)  $A$ 를 갖는 수신안테나의 사용 가능한 유효전력(Available power)  $P_R$ 은

$$P_R = W \cdot A = \frac{P_T G_T}{4\pi d^2} \cdot \frac{\lambda^2 G_R}{4\pi} \quad (2)$$

이며, 여기서  $A = \frac{\lambda^2 G_R}{4\pi}$ ,  $G_R$ 은 수신 안테나의 이득이다.

식 (2)로부터 전파손실  $L_F$ 는

$$L_F = 10 \log_{10} \frac{P_R}{P_T} = 10 \log_{10} G_T + 10 \log_{10} G_R - 20 \log_{10} f - 20 \log_{10} d + k \quad (dB) \quad (3)$$

로 정의되며, 여기서  $f$ 는 사용주파수,  $\lambda$ 는 사용주파수

의 파장,  $k = 20 \log_{10} \frac{c}{4\pi} = 147.6$ ,  $c = f\lambda = 3 \times 10^8 (m/s)$  이다.

### 2.1.2 지구의 반사 계수

지표면 반사파의 크기와 위상은 반사점에서의 반사계수에 의해 결정되고 또한 편파의 종류에 따라 다르다. 실제로 지구는 완전도체도 아니고 완전 유전체도 아니므로 지표면의 반사계수는 유전상수  $\epsilon$ 와 도전을  $\sigma$ 에 의해 결정된다<sup>15, 7)</sup>.

수평 편파의 입사파에 대한 반사계수  $\rho_h$ 는

$$\rho_h = \frac{\sin \psi - \sqrt{(\epsilon/\epsilon_0 - j\sigma/\omega\epsilon_0) - \cos^2 \psi}}{\sin \psi + \sqrt{(\epsilon/\epsilon_0 - j\sigma/\omega\epsilon_0) - \cos^2 \psi}} \quad (4)$$

$$= \frac{\sin \psi - \sqrt{(\epsilon_r - j\chi) - \cos^2 \psi}}{\sin \psi + \sqrt{(\epsilon_r - j\chi) - \cos^2 \psi}}$$

여기서  $\omega$ 는 각 주파수,  $\epsilon_0$ 는 자유공간의 유전상수,  $\psi$ 는 지표면과 입사파가 이루는 각도,  $\chi = \frac{\sigma}{\omega\epsilon_0}$ ,  $\epsilon_r = \epsilon/\epsilon_0$ 이다.

수직 편파의 입사파에 대한 반사계수  $\rho_v$ 는

$$\rho_v = \frac{(\epsilon_r - j\chi) \sin \psi - \sqrt{(\epsilon_r - j\chi) - \cos^2 \psi}}{(\epsilon_r - j\chi) \sin \psi + \sqrt{(\epsilon_r - j\chi) - \cos^2 \psi}} \quad (5)$$

반사계수  $\rho_h$ 와  $\rho_v$ 는  $\psi$ 가 아주 작을 때는 거의 같다. 특히, 그레이징 입사(grazing incidence)의 경우 입사파와 반사파 모두 입사각은  $180^\circ$ 가 되고 반사계수는 식 (6)과 같다.

$$\rho_h = \rho_v = |\rho_h| \angle \theta = 1 \angle 180^\circ = -1 \quad (6)$$

### 2.1.3 굴곡 반사 표면에서의 전파

유효 반경  $r_e$ 인 지구표면에 높이가 각각  $h_T$ ,  $h_R$ 인 두 안테나가 그림 1과 같이 놓여 있다. 반사점의 접평면에서의 높이를 각각  $h'_T$ ,  $h'_R$ 라 하면  $d_1$ 과  $d_2$ 는 식 (7)과 식 (8)로 표현된다.

$$d_1^2 = [r_e + (h_T - h'_T)] = (h_T - h'_T)^2 + 2r_e(h_T - h'_T) \approx 2r_e(h_T - h'_T) \quad (7)$$

