

IMT-2000과 GMPCS간의 간섭 분석

The Analysis of Interference between IMT-2000 and GMPCS

배태경* · 차병규* · 최재훈** · 조영란***

Tae-Kyeong Bae* · Byeong-Kyu Cha * · Jae-Hoon Choi** · Young-Ran Cho***

요 약

IMT-2000(International Mobile Telecommunications-2000)은 극지방과 산악지대를 포함하는 전세계적인 이동통신서비스를 제공할 것이다. GMPCS(Global Mobile Personal Communications by Satellites) 역시 500~12,000 km 고도의 위성망을 통한 전세계적인 음성전화와 페이징서비스를 제공한다. GMPCS중 "Big LEO (Low Earth Orbit)"와 IMT-2000은 사용 대역이 1-3 GHz로 같아, 두 시스템간에 시스템 성능에 영향을 줄 간섭이 존재할 가능성이 있다. 본 논문에서는 두 시스템 사이의 전파 경로에 대한 모델 및 IMT-2000과 GMPCS간의 간섭 분석 방법을 제시하고 이를 이용해 두 시스템간의 간섭을 분석하였으며, 시스템간의 주파수 공유 조건에 대해 살펴보았다.

ABSTRACT

IMT-2000 will provide worldwide mobile telecommunication services with the extended coverage areas such as polar regions and mountainous district. GMPCS also provides global telephony and paging services via satellite network at the altitude of 500~12,000 km. "Big LEO" which is one of the GMPCS systems using frequency above 1 GHz and IMT-2000 will share the frequency range of 1 to 3 GHz. Therefore, there exists possible interference between the two systems which can cause the performance degradation of both systems. In this paper, the radio-propagation modeling and interference analysis methods are presented and these methods are used to analyse the effect of the interference between IMT-2000 and GMPCS on system performance.

I. 서 론

IMT-2000은 기존 통신 영역뿐만 아니라 극지방과 사막, 산악지대 등을 포함한 전세계적인 커버리지를 구현하는 제 3세대 이동통신 서비스이며, GMPCS는 고도 500~12,000 km 정도의 저·중궤도에

수십 개의 위성을 띄워 전화 통화나 무선 호출 등등을 가능하게 하는 시스템으로 1 GHz 미만의 "Little LEO"와 1 GHz 이상의 "Big LEO"가 있다. Big LEO와 IMT-2000은 1~3 GHz의 주파수를 사용함으로써 상호 간섭을 줄 가능성이 있으며 이러한 간섭은 시스템 성능 저하를 가져올 것이다. 그러나 현재 GMPCS 시스템과 기존 시스템과의 간

「본 연구는 한국통신 정보통신기초 과제 (97-24) 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.」

*한양대학교 전파공학과(Dept. of Radio Science and Engineering, Hanyang University)

**한양대학교 전자전기공학부(Dept. of Electrical and Computer Engineering, Hanyang University)

***한국통신(Korea Telecom)

· 논문 번호 : 981222-133

· 수정완료일자 : 1999년 3월 11일

섭 영향에 대한 연구는 미약한 편이며, 이들 연구는 주로 비정지궤도 이동위성 서비스(NGSO/ MSS)의 관문국(gateway)이 기존 정지 궤도 서비스의 지구국이라든지 지상 M/W 시스템에 미치는 간섭 분석에 관한 것으로 GMPCS 이동 단말 또는 위성 망과, 2000년대 초 도입될 IMT-2000같은 시스템과의 간섭 문제에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 GMPCS(Big LEO)와 IMT-2000 시스템간에 발생할 수 있는 여러 간섭 경로 중에서 그림 1과 같이 Big LEO의 지상 단말로부터 IMT-2000의 육상 이동 단말로의 간섭(단말 대 단말)과 Big LEO 위성으로부터 IMT-2000 지상 고정국으로의 간섭을 주 간섭 분석 대상으로 설정하고, ITU-R의 권고안을 바탕으로 정량적인 간섭 분석을 수행하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 II장과 III장에서 각각 Big LEO의 지상 단말로부터 IMT-2000의 육상 이동 단말로의 간섭과 Big LEO 위성으로부터 IMT-2000 지상 고정국으로의 간섭 경로에 대한 이론적 해석 방법에 대해 설명하고 IV장

에서 수치적인 해석 결과를, 그리고 이를 토대로 V장에서 결론을 제시한다.

II. 단말 대 단말간의 간섭 분석

GMPCS의 이동 단말에서 IMT-2000 육상 이동 단말로의 간섭 분석은 ITU-R 권고 M.1039-1에 제시된 방법을 기초로 하여 GMPCS 단말에서 발생한 신호의 전력이 IMT-2000 단말에 도달하였을 때의 전력 밀도 값을 계산하여 임계치를 초과할 확률로서 표시한다^[1]. 먼저 두 단말간의 전력 밀도를 계산하기 위한 전파 전파 모델을 설정하고 이를 토대로 간섭 조정 거리를 구한다. GMPCS 이동 단말로부터 거리 d 인 위치에 놓인 IMT-2000 단말에 도달하는 전력 밀도는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$pfd(d) = 10 \log \frac{E^2}{120\pi} - L_{curvature} - L_{building} \text{ dB} \quad (1)$$

