

## 정지궤도 위성망과 비정지궤도 위성망간의 간섭영향 분석

# Analysis of Interference Effect Between Geostationary Orbit Link and Non-Geostationary Orbit Link

강철규\*, 박철순\*\*, 오창현\*

Chul-Gyu Kang\*, Seung-Hee Joung\* and Chang-Heon Oh\*

### 요 약

본 논문에서는 비정지궤도 위성 수와 비정지궤도 위성과 정지궤도 위성간의 각도 차에 따른 간섭정도가 정지궤도 위성망의 성능에 미치는 영향을 BER 성능측면에서 분석하였다. 위성간의 각도와 간섭 영향을 분석하기 위해 정지궤도 위성과 비정지궤도 위성간의 이격 각도를  $1^{\circ} \sim 8^{\circ}$  변화시켰으며, 위성수의 영향을 분석하기 위해 비정지궤도 위성 수를 1~4개로 변화시켰다. 이러한 조건에서 실험한 결과 위성간의 각도가 감소하면 할수록 간섭의 영향은 더욱 증가되었으며, 특히 간섭위성과 정지궤도 위성과의 각이 작은 경우 이러한 간섭의 정도는 더욱 심해짐을 확인하였다. 또한, 간섭 위성의 수가 증가하면 할수록 정지궤도 위성 서비스로의 간섭 영향 역시 증가됨을 확인하였다. 하지만 간섭 위성 수 보다는 간섭위성과 이루는 각도가 더 시스템의 성능에 더 큰 영향을 미쳤다.

### Abstract

In this paper, interference effect given from non-geostationary orbit link into geostationary orbit link is analyzed by BER performance. To analyze the interference effect with the angle between satellites, the angular separation is changed from  $1^{\circ}$  to  $8^{\circ}$ , and the number of the satellite is also changed from 1 to 4 for analyzing it. From the results, the interference effect into the geostationary orbit service from non-geostationary orbit link is more increased according to the angular separation that is decreased. Especially, the small angle gives more interference effects to the geostationary orbit link. Furthermore, more number of interfering satellites gives more interference effect to the geostationary orbit link. However, the angle between the interference orbit and geostationary orbit gives more effect to the system performance than the number of the interference orbit.

Key words : Satellite Communication, Interference Analysis, Non-geostationary Orbit

### I. 서 론

전 세계적으로 미국('77), 독일('80), 일본('98), 중국('03)은 외국 위성으로부터 자국 위성의 보호 및 폐

이피 위성 방지 등을 위해 위성전파감시 시설을 구축하여 운영하고 있으며, 우리나라도 국가적 차원의 위성전파 권익보호 및 위성자원의 확보를 위해 '02년 위성전파감시센터를 설립하여 국내외 위성의

\* 한국기술교육대학교(School of Electrical and Electronic Engineering, Korea University of Technology and Education)

\*\* 서울대학교(School of Technology Management Economics and Policy Program, Seoul University)

· 교신저자(Corresponding Author) : 오창현

· 투고일자 : 2009년 6월 2일

· 심사(수정)일자 : 2009년 6월 9일 (수정일자 : 2009년 6월 22일)

· 게재일자 : 2009년 6월 30일

ITU(International Telecommunication Union) 국제규정 준수확인, 불법·혼신원의 탐색 제거, 각종 측정자료 제공 등으로 국내 위성산업 발전 및 위성관련 정책수립에 기여하고 있다. 세계가 ‘선점의 원칙’에 따라 위성궤도 확보에 열을 올리는 상황에서 비 정지궤도 위성은 정지궤도 위성과 비교하여 상대적으로 낮은 전송손실과 높은 분해능으로 세밀한 영상촬영 등이 가능한 장점이 있어 이를 이용한 이동위성통신시스템, 지구탐사, 기상업무 등 비 정지궤도 위성의 수요가 전 세계적으로 증가하고 있다. 이에 비례하여 비 정지궤도 위성통신망과 타 통신망(지상망 또는 정지궤도 위성망)과의 혼신 가능성 또한 증가하고 있다.

