

## 정지궤도/고정위성업무 위성망에 대한 비정지궤도/고정위성업무 위성망의 간섭 영향에 관한 연구

권태곤(權泰坤), 강병수(姜秉秀), 박세경(朴世耕)  
한국전자통신연구원 무선·방송기술연구소 위성통신시스템연구부  
전화 : (042) 860-5450 / 팩스 : (042) 860-6949

### A Study on the Impact of Interference from NGSO/FSS Networks on a GSO/FSS Network

Tae Gon Kwon, Byoung Su Kang, Se-Kyoung Park  
Satellite Communications System Department, ETRI- Radio & Broadcasting Technology Laboratory  
E-mail: tgkwon@etri.re.kr, kbs@etri.re.kr, sekpark@etri.re.kr

#### Abstract

It is difficult to analyze the impact of interference of NGSO/FSS systems on a GSO/FSS network because of time-varying nature of NGSO/FSS systems. In this paper, we present an efficient method to assess the impact of interference of NGSO/FSS satellite networks on the GSO/FSS carrier performances. The example analysis shows the impact on the GSO/FSS carrier performances in terms of elevation angles of earth stations in a GSO/FSS system.

#### 1. 서론

최근 비정지궤도 위성통신의 발달로 비정지궤도를 이용한 NGSO/FSS(Non-Geostationary Satellite Orbit/Fixed Satellite Service: 비정지궤도/고정위성업무) 위성망이 급격하게 증가하고 있으며, 이러한 NGSO/FSS 위성망은 기존의 정지궤도를 이용하는 GSO/FSS(Geostationary Satellite Orbit/Fixed Satellite Service: 정지궤도/고정위성업무)용으로 분배된 주파수를 공유해야 하는 경우가 발생하여, NGSO/FSS 위성망으로부터 GSO/FSS 위성망으로 간섭을 유발시키게 된다.

NGSO/FSS 위성망으로부터 GSO/FSS 위성망으로의 간섭은 NGSO/FSS 위성의 움직임으로 인하여 시간에 따라 변하며, 대부분의 시간동안 거의 일정하고 간섭량이 작은 장기간 간섭(long-term interference)과, NGSO/FSS 위성이 GSO/FSS 위성망 링크와 in-line 상태가 되는 경우 짧은 시간동안 간섭량이 매우 큰 단기간 간섭(short-term interference)으로 나눌 수 있다. 단기간

간 간섭은 짧은 시간동안 발생하는 간섭이지만 간섭량이 매우 크기 때문에 위성 시스템의 단기간 성능목표에 중대한 영향을 줄 수 있다.[1]

또한 GSO/FSS 위성망의 단기간 성능목표는 강우로 인한 페이딩에 의해 많은 영향을 받기 때문에, 결과적으로 GSO/FSS 위성망의 성능은 NGSO/FSS로부터의 간섭과 강우로 인한 페이딩의 상호작용에 의해 영향을 받는다.

따라서 본 논문에서는 NGSO/FSS 위성망의 간섭으로 인한 열화와 강우 페이딩으로 인한 열화의 상호작용에 의한 GSO/FSS 위성망의 단기간 성능목표의 영향을 계산하는 방법을 분석하고, 이 때 사용되는 GSO/FSS 지구국의 양각에 따른 GSO/FSS 위성망의 성능 변화를 비교, 분석하였다.

#### 2. NGSO/FSS 위성망의 간섭 영향 분석 방법

GSO/FSS 위성망에 대한 단기간 성능목표에서 C/N(carrier to noise power ratio) 열화량은 NGSO/FSS 위성망의 간섭과 강우 페이딩의 상호작용에 의해 발생하므로, 강우 페이딩의 특성과 NGSO/FSS 위성망의 간섭 전력 특성으로부터 GSO/FSS 위성망의 성능 변화를 계산하는 효율적인 방법을 분석하고자 한다.