식 (1)의 우변 첫 항은 IMT-2000 단말과 GMPCS 단말간에 장애물이 없으며, 지구 표면을 평면으로 가정할 경우에 수신점에서의 전력 밀도를 나타내는 값이며, d 는 거리, E 는 전계강도이다. 두 번째 항은 지구 표면이 평면이 아니고 구면이므로 지표면의 곡률에 의한 손실을 의미한다. 세 번째 항은 단말과 단말 사이에 존재하는 건물과 같은 장애물의 영향을 고려한 것이다. 따라서 식 (1)은 GMPCS 단말에서 발생한 신호, 즉 간섭 전력이 일정거리만큼 떨어져 있는 IMT-2000 단말에 도달했을 때 그 전력 밀도를 나타낸다. GMPCS 단말의 전력을 $EIRP$ 로 표시하고 IMT-2000 단말 주변에서 GMPCS 단말이 동시에 N 대가 동작한다고 하면 GMPCS 단말로부터 최대의 전력 밀도가 IMT-2000 단말로 입사할 때 식 (1)은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다^[1].

$$pfd(d) = 10 \log$$

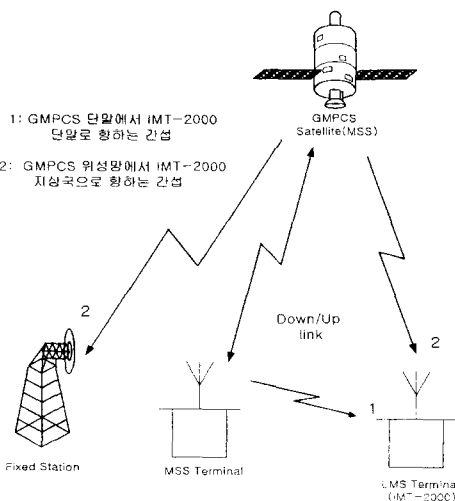


그림 1. 간섭 분석을 위해 고려해야 할 두 가지 간섭 경로

Fig. 1. Two interference paths considered in the interference analysis.

$$\frac{\left\{ \frac{10.954}{d} \sin\left(\frac{2\pi h_T h_R}{\lambda d}\right) \sqrt{EIRP \cdot N} \right\}^2}{(120\pi)^2} - L_{curvature} - L_{building} \quad [W/m^2] \quad (2)$$

h_T , h_g 은 각각 송수신안테나의 높이이며, 장애물과 곡률에 의한 손실인 $L_{curvature}$, $L_{building}$ 에 대한 자세한 식은 다음과 같다.

$$L_{curvature} = \left[27 + \frac{f}{230} \right] \cdot \log \left[\frac{17(H_b + 20)}{17(H_b + 20) + d^2} \right] + 1.3 - \frac{|f - 55|}{750} \quad (3)$$

$$L_{building} = 25 \log(B_1) - 30 \quad (4)$$

여기서 f 는 MHz 단위의 주파수이며 H_b 는 m 단위의 기지국 안테나 높이이다. $L_{curvature}$ 와 $L_{building}$ 는 100 MHz에서 3000 MHz까지의 주파수에 대하여 사용할 수 있는 "수정 Hata Model"^[2]에서 지표면 곡률과 장애물의 영향을 고려하기 위해 사용되고 있다. B_1 은 전파 경로상에서 건물이 차지하는 백분율이며, $3 < B_1 < 50$ 의 값을 갖는다.

복수개의 GMPCS 단말들이 독립적으로 움직이면서 IMT-2000 단말과 동일 주파수 채널을 사용하여 통화를 시도할 확률은 Poisson 분포, $P_a(n) = \frac{\Lambda^n}{n!} \cdot e^{-\Lambda}$ 에 의해 구해진다^[3]. Λ 는 GMPCS 단말의 상향링크시 단위시간당 평균전송량, n 은 단말의 수이며, $\Lambda = 0.368$ (이론적 최대치)일 때, Poisson 분포에 의해 최대 동작 단말 대수 n 은 6으로 결정된다.

하나의 반송파에 대한 확률밀도함수는 그림 2에서처럼 IMT-2000 단말의 영역의 면적에 대해, 주어진 전력 한계값에 대한 간섭 조정 거리내의 면적의 비로 구할 수 있다.

$$P_s(d) = \frac{\Delta S}{S_{total}} = \frac{d_{max}^2 - d_{min}^2}{R^2} \quad (5)$$

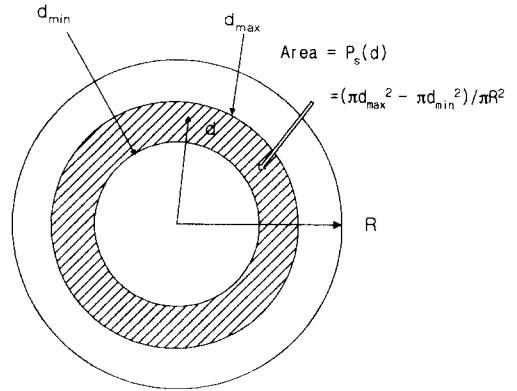


그림 2. 확률 밀도 함수의 계산에 사용된 거리 매개변수

Fig. 2. Distance parameter used to calculate the probability density function.

특정한 전력 밀도값을 간섭 여부에 대한 기준으로 설정했을 때, 그 전력 밀도값을 가지는 지점의 거리를 구한 것이 간섭 조정 거리이며, 식 (2)를 이용하여 간섭 조정 거리를 구할 수 있다. 만일 GMPCS 단말이 IMT-2000 단말로부터 간섭 조정 거리밖에 존재한다면 GMPCS 시스템으로부터의 간섭은 없다고 볼 수 있다. S_{total} 은 IMT-2000 단말의 전체 영역의 면적, ΔS 는 주어진 전력 밀도(pdf)값에 대한 간섭 조정 거리 내의 면적, R 은 IMT-2000 단말의 영역 반경(간섭 조정 거리), d_{max} 와 d_{min} 는 각각 주어진 전력 한계값에 대한 IMT-2000과 GMPCS 단말간 거리의 상한치와 하한치를 나타낸다. 이를 그림 2에 도시하였다.

