비정지궤도 위성망의 위성 선정 방식에 따른 정지궤도 위성망으로의 간섭량 변화에 대한 연구

강 병 수(姜 秉 秀), 권 태 곤(權 泰 坤), 박 세 경(朴 世 耕)
한국전자통신연구원 무선,방송기술연구소 위성통신시스템연구부
전화 : (042) 860-3953 / 팩스 : (042) 860-6949

A Study of the Interference Varying from a NGSO network to a GSO Network according to NGSO Satellite Tracking Strategies

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

Abstract

The interference situation from NGSO/FSS network to GSO/FSS network is more complicated than the situation between GSO networks because of the time varying orbital characteristics of NGSO systems. In this paper, the interference characteristics for several types of hand-over strategies are simulated and it is shown that the results should be useful in practical coordination of inter-network interference.

I. 서 론

1960년대에 정지궤도 위성이 발사되고 통신위성이 출현한 이래 위성통신 기술을 급속한 발전을 거듭하고 있으며, 각국은 위성통신 기술개발에 치열한 경쟁을 벌이고 있다. 위성을 이용한 서비스는 서비스의 동보성, 광역성 그리고 시설구축의 용이성 등의 이점을 가지고 있는 반면 요구되는 통신 용량이 증가함에 따라서 위성통신을 위해서 필수적으로 요구되는 위성궤도와 주파수 자원의 한계라는 제약을 가지고 있다. 이러한 궤도와 주파수 자원의 한계를 극복하기 위해서 동일한 주파수를 재사용하는 방법과 정지궤도 이외의 궤도, 즉 중궤도 혹은 저궤도와 같은 비정지궤도를 이용한 통신 위성의 개발이 활발히 진행중이다.

1990년대 이후, 과학 탐사나 군사 목적으로 사용되어 오던 비정지궤도를 상업 통신용으로 사용하기 위한 노력들이 진행되어 왔으며, 현재는 다수의 위성망이 운용중이거나 운용준비중이다. 이러한 비정지궤도의 장점은 낮은 고도에서 운용되기 때문에 전파지연 시간이 정지궤도에 비해서 짧은 점과 전파음영지역을 줄일 수 있는 점등을 들 수 있으며 단점으로는 전체 지구를 커버하기 위해서는 많은 수의 위성이 필요하고 지구국에서 위성을 추적할 때 정지궤도에 비해 현저하게 큰 각(10°이상)을 추적해야 한다는 점등을 들 수 있다.[1]

비정지궤도를 이용한 위성망의 피더링크(feeder link)는 기존의 정지궤도 위성망과 동일한 주파수 대역에서 운용하는 경우가 대부분이며 이러한 경우 필연적으로 위성망간 상호 간섭이 발생하게 되는데, 국제전기통신연합(ITU : International Telecommunication Union)에서는 이러한 간섭을 분석하는 방법과 허용 정도등을 규정하고 최대한 공유를 늘이는 방안에 대해서 연구를 수행중에 있다.[2] 비정지궤도 위성망에서 하나의 기지국이 통신경로를 이루는 위성을 선정할 때 타 위성망과의 간섭을 고려하지 않고 가장 높은 앙각(elevation angle)을 가지는 위성을 선정하는 것이 자체 위성망의 전송 성능을 우수하게 유지할 수 있는 반면, 타 위성망과의 간섭을 고려하는 경우에는 가능한

여러 가지 방식에 대한 추가적인 방식 연구가 필요하다. 본 논문에서는 위성 선정 방식을 달리 했을 때 정지궤도 위성망이 받는 간섭의 정도를 무궁화3호 위성의 Ka 대역(20/30GHz) 전송 제원을 이용하여 비교, 분석하였다. 이러한 분석 결과는 무궁화 위성망과 같은 정지 궤도 위성망과 수십에서 수백개의 위성군으로 구성되는 비정지 궤도 위성망과의 효율적인 간섭 조정에 직접 활용할 수 있를 것으로 판단된다.

II. 위성망 모델링 및 간섭 시나리오

정지궤도와 비정지궤도 위성망간의 간섭 특성을 분석하기 위해서는 먼저 각각의 위성망에서 사용되는 링크를 모델링해야 한다. 본 논문에서 사용된 정지궤도 위성망 링크는 무궁화3호 위성의 Ka 대역 고정위성업무(FSS : Fixed-Satellite Service)용 중계기 제원을 가정하여 모델링하였다.[3] 단일빔을 사용하는 것으로 가정하여 빔의 중심점을 동경128° 북위 37.75° 로 가정하였으며, 수신 지구국의 위치는 서울, 대전,부산, 충주, 울진, 고성, 백령도, 제주도의 남한 지역 외에 무궁화3호 Ka 대역 중계기가 서비스 영역으로 포함시킨 북한 지역의 신의주, 원산, 중강진, 온성으로 정했다.