비슷한 방법으로

$$d_2^2 = 2r_e(h_R - h'_R) \quad (8)$$

식 (7)과 식 (8)로부터

$$h'_T = h_T - \frac{d_1^2}{2r_e} \quad (9)$$

$$h'_R = h_R - \frac{d_2^2}{2r_e} \quad (10)$$

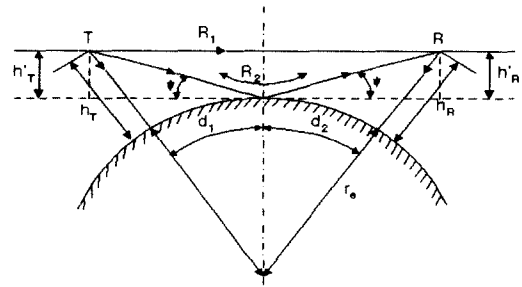


그림 1. 유효 반경  $r_e$ 를 갖는 지구표면에서의 전파

Fig. 1 Propagation on the earth's surface with the effective radius  $r_e$ .

반사점에서  $d_1$ ,  $d_2$ 가  $h_T$ ,  $h_R$ 에 비해 상당히 큰 값이고, 두 각도  $\psi$ 가 같고, 이를 라디안 값으로 나타내면

$$\psi = \frac{h'_T}{d_1} = \frac{h'_R}{d_2} \quad (11)$$

식 (9), (10), (11)과  $d = d_1 + d_2$ 의 관계를 이용하여  $d_1$ 의 근사값을 구하면

$$d_1 \approx \frac{d}{1 + h_T/h_R} \quad (12)$$

그림 1에서 수신점에 도달하는 직접파와 반사파의

경로 차이는  $R_1 - R_2$ 가 되며,  $R_1$ 과  $R_2$ 는 각각 식 (13)과 식 (14)와 같다.

$$R_1 = d \left[ 1 + \frac{(h'_T - h'_R)^2}{d^2} \right]^{1/2} \quad (13)$$

$$R_2 = d \left[ 1 + \frac{(h'_T + h'_R)^2}{d^2} \right]^{1/2} \quad (14)$$

따라서 두 파의 경로차  $\Delta R = R_2 - R_1$ 은

$$\Delta R = d \left\{ \left[ 1 + \frac{(h'_T + h'_R)^2}{d^2} \right]^{1/2} - \left[ 1 + \frac{(h'_T - h'_R)^2}{d^2} \right]^{1/2} \right\} \quad (15)$$

만약  $d \gg h'_T, h'_R$ 이라면 식 (15)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta R \approx \frac{2h'_T h'_R}{d} \quad (16)$$

경로차에 따른 위상차  $\Delta\phi$ 는

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta R = \frac{2\pi h'_T h'_R}{\lambda d} \quad (17)$$

이 때의 수신 전계의 세기  $E$ 는

$$E = E_d [1 + \rho e^{-j\Delta\phi}] = E_d [1 + |\rho| e^{-j(\Delta\phi - \theta)}] \quad (18)$$

여기서  $E_d$ 는 수신 안테나가 받는 직접파의 전계의 세기,  $\rho$ 는 지표면의 반사계수로서  $\rho = |\rho| e^{j\theta}$ 이다.

전계는 수신전력에 반비례하므로,  $E_d$ 를 식 (2)로부터 구하면

$$E_d = \sqrt{P_T G_T G_R} \cdot \left[ \frac{\lambda}{4\pi d} \right] \quad (19)$$

#### 2.1.4 평면 반사 표면에서의 전파

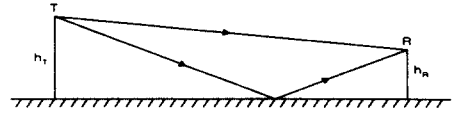


그림 2. 평평한 지구표면에서의 전파  
Fig. 2 Propagation over a plane earth

두 안테나 사이의 거리가 수십 km이내일 경우에는 송신점과 수신점사이의 지구표면을 그림 2와 같이 평면으로 가정할 수 있다. 그레이징 입사(grazing incidence)를 가정하면 지표면의 반사계수  $\rho$ 가 -1이므로 식 (18)은 다음과 같이 된다.