여러 개의 GMPCS 단말이 동시에 동작할 경우 각각의 단말로부터 IMT-2000 단말이 받는 전력값은 각각의 GMPCS 단말의 전력값들의 합의 형태가 될 것이다. 이를 수식적으로 나타내면 식 (6)처럼 나타낼 수 있다.

$$\sum_{i=0}^{I_{max}} \sum_{j=0}^{I_{max}} P_{plC}(pl_i + pl_j) + P_{plA}(pl_i) \cdot P_{plB}(pl_j) \quad (6)$$

여기서 I_{max} 와 J_{max} 는 간섭을 고려해야 할 영역(간섭 조정 영역)내에 존재하는 단말 중에서 특정의 전력 한계값을 갖는 단말의 수이며, A, B, C 는 간섭 조정 영역내에서 동시에 동작하는 GMPCS 단말의 수를 나타내며 $C = A + B$ 의 관계를 갖는다. 또한 “+”는 좌변의 함수 값이 변수 i, j 가 바뀔 때마다 이전의 좌변 함수의 값에 우변의 함수 값을 더한 결과임을 나타낸다^[4]. 확률밀도함수를 이용하면 특정한 전력 한계값을 초과할 확률을 구할 수 있다. 전력 밀도 값이 임의의 한계 값 τ 보다 클 확률은 다음 식과 같이 구한다.

$$CDF(p_l \geq \tau) = \left(1 - \sum_{n=0}^{\infty} P_{nl} n(p_l)\right) \quad (7)$$

식 (7)에서 Σ 의 $-\infty$ 는 간섭량 계산에 있어 간섭원에서 발생하는 간섭 전력이 가질수 있는 모든 범위의 전력밀도값에 대해 고려해야 한다는 것을 의미하며 실제의 계산에 있어서는 전력밀도값이 -160 dBW/m^2 이상인 경우에 대한 총합을 나타내었다. 여러개의 GMPCS 단말이 간섭 조정 영역내에서 동시에 동작할 경우의 확률은 Poisson 분포를 이용하여, 계산할 수 있으므로 n 개의 단말이 간섭 조정 영역내에서 동시에 동작하여 특정 간섭 허용 기준 τ 를 초과할 확률은 식 (8)과 같다^[4].

$$P_e(\Lambda, \tau) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\Lambda^n}{n!} \cdot e^{-\Lambda} \cdot \left(1 - \sum_{n=0}^{\infty} P_{nl} n(p_l)\right) \quad (8)$$

III. GMPCS 위성과 지상고정국간의 간섭 분석

이동 위성망과 지상 고정망간의 간섭 및 주파수 공유 기준을 분석하려면 지구상의 특정 위치에서 위성이 지표면과 어떤 각도로, 얼마 정도 거리에서, 얼마동안 보이는지, 그리고 그 때의 간섭 전력은 얼마인지를 알아야 한다^[5]. 위성의 위치를 설명하는데 있어 가장 많이 사용되는 것은 바로 관성

좌표계(inertial frame)^[6]이며 관성계에서 위성의 위치를 결정하려면 궤도 반경, 궤도 경사각, 궤도 상승점(ascending node), 위성 직하점(sub-satellite point) 등의 매개변수가 필요하다^[7]. 위성 직하점은 궤도상의 위성 위치와 지구 중심을 잇는 직선이 지표면과 만나는 점으로 θ_s 와 λ_0 로 표시할 수 있으며, θ_s 는 북극점과 위성 직하점을 잇는 선분이 지구중심에 대해 이루는 각이 되고 λ_0 는 북극점과 궤도의 상승점, 위성 직하점이 이루는 각이다. 그림 3 (a)의 θ_s 와 M 에 코사인 법칙을 적용하면 다음과 같은 식을 유도할 수 있다.

$$\cos \theta_s = \sin M \sin I, \quad \cos M = \sin \theta_s \cos \lambda_0 \quad (9)$$

$$\theta_s = \arccos(\sin M \sin I) \quad (10)$$

$$\lambda_0 = \begin{cases} \arccos(\cos M / \sin \theta_s) \\ \text{for } \cos I \sin M \geq 0 \\ 2\pi - \arccos(\cos M / \sin \theta_s) \\ \text{for } \cos I \sin M < 0 \end{cases} \quad (11)$$

I 는 궤도면과 지구 적도면 사이의 각(rad)이고 M 은 상승점으로부터 위성 직하점을 잇는 선분이 지구 중심과 이루는 각(rad)이다. 관성계에서의 위성 직하점의 위치는 지구좌표계로 변환시킬 수 있으며, 지구의 자전을 고려할 때, 시간에 따른 위성 직하점의 동경의 위치 λ_s 는 다음과 같다.

$$\lambda_s = \lambda_0 + \Omega_s - \Delta E \cdot t \quad (12)$$

Ω_s 는 적도면 위에 위치한 기준점부터 상승점을 잇는 적도면상의 선분이 지구 중심과 이루는 각(rad)이며, $\Delta E = 7.2921 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$ 는 지구가 동쪽으로 움직이는 각속도이다. 상승점 또한 세차 운동을 하며 R_E 를 지구 반경, R_S 를 궤도 반경(지구 중심으로부터 위성까지의 거리)이라 할 때, 상승점은 1초에 $2.0183 \times 10^{-6} (R_E/R_S)^{3.5} \cos I$