표 1. 무궁화3호 위성 링크해석

항 목	수 치
상/하향 주파수 [GHz]	30.485(up)/20.755(down)
정보율 [Mbps]	155.52
변조방식	QPSK
요구 C/N [dB]	10.02
상향 링크 해석	
최대 상향 EIRP [dBW]	82.92
자유 공간 손실 [dB]	213.25
대기/지향 오차 손실 [dB]	0.8/0.5
위성 수신 안테나 G/T [dB/K]	9.8
채널 대역폭 [dB-Hz]	81.30
상향 링크 C/N	**25.47**
하향 링크 해석	
최대 하향 EIRP [dBW]	54.90
자유 공간 손실 [dB]	209.91
대기/지향 오차 손실 [dB]	0.8/0.5
지구국 feeder loss [dB]	1.5
지구국 수신 안테나 G/T [dB/K]	33.17
채널 대역폭 [dB-Hz]	81.30
하향 링크 C/N [dB]	**24.16**
전체 링크 해석	
전체 링크 C/N [dB]	**21.76**
지상망 간섭 margin [dB]	0.3
전체 링크 margin [dB]	**11.44**

표 1에서는 무궁화3호 위성 Ka 대역 고정위성업무에 대한 링크 해석 결과를 보이고 있다.

비정지궤도 위성망 모델로는 임의의 NGSO_SAT라는 위성망을 가정하였으며, 일부 궤도 파라미터는 현재 유럽에서 추진중인 skybridge 위성 시스템과 유사하다. NGSO_SAT은 고도 1457km에 55도의 궤도 상승각을 가지고 궤도면 8개, 궤도면 4개의 위성을 가지는 위성군 2개를 이루어져 있어서 총 64개(8궤도×4위성×2군)의 위성으로 극지방을 제외한 전지구를 서비스 영역으로 포함하는 것으로 가정하였다. 사용 주파수 대역은 정지궤도 위성망과 동일 채널 간섭이 발생하는 경우를 가정하기 위해서 무궁화3호 위성과 동일한 주파수 대역을 사용하는 것으로 가정하였으며 비정지궤도 위성망의 지구국(관문국)은 동경 127.5도, 북위 37.7도의 경기도 양평 부근에 위치하는 것으로 가정하였다. 다음의 그림 1은 위에서 가정한 결과로 모델링된 NGSO_SAT 위성군을 표시한 것이며 표 2에서는 NGSO_SAT 위성군의 전송 제원을 보여 주고 있다.

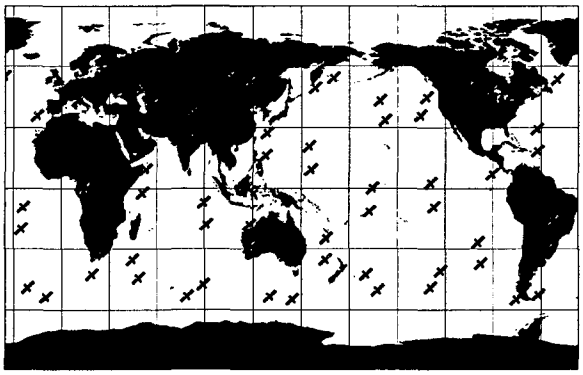

그림 1. NGSO_SAT 위성군

표 2. NGSO_SAT 위성망 전송 제원

항 목	수 치
고 도	1457km
위 성/궤 도	4개/8개
위 성 군	2개
상 승 각	55°
하향 주파수	20GHz
위성당 빔수	37개
정보율	1[Mbps]
변조 방식	QPSK
최대 하향 EIRP	30[dBW]

비정지궤도 위성망의 위성선정 방식은 여러 가지를 생각할 수 있지만 여기에서는 3가지 방법을 고려하였다. 첫 번째 방법은 가장 단순한 방법으로 정지궤도 위성망과의 간섭 특성을 고려하지 않고 단순히 앙각이

