

特別寄稿

비정지궤도위성망에 의한 고정위성궤도업무의 간접분석 프로그램 개발에 관한 연구

연세대학교 이형근, 한문용, 강우석, 서종수
정보통신부 성향숙, 김희원

차 례

- I. 서 론
- II. Time Simulation
- III. PDF/EIRP mask 발생
- IV. 하향링크 간섭 분석 알고리즘
- V. 상향링크 간섭 분석 알고리즘
- VI. 시뮬레이션 결과 및 성능 분석
- VII. 결 론

1. 서 론

최근 정지궤도(GSO) 위성용으로 주로 사용되던 Ku 대역 및 Ka 대역에서 비정지궤도(NGSO) 위성을 이용한 통신서비스 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 본격적인 상용화를 앞두고 있다. 이러한 NGSO 고정위성업무(FSS) 시스템은 기존의 GSO 고정위성업무와 방송위성업무(BSS)에 분배된 주파수 대역을 공유하기 때문에 두 위성망간의 간섭평가 기법 및 간섭허용 기준에 대한 연구가 시급한 실정이며, 이와 관련한 연구가 WRC-2000 의 제로 채택되어 ITU-R SG(Study Group)4를 중심으로 활발하게 추진중이다. 본고에서는 ITU-R의 전파규칙 S22에 도입된 잠정 EPFD를 이용하여 NGSO/FSS와 GSO/FSS간의 간섭영향을 분석 평가하였다. 특히, 국내 정지궤도위성인 무궁화위성(Ku 대역)에 대한 비정지궤도위성망 F-SAT

MULTI 1B 시스템의 간섭 영향을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 비교·분석하였다.

세계 선진국들은 21세기 정보화 사회와 글로벌화의 실현을 위하여 위성통신·방송에서 한정적인 자원인 주파수와 위성궤도의 확보와 위성통신·방송 관련 첨단기술 및 시장개발에 진력하고 있다. 국내에서는 1995년 8월과 1996년 1월에 각각 국내 최초의 상용통신·방송 복합위성인 무궁화 1호와 무궁화 2호를 발사함으로써 Ku 대역을 이용한 우주통신·방송시대를 개막하였다. 1999년 8월에 Ku 대역 및 Ka 대역을 이용하는 무궁화 3호 위성을 발사하였으며 다목적 실용위성의 발사예정에 따라 31개의 정지위성궤도와 74개의 주파수 대역 사용을 관련 국제기관에 신청 중에 있으나 이에 대한 구체적인 이용계획은 미비한 실정이다. 따라서 이러한 주파수와 위성궤도 자원의 효율적인 활용을 위하여 국내에서 운용하는 GSO FSS, BSS 위성 시스템과 동일한 주파수 대역을 사용하는 NGSO FSS 위성 시스

템의 간섭분석에 대한 연구가 필수적이다.

본 연구는 NGSO FSS 위성시스템에 의한 GSO FSS, BSS 위성시스템에서의 간섭문제를 분석하기 위해 EPFD(Equivalent Power Flux Density) mask를 도출하기 위한 알고리즘과 ITU-R JTG 4-9-11에서 제시한 간섭분석 파라미터 및 알고리즘을 연구 분석하며 이를 이용하여 간섭분석 프로그램을 개발함으로써 한정된 주파수와 위성궤도 자원의 효율적인 확보와 배치방안을 도출하는데 활용하고자 한다.

II. Time Simulation[1]

Time Simulation은 각 time step마다 간섭 레벨을 연산하는 기법으로 NGSO 시스템으로부터의 간섭 영향을 정확히 분석하기 위해서 전산모의실험 시간 증가량 Δt_{ref} 를 정의한다. 만일, Δt_{ref} 가 감소하면 실험 결과에 대한 정확도는 증가하지만 계산량과 전산모의실험 시간이 증가하며 Δt_{ref} 가 증가하면 정확도가 감소되므로 요구되는 정확도를 만족하는 최소 전산모의실험 시간 증가량을 결정한다.