우리나라 보다 일찍 비 정지궤도 위성전파감시 업무를 수행하고 있는 독일의 경우 통신위성인 이리듐 위성의 불요전파가 전파 천문업무(1,610.6~1,613.6[MHz])에 혼신을 일으킨 경우와 저궤도 위성과 경찰·택시 무선통신 간에 혼신이 발생하여 제거한 사례가 있다. 우리나라의 경우 한국항공우주연구원 위성 지구국은 관제용 위성 안테나를 약각 1~3°로 아리랑 1호 위성과 데이터 교신 대기상태일 때, 통신 사업자가 운용중인 지상구간 M/W(Microwave)의 동일주파수가 유입되어 혼신이 발생하였다[1-2]. 이에 해당지역의 전파 관리소에서 혼신 원인설명을 하고 RR 제 21조(1[GHz] 이상의 주파수대를 공유하는 지상업무와 우주업무)에 따라 지구국의 최소 양각을 5° 이상에서 운용하도록 하였다. 이 예들은 정지궤도 위성망과 비 정지궤도 위성망간의 간섭영역 분석이 왜 필요한지 보여주는 예들이다. 앞으로도 비정지궤도 위성망으로부터의 혼신 및 간섭의 가능성은 날로 증대될 것이다. 따라서 이러한 위협으로부터 보호받기 위해서는 비정지궤도 위성망으로부터의 간섭에 대한 분석은 꼭 필요하다.

본 논문에서는 I 장 서론에 이어 II장에서는 정지궤도 위성망과 비정지궤도 위성망간의 간섭이 발생하는 경우의 시나리오에 대해서 살펴본다. III장에서는 II장에서 제안한 시나리오에서의 간섭에 대해 분석하며, IV장에서 간섭이 존재하는 시스템의 성능에 대해 분석하고 V장에서 본 논문의 결론에 대해 설명한다.

## II. 전파간섭 시나리오

정지궤도와 비 정지궤도 위성망간의 간섭 특성을 분석하기 위해서는 먼저 각각의 위성망에서 사용되는 링크를 모델링하여야 한다. 본 연구에서는 정지궤도 위성 링크로 무궁화 2호 위성(Koreasat-2)의 Ku 대역 고정위성업무용 중계기 제원을 가정하여 모델링하였고 비 정지궤도 위성 링크는 임의의 오브콤 위성(Orbcomm) 링크를 가정하였다[3]. 비 정지궤도 위성망과 정지궤도 위성망간의 간섭은 그림 1에서 보는 것처럼 업링크 간섭과 다운링크 간섭이 있다.

업링크 간섭은 정지궤도 지구국 1이 정지궤도 위성으로 신호를 전송할 때 저궤도 위성의 지구국 2 혹은 3으로부터 전송된 신호들에 의해 받게되는 간섭이며, 다운링크 간섭은 정지궤도 위성이 정지궤도 지구국 2로 신호를 전송할 때 저궤도 위성으로부터 전송된 신호에 의해 받게되는 간섭이다. 이 논문에서는 정지궤도 위성과 비정지궤도 위성간의 간섭의 분석을 위해 업링크 간섭과 다운링크 간섭 모두의 경우에 대해 고려하였다.

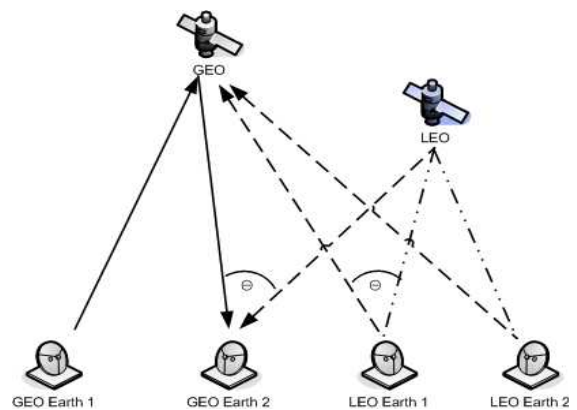


그림 1. 정지궤도 위성망과 비 정지궤도 위성망 사이의 간섭

Fig. 1. The interference between geostationary orbit link and non-geostationary orbit link.