GSO/FSS 위성망의 단기간 성능목표는 식 (1)과 같이 나타내며, 강우 페이딩과 NGSO/FSS 위성망으로부터의 간섭으로 인한 총 열화량이  $z_t$ 를 초과할 수 있는 년 시간율은  $p_t$  % 이하이어야 함을 뜻한다.[1]

$$p(z \geq z_j) \leq p_j [\%], \quad j = 1, \dots, J \quad (1)$$

여기서

$$z_j = (C/N)_{CS} - (C/N)_j, j=1,2,\dots,J$$

$(C/N)_{CS}$  : clear-sky  $C/N$

GSO/FSS 위성망의 총 열화량  $z$ 는 강우 페이딩과 간섭의 상호 작용으로 발생하며, 강우 페이딩과 간섭은 서로 독립이라 할 수 있다.  $y$  (dB)를 강우 페이딩으로 인한 열화를 나타내는 랜덤변수라 하고  $x$  (dB)를 간섭으로 인한 열화를 나타내는 랜덤변수라 할 때, 총 열화량을 나타내는 랜덤변수  $z = x + y$ 가 된다.  $x$ 와  $y$ 가 서로 독립이기 때문에  $z$ 의 확률밀도함수  $p_z(z)$ 는 식 (2)에서와 같이  $x$ 의 확률밀도함수  $p_x(x)$ 와  $y$ 의 확률밀도함수  $p_y(y)$ 와의 컨볼루션이 된다.[2]

$$p_z(z) = \int_{-\infty}^{\infty} p_x(z-y) \cdot p_y(y) dy \quad (2)$$

NGSO/FSS 위성망 간섭에 의한 GSO/FSS 위성망 성능의 변화는, GSO/FSS 위성망의 총 열화량의 확률밀도함수가 강우 페이딩 확률밀도함수와 NGSO/FSS 위성망 간섭의 확률밀도함수의 컨볼루션 관계라는 것을 이용하여 계산 할 수 있다. 그리고 NGSO/FSS 위성망 간섭 영향의 정도는 NGSO/FSS 위성망 간섭이 없는 경우와 있는 경우의 GSO/FSS 위성망 성능목표의 비가용도의 변화로서 나타낼 수 있다.

GSO/FSS 위성망 수신지구국에서의 회방반송파의 전력, 잡음 전력 및 전송이득은 강우감쇠의 함수로서, 각각 식 (3), (4) 및 (5)와 같이 나타내며 링크버짓을 이용하여 구할 수 있다. 여기서  $A_u$  및  $A_d$ 는 각각 상향링크 강우감쇠 및 하향링크 강우감쇠를 뜻한다.

$$C = F(A_u, A_d) \quad (3)$$

$$N = G(A_u, A_d) \quad (4)$$

$$\Gamma = H(A_u, A_d) \quad (5)$$

GSO/FSS 위성망의 특성으로부터 강우감쇠가 0.01%동안 상향링크 강우감쇠  $A_{u,0.01}$  (dB)와 하향링크 강우감쇠  $A_{d,0.01}$  (dB)를 초과하는 확률을 계산한다.

$$\begin{aligned} P(A_u > A_{u,0.01}) &= 0.01\% \\ P(A_d > A_{d,0.01}) &= 0.01\% \end{aligned} \quad (6)$$

상향링크 및 하향링크 강우감쇠의 누적분포함수는 ITU-R 권고서[4-6]를 이용하여 식 (7)과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} P_{A_u}(X) &= P(A_u \leq X) \\ &= 1 - \frac{10^{11.628(0.546 + \sqrt{0.298 + 0.172 \log(0.12 \cdot A_{u,0.01} / X)})}}{100} \\ P_{A_d}(X) &= P(A_d \leq X) \\ &= 1 - \frac{10^{11.628(0.546 + \sqrt{0.298 + 0.172 \log(0.12 \cdot A_{d,0.01} / X)})}}{100} \end{aligned} \quad (7)$$

계산된 상향링크 및 하향링크의 강우감쇠의 누적분포 함수에 대한 확률밀도함수는 식 (8)과 같다.