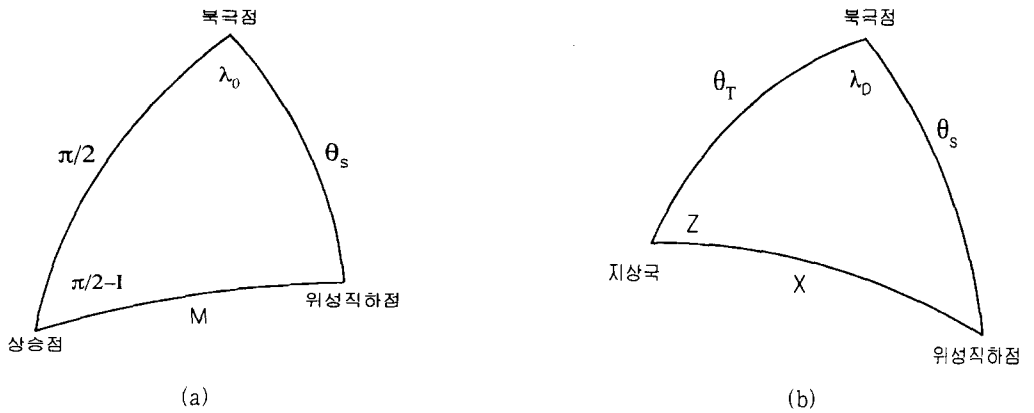


그림 3. (a) 관성계에서의 위성 위치, (b) 위성 직하점과 지상 고정국간의 관계
 Fig. 3. (a) Satellite position in the inertial frame
 (b) Relationship between the sub-satellite point and terrestrial station

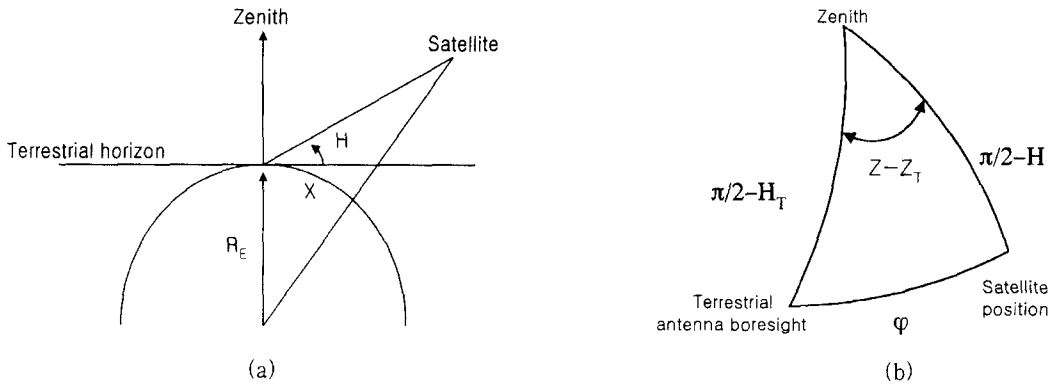


그림 4. (a)지상 고정국의 위치와 위성의 양각을 포함한 평면, (b)지상 고정국 주빔의 방향과 위성의 위치간의 각도
 Fig. 4. (a) Plane containing Earth centre, terrestrial station, and satellite
 (b) The angle between the terrestrial beam and the satellite

만큼씩 서쪽으로 이동하므로 시간에 따른 상승점의 위치는 상승점의 위치 기준점을 Ω_0 라 할 때, 다음처럼 주어진다.

$$\Omega_s = \Omega_0 - \Delta L \cdot t \quad (13)$$

$\Delta L = -2.0183 \times 10^{-6} (R_E/R_S)^{3.5} \cos I$ 이며 (-)부호는 이 값이 동쪽을 기준으로 한 각속도임을 나타낸다. 식(12)와 (13)로부터 시간에 따른 위성 직하점의 동경의 위치 λ_s 는 다음과 같다,

$$\lambda_s = \lambda_0 + \Omega_0 - (\Delta L + \Delta E) \cdot t \quad (14)$$

상승점으로부터 위성의 직하점까지의 선분이 지구중심과 이루는 각인 M 을 지구좌표계로 변환하면 다음과 같다.

$$M = M_0 + \Delta M \cdot t \quad (15)$$

M_0 는 위성이 궤도를 돌기 시작하는 순간에 상승점과 위성 직하점을 잇는 선분이 지구중심과 이

루는 각도이며, 위성 각속도 $\Delta M = 2\pi/T_s$ 이고, 궤도 주기 $T_s = 9.952 \times 10^{-3} R_s^{1.5}$ 이다.

위성의 위치를 알았다면 고정국(terrestrial station)의 위치를 위성 위치와 관련시키는 것이 필요하며 위도와 경도로 주어지는 고정국의 위치는 구좌표계로 변환되어야 한다. L_T 와 L_{OT} 를 각각 고정국의 위도와 경도라고 했을때 구좌표계상에서 고정국의 위치인 θ_T 와 λ_T 는 다음과 같다.

$$\theta_T = \begin{cases} (\pi/180)(90 - L_T) & \text{for } L_T \text{ North latitude} \\ (\pi/180)(90 + L_T) & \text{for } L_T \text{ South latitude} \end{cases} \quad (16)$$

$$\lambda_T = \begin{cases} (\pi/180)(L_{OT}) & \text{for } L_{OT} \text{ East longitude} \\ (\pi/180)(360 - L_{OT}) & \text{for } L_{OT} \text{ West longitude} \end{cases} \quad (17)$$

θ_T 는 북극이 0° , 남극이 180° 이며 λ_T 는 동경을 기준으로 한다.