## III. 간섭분석

### 3-1 통신 위성망 분석

일반적으로 위성을 이용한 통신의 성능에 민감한

요소는 지구국 안테나의 큰 이득과 추적 지향오차가 적어야 하는 것이며, 위성자체의 동일 중계기내 다수 캐리어간의 혼변조 잡음과 안테나 지향오차가 적어야 한다는 것이다[4]. 특히 서비스 품질은 수신 지구국의 성능 양호지수(figure of merit)의 G/T(gain to noise temperature ratio)가 매우 중요한 요소로 설계되며 외부 및 자체의 간섭 신호에 의한 영향도 무시할 수 없다.

그림 2는 통신 위성망의 signal flow 다이어그램을 보여주고 있다. Space link의 baseband quality를 계산하기 위하여 우리는 우선 radio link의 radio frequency(RF) quality를 알아야 할 필요가 있다. 다시 말해 서 up-link와 down-link를 포함한 지구국과 위성 내부의 모든 잡음 N과 수신국의 입력 변조신호세기인 반송파 carrier(C)와의 비율 C/N을 설계하여야 서비스별로 각각의 S/N(signal-to-noise ratio) 품질규격에 대한 판정이 가능하다.

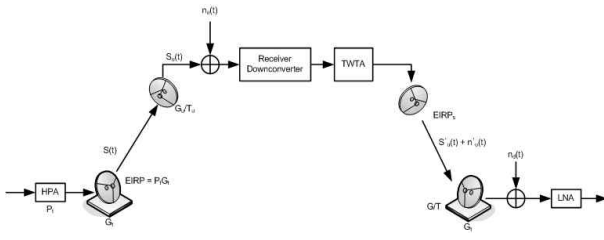


그림 2. 통신 위성망의 개요도  
Fig. 2. The signal flow diagram of the communication satellite link.

3-2 간섭 분석

$$\left(\frac{C}{N}\right)_u = \left[ \left(\frac{C_u}{N_u}\right)^{-1} + \sum_{k=1}^p \left(\frac{C_u}{I_{k,u}}\right)^{-1} \right]^{-1} = \left[ \left(\frac{C}{N}\right)_u^{-1} + \left(\frac{C}{I}\right)_u^{-1} \right]^{-1} \quad (1)$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_d = \left[ \left(\frac{C_d}{N_d}\right)^{-1} + \sum_{k=1}^p \left(\frac{C_d}{I_{k,d}}\right)^{-1} \right]^{-1} = \left[ \left(\frac{C}{N}\right)_d^{-1} + \left(\frac{C}{I}\right)_d^{-1} \right]^{-1} \quad (2)$$

전체 uplink와 downlink C/N은 식(1), 식(2)와 같다. 여기서  $C_u/I_u$ ,  $C_d/I_d$ 는 캐리어대 k번째 간섭의 비이고,  $(C/I)_u$ 는 uplink에서의 캐리어대 간섭의 비  $(C/I)_d$ 는 downlink에서의 캐리어대 간섭의 비이다. 따라서 전체 위성망에서의 C/N은 식(3)과 같다.

$$\frac{C}{N} = \left[ \left(\frac{C}{N}\right)_u^{-1} + \left(\frac{C}{N}\right)_d^{-1} + \left(\frac{C}{I}\right)_u^{-1} + \left(\frac{C}{I}\right)_d^{-1} \right]^{-1} = \left[ \left(\frac{C}{N}\right)^{-1} + \left(\frac{C}{I}\right)^{-1} \right]^{-1} \quad (3)$$