1. 하향링크 최소 전산모의실험 시간 증가량 결정

하향링크의 경우, <그림1>과 같이 NGSO 위성이 GSO 지구국 안테나의 주빔을 통과(In-line situation)할 때 간섭이 발생하며 이 때 최소 전산모의실험 시간 증가량 Δt_{ref} 는 (식 1)과 같다.

$$\Delta t_{ref} = \frac{\Delta t}{N_{hit}} \quad (식 1)$$

여기서, Δt 는 NGSO 위성이 GSO 지구국 안

테나의 주빔을 통과하는 시간 길이로 최악의 경우를 가정하여 다음과 같이 결정한다.

$$\Delta t = \frac{2\varphi}{\omega} \quad (식 2)$$

여기서,

$$\varphi = \frac{1}{2} \varphi_{3dB} - \arcsin \left[\frac{R_e}{R_e + h} \sin \left(\frac{1}{2} \varphi_{3dB} \right) \right] \quad (식 3)$$

$$\omega = \sqrt{(\omega_s \cos(i) - \omega_c)^2 + (\omega_s \sin(i))^2} \quad (식 4)$$

$$\omega_s = \frac{0.071}{[(R_e + h)/R_e]^{1.5}} \quad (식 5)$$

N_{hit} : Δt 구간에서 계산한 하향링크 EPFD 값의 수 (≥ 5)

ω_s : NGSO 위성의 각속도 [degrees/sec]

ω_c : 적도에서 지구의 회전속도 [degrees/sec]

i : 궤도 경사 [degrees/sec]

φ_{3dB} : GSO 지구국의 3dB 빔폭 [degrees]

R_e : 지구 반지름 [km]

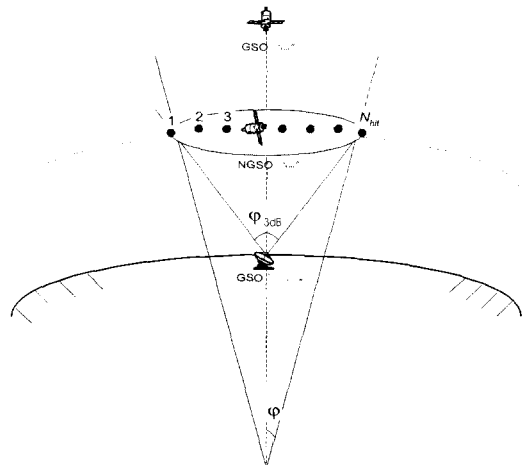


그림 1. 하향링크 간섭 구성도

2. 상향링크 최소 전산모의실험 시간 증가량 결정

상향링크 간섭은 <그림 2>와 같이 in-line event 경우에 NGSO 지구국에 의해서 발생한다. 이 때, 상향링크 최소 전산모의실험 시간 증가량은 하향링크와 같이 (식 1)에 의해서 정의되며, 이때 GSO 지구국 안테나의 빔폭 대신 NGSO 지구국 안테나의 빔폭을 적용한다.

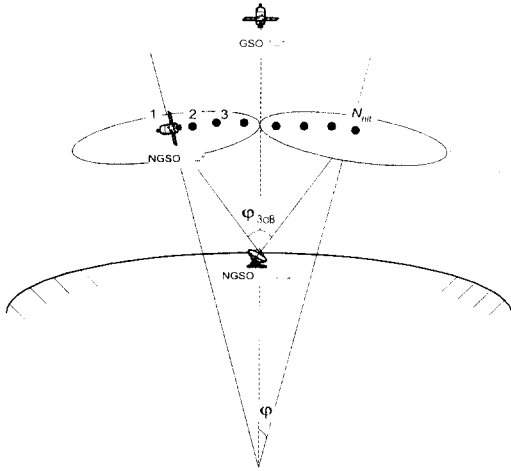


그림 2. 상향링크 간섭 구성도

3. 총 전산모의실험 동작 시간 결정

총 전산모의실험 동작 시간을 결정하기 위해서는 상향/하향링크 EPFD 계산을 위한 총 time step의 수를 결정해야 한다. 완벽한 Station keeping을 가정하는 Repeating Ground Track을 고려할 때, 통계적 정확성을 위한 최소 시간 증가량의 수 N_{min} 은 다음과 같다.

$$N_{min} = \frac{100 N_s}{100 - (EPFD \text{ 허용치에서 } 100\% \text{ 이하의 시간 퍼센트의 최대\%율})}$$

(식 6)