이제 고정국의 위치와 위성 위치간의 관계를 알아보기 위해 그림 3(b)와 같은 경우를 고려하자. 고정국의 경도와 위성 직하점의 경도간의 차이를 λ_D 라고 하면 λ_D 는 다음처럼 나타낼 수 있다.

$$\lambda_D = \lambda_s - \lambda_T \quad (18)$$

고정국과 위성 직하점을 잇는 선분이 지구중심과 이루는 각도인 X 와 고정국으로부터 위성 직하점까지의 방위각 Z 는 그림 3(b)에서 다음과 같이 된다.

$$X = \arccos(\cos \theta_T \cos \theta_s + \sin \theta_T \sin \theta_s \cos \lambda_D) \quad (19)$$

$$Z = \begin{cases} \arccos\left(\frac{\cos \theta_s - \cos \theta_T \cos X}{\sin \theta_T \sin X}\right) & \text{for } \sin \lambda_D \geq 0 \\ 2\pi - \arccos\left(\frac{\cos \theta_s - \cos \theta_T \cos X}{\sin \theta_T \sin X}\right) & \text{for } \sin \lambda_D < 0 \end{cases} \quad (20)$$

위성 가시도 결정에서 마지막으로 고려할 것은 위성의 양각과 고정국 수신안테나의 방향성 이득의 특성이다. 위성의 양각 H 는 그림 4의 (a)로부터 구할 수 있다. 양각 H 는,

$$H = \arctan\left[\frac{\cos X - R_E/R_S}{\sin X}\right] \quad (21)$$

이제 고정국의 수신 안테나가 방위각 Z_T , 양각 H_T 로 향하도록 주빔의 방향이 맞추어져 있다고 가정하자. 고정국 수신 안테나의 양각이란 고정국의 위치에서 지면에 접선을 그었을 때, 그 접선과 천정이 이루는 평면에서, 안테나의 주빔 방향이 접선과 이루는 각을 말한다. 고정국 안테나의 주빔의 방향이 위성의 위치와 이루는 각을 φ 라고 하면, φ 는 식(22)와 같이 구해지며 그림 4(b)에 이를 도시하였다.

$$\varphi = \arccos\{\sin H_T \sin H + \cos H_T \cos H \cos(Z - Z_T)\} \quad (22)$$

Z_T 는 고정국 수신안테나의 방위각이며 H_T 는 고정국 수신안테나의 양각이다.

위성망으로부터 지상 고정망에 미치는 간섭의 조정을 결정하기 위한 방법과 간섭 기준은 다음과 같은 방법으로 얻어진다. 피간섭 지상 고정국을 다지틀 시스템이라고 가정할 때, 원하는 신호를 수신하는데 실패할 확률인 P_0 (outage probability)는 다음과 같이 정의된다^[8].

$$P_0 = P\left(\frac{D}{I} < \alpha\right) \quad (23)$$

D 는 원하는 신호의 전력, I 는 간섭신호의 전력이며, P_0 는 원하는 신호 대 원하지 않는 신호의 비가 시스템의 성능 보호를 위한 보호기준치 α 보다 작아질 확률이라고 할 수 있다. 간섭 전력을 일종의 잡음으로 생각한다면, 간섭원 i 가 간섭 전력 I_i 을 f_i 시간만큼 미칠 때, 이로 인한 성능 저하의 증가량은 다음 식과 같이 주어진다^[7].

$$\Delta P_{0,i} = \frac{I_i f_i}{N_T} \quad (24)$$

f_i 는 1개월을 1로 볼 때, 한 달 동안 간섭원이 영향을 미치는 시간이며 f_i 동안의 평균 간섭 전력이 I_i 이다. N_T 는 잡음 전력으로 kTB 로 주어지며 k 는 볼츠만 상수, T 는 등가 잡음 온도(Kel-

표 1. 지상 단말간 간섭 분석을 위한 모의 환경
Table 1. Condition for analysis of interference between portable units.

설정 변수	설정 값
중심 주파수 f_c	2000 MHz
송신안테나 높이 h_T	1.6 m
수신안테나 높이 h_R	10 m
GMPCS 단말의 출력 EIRP	9 dBW
동시에 동작하는 최대 GMPCS 단말의 수 N_T	6

표 2. 동시에 동작할 단말의 확률 분포
Table 2. Probability distribution of simultaneous terminal.

n	$P_a(n)$	$CDF_a(n)$	$1 - CDF_a(n)$
0	0.670320	0.670320	0.329680
1	0.268128	0.938448	0.061552
2	0.053626	0.992074	0.007926
3	0.007150	0.999224	0.000776
4	0.000715	0.999939	0.000061
5	0.000057	0.999996	0.000004
6	0.000004	1.000000	0.000000

vin), 그리고 B 는 기준 대역폭으로써, 디지털 시스템의 경우 1 MHz이다.