안테나의 방사 패턴은 메인 로브 영역, 사이드 로브 영역, 트랜지션 영역으로 구분된다. 그림 3은 FCC(Federal Communications Commission)에서 사용되는 포락선 패턴이다. 이 포락선 패턴의 메인로브와 트랜지션 영역의 폭은 사용되는 안테나의 크기와 파장에 의해 결정되고 사이드로브 이득은 두 위성 사이의 각, 위성과 지구국 사이의 각에 의해 결정된다[5].

$$G(\theta) = \begin{cases} 29 - 25 \log \theta \text{ dB} & 1 \leq \theta \leq 7 \\ + 8 \text{ dB} & 7 < \theta \leq 9.2 \\ 32 - 25 \log \theta \text{ dB} & 9.2 < \theta \leq 48 \\ - 10 \text{ dB} & 48 < \theta \leq 180 \end{cases} \quad (4)$$

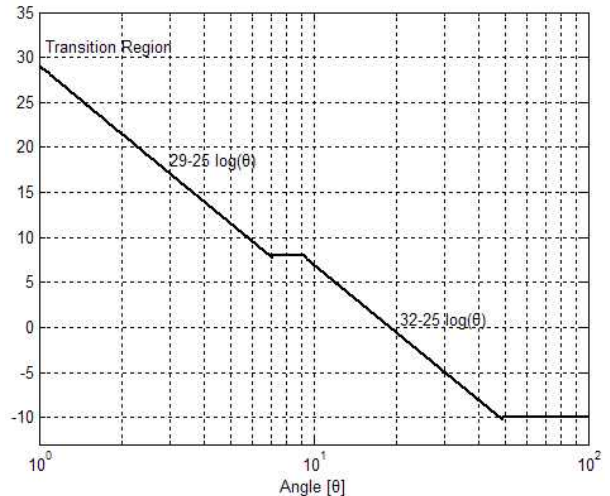


그림 3. FCC/OST R83-2의 지구국 안테나 이득 패턴  
Fig. 3. Earth-station antenna gain pattern used in FCC/OST R83-2

앞의 시나리오에서 설명한 것과 같이 GEO(geostationary orbit)의 지구국은 LEO(low earth orbit) 위성의 지구국들에 의해 uplink 간섭과 LEO의 다운링크 간섭의 영향을 받게 된다. 이 uplink 간섭 전력은 식(5)와 같다.

$$\left(\frac{C}{I}\right)_u = \left(\frac{EIRP'}{EIRP}\right) \left(\frac{f_u d_u}{f_u d_u}\right)^2 \left(\frac{G_u}{G_u'}\right) = \left(\frac{EIRP'}{EIRP}\right) \left(\frac{G_u}{G_u'}\right) \quad (5)$$

EIRP' : GEO로의 간섭 신호 EIRP

- $f_u'$  : uplink 간섭 주파수
- $d_u'$  : GEO와 LEO 지구국 1과의 거리
- $G_u'$  : LEO 지구국 방향으로의 GEO의 안테나 이득

$EIRP'$  ( Effective isotropic radiated power)는 사이드 로브의 포락선이 0dB일 때의 동작  $EIRP^*$ 의 텀으로 표현 가능하다.

$$EIRP' = EIRP^* - G_i(dB) + 29 - 25 \log \theta \quad (6)$$

식(5)를 dB단위로 표현하면 식(6)과 같고 이식을 식(5)에 대입하여 정리하면 식(7)과 같다.

$$\left(\frac{C}{I}\right)_u = EIRP[dBW] - EIRP^*[dBW] + G_i[dB] - (29 - 25 \log \theta) + G_u[dB] - G_u'[dB] \quad (7)$$

Downlink의  $C/I$ 도 동일한 방법으로 식(8)과 같이 구할 수 있다.

$$\left(\frac{C}{I}\right)_d = EIRP_s[dBW] - EIRP'_s[dBW] + G[dB] - (29 - 25 \log \theta) \quad (8)$$