정해진 시간 증가량 T_{step} 에 대해서 한 주기의 총 샘플 수 $N_{repsteps}$ 은 (식 7)에 의해서 결정되며, $N_{repsteps}$ 값이 정수가 아닌 경우는 (식 8)을 사용하여 새로운 시간 증가량 T_{step}' 를 결정한다.

$$N_{repsteps} = \frac{P_{repeat}}{T_{step}} \quad (\text{식 7})$$

P_{repeat} : NGSO 위성 궤도 주기

$$T_{step}' = \frac{T_{step}(1 + N_{repsteps})}{N_{repsteps}} \quad (\text{식 8})$$

위의 T_{step} (또는 T_{step}')에 대해서 통계적 정확성을 얻기 위한 동작시간 T_{sig} 는 (식 9)와 같으며, 이 경우 constellation 반복 수는 (식 10)과 같다.

$$T_{sig} = N_{min} \cdot T_{step} \quad (\text{식 9})$$

$$N_{rep} = \text{round}\left(\frac{T_{sig}}{P_{repeat}}\right) \quad (\text{식 10})$$

실제 적용되는 constellation의 반복 수와 총 동작시간은 각각 (식 11)과 (식 12)에 의해서 결정되며, 이 경우 요구되는 총 time step의 수는 (식 13)과 같다.

$$N_{run} = \max(N_{rep}, N_{tracks}) \quad (\text{식 11})$$

N_{tracks} : constellation의 반복 수

$$T_{run} = N_{run} \cdot P_{repeat} \quad (\text{식 12})$$

$$N_{steps} = \text{round}\left(\frac{T_{run}}{T_{step}}\right) \quad (\text{식 13})$$

III. PFD/EIRP mask 발생

1. 하향링크 PFD mask 발생

NGSO 위성에 의한 하향링크 PFD는 같은 주파수 대역을 사용하는 빔들에 의한 PFD 값들의 합으로써 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$pfd = 10 \log \left(\sum_i^{N_{cov}} 10^{pfd_{cov,i}/10} + \sum_j^{N_{cross}} 10^{pfd_{cross,j}/10} \right) \quad (\text{식 14})$$

여기서,

$$pfd_{cov,i} = P_i + G_i - 10 \log_{10}(4\pi d^2) [\text{dBW}/\text{m}^2] \quad (\text{식 15})$$

$$pfd_{cross,j} = P_j + G_{cross,j} - 10 \log_{10}(4\pi d^2) [\text{dBW}/\text{m}^2] \quad (\text{식 16})$$

P_i : 기준 대역폭에 대한 i번째 빔의 최대 방사전력 [dBW/REFBW]

G_i : i번째 동일 편파 빔에 의한 안테나 이득

$G_{cross,j}$: j번째 교차 편파 빔에 의한 안테나 이득

d : 지구표면과 NGSO 위성간 거리 [m]

N_{cov} : 동일편파 빔의 수

N_{cross} : 교차편파 빔의 수

본 논문에서 고려한 F_SAT MULTI-1B 비정지궤도 위성 시스템의 송신 안테나 이득 $G_i[2]$ 는 u 의 함수로 다음과 같이 모델링 할 수 있다.

$$\frac{G(u)}{G_{\max}} = \left| \frac{2 \cdot J_1(u)}{u} \prod_{i=1}^3 \frac{1 - \frac{u^2}{\pi^2 * 1.1692^2 * [0.95277^2 + (i-1/2)^2]}}{1 - \left[\frac{u}{\pi \mu_i} \right]} \right|^2 * \frac{4\pi d_1^2}{4\pi d_2^2} \quad (\text{식 17})$$

여기서,

μ_1, μ_2, μ_3 : Bessel 함수의 처음 세 근

d_1 : NGSO 위성과 GSO 지구극간의 거리

d_2 : NGSO 위성과 이득을 구하고자 하는 곳간의 거리

파라미터 u 는 다음과 같다.

$$u = \frac{\pi}{\lambda} \sqrt{(L_r \sin \theta \cos \phi)^2 + (L_t \sin \theta \sin \phi)^2} \quad (\text{식 18})$$

여기서,

(θ, ϕ) : 방사되는 빔의 중심 좌표

L_r, L_t : 위성의 송신 안테나의 방사 방향과 그 횡방향(transverse)의 실효 방사(effective radiating) 지역의 크기이며, θ 에 따라 다음과 같이 정의된다.