복수개의 간섭원 i 에 의한 성능저하 증가분의 총합 FDP(fractional degradation in performance)는 다음과 같으며 식에서 \sum 은 간섭을 미치는 i 개 간섭원 모두에 대해 취한다^[7].

$$FDP = \sum \Delta P_{0,i} = \sum_{\min}^{\max} \frac{I_i f_i}{N_T} \quad (25)$$

IV. 수치 해석 결과

4-1 단말 대 단말의 간섭

IMT-2000 단말과 GMPCS 단말간의 간섭을 분석하기 위한 모의 실험 환경은 표 1과 같으며, 특정 간섭 허용 기준을 초과할 확률의 계산 결과를 제시하였다.

평균 전송량이 0.368일 때, Poisson 분포는 표 2와 같다. 표 2에서 동시에 동작할 GMPCS 단말이 6대 이상일 확률은 0이므로 최대 동작 단말수 N_T 를 6으로 설정하였다.

$N_T=6$ 일 때 간섭 조정 거리 R 을 결정할 수 있으며 이를 그림 5에 나타내었다. 그림 5에는 식 (2)에서 손실항을 고려하지 않은 경우의 전력밀도

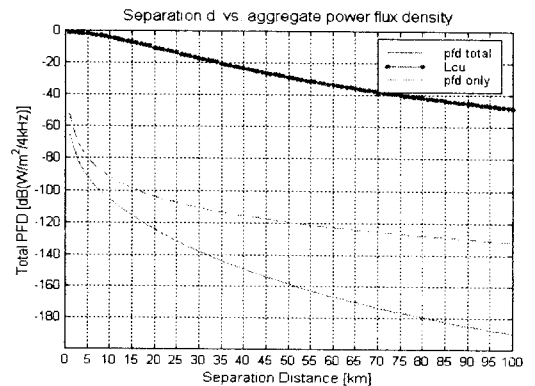


그림 5. 간섭 조정 거리

Fig. 5. Interference coordination distance.

를 점선으로 나타내었으며, 굵은 점선을 이용하여 곡물에 의한 손실을 표시하였다. 실선은 식 (2)의 세 항을 모두 고려하여 계산한 결과로서 최대 간섭 허용 기준을 -140 dBW/m^2 로 가정하였을 때, 약 33 km 이상의 거리에서는 6대의 단말에 의한 간섭 전력이 -140 dBW/m^2 이하로 떨어지기 때문에 이보다 더 먼 거리에 존재하는 단말에 대해서는 간섭이 발생하지 않는다고 볼 수 있으며 간섭 조정 거리를 33 km로 설정할 수 있다.

그림 6과 7은 최대 간섭 조정 거리 R 이 33 km 일 경우에 GMPCS 단말수를 1에서부터 6까지 변화시켜가며, 확률밀도함수(pdf)와 누적밀도함수(cdf)를 구한 것이다. 그림을 통해 동시에 동작하는 단말의 수가 늘어날수록 확률밀도함수는 전력 밀도가 높은 쪽으로 이동하며, 각각의 확률밀도함수에 대한 누적확률분포는 1로 수렴하는 것을 볼 수 있다. 만약 누적확률이 1로 수렴하지 않는다면 확률분포는 잘못 설정된 것이라고 할 수 있다. 그림 8은 평균 전송량 Λ 를 변화시켜가며 그에 따른 간섭기준 초과확률을 살펴본 것이다. 평균 전송량을 0.1에서부터 이론적 최대치인 0.368까지 변화시켰을 때, 각 전력 밀도에 해당하는 확률값은 그 전력 밀도값을 초과하는 간섭 전력이 수신될 확률을 나

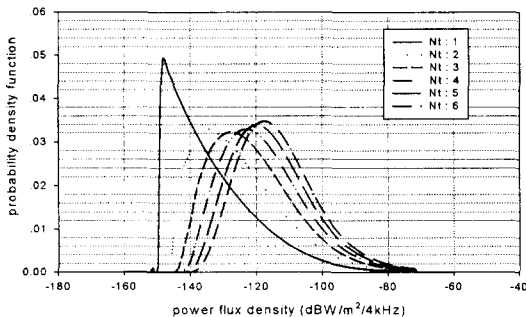


그림 6. 단말 수의 변화에 따른 전력 밀도 대 확률 밀도 함수

Fig. 6. Power flux density to probability density function according to the change of number of simultaneous transmitting portable units.

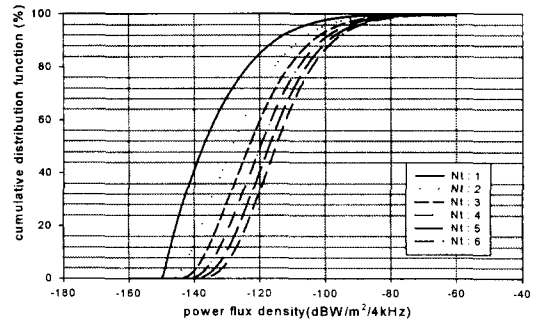


그림 7. 단말 수의 변화에 따른 전력 밀도 대 누적 밀도 함수

Fig. 7. Power flux density to cumulative distribution function according to the change of number of simultaneous transmitting portable units.

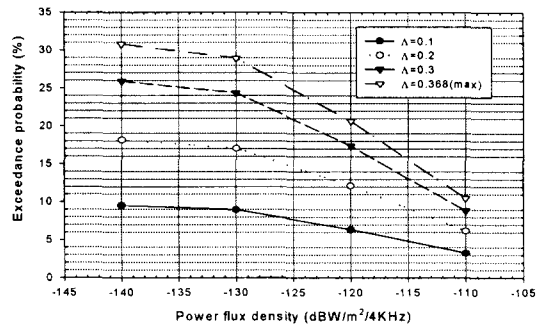


그림 8. 평균 전송량(Λ)의 변화에 따른 간섭 초과 확률

Fig. 8. Exceedance probability according to average transmissions per unit time(Λ).