$$E = E_d [1 - e^{-j\Delta\phi}] = E_d [1 - \cos \Delta\phi + j \sin \Delta\phi] \quad (20)$$

그러므로,

$$\begin{aligned} |E| &= |E_d| [1 + \cos^2 \Delta\phi - 2 \cos \Delta\phi + \sin^2 \Delta\phi]^{1/2} \\ &= 2 |E_d| \sin \frac{\Delta\phi}{2} \end{aligned} \quad (21)$$

식 (17)과  $h'_T = h_T, h'_R = h_R$ 를 이용하면

$$|E| = 2 |E_d| \sin \left( \frac{2\pi h_T h_R}{\lambda d} \right) \quad (22)$$

수신 전력  $P_R$ 은  $E^2$ 에 비례하므로

$$\begin{aligned} P_R &= 4 |E_d|^2 \sin^2 \left( \frac{2\pi h_T h_R}{\lambda d} \right) \\ &= 4 P_T \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 G_T G_R \sin^2 \left( \frac{2\pi h_T h_R}{\lambda d} \right) \end{aligned} \quad (23)$$

만약  $d \gg h_T, h_R$ 이면 식 (23)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{P_R}{P_T} = G_T G_R \left( \frac{h_T h_R}{d^2} \right)^2 \quad (24)$$

평평한 지표면의 전파 손실을  $L_p$ 로 나타내면 식 (24)로부터 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$L_P = 10 \log \frac{P_R}{P_T} = 10 \log G_T + 10 \log G_R + 20 \log h_T + 20 \log h_R - 40 \log d \quad (dB) \quad (25)$$

평평한 지표면에 대하여 두 안테나가 등방성 안테나일 경우의 전파 손실을  $L_B$ 라 하면 다음과 같다.

$$L_B = 20 \log h_T + 20 \log h_R - 40 \log d \quad (dB) \quad (26)$$

### 2.1.5 Hata 모델에서의 손실 계산

Hata 모델<sup>5, 6)</sup>은 가장 널리 쓰이는 Okumura 방법을 쉽게 적용하도록 만든 모델이다. Okumura 방법은 도교와 그 근교지역에서 실험적인 방법에 의해 전파 손실을 계산한 것이다. 이들 방법들은 준평면 지형(quasi-smooth terrain)상에서 적용할 수 있다. 전파 손실  $L_{50}$ 의 첨자 50은 지표면의 곡률 비율이 50%임을 나타낸다. Hata 모델의 전파 손실은 지역에 따라 구분되며, 이를 식 (27)부터 식 (31)에 나타내었다.

· 도심 지역(Urban areas) :

$$L_{50} = 69.55 + 26.16 \log f_c - 13.82 \log h_t - a(h_r) + (44.9 - 6.55 \log h_t) \log d \quad (dB) \quad (27)$$

여기서 :

$$\begin{aligned} 150 &\leq f_c \leq 1500 \quad (f_c \text{ in MHz}) \\ 30 &\leq h_t \leq 200 \quad (h_t \text{ in m}) \\ 1 &\leq d \leq 20 \quad (d \text{ in km}) \end{aligned} \quad (28)$$

중·소도시의 경우

$$a(h_r) = (1.1 \log f_c - 0.7) h_r - (1.56 \log f_c - 0.8) \quad (28)$$

여기서  $1 \leq h_r \leq 10 \text{ m}$

대도시의 경우

$$a(h_r) = \begin{cases} 8.29(\log 1.54 h_r)^2 - 1.1 & : f \leq 200 \text{ MHz} \\ 3.2(\log 11.75 h_r)^2 - 4.97 & : f \geq 400 \text{ MHz} \end{cases} \quad (29)$$

· 도시 근교 지역 :

$$L_{50} = L_{50}(\text{urban}) - 2[\log(f_c/28)]^2 - 5.4 \quad (dB) \quad (30)$$

· 시골 지역 :

$$L_{50} = L_{50}(\text{urban}) - 4.78(\log f_c)^2 - 18.33 \log f_c - 40.94 \quad (dB) \quad (31)$$