표 1. θ 에 따른 L_r, L_t 값

θ	[0 : 40]	[40:47]	[47:49]	[49:52.5]	[52.5:54]
$\frac{L_r}{\lambda}$	$\frac{0.74}{\sin a}$	$\frac{0.64}{\sin a}$	$\frac{0.51}{\sin a}$	$\frac{0.32}{\sin a}$	12.57
$\frac{L_t}{\lambda}$	$\frac{0.74}{\sin b}$	$\frac{0.64}{\sin b}$	$\frac{0.64}{\sin b}$	$\frac{0.65}{\sin B}$	4.84

a : 방사 방향으로의 빔폭각의 1/2

b : 방사 방향의 직교 방향으로의 빔폭각의 1/2

2. 상향링크 지구국 EIRP mask 발생

상향링크 지구국 EIRP는 off-axis 각(NGSO 지구국에서 비정지궤도위성과 정지궤도위성이 이루는 각)의 함수로 표현된 최대 EIRP에 의해서 정의되는데, 이 경우 NGSO 지구국들은 균일하게 분포되어 있다고 가정한다.

IV. 하향링크 간섭 분석 알고리즘

먼저 Time step, Time size와 End time을 계산한 후, 시간 변화에 따른 비정지궤도위성의 우주국과 지구국, 정지궤도위성의 우주국과 지구국의 위치벡터를 update한다. 비정지궤도위성의 경우, Orbit Prediction과 station keeping 알고리즘을 이용하여 NGSO의 위치벡터와 속도벡터를 update한다. GSO 지구국의 위치벡터, NGSO 위성의 위치벡터와 속도벡터를 update함으로써 매 Tstep 마다 GSO, NGSO, 지구국의 위치를 파악할 수 있다. <그림 3>과 <그림 4>는 NGSO 위성의 궤도를 나타낸다.

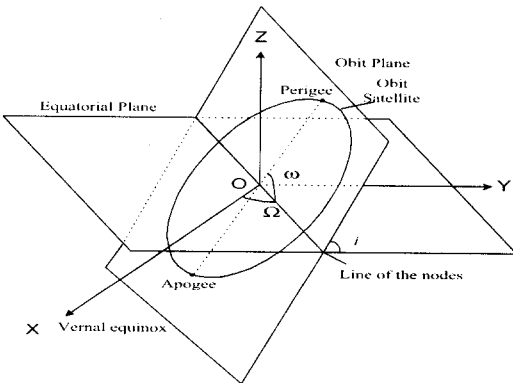


그림 3. NGSO 위성의 궤도

NGSO의 궤도평면은 다음과 같이 2개의 파라미

터들로 나타낼 수 있다.

Ω (승교점에서의 경도) : 적도면과 승교평면이 이루는 각

i (경사각) : 궤도평면과 적도면이 이루는 각

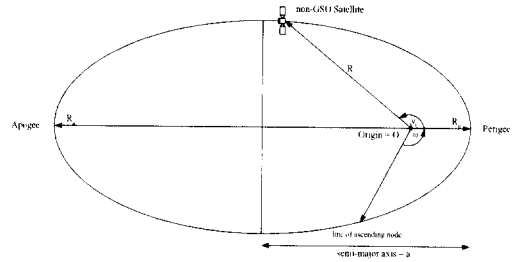


그림 4. NGSO 위성의 궤도

시간의 변화에 따른 비정지궤도위성의 좌표는 다음과 같다.

$$x = R\{\cos(v + \omega)\cos(\Omega) - \sin(v + \omega)\sin(\Omega)\cos(i)\} \quad (\text{식 19})$$

$$y = R\{\cos(v + \omega)\sin(\Omega) + \sin(v + \omega)\cos(\Omega)\cos(i)\} \quad (\text{식 20})$$

$$z = R\sin(v + \omega)\sin(i) \quad (\text{식 21})$$

$$\omega = \omega_0 + \omega_r t \quad (\text{식 22})$$

$$\Omega = \Omega_0 + \Omega_r t \quad (\text{식 23})$$

여기서, ω_0 는 초기 근지점 변수, Ω_0 는 초기 승교점 경도, ω_r 은 근지점 변수의 세차율, Ω_r 은 승교점 경도의 세차율로 다음과 같다.