타낸다. 간섭 기준이 $-130 \text{ dBW/m}^2/4 \text{ kHz}$ 이고 평균 전송량이 0.3이라면 이 때, 간섭기준을 초과할 확률은 약 24%이다. 또한 평균 전송량 Λ 가 커질수록 간섭확률이 커짐을 확인할 수 있다.

4-2 GMPCS 위성망으로부터 IMT-2000의 지상 고정·이동국에 미치는 간섭

모의 실험 환경은 표 3과 같고 사용 주파수는 두 시스템 모두 2 GHz로 가정하였다. GMPCS 위성망은 ICO 시스템을 대상으로 하였으며 ICO는

표 3. 위성망과 지상 고정국간의 간섭 분석을 위한 모의 실험 환경

Table 3. Condition for interference analysis between satellite network and terrestrial station.

IMT-2000 지상 시스템	
위도, 경도	북위 36° , 동경 127°
시스템 등가 잡음 온도(T)	1340 K
간섭으로부터의 보호를 위한 기준 FDP	25%
기준 대역폭(디지틀)	1 MHz
GMPCS 위성망 (ICO)	
궤도 경사각	45° , 135°
위성 수	궤도당 5기, 총 10기
궤도 고도	10,355 Km
빔 당 EIRP (빔 엡지에서의 값)	32.2 dBW
지구 반지름	6,378.14 Km
궤도 반지름(지구반지름 포함)	16,733.14 Km
궤도 주기	6시간

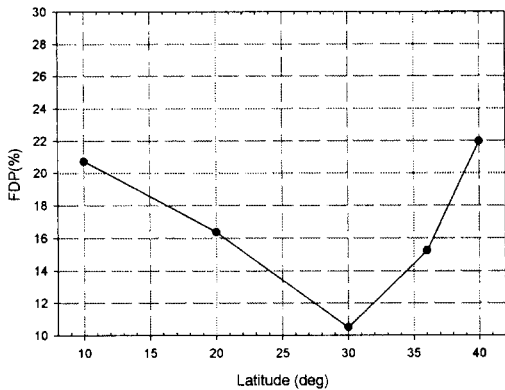
45°, 135°의 경사각을 갖는 2개 궤도로 이루어져 있으며 궤도당 5기의 위성으로 운용된다.

그림 9에 실험 결과를 도시하였다. 그림 9(a)는 IMT-2000 고정국의 위도를 변화시키며 그에 따른 FDP의 변화를 살펴본 것이다. 고정국은 북위 10°, 20°, 30°, 36°, 40°에 위치한다고 가정하였으며 36°지점은 우리 나라 중부 지역에 해당한다. 위도가 높아짐에 따라 FDP가 낮아지다가 30° 이상의 고위도 지방에서 다시 FDP가 중위도 지방보다 더 커지는 것을 볼 수 있다. FDP가 낮아진다는 것은 그 지점에서 측정되는 위성으로부터의 전력 밀도가 낮다는 것을 의미한다. 정지위성의 경우처럼 이동위성을 이용하는 시스템도 위성에 의한 커버리지 가 고위도로 갈수록 나빠지는 경향이 있다고 알려져 있지만 정지궤도처럼 명확하게 나타나지는 않음을 알 수 있다^[7]. 그림 9(b)는 고정국 안테나가 향하고 있는 주빔 방향의 양각을 0°로 고정시키고 방위각을 변화시키면서 북위 36°, 동경 127° 지방에서의 FDP의 변화를 본 것이다. FDP는 고정국 안테나의 방위각에 따라 급격히 변화한다는 것

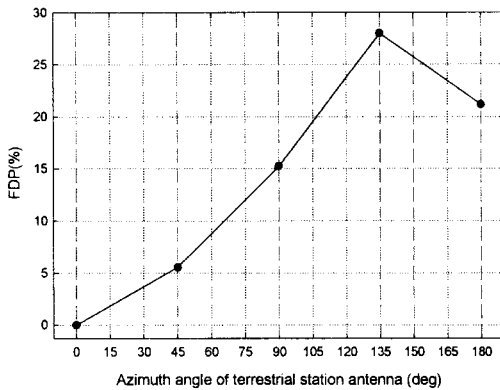
을 알 수 있다. ITU-R 권고안에 따르면 이동위성에 의한 간섭으로부터 디지틀 시스템을 보호하기 위한 기준 FDP는 25%이며^[7], 방위각이 135°일 때, FDP가 약 28%로 기준치인 25%를 초과함을 알 수 있다. 그림 9(c)는 고정국 안테나의 방위각을 90°로 고정시키고 안테나 주빔의 양각을 변화시키며 FDP를 계산한 것이다. 약 2°이상부터는 FDP가 기준치인 25%를 훨씬 초과하며 시스템의 성능이 크게 떨어짐을 알 수 있다. 따라서 간섭을 막기 위하여, 고정국 안테나의 양각은 고정국 위치에서 지표면에 그은 접선 위로 약 2°이상의 방향으로 향하는 것은 바람직하지 않다.