## 2.2 위성채널 사용확률

### 2.2.1 각 시스템의 서비스 영역

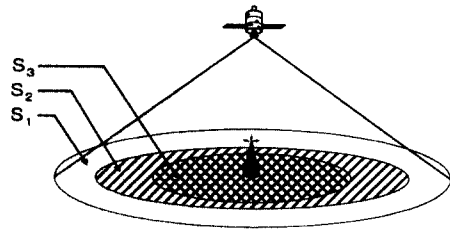


그림 3. 각 시스템의 서비스 영역 비교

Fig. 3 Comparison of the service area of each system

그림 3에서는 시스템의 서비스 영역의 관계를 나타내었다. MSS 전체 커버리지 영역을  $S_1 \text{ km}^2$ , 지상의 LMS 영역을  $S_2 \text{ km}^2$ , LMS의 단말수를  $M$ 이라 하고, 통신발생확률을  $P_m$ 으로 동일하다고 가정한다. 또한,  $S_1$  영역내에 MSS의 단말수를  $N$ 이라 하고, 통신발생확률은  $\nu$ 로 동일하게 가정한다.

한편, MS의 한 단말  $M_i$ 의 주변의 간섭영향을 고려할 최대반경을  $d_{max} \text{ Km}$ 라 하면, 간섭영향을 고려하는 대상면적  $S_3$ 는  $\pi \cdot d_{max}^2$ 이다.  $S_3$ 지역에 있는 하나의 MS가 MES에 의해 영향을 받는다고 할 때 영향을 주는 MES수를  $N(S_3)$ 라 하면 다음과 같다.

$$N(S_3) = N \cdot \frac{S_3}{S_1} \quad (32)$$

### 2.2.2 통신확률 산출

MSS가 상향링크의 다중접속방식으로 Slotted ALOHA 방식을 사용한다고 가정하면 MES가 메시지를 송신할 때 1개의 메시지 송신은 성공하지만 2개이상의 단말이 송신을 하게 되면 충돌이 발생하여 재전송을 해야 한다. ITU-R 권고안 1039-1에서는 재전송을 고려하지 않았으므로 본 논문에서는 이를 다음과 같이 보완하였다.

S<sub>3</sub>지역의 단위시간당 평균전송량 G<sub>3</sub>으로부터 k개의 단말이 채널을 사용할 확률은 Poisson 분포로 얻어진다. 즉,

$$P_k (S_3 \text{ 지역에서 } k\text{개의 단말이 동시 사용될 확률}) = \frac{G_3^k}{k!} \cdot e^{-G_3} \quad (33)$$

G<sub>3</sub>는 S<sub>3</sub>지역에서의 단위시간당 평균전송량(Average transmission per unit time)으로 MES의 메시지의 재전송을 고려한 것이고 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$G_3 = G_2 \cdot \beta \quad (34)$$

여기서 G<sub>2</sub>는 G<sub>2</sub> = G · e<sup>G<sub>2</sub></sup>를 만족시키는 값을 나타내고, G는 전체 서비스 지역의 단위시간당 평균전송량을 나타내며, β는 전체 서비스 지역에 대한 고려 대상 지역의 비를 나타낸다.

### 2.3 확률밀도함수

#### 2.3.1 간섭조정거리

전파 손실은 거리의 함수로 나타내지며, 특정한 전파 손실값에 대한 송·수신기 사이의 거리를 구한 것이 간섭조정거리이다. 따라서 앞에서 제시된 전파 손실의 산출식으로부터 간섭조정거리의 산출식을 구할 수 있다.