$$\omega_r = \frac{J_a(5\cos^2(i) - 1)}{2p^2\sqrt{a^3\mu}} \quad (\text{식 24})$$

$$\Omega_r = -\frac{J_a\cos(i)}{p^2\sqrt{a^3\mu}} \quad (\text{식 25})$$

$$p = a(1 - e^2) \quad (\text{식 26})$$

$$R = \frac{p}{1 + e \cos(v)} \quad (\text{식 } 27)$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{a^3}{\mu}} \quad (\text{식 } 28)$$

$$M = E - e \sin E \quad (\text{식 } 29)$$

$$\tan \frac{v}{2} = \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \tan \frac{E}{2} \quad (\text{식 } 30)$$

$$a = (R_a + R_p)/2 \quad (\text{식 } 31)$$

$$e = (R_a - R_p)/(R_a + R_p) \quad (\text{식 } 32)$$

여기서,

a : 반주요 축

e : 이심률

R_a : 지구 중심과 원지점에서의 위성과의 거리

R_p : 지구 중심과 근지점에서의 위성과의 거리

ω : 근거리의 변수, 점들의 line과 근지점 사이 각

ν₀ : 궤도상에서 명시된 점과 근지점 사이각

p : 초점 파라미터

E : 이심 근점 이각(Eccentric anomaly)

M : 평균 근점 이각(Mean anomaly)

T : NGSO 위성의 주기

R : 지구 중심에서 NGSO 위성사이의 거리

한 시점에서, 한 비정지궤도위성에 대해 PFD를 구한 후 EPFD를 구하면 다음과 같다

$$EPFD(down)_i = PFD(\phi) + G_{RX}(\phi) - G_{MAX} \quad (\text{식 } 33)$$

여기서, G_{MAX}는 SO 지구국의 최대 안테나 이득, φ는 GSO 지구국에서 GSO와 NGSO 사이각, G_{RX}(φ)는 GSO 지구국의 수신 안테나 이득 패턴이다. GSO ES에서 보이는 모든 NGSO SS를 선택하여 EPFD(down)_i를 합해 한 시점에서

의 EPFD(down)을 구한다. 이 과정을 end time 까지 time step 마다 반복해 각 EPFD값에 대해 확률로 변환시켜 EPFD(down)에서 EPFD(down)의 CDF를 구하면 다음과 같다.

$$CDF_i = 100 \times \left(1 - \sum_{PDF_{min}}^{PDF_i} PDF \right) \quad (\text{식 } 34)$$

여기서, PDF_X : X dB의 PFD 값을 가진 PDF(모든 PDF의 합이 1이 되도록 정규화되어야 한다. 여기서 구한 EPFD(down) 확률과 그 허용치를 비교하여 비정지궤도 위성의 간섭영향을 예측할 수 있다.

V. 상향링크 간섭 분석 알고리즘과 계산과정

상향링크에서는 비정지궤도위성의 지구국 송신 EIRP를 구하여 정지궤도위성의 우주국에서 수신되는 EPFD(up)을 구해 그 확률과 허용치를 비교하는 것 외에는 하향링크와 동일하다.

$$EPFD(up)_i = EIRP + G_{TX} - L_{FS} + G_{RX} - G_{max} \quad (\text{식 } 35)$$

여기서, L_{FS} = 10log(4πD²) + 60.

VI. 시뮬레이션 결과 및 성능 분석

1. 하향 링크

가. 하향 링크 입력 파라미터

본 논문에서는 정지궤도위성시스템으로 무궁화 위성(KOREASAT-1)을 이용하였고 비정지궤도

위성으로 F-SAT MULTI 1B[2] 시스템을 이용하였다.