V. 결 론

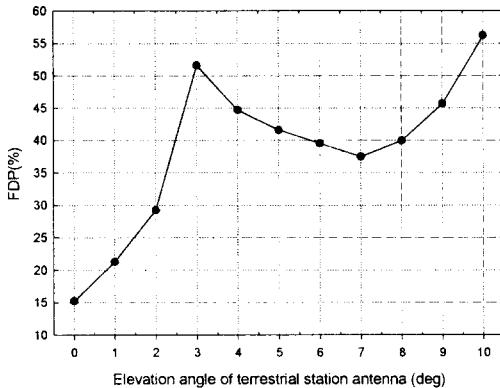
본 논문에서는 ITU-R 권고안을 바탕으로 전파 전파 모델 및 이동 위성 궤도 추적 방법을 이용하여 IMT-2000과 GMPCS간의 간섭을 분석하였다. 단말 대 단말의 간섭에 있어 복수개의 GMPCS 단말이 동시에 송신할 확률은 Poisson 분포로 설정하



(a)



(b)



(c)

그림 9. (a) 고정국의 위도에 따른 FDP의 변화(안테나
앙각=0°, 방위각=90°), (b) 고정국 안테나의
방위각에 따른 FDP의 변화(안테나 앙각=0°),
(c) 고정국 안테나의 앙각에 따른 FDP의 변화
(안테나 방위각=90°)

Fig. 9. (a) Variation of FDP according to latitude of terrestrial station(antenna elevation=0 deg, azimuth=90 deg), (b) Variation of FDP according to azimuth of terrestrial station(antenna elevation=0 deg), (c) Variation of FDP according to elevation of terrestrial station(antenna azimuth=0 deg).

였으며 시간당 평균 전송량(λ)의 변화에 따른 간섭 확률의 변화를 살펴보았다. 동시에 동작하는 GMPCS 단말이 많을수록 IMT-2000 단말에는 더 많은 간섭이 발생할 수 있음을 관찰할 수 있었다. 또한 GMPCS 위성망으로부터 IMT-2000 고정국으로의 간섭은 이동 위성의 궤도를 추적하여 위성이 고정국의 가시범위에 있을 때 위성으로부터 지상에 내려오는 전력 밀도를 계산하여 이를 토대로 지상 시스템의 성능 저하를 나타내는 FDP를 유도하고 그 값을 계산하였다. 그 결과, FDP는 고정국 수신 안테나의 주빔이 향하고 있는 방향에 따라 급격히 변화하며, 위성망으로부터의 간섭을 피하기 위해 고정국 수신 안테나는 앙각이 2° 미만을 갖도록 하는 것이 바람직함을 알 수 있었다. 실제 시스템이 구현된 후에는 측정에 의한 간섭 분석 등을 통해 제시한 이론적 방법에 대한 집중 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 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.
- [2] Kazimierz Siwiak, *Radiowave Propagation and Antennas for Personal Communications*, Artech House, London, pp. 131-134, 1995.
- [3] R. E. Ziemer and W. H. Tranter, *Principles of Communications: Systems, Modulations,*

and Noise, 4th Ed. Houghton Mifflin Company, Boston, pp. 310-311, 1995.

- [4] 박지웅, 최재훈, 김희동, "비정지궤도 위성이동 지구국과 육상이동국간의 주파수 공유에 따른 간섭 확률 계산", 한국통신학회 논문지 제 23 권 제 7 호, pp. 1807-1816, 1998, 7
- [5] Recommendation ITU-R IS.1141, "Sharing in the frequency bands in the 1-3 GHz frequency range between the non-geostationary space stations operating in the mobile-satellite service and the fixed service", ITU-R, 1995.

- [6] Brij N. Agrawal, *Design of Geosynchronous Spacecraft*, Prentice-Hall, NJ, pp. 64-67, 1986.
- [7] Recommendation. ITU-R F.1108, "Determination of the criteria to protect fixed service receivers from emissions of space stations operating in non-geostationary orbits in shared frequency Bands", ITU-R, 1994.
- [8] H. D. M. Gurr, "Investigations outage probability and BER estimation using dual protection margins", Vehicular Technology Conference, Stockholm Sweden, June 8-10, vol. 3 pp. 1440-1444, 1993.

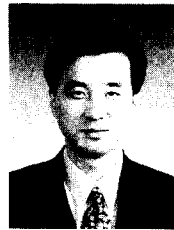
배 태 경



1997년: 한양대학교 전파공학과(공학사)
 1999년: 한양대학교 전파공학과(공학석사)
 1999년 3월~현재: (주)하이게인 안테나 재직
 [주 관심분야] 전파환경분석, 이동

통신, 마이크로파 소자 설계

최 재 훈



1980년: 한양대 전자공학과(공학사)
 1986년: 미국 Ohio State University 전기공학과(공학석사)
 1989년: 미국 Ohio State University 전기공학과(공학박사)
 1989년~1991년: 미국 Arizona State University 연구교수

1991년~1995년: 한국통신 위성사업본부 연구팀장
 1995년~현재: 한양대 전자전기공학부 부교수
 [주 관심분야] 이동통신 및 위성통신 안테나 설계 및 분석, 마이크로파 수동소자 설계, 전파전파 모델링

차 병 규



1998년: 한양대학교 전파공학과(공학사)
 1998년~현재: 한양대학교 전파공학과(공학석사)
 [주 관심분야] 안테나 해석 및 Ray Tracing

조 영 란

1994년: 인하대학교 전자계산공학과(공학사)
 1996년: 인하대학교 전자계산공학과(공학석사)
 1997년~현재: 한국통신연구개발본부 가입자망 연구소 차세대무선연구팀 위성통신연구실 제직
 세부전공: 전문가 시스템