가. Flat earth 모델의 경우

Flat earth 모델의 간섭조정거리는 식 (26)으로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$d = \sqrt{h_t \cdot h_r} \cdot 10^{-\left(\frac{L_{th}}{40} + 3\right)} \quad (km) \quad (35)$$

나. Hata 대도시 모델의 경우

Hata 모델중 도심지역 - 특히, 대도시의 경우의 간섭 조정거리는 식 (27)과 식 (29)로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$d = 10^b \quad (km) \quad (36)$$

여기서 b는 상수로서 다음과 같다.

$$b = \frac{L_{50} - 70.65 - 26.16 \log f_c + 13.82 \log h_r + 8.29 (\log 1.54 h_r)^2}{44.9 - 6.55 \log h_r}$$

#### 2.3.2 확률밀도함수

하나의 캐리어(carrier)에 대한 확률밀도함수는 MES 송신기와 MS 수신기사이의 전송 손실이 거리의 함수로 표현되고 MSS 영역내에 MES가 균일하게 분포한다는 가정하에서 구한다. MES의 확률분포는 MSS 전체 영역의 면적에 대하여 주어진 전력 한계값에 대한 간섭조정거리 범위의 면적의 비로 구할 수 있다.

$$P_s(d) = \frac{\Delta S}{S_{total}} \quad (37)$$

여기서 S<sub>total</sub>은 MSS의 전체 영역의 면적, ΔS는 주어진 pfd(power flux density)값에 대한 간섭조정거리 내의 면적을 나타낸다.

LMS와 MSS의 중심주파수로부터의 편이(0~12.5 kHz)에 따른 필터의 분리정도를 표 1과 같이 2.5 kHz 간격으로 적용함으로써 간섭의 영향을 줄일 수 있다.

표 1. LMS와 MSS의 중심주파수 편차에 따른 분리 효과  
Table 1. Filter Isolation effect at frequency offset between LMS and MSS center frequencies

채널의 분리정도 (kHz)	분리효과(Isolation) (dB)
0	0
2.5	0
5.0	0
7.5	2
10.0	8
12.5	23

LMS와 MSS의 중심주파수 편차에 따른 분리 효과

을 적용했을 경우의 확률밀도함수는

$$\sum_{i=0}^{N_i} \sum_{j=0}^{N_j} P_M \left( \frac{pl(d_i)}{A_j} \right) += \frac{P_s(d)}{N_f} \quad (38)$$

로 주어지며<sup>[2]</sup>, 여기서  $N_i$ 는 전력값  $pl = pl(d_i) - A_j$ 를 만족하는  $S_3$ 영역 내의 MES 수,  $pl(d_i)$ 는 간섭 조정거리  $d_i$ 에 해당하는 전력 값,  $N_j$ 는 중심주파수로부터의 편이를 고려한 주파수의 수,  $A_j$ 는 MS의 중심주파수대역으로부터  $j \times 2.5$  kHz 분리된 주파수에서의 분리효과값을 나타낸다.

식 (38)의 표현식 중 “+=”는 좌변의 함수 값이 변수  $i, j$ 가 바뀔때마다 이전의 좌변 함수의 값에 우변의 함수 값을 더한 결과임을 나타낸 것이다.

여러 개의 MES가 동시에 동작할 경우 각각의 MES로부터 MS가 받는 전력값은 MS와 각각의 MES간의 전력 손실에 의한 전력값들의 합의 형태가 될 것이다. 이를 수식적으로 나타내면 식 (39)와 같이 표현될 수 있다.

$$\sum_{i=0}^{I_{max}} \sum_{j=0}^{J_{max}} P_{M C}(pl_i + pl_j) += P_{M A}(pl_i) \cdot P_{M B}(pl_j) \quad (39)$$

여기서  $I_{max}$ 와  $J_{max}$ 는  $S_3$ 영역내에 존재하는 단말 중에서 특정의 전력 한계값을 갖는 단말의 수, A, B, C는  $S_3$ 영역내에서 동시에 동작하는 MES의 수를 나타내며  $C = A + B$ 의 관계를 갖는다.

### 2.4 간섭허용기준을 초과할 확률

앞 절에서 구한 확률밀도함수를 이용하면 특정한 전력 한계값을 초과할 확률을 구할 수 있다. MS와 MES 사이의 전력 손실에 의한 전력값이 임의의 전력 한계값  $\tau$ 보다 클 확률은 식(40)과 같이 구한다.

$$CDF(pl \geq \tau) = \left( 1 - \sum_{n=0}^{\infty} P_{M n}(pl) \right) \quad (40)$$

또한 여러개의 MES가  $S_3$ 영역내에서 동시에 동작할 확률은 Poisson 분포에 의해 결정되므로  $N_i$ 개의 MES가  $S_3$ 영역내에서 동시에 동작하여 특정한 간섭

허용 기준  $\tau$ 를 초과할 확률은

$$P_s(G_3, \tau) = \sum_{n=0}^{N_i} \frac{G_3^n}{n!} \cdot e^{-G_3} \cdot \left( 1 - \sum_{m=0}^{\infty} P_{M m}(pl) \right) \quad (41)$$

로 주어진다.