표 2. NGSO orbit parameter

파라미터	값	단위
총 위성 수	80	개
궤도 수	20	개
궤도당 위성 수	4	개
궤도 형태	원형	
궤도 경사각	53	degrees
궤도 주기	115	min
근지점 고도	1469.3	km
원지점 고도	1469.3	km
argument of perigee	90	degree
이심률	0	
궤도에서 위성간 간격	90	degree
근 궤도의 첫 위성간 간격	67.5	degree
궤도간 간격	18	degree

표 3. NGSO 위성의 송신 우주국 파라미터

파라미터	값	단위
중계기 대역폭	250	MHz
최대 위성 EIRP	27.5	dBW
위성 당 동일 편파를 사용하는 최대 빔 수	12	
위성 당 교차 편파를 사용하는 최대 빔 수	12	
송신 교차 편파 비율	20	dB

표 4. GSO 수신 지구국의 입력 파라미터

파라미터	TVRO	CATV	단위
최대 안테나 이득	45	51.8	dB
안테나 직경	1.8	3.7	m
수신 교차 편파 분리	27	27	dB
경도	127	127	degree
위도	37.5	37.6	degree

나. 비정지궤도 위성의 궤도 예측
 <그림 5>는 <표 2>의 NGSO orbit parameter를 이용하여 계산한 NGSO 위성의 constellation을 MATLAB으로 구현하여 나타냈다.

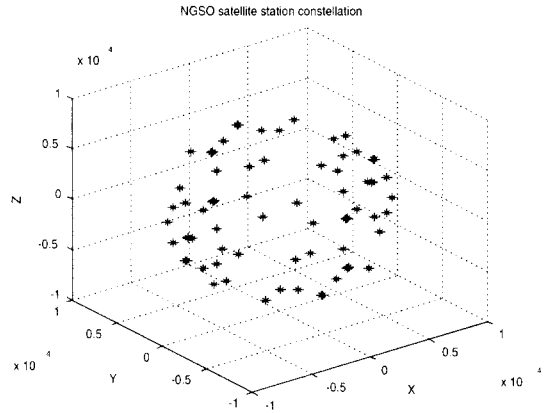


그림 5. NGSO 위성의 constellation

<그림 6>은 i(경사각)가 53 °이고 Ra(지구 중심과 원지점에서의 위성과의 거리)는 7847.4km이고 Rb(지구중심과 근지점에서의 위성과의 거리)는 7847.4km인 위성의 orbit predictor 알고리즘을 사용했을 때의 위성의 궤도를 나타냈다. 시간이 변하면서 이 위성의 위도와 경도 변화를 <그림 7>과 <그림 8>에서 볼 수 있다