$$\begin{aligned} P_u(X) &= \frac{dP_{A_u}(X)}{dX} = \frac{1.000008}{100} \\ &= \frac{10^{11.628(-0.546 + \sqrt{0.298 + 0.172 \log(0.12 \cdot A_{u,0.01} / X)})}}{\sqrt{0.298 + X \cdot 0.172 \log(0.12 \cdot A_{u,0.01} / X)}} \\ P_d(X) &= \frac{dP_{A_d}(X)}{dX} = \frac{1.000008}{100} \\ &= \frac{10^{11.628(-0.546 + \sqrt{0.298 + 0.172 \log(0.12 \cdot A_{d,0.01} / X)})}}{\sqrt{0.298 + X \cdot 0.172 \log(0.12 \cdot A_{d,0.01} / X)}} \end{aligned} \quad (8)$$

식 (9)를 이용하여 NGSO/FSS 위성망 간섭이 없는 경우의  $C/N$ 의 누적분포함수  $P_1$ 이 구해진다.

$$\left(\frac{C}{N}\right)(A_u, A_d) = F(A_u, A_d) - 10 \cdot \log_{10} \left[ 10^{G(A_u, A_d)/10} + 10^{(N_s - A_d)/10} \right] \quad (9)$$

$$P_1\left(\frac{C}{N} \leq X\right) = 1 - P_1\left(\frac{C}{N} > X\right) \quad (10)$$

$$\begin{aligned} P_1\left(\frac{C}{N} \leq X\right) &= 1 - \int_0^{A_{u,1}} p_u(U) \cdot \left\{ \int_0^{A_{d,1}(U)} p_d(V) \cdot P_S \right. \\ &\quad \left. \left[ 10 \cdot \log_{10} \left[ 10^{(F(U,V)-X)/10} - 10^{G(U,V)/10} \right] + V \right] dV \right\} dU \end{aligned} \quad (11)$$

NGSO 위성망 간섭이 있는 경우의  $C/(N+I)$ 의 누적분포를 구하기 위해서는 먼저 NGSO 위성망의 간섭전력을 알아야 하며 식 (12)를 이용하여 계산할 수 있다.

$$I(A_u, A_d) = 10 \cdot \log_{10} \left[ 10^{(I_{up} + H(A_u, A_d))/10} + 10^{(epfd + K_1 - A_d)/10} \right] \quad (12)$$

여기서

$$K_1 = 10 \cdot \log_{10}(b/4) + G_r + 10 \cdot \log_{10}(\lambda^2/[4 \cdot \pi]) \text{ (dBm}^2\text{)}$$

$$\lambda = c/f \text{ (m)}$$

NGSO 위성망 간섭전력을 이용하여 NGSO/FSS 위성망 간섭이 있는 경우의  $C/(N+I)$ 의 누적분포함수  $P_2$ 는 식 (13), (14) 및 (15)처럼 계산할 수 있다.

$$\left( \frac{C}{N+I} \right) (A_u, A_d) = F(A_u, A_d) - 10 \cdot \log_{10} \left[ 10^{G(A_u, A_d)/10} + 10^{(N_s - A_d)/10} + 10^{(I_s + \Gamma(A_u, A_d))/10} + 10^{(epfd + K_1 - A_d)/10} \right] \quad (13)$$

$$P_2 \left( \frac{C}{N+I} \leq X \right) = 1 - P_2 \left( \frac{C}{N+I} > X \right) \quad (14)$$

$$P_2 \left( \frac{C}{N} \leq X \right) = 1 - \int_0^{A_{u,1}} p_u(U) \left\{ \int_0^{A_{d,1}(U)} p_d(V) \cdot \left[ \int_{-\infty}^{N_{s,1}(U,V)} p_s(N) \cdot P_{epfd}(epfd(U,V,N)) \cdot dN \right] dV \right\} dU \quad (15)$$

여기서

$$N_{s,1}(U, V) = 10 \cdot \log_{10} \left[ 10^{(F(U,V) - X)/10} - 10^{G(U,V)/10} \right] + V$$

$$epfd(U, V, N) = 10 \cdot \log_{10} \left[ 10^{(F(U,V) - X)/10} - 10^{G(U,V)/10} - 10^{(N - V)/10} - 10^{(I_u + H(U,V))/10} \right] - K_1 + V$$