## III. 결과 및 고찰

이 장에서는 비정지체도 MSS의 다수 MES가 고려 대상지역( $S_3$ )내에서 동시에 동작할 때 LMS의 MS에 주는 간섭의 정도를 예측하기 위한 간섭허용기준을 초과할 확률의 계산 결과를 제시하였다.

모의실험 환경설정은 표 2와 같다.

표 2. 모의실험 환경설정  
Table 2. Simulation parameters

설정 변수	설정 값
중심 주파수 $f_c$	150.0 MHz
송신 안테나 높이 $h_t$	1 m
수신 안테나 높이 $h_r$	10 m
MES의 출력 $e.i.r.p. mes$	9 dBW
동시에 동작하는 최대 MES 수 $N_i$	6
최대 간섭 조정 거리 $d_{max}$	80 km

동시에 동작하는 최대 MES 수는 Poisson 분포에 의해 결정되며, 통화량이 최대인  $G = 0.368$ 일 때 동시에 동작할 MES의 수  $n$ 이 6을 초과할 확률이 거의 0%이므로 최대 허용가능한 동시에 동작하는 단말대수  $N_i$ 는 6으로 하였다.

그림 4는 각각의 전파전파 모델에 대해서 거리 변화에 따른 전파 손실을 나타낸 것이다. Flat earth 모델에 비해 Hata 대도시 모델은 전파 손실이 크고, Hata 시골 모델은 전파 손실이 현저히 적은 것을 볼 수 있다. MSS와 LMS의 이용자의 대부분이 도심지역에 있다는 것을 고려하여 전파전파 모델은 Flat earth 모델과 Hata 대도시 모델을 선택하였다.

그림 5는 각 모델의 누적분포함수를 비교한 것이다.

그림 6은 flat earth 모델의 경우에 대하여 전력 한

계값이 -125 dBm으로 주어졌을 때의 초과 확률을 나타낸 것이다. G값을 0.1, 0.2, 0.3으로 변화시키면서  $\beta$  값에 따른 초과확률을 나타내었다. G값은  $G_2 = G \cdot e^{G_2}$  를 만족시켜야 하는데 G의 최대값은 0.368일때이다.

그림 7은 Hata 대도시 모델의 경우에 대하여 전력 한계값이 -125 dBm으로 주어졌을 때의 초과 확률을 나타낸 것이다.

그림 8은 필터의 분리 효과를 고려한 flat earth 모델의 경우에 대하여 전력 한계값이 -125 dBm으로 주어졌을 때의 초과 확률을 나타낸 것이다.

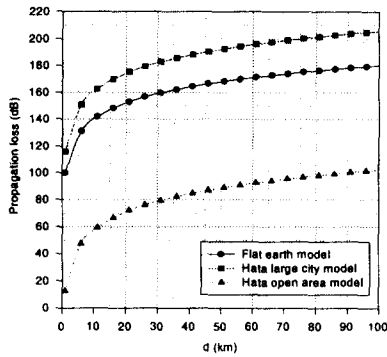


그림 4. 전파 모델의 비교  
Fig. 4 Comparison of the propagation models

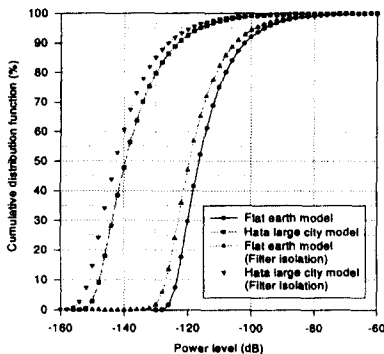


그림 5. 각 모델의 누적분포함수의 비교  
Fig. 5 Comparison of the cumulative distribution function of each model