- $EIRP_s$  : GEO 지구국 방향으로의 GEO의  $EIRP$
- $EIRP'_s$  : GEO 지구국 방향으로의 LEO의  $EIRP$
- $G$  : GEO 지구국의 수신 안테나 이득

전체  $C/I$  식은 식 (9)와 같다.

$$\frac{C}{I} = \left[ \left(\frac{C}{I}\right)_u^{-1} + \left(\frac{C}{I}\right)_d^{-1} \right]^{-1} \quad (9)$$

#### IV. 성능 분석

##### 4-1 시스템 파라메타

이 절에서는 정지궤도 위성망과 비정지궤도 위성망간의 간섭영향을 분석하기위해 가정한 정지궤도

위성, 비정지궤도 위성, 정지궤도 위성의 지구국, 비정지궤도 위성의 지구국의 파라메타들에 대해 설명한다. 정지궤도 위성 링크는 무궁화 2호 위성 (Koreasat-2)의 Ku 대역 고정위성업무용 중계기 제원이고 비 정지궤도 위성 링크는 임의의 오브컴 위성 (Orbcomm) 링크를 가정하였다. 각 위성 링크에 대한 파라메타들은 표 1~표 5에 나타내었다.

표 1. Koreasat 파라메타  
Table 1. Koreasat parameters.

파라메타	값
Satellite SFD	-90 dBW/m <sup>2</sup>
Satellite G/T	13.9 dB/K
Satellite EIRPsat	50.2 dBW
Pointing error & atmospheric attenuation	1.5 dB

표 2. Koreasat의 송신 지구국 파라메타  
Table 2. The transmit earth station parameters of Koreasat.

파라메타	값
Saturated EIRP	74 dBW
Required HPA power	198.6 - 600 W
Feeder loss	3.5 dB(25m)
Antenna diameter	4.6 m
Antenna gain	54.52 dB
Pointing error & Atmospheric attenuation	1.5 dB

표 3. Koreasat의 수신 지구국 파라메타  
Table 3. The receive earth station parameters of Koreasat.

파라메타	값
Antenna diameter	3.7 m
Antenna gain	51.49 dB
LNB noise temperature	150 K
Feeder loss	0.5 dB
Antenna noise temperature	40 K
System noise temperature(clear sky)	200 K
System noise temperature (rain:52mm/hour)	206.45 K

표 4. Orbcomm위성의 uplink 파라메타  
Table 4. Uplink parameters of Orbcomm satellite.

파라메타	값
Transmit EIRP	40 <i>dBW</i>
Pointing error & Atmospheric Attenuation	2.2 <i>dB</i>
Power at satellite antenna	-112.0 <i>dBW</i>
Satellite antenna <i>G/T</i>	-33.3 <i>dB/K</i>
Received <i>C/N<sub>0</sub></i>	83.3 <i>dBHz</i>
Ideal <i>E<sub>b</sub>/N<sub>0</sub></i>	10.6 <i>dB</i>

표 5. Orbcomm위성의 downlink 파라메타  
Table 5. Downlink parameters of Orbcomm satellite.

파라메타	값
Transmit EIRP	12.5 <i>dBW</i>
Pointing error & Atmospheric Attenuation	2.2 <i>dB</i>
Power at satellite antenna	-143.8 <i>dBW</i>
Subscriber antenna <i>G/T</i>	-28.6 <i>dB/K</i>
Received <i>C/N<sub>0</sub></i>	57.2 <i>dBHz</i>
Ideal <i>E<sub>b</sub>/N<sub>0</sub></i>	10.3 <i>dB</i>

그림 4는 위에서 제시한 파라메타를 사용하여 Koreasat의 link budget을 분석하는 툴이다.