$P_2(X)$ 과  $P_1(X)$ 로부터 NGSO 위성망 간섭이 있는 경우와 없는 경우의 GSO/FSS 위성망의 성능 변화  $\Delta X$ 는 식 (16)과 같다.

$$\Delta X = P_2(X) - P_1(X) \quad (16)$$

따라서 NGSO/FSS 위성망의 도입으로 인한 GSO/FSS 위성망에서의 성능 변화 비율  $R_v(X)$  (%)는 다음과 같이 구해진다.

$$R_v(X) = 100 \cdot \frac{\Delta(X)}{P_2(X)} = 100 \cdot \frac{P_2(X) - P_1(X)}{P_2(X)} \quad (17)$$

### 3. NGSO/FSS 간섭영향 결과 및 분석

GSO/FSS 위성망 데이터는 INFOSAT-C 위성망의 파라미터를 가정하고, NGSO/FSS 위성망의 간섭전력은 현행 전파규칙에 규정되어 있는 간섭전력 제한값으로 설정하여, GSO/FSS 위성망 지구국의 양각에 따른 간섭영향을 계산하여 분석한다.

사용한 GSO/FSS 위성망과 NGSO/FSS 간섭전력에 대한 데이터는 표 1과 표 2에 각각 나타내었다.

표 1. GSO/FSS 위성망 데이터

항 목	값
<b>요구품질</b>	
#1: C/(N+I) (dB)	8.6
C/(N+I)이 초과해야 할 년 시간율 (%)	99.64
#2: C/(N+I) (dB)	7.4
C/(N+I)이 초과해야 할 년 시간율 (%)	99.96
<b>신호파형</b>	
반송파당 잡음 대역폭 (kHz)	36000
<b>수신지구국 파라미터</b>	
고도 (km)	0.06
위도 (degrees)	37.5
양각 (degrees)	45
온도 지상 높이 (km)	20
상대습도 (%)	75
강우모델 (ITU/Crane)	ITU
강우지역	K
0.01%에 대한 강우강도	60
On-axis 지구국 e.i.r.p. (dBW)	67
안테나 포인팅 손실 (dB)	0.5
지구국 혼변조적에 대한 C/I (dB)	30
전력제한범위 (dB)	0
전력제한 정밀도 (dB)	0
편파분리도 (dB)	30
<b>수신지구국 파라미터</b>	
고도 (km)	0.06
위도 (degrees)	37.5
양각 (degrees)	17
온도 지상 높이 (km)	75
상대습도 (%)	45
강우지역	K
0.01%에 대한 강우강도	60
수신지구국 잡음온도 (K)	160
On-axis 안테나 이득 (dBi)	49.5
안테나 직경 (m)	1.8
안테나 포인팅 손실 (dB)	0.5
편파분리도 (dB)	30
<b>수신우주국 파라미터</b>	
중계기 대역폭 (MHz)	150.0
수신 주파수 (GHz)	28.5
수신 편파	C
ALC 범위 (dB)	0
On-axis 안테나 이득 (dBi)	43.5
수신지구국으로의 수신우주국 안테나이득 (dBi)	43
우주국 수신 잡음 온도 (K)	600
교차 편파분리도 (dB)	30
주파수 재사용 분리도 (dB)	100
중계기 총 입력 back-off (dB)	10

통신우주국 파라미터	
송신 주파수 (GHz)	19.7
송신 편파	C
중계기 총 출력 back-off (dB)	6
수신우주국으로의 우주국 e.i.r.p. (dBW)	57
교차 편파분리도 (dB)	30
주파수 재사용 분리도 (dB)	100
단순형/재생형 중계기 여부	단순형
우주국 인접 중계기 분리도 (dB)	50
중계기 혼변조적에 대한 C/I (dB)	25
다른 국가에도 위성망과 고정업무로 인한 간섭	
타 GSO 위성망에 대한 상향 clear-sky C/I (dB)	22
고정업무에 대한 상향링크 clear-sky C/I (dB)	100
타 GSO 위성망에 대한 하향 clear-sky C/I (dB)	22
고정업무에 대한 하향 clear-sky C/I (dB)	100