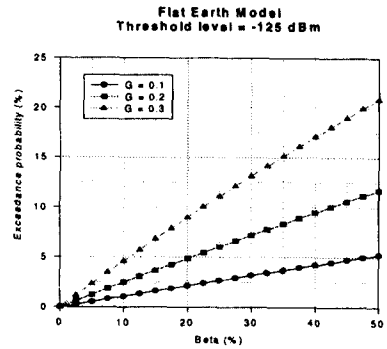


그림 6. 전력 한계값이 -125 dBm일 때 Flat earth 마들의 초과확률  
Fig. 6 Exceedance probability of the flat earth model when the power threshold level is -125 dBm

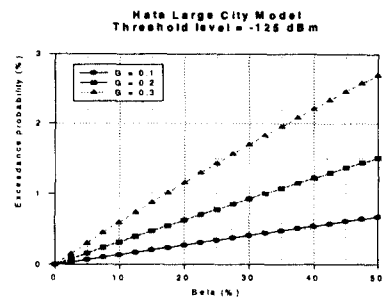


그림 7. 전력 한계값이 -125 dBm일 때 Hata 대도시 모델의 초과 확률  
Fig. 7 Exceedance probability of the Hata large city model when the power threshold level is -125 dBm

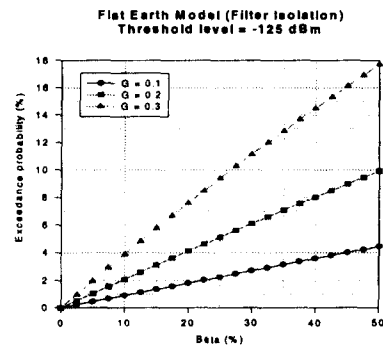


그림 8. 분리 효과를 고려한 flat earth 마들의 초과 확률  
Fig. 8 Exceedance probability of the flat earth model in consideration of the filter isolation



그림 9는 분리 효과를 고려한 Hata 대도시 모델의 경우에 대하여 전력 한계값이 -125 dBm으로 주어졌을 때의 초과 확률을 나타낸 것이다.

그림 10은 G값을 0.3으로 고정시키고 전력 한계값을 -125 dBm으로 하였을 때 각 모델의 초과 확률을 비교한 것이다. 초과확률은 flat earth 모델보다 Hata 대도시 모델이 더 낮고, 분리 효과를 사용하였을 때 더욱 낮아졌다.

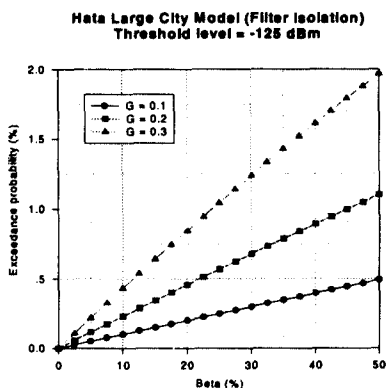


그림 9. 분리 효과를 고려한 Hata 대도시 모델의 초과확률  
Fig. 9 Exceedance probability of the Hata large city model in consideration of the filter isolation