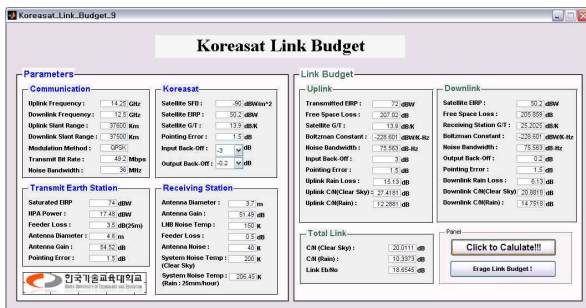


그림 4. Link budget 분석 툴  
Fig. 4. Link budget analysis tool

4-2 간섭 영향에 따른 시스템 성능

이 장에서는 정지궤도 위성망에 대한 비정지궤도 위성망의 간섭영향에 대해 분석하였다. 그림 5는 이 실험을 위해 사용한 시뮬레이터이다. 비정지궤도의 수 및 정지궤도 위성과 비정지궤도 위성간의 각도에

대한 간섭영향에 대해 분석하기 위해 비정지궤도 위성의 수는 최대 4개로 하였으며, 두 위성간의 각도의 변화는 1°~8°로 하였다.

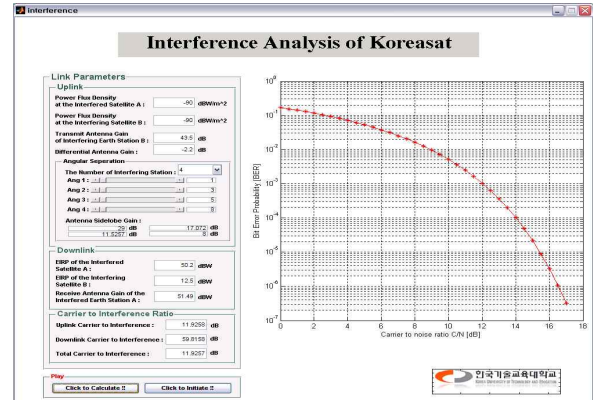


그림 5. 간섭 시나리오에 따른 성능분석 시뮬레이터  
Fig. 5. Performance Analysis Simulator according to the interference scenario.

그림 6은 정지궤도 위성과 비 정지궤도 위성간의 각도에 따른 간섭 영향에 대한 BER 성능 곡선이다.

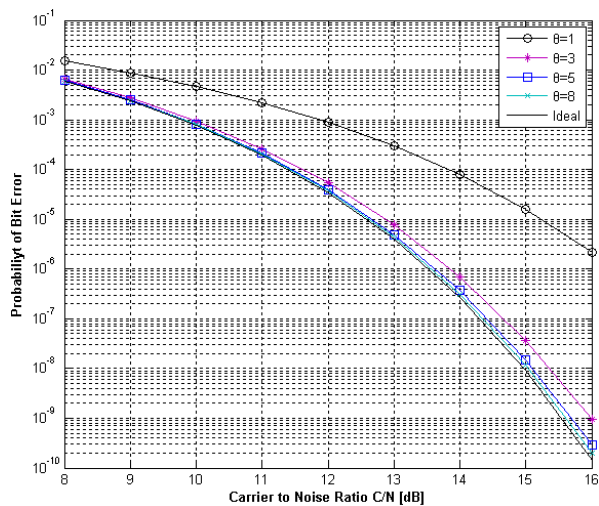


그림 6. 비정지위성이 1개인 경우 정지궤도 위성과 비정지궤도 위성간의 각도에 따른 BER 성능  
Fig. 6. BER performance according to the angular between geostationary orbit and non-geostationary orbit.

(non-geostationary orbit = 1)

비정지궤도 위성의 수는 1개로 고정하였고 비정지궤도와 위성과 정지궤도 위성간의 각도는 각각 1°, 3°, 5°, 8°로 이격시켰다. 이러한 실험 조건에서 간섭 위성과 정지궤도 위성간의 각도차가 정지궤도

위성의 서비스 품질에 얼마나 큰 영향을 미치는지를 이상적인 환경에서의 BER 성능과 비교하였다. 일반적으로 원활한 음성 통신을 위해서는 BER 성능이  $10^{-5}$ 을 만족 시켜야 한다. 따라서 성능분석은  $BER = 10^{-5}$ 기준으로 한다.