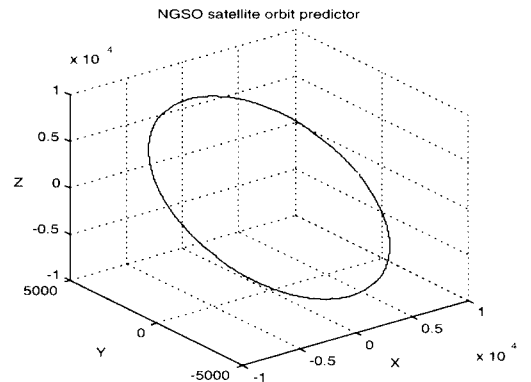


그림 6. NGSO 위성의 궤도

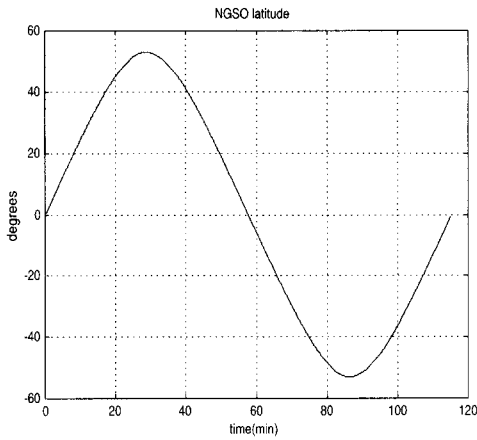


그림 7. 경사각이 53° 인 NGSO 위성의 위도 변화

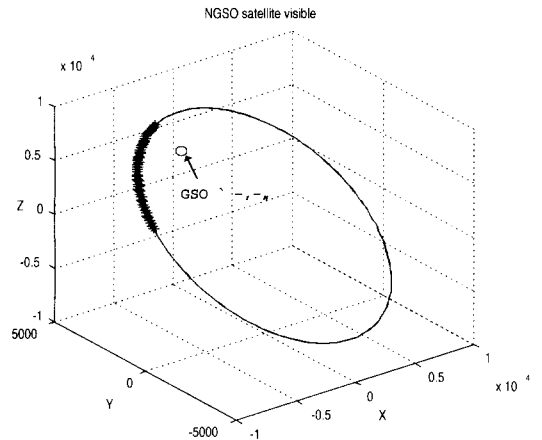


그림 9. GSO 지구국에서 보이는 NGSO 위성의 궤도

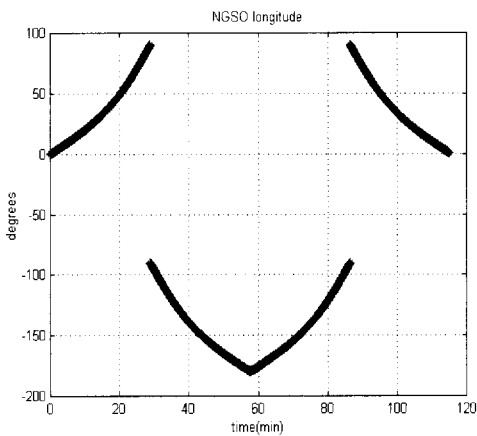


그림 8. 경사각이 53° 인 NGSO 위성의 경도 변화

다. NGSO 위성의 가시성 판별

지구국에서 보이는 위성을 선택하기 위해 지구 중심 좌표계를 지구 표면 좌표계(지구국이 원점)로 변환하여 각각이 양수이면 그 위성은 지구국에서 보이는 위성이라고 정의했다.

〈그림 9〉는 위도 37.5° 경도 127°인 GSO 지구국에서 보이는 NGSO 위성의 궤도를 나타낸다.

라. 기준 EPFD 연속 곡선과 시뮬레이션 결과 비교
Ku 대역을 이용하는 무궁화 위성의 통신용 carrier중 TVRO (1.8m 안테나), CATV(3.7m 안테나)서비스에 대한 비정지궤도위성 F-SAT MULTI 1B 시스템의 간섭영향을 분석하고 기준 대역폭 40kHz의 EPFD를 초과할 확률을 시뮬레이션한 결과와 그 허용 기준치를 비교하였다.

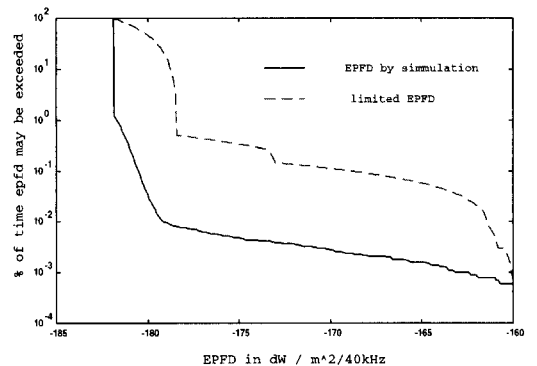


그림 10. 무궁화 위성(TVRO, 1.8m 안테나)의 EPFD 허용치

〈그림 10〉은 F-SAT MULTI 1B 위성시스템의 TVRO 서비스에 대한 간섭을 나타낸다. 실선은 무궁화 위성 지구국(TVRO)에서 비정지궤도위성시스템인 F-SAT MULTI 1B에 의한 간섭의

EPFD를 나타내며, 점선은 그 허용치를 나타낸다. 비정지궤도위성의 영향을 나타내는 EPFD는 3m 안테나의 경우, 전파규칙 S22에 정확히 부합되는 크기의 안테나에 대한 제한치가 없어 1.2m 안테나의 제한치를 사용하였다.[3] 이 결과에서 알 수 있듯이, F-SAT MULTI 1B 시스템의 간섭이 허용치를 초과하지 않으므로 TVRO 업무에 지장이 없는 것으로 판단 할 수 있다.