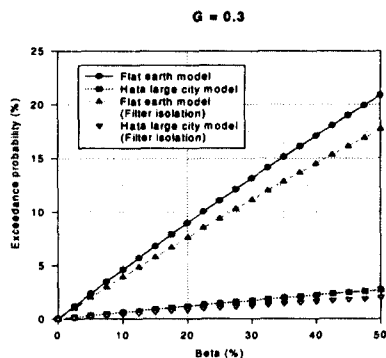


그림 10. G가 0.3일때의 각 모델의 초과 확률 비교  
Fig. 10 Comparison of each model when G is 0.3

#### IV. 결 론

본 논문에서는 ITU-R 권고안 1039-1의 방법을 기본으로하여 권고안에서 고려치 않았던 재전송을 포함한 통신 확률을 추가로 고려한 간섭허용기준을 초과할 확률을 구하는 방법을 제시하였다. 전파전파 모델로부터 MES의 확률밀도함수를 유도하였다. Poisson분포를 MSS의 전체 영역에 대한 단위시간당 평균전송량 G와 MSS의 전체 영역에 대한 고려대상영역의 비율  $\beta$ 의 함수로 설정하였다. 또한 LMS와 MSS의 중심주파수 편차에 따른 분리 효과를 사용하지 않은 경우와 사용한 경우를 비교함으로써 간섭 영향의 차이를 확인하였다. 또한 Flat earth 모델에 비해 Hata 대도시 모델의 경우가 초과확률이 낮아짐을 확인할 수 있었다. 본 논문의 해석방법은 위성이동통신 시스템과 육상시스템간의 다양한 간섭분석연구에 응용이 가능할 것이다. 그러나 좀 더 정확한 해석을 위해서는 본 논문에서 사용한 flat Earth 모델과 Hata 모델이 아닌 국내 전파환경에 맞는 모델링에 대한 연구와 확률밀도함수의 계산에 대한 연구가 병행되어야 할 것이다.

〈감사의 글〉

본 논문은 1997년도 전파연구소 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

#### 참 고 문 헌

1. CPM-97 최종보고서 (제네바, 1997), 한국 정보통신 기술협회, 1997.
2. Recommendation ITU-R M.1039-1, "Method for evaluating sharing between stations in the mobile service below 1 GHz and FDMA non-geostationary-satellite orbit(NON\_GSO) mobile earth stations", ITU-R, 1997.
3. UK/RA, "Co-frequency sharing between stations in the mobile-satellite service below 1 GHz and FDMA non-geostationary-satellite orbit", CEPT/SE PT-29, Paris, August 1997.
4. ANFR, "Compatibility between MES below 1 GHz and terrestrial services", CEPT/SE28 SE28(97), Paris, 21-22 August 1997.
5. J. D. Parsons, *The Mobile Radio Propagation Channel*, Halsted Press, New York, 1992.

6. K. Siwiak, Radiowave Propagation and Antennas for Personal Communications, Artech House, Norwood, 1995.
7. T. S. H. Maclean and Z. Wu, Radiowave Propagation over Ground, Chapman & Hall, London, 1993.
8. Roger L. Freeman, Radio System Design for Telecommunications, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1997.
9. K. Fujimoto, J. R. James, Mobile Antenna Systems Handbook, Artech House, Boston, 1994.
10. A. Bruce Carlson, Communication Systems, Third Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, 1986.
11. Robert Gallager, Dimitri Bertsekas, Data Networks, Second Edition, Prentice Hall, New Jersey, 1992.
12. Peyton Z. Peebles, JR., Probability, Random Variables, and Random Signal Principles, Third Edition, McGraw-Hill, New York, 1993.
13. C. A. Balanis, Antenna Theory Analysis and Design, Harper & Row, New York, 1982.

김 회 동(Hee Dong Kim) 정회원  
 한국통신학회 학회지 제15권 6호 (1998년 6월호) 참조  
 현재 : 한국외국어대 정보통신공학과 부교수

박 지 웅 (Ji Woong Park) 정회원  
 1996년 : 한양대학교 전파공학과 졸업(학사)  
 1998년 : 한양대학교 전파공학과 졸업(석사)  
 1998년~현재 : LG정밀 근무



최 재 훈 (Jae Hoon Choi) 정회원  
 1980년 : 한양대학교 전자공학과 졸업(학사)  
 1986년 : (미) 오하이오주립대 전기공학과(석사)  
 1989년 : (미) 오하이오주립대 전기공학과(박사)  
 1989년~1991년 : (미) 아리조나주립대 연구교수

1991년~1994년 : 한국통신 위성사업본부 연구팀장  
 1995년~현재 : 한양대학교 전자전기공학부 조교수  
 ※주관심분야 : 위성 및 이동통신 안테나 설계, 분석, 수치해석법을 이용한 마이크로파 소자 특성 해석, 전파환경 분석

e-mail : jhchoi@hyena.hanyang.ac.kr