표 2. NGSO/FSS 위성망 간섭전력

Epdf dB(W/m <sup>2</sup> )	시간율(%)	기준대역폭(kHz)
-167	99.8	40
-154	100	
Apfd dB(W/m <sup>2</sup> )	시간율(%)	기준대역폭(kHz)
-159	100	40

표 1 과 표 2 에 나타낸 데이터를 이용하여 GSO/FSS 위성망 지구국의 양각에 따른 간섭영향을 분석한 결과를 표 3 에 나타내었다.

표 3. 양각에 따른 GSO/FSS 위성망의 성능변화

양각 (도)	비가용도의 변화율 (%)	
	C/(N+I)=8.6 (dB)	C/(N+I)=7.4 (dB)
10	0.08087	0.06037
30	0.05237	0.04462
50	0.05016	0.04331
70	0.04942	0.04211

표 3 에서 양각이 증가함에 따라 NGSO/FSS 위성망 간섭영향이 감소함을 보여주고 있다. 지구국의 양각이 증가함에 따라 강우로 인한 페이딩이 증가하고 이로 인하여 NGSO/FSS 위성망의 간섭영향도 더욱 증가한다는 것을 알 수 있다. 결과에서 보듯이, 양각에 따라 간섭의 영향 정도가 최대 약 50% 차이가 나며, GSO/FSS 위성망과 NGSO/FSS 위성망간의 동일 주파수를 공유하게 되는 경우 GSO/FSS 지구국의 위치를 고려해야 할 것이다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 GSO/FSS 위성망 지구국의 양각에 따른 NGSO/FSS 위성망 간섭영향을 분석하기 위해서, 강우페이딩과 NGSO/FSS 위성망 간섭의 상호작용전력으로 인한 간섭영향을 계산하는 효율적인 방법을 분석하

였고, 위성망 데이터와 실제 NGSO/FSS 위성망 간섭전력 기준을 사용하여 간섭 영향을 분석하였다. 분석 결과, 양각이 감소함에 따라 NGSO/FSS 위성망의 간섭영향이 증가하기 때문에, GSO/FSS 위성망과 NGSO/FSS 위성망간의 적절한 공유방안을 수립하기 위해서는 양각이 작은 위치, 즉 고위도에 위치하는 지구국의 경우에는 NGSO/FSS 위성망의 간섭전력 제한값을 보다 신중하게 고려해야 할 것이다.

본 논문의 간섭영향 분석방법과 결과는 운용중이거나 계획중인 GSO/FSS 위성망의 보호와 NGSO/FSS 위성망과의 위성망간 조정에 효율적으로 사용될 수 있을 것이며, 차후 실제 GSO/FSS 위성망과 NGSO/FSS 위성망의 파라미터를 이용한 시뮬레이션을 통하여, 지구국의 위치에 따른 NGSO/FSS 위성망 간섭영향을 보다 정확하게 분석하는 연구가 이루어져야 하겠다.

#### 참고문헌

1. Recommendation ITU-R S.1323: *Maximum Permissible levels of Interference in a Satellite Network(GSO/FSS; N0n-GSO/FSS; Non-GSO/MSS Feeder Links) for a Hypothetical Reference Digital Path in the FSS Caused by Other Codirectional Networks below 30GHz, 1997*
2. A. Papoulis, *Probability, Random Variables, and Stochastic process*, McGraw-Hill Ltd., 1984.
3. Contribution ITU-R JTG 4-9-11/169-E, *Proposed Methodology for Calculating Candidate EPFD and APFD Limits, 1998*
4. Recommendation ITU-R PN.837-1: *Characteristics of Precipitation for Propagation Modelling, 1997*
5. Recommendation ITU-R PN.838: *Specific Attenuation Model for Rain for Use in Prediction Methods, 1997*
6. Recommendation ITU-R PN.618-3: *Propagation Data and Prediction Methods Required for the Design of Earth-Space Telecommunications Systems, 1997*