가장 높은 위성을 선정하여 통신 링크를 형성하는 방법이다. 두 번째 방법은 앙각이 가장 높은 위성을 추적하되 위성망간 간섭 현상을 줄이기 위해서 비정지궤도 위성이 정지궤도 위성망 링크와 이루는 각(GSO discrimination angle)이 특정값(5°) 이하일 경우는 링크를 형성하지 않는 방법이다. 마지막으로 최소 앙각보다 높은 위성 중에서 정지궤도 위성망 링크와 이루는 각이 가장 큰 위성을 추적하여 링크를 형성하는 방법이다. 정지궤도와의 공유와 비정지궤도 위성망에 대한 불필요한 제한이라는 문제를 고려할 때, 위성 선정 방식에 따른 정지궤도 위성망의 지구국에서 받는 간섭의 정도와 함께 비정지궤도 위성망의 위성 전환 횟수 등을 고려해서 사용할 전환 방식이 고려되어야 할 것이나 비정지궤도상의 단일 위성내의 빔간 전환 횟수를 고려할 때 심각한 문제를 발생시키는 않을 것으로 판단된다.[4]

III. 모의 시험 결과

비정지궤도 위성망의 하향링크가 정지궤도 위성망의 하향링크에 미치는 영향을 분석 위해서 신호 대 간섭 및 잡음비(C/(N+I))와 하향링크 누적 간섭량(*epfd* : *equivalent power flux density*:[dB(W/m^2)])을 계산 하였다.

하향링크상의 강우에 의한 감쇠는 ITU-R 권고서 P.530-7의 모델을 이용하였으며, 0.01%의 년시간율에 대해서 60[mm/h]의 강우 강도로 가정하였다.[5]

또한, 누적 간섭량의 계산을 위해서 다음을 이용하였다.[6]

$$epfd = 10\log_{10}\left[\sum_{i=1}^{N_s} 10^{pfd_i/10} \cdot \frac{G_r(\theta_i)}{G_{\max}}\right]$$

- N_s : 지구표면상에서 관측이 가능한 비정지궤도 위성의 수(앙각 0° 이상)
- pdf_i : 지구표면상에서 기준 대역내의 전력속밀도 생성량 [dB(W/m^2)]
- θ_i : 정지궤도 위성과 비정지궤도 위성 사이각
- $G_r(\theta_i)$: 정지궤도 위성망 지구국 수신 안테나의 θ_i 방향 이득
- $G_{\max}$: 정지궤도 위성망 지구국 수신 안테나의 최대 이득

여기서 누적 간섭량는 지구 표면상의 한 지점에서 관찰하였을 때, 비정지궤도 위성망에 포함되는 모든 위성에 의해서 발생하는 하향링크 *pfd*의 합으로 정의되며, 이것은 정지궤도 위성을 지향하는 것으로 가정할 수 있는 지구국 기준 수신 안테나의 방향성을 고려한 값이 된다.

그림 2에서 4는 각각의 위성 전환 방법을 달리 했을 경우 비정지궤도 시스템의 위성들이 정지궤도 위성망의 지구국에 미치는 간섭 정도를 누적확률밀도(CDF)로 비교한 것으로 정지궤도 지구국은 백령도, 부산, 충주 그리고 온성에 위치하는 것으로 가정하였다.

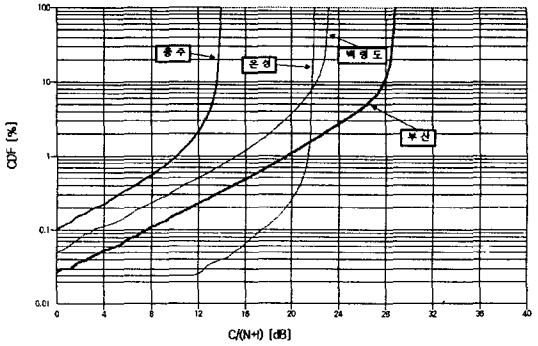

그림 2. 최고 앙각 위성 추적시 C/(N+I) (방식 ①)

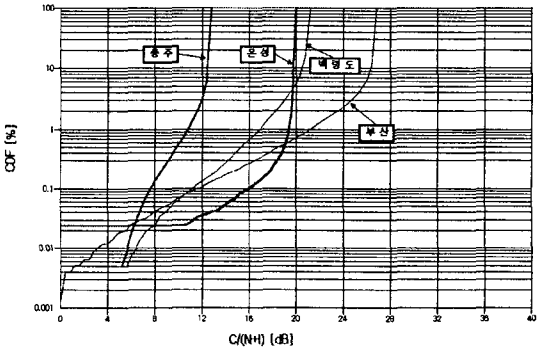

그림 3. 정지궤도 이격이 5° 이상인 최고 앙각 추적시 C/(N+I) (방식 ②)