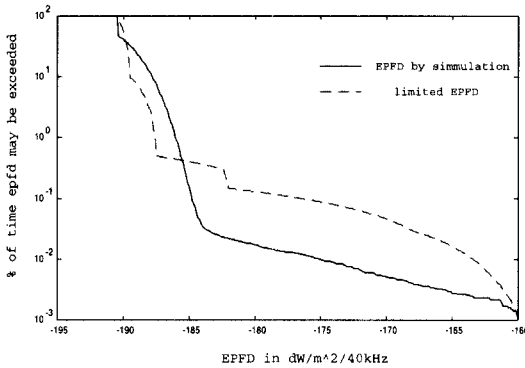


그림 11. 무궁화 위성(CATV, 3.7m안테나)의 EPFD 허용치

〈그림 11〉은 F-SAT MULTI 1B 시스템의 CATV 서비스에 대한 간섭을 나타낸다. 3.7m 안테나의 경우도 마찬가지로, 전파규칙 S22에 정확히 부합되는 크기의 안테나에 대한 제한치가 없어 3m 안테나의 제한치를 사용하였다.[3] EPFD가 낮은 경우, 초과할 시간 퍼센트가 TVRO 서비스와는 달리 허용치를 초과하여 F-SAT MULTI 1B 시스템이 CATV업무에 지장이 있을 것이라 예상 할 수 있다.

결론적으로, 비정지궤도위성망에 의한 영향은 TVRO 업무에는 우려하지 않아도 되나, CATV 업무에는 지장이 우려되며, 이러한 간섭을 보다 정확히 분석하기 위해서는 국내에서 사용되는 안테나에 대한 구체적인 EPFD 제한치가 확보되어야 한다.

2. 상향 링크

가. 상향 링크 입력 파라미터

표 5. 비정지궤도위성의 송신 지구국 파라미터

파라미터	값	단위
최대 안테나 이득	53.1	dBi
안테나 빔폭	0.36	degree
안테나 패턴	$29-25\log(\theta)$	dBi
최대 송신 EIRP/carrier	59.3	dBW
대역폭/carrier	22.6	MHz

표 6. 정지궤도위성의 수신 우주국 파라미터

파라미터	값	단위
최대 수신 안테나 이득	45.6	dBi
수신 주파수	14.25	GHz

나. 시뮬레이션 결과와 허용치 비교

상향 링크에서는 무궁화 위성 우주국에서 F-SAT MULTI 1B 위성시스템의 간섭을 구했다. 시뮬레이션을 통해 -160dB EPFD를 넘을 시간의 퍼센트가 1.1669% 로서, 기준 허용치인 0%을 초과하였다.

Ⅶ. 결 론

본 논문은 NGSO/FSS 위성망으로부터의 간섭 영향에 대하여 GSO/FSS 위성망을 보호하기 위해 ITU-R에서 제안한 간섭분석 알고리즘을 이용하여, F-SAT MULTI 1B 비정지궤도위성시스템이 국내 정지궤도 위성망인 무궁화 위성에 미치는 간섭영향을 분석하였다. 단일 비정지 위성망에 의한 간섭

은 그리 심각하지 않으나, 증가하는 비정지궤도위성망에 따라 정지 및 비정지궤도 위성간 간섭분석에 대한 연구가 요구된다.

2000년에 개최되는 WRC-2000에서 확정될 간섭 기준치는 국내 정지궤도위성업무의 간섭영향을 최소화하도록 결정되어야 할 것이며, 서구 선진국에 비해 아직 열세에 있는 국내 위성 통신업무에 대한 권리가 보호되도록 노력해야 할 것이다.

※ 참고 문헌

- [1] Contribution ITU-R JTG 4-9-11,
Functional description of software for use by BR/ITU in checking compliance of non-GSO FSS systems with EPFD limits
- [2] Contribution ITU-R JTG 4-9-11/260-E, DETAILED CHARACTERISTICS OF F-SAT MULTI 1B
- [3] Contribution ITU-R JTG 4-9-11/408-E, Proposed text for Chapter 3 of the CPM-2000 Report (Coexistence of NGSO FSS, GSO FSS, Radiolocation, Radionavigation and Space Research)

서 종 수

- 1975 연세대학교 전자공학(학사)
- 1981 LG정밀 중앙연구소 연구원
- 1983 Univ. Ottawa, Canada 디지털통신(석사)
- 1987 IDC, Canada 책임연구원
- 1988 Univ. Ottawa, Canada 디지털통신(박사)
- 1990 삼성종합기술원 정보시스템연구소 수석연구원
- 1992 IDC, Canada 책임연구원
- 1993 CAL, Canada 책임연구원
- 1995.3 - 현재 연세대학교 공과대학 기계·전자공학부/전파통신연구소 교수/소장