이상적인 환경에서  $BER = 10^{-5}$ 의 오율 성능을 만족시키기 위해서는 C/N가 약 12.5dB가 요구된다면[6]-[8], 동일한 C/N=12.5dB에서 정지위성과 비정지위성간의 각도차가 1°인 경우 BER성능은  $10^{-4}$ 의 오율 성능을 만족시키지 못한다. 또한 동일한  $BER = 10^{-5}$ 의 오율 성능을 만족시키기 위해서는 이상적인 환경보다 약 3dB의 C/N이 더 요구되어 진다. 이 결과들을 통해 볼 때 정지궤도 위성망과 비정지궤도 위성망간의 이격 각도가 작으면 작을수록 정지궤도 위성망에 큰 간섭의 영향을 주어 정지궤도 위성망에서 제공하는 통신 혹은 방송 등의 서비스 품질을 크게 떨어뜨리게 됨을 알 수 있다.

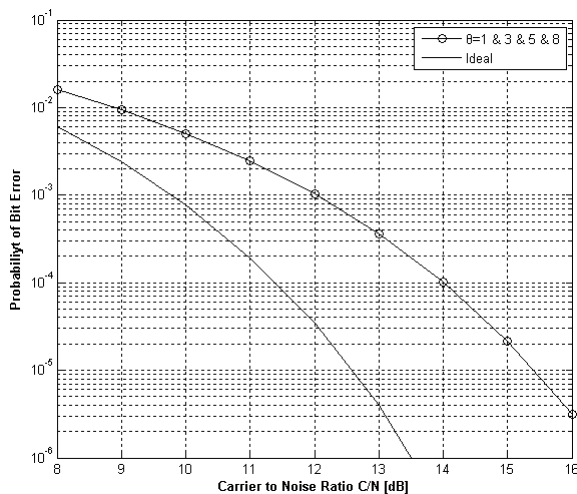


그림 7. 비 정지위성이 4개인 경우 정지궤도 위성망과 비정지궤도 위성망간의 각도에 따른 BER 성능  
 Fig. 7. BER performance according to the angular between geostationary orbit and non-geostationary orbit.  
 (non-geostationary orbit = 4)

그림 7은 간섭위성의 개수를 4까지 증가시켰을 경우 정지궤도 위성망과 비정지궤도 위성망간의 각도에 따른 BER 성능 곡선이다. 실제 환경에서는 두 개 이상의 비정지궤도 위성들이 정지궤도 위성망과 동일한 이격 각도에 위치해 있을 경우가 희박하므로 각각의 비

정지궤도 위성과 정지궤도 위성간의 이격 각도를 1°, 3°, 5°, 8°로 하여 실험하였다. 이상적인 환경에서  $BER = 10^{-5}$ 의 오율 성능을 만족시키기 위해 C/N가 약 12.5dB가 요구되어 진다면 동일한 C/N=12.5dB에서 정지궤도 위성과 비정지궤도 위성들 간의 각도차가 1°, 3°, 5°, 8°인 경우 BER성능은  $10^{-4}$ 의 오율 성능을 만족시키지 못한다. 또한 동일한  $BER = 10^{-5}$ 의 오율 성능을 만족시키기 위해서는 이상적인 환경보다 약 3dB의 C/N이 더 요구되어 진다. 이 결과는 정지궤도 위성망으로의 간섭 양은 정지궤도 위성과 비정지궤도 위성간의 각도 뿐만 아니라 간섭 위성의 수에 의해 영향을 받음을 의미한다.

## V. 결 론

본 논문에서는 비정지궤도 위성망이 정지궤도 위성망에 주는 간섭의 영향에 대해 분석하기 위해 비정지궤도 위성과 정지궤도 위성과의 이격 각도를 변화시킨 조건과 간섭위성의 수와 이격 각도를 동시에 변화시킨 조건에 대하여 BER 성능측면에서 분석하였다.