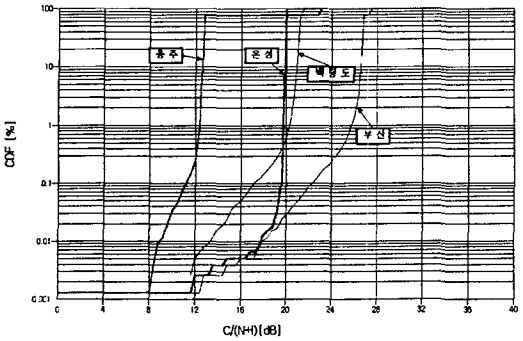

그림 4. 정지궤도 이격각이 가장 큰 위성 추적시 C/(N+I) (방식 ③)

표 3. 정지궤도 위성 링크의 단기간 성능 (0.1% 년시간율)

지구국 위치 / 위성 선정방식	충주	백령도	부산	온성
	C/(N+I) [dB]			
방식 ①	0.0	3.1	7.6	17.7
방식 ②	7.8	10.2	10.8	16.0
방식 ③	11.8	18.9	23.8	19.8

위의 결과에서 나타난 *C/(N+I)*의 단기간 성능을 표 3에서 비교하였다. 이 결과를 보면 단기간 성능은 방식 ③을 선택했을 경우가 다른 방식에 비해 월등하게 우수함을 알수가 있다.

다음의 표 4에서는 각각의 위성 전환 방식에 따른 *epfd*와 일정 시간 동안의 위성 전환 발생 횟수의 상대값을 보여 주고 있다.

표 4. 백령도에 위치한 정지궤도 지구국에서의 *epfd* 및 위성 전환 횟수

방식 / 항 목	방식 ①	방식 ②	방식 ③
epfd worst value [dB(W/m^2)]	-159.74	-166.30	-184.91
위성전환 횟수 상대값	100	117.3	268.2

위의 표 4에서 가장 worst *epfd*를 비교하였을 때 방식 ③을 선택한 경우가 방식 ①과 방식 ②를 선택한 경우에 비해서 27.17dBm과 18.61dBm 만큼 더 작은 값을 가지는 반해서 위성전환 횟수는 방식 ①과 ②에 비해서 다소 많음을 알수가 있다.

Ⅵ. 결 론

본 논문에서는 몇가지 위성의 선정 방식에 따라 비정지궤도 위성망의 하향링크가 정지궤도 위성망에 미치는 간섭 특성 및 위성전환을 정량적으로 분석하였다. 그 결과 정지궤도 위성망에 미치는 영향을 C/(N+I)와 *epfd*를 비교하였을 때, 정지궤도와의 이격각이 가장 큰 위성을 추적하는 것이 가장 우수한 것을 알수 있다. 이것은 두 링크가 이루는 각이 클수록 다른 링크로 미치는 부엽(side-lobe)의 영향이 작아지는데 기인한다. 그리고 위성 선정 방식에 따라서 위성 전환 횟수가 상대적으로 증가함을 알수 있었으나 이는 비정지궤도 단일 위성의 안테나 빔간 전환 횟수를 고려할 경우 어느 정도 무시할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구 결과는 정지 궤도 위성망과 비정지궤도 위성망간의 간섭 조정에 직접 활용할 수 있을 것이며 한정된 궤도 및 주파수 자원의 효율적인 이용에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. International Radio consultantive Committe "Handbook of Satellite Communication ", 1988
2. "Maximum Permissible levels of Interference in a Satellite Network(GSO/FSS; Non-GSO/FSS; Non-GSO/MSS feeder links) for a Hyperthetical Reference Digital Path in the FSS caused by Other Codirectional Networks Below 30GHz", Recommendaton ITU-R S.1323, 1997
3. 황보한, 장상구, "무궁화 1,2,3호 위성의 개요 및 활용계획", 한국통신학회지 제14권 제7호, 1999년
4. Chairman of ITU-R WP4A,"Chairman's Report from Meeting of Working Party 4A", 1999
5. "Propagation Data and Prediction Methods Required For the Design of Terrestrial Line of Sight System", Recommendation ITU-R P.530-7, 1997
6. "Use of non-geostationary systems in the fixed-satellite service in certain frequency band", ITU-R Resolution 130, 1997