실험결과를 통해 간섭영향을 분석한 결과 간섭 위성 수가 증가하면 할수록 정지궤도 위성 서비스로의 간섭의 영향은 더욱 증가되었다. 또한, 간섭위성 수 증가뿐만 아니라 간섭 위성과 정지궤도 위성과의 이격 각도 역시 성능에 큰 영향을 미쳤다. 특히 간섭위성과 정지궤도 위성과의 각이 작은 경우 그 간섭의 정도는 더욱 심해짐을 확인하였다.

이러한 결과들을 통해 볼 때, 정지궤도 위성과 비정지궤도 위성이 공존하는 환경에서 이상적인 서비스를 제공하기 위해서는 간섭의 원인이 되는 비정지궤도 위성망의 신호에 대한 추적 및 감시가 항상 필요하고 이러한 신호에 대한 사전 차단이 필요하다.

## 참 고 문 헌

[1] 위성전파감시센터(운용계), 2005년 위성전파감시

연보 2006.

- [2] 위성전파감시센터(운용계), 2006년 위성전파감시 연보 2007.
- [3] 오브컴 위성의 uplink 파라메타, [Online]. Available : <http://www.orbcomm.com>
- [4] 전파연구소, 성향숙, "고정위성업무에 관한 간섭 기준 및 계산방법 연구", *한국통신학회 하계 종합 학술발표회논문집*, pp. 466-466, 2004. 7.
- [5] Dennis Roddy, *Satellite Communications*. McGraw-Hill, 2001
- [6] AS Rosenbaum, "PSK Error Performance with Gaussian Noise and Interference," *Bell Syst. Techn. Journ.*, Vol. 48, pp. 413-442, 1969.
- [7] M. Jeruchim, "A survey of interference problems and applications to geostationary satellite networks," *Proceedings IEEE*, pp. 317-331, 1977.
- [8] Russell Fans and Osamu shimbo, "Unified analysis of a class of digital systems in additive noise and interference," *IEEE Trans. Comm.*, vol. COM-21, pp. 1075-1091, Oct. 1973.

### 강 철 규 (姜澈圭)



2004년 2월 : 한국기술교육대학교 정보기술공학부(공학사)  
 2006년 2월 : 한국기술교육대학교 대학원 전기전자공학과(공학석사)  
 2007년 9월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 대학원 전기전자공학과(박사과정)

관심분야 : HDR-WPAN, MIMO, Wireless Sensor N/W

### 박 철 순 (朴喆淳)



1992년 2월 : 서울대학교 동양사학과(문학사)  
 1994년 2월 : 서울대학교 외교학과(정치학사)  
 1997년 8월 : 서울대학교 행정대학원 정책학과(행정학석사)

2000년 8월 : State University of New York, MS in Technology Management

2004년 8월 : 서울대학교 공과대학원 박사과정 수료(기술경영전공)

1995년 2월 ~ 2008년 3월 : 정보통신부 사무관, 서기관, 과장

2008년 4월 ~ 현재 : 방송통신위원회 과장

관심분야 : 방송통신정책, 특허와 표준화, 위성통신, 정보보호, 이동통신, 기술혁신

### 오 창 헌 (吳昌憲)



1988년 2월 : 한국항공대학교 항공통신공학과(공학사)

1990년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과(공학석사)

1996년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과(공학박사)

1990년 2월 ~ 1993년 8월 : 한진전자(주) 기술연구소 전임연구원

1993년 10월 ~ 1999년 2월 : 삼성전자(주) CDMA 개발팀 전임연구원

2006년 8월 ~ 2007년 8월 : 방문교수(University of Wisconsin-Madison)

1999년 2월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 정보기술공학부 부교수

관심분야 : 이동통신, 멀티미디어 무선통신, Wireless Sensor N/W, CR