

12GHz 대역에서 HEO 위성시스템과 GSO 위성망간의 주파수 공유 방법 연구

임상희^{*}, 성향숙
전파연구소
shlim@rrl.go.kr, seong@rrl.go.kr

A Study on the Frequency Sharing between HEO FSS System and GSO FSS Network in the 12GHz Band

Sang-Hee LIM, HyangSuk SEONG
Radio Research Laboratory, MIC

Abstract

Owing to the insufficient satellite resources such as frequency and orbit, the interest in the sharing of these resources has been increasing. ITU-R has been studying on the power limitation, the interference mitigation techniques etc. in order to facilitate the frequency sharing between different systems. Therefore, we studied on the interference mitigation techniques between HEO FSS system and GSO FSS network. We performed the simulation using four mitigation techniques and, based on the results of simulation, evaluated these techniques.

Key words : frequency sharing, interference mitigation technique,
highly elliptical orbit(HEO) satellite system,
geostationary orbit(GSO) satellite system

I. 서 론

위성 자원의 한정성으로 인하여 위성 궤도 및 주파수를 보다 효율적으로 이용하는데 많은 관심이 집중되어 왔다. 위성 자원의 경우 그 궤도를 이격시키거나 주파수를 달리하는 것으로는 그 수요를 충족할 수 없으므로 같은 주파수를 동시에 여러 시스템에서 사용하기 위한 방법들에 대한 논의가 국제적으로 계속되고 있다. ITU 전파규칙(RR) 22조에서는 정지궤도(GSO)를 이용하는 위성시스템과 비정지궤도(non-GSO)를 이용하는 위성시스템간의 주파수 공유

를 위하여 non-GSO 위성시스템의 출력을 강제적으로 제한하고 있다. 하지만 이러한 출력 제한만으로는 서로 다른 시스템이 주파수를 공유하는데 한계가 있으며, 만약 두 시스템간에 간섭을 완화시킬 수 있는 어떠한 기술들이 적용된다면 보다 효과적인 주파수 공유가 가능해질 것이다. ITU-R에서는 위성 시스템의 출력 제한과 더불어 주파수를 공유하는 시스템간에 적용할 수 있는 간섭완화기술에 대한 연구를 계속 수행하고 있다.

고타원형궤도(HEO)는 궤도 특성 측면에서는 LEO/MEO와 함께 non-GSO의 범주에 포함되고 시

시스템 운용 특성 측면에서는 LEO/MEO 위성시스템과 GSO 위성시스템의 복합적인 특성을 가지며 LEO/MEO 위성시스템에 비해 GSO 위성시스템과의 주파수 공유 가능성이 향상되므로 이 궤도의 이용에 대한 관심이 증가하고 있다.

본 연구에서는 HEO를 이용하는 위성시스템과 GSO를 이용하는 위성공간에 간섭을 완화시킬 수 있는 몇가지 기술을 적용하여 간섭량을 계산하고 간섭완화효과를 비교함으로써 두 시스템이 효과적으로 주파수를 공유할 수 있는 방법을 제시하고자 하였다.

II. 고정위성시스템(FSS)간에 적용될 수 있는 간섭완화기술

서론에서 언급한 것처럼 ITU-R은 주파수를 공유하는 시스템들간에 적용할 수 있는 간섭완화기술에 대한 연구를 지속적으로 수행하고 이에 대해서 권고하고 있다. non-GSO FSS 시스템에 적용할 수 있는 간섭완화기술은 권고 ITU-R S.1431과 S.1595에 포함되어 있다. S.1431은 10~30GHz대역에서 이동위성시스템의 피더링크를 제외한 non-GSO FSS 시스템들간에 적용될 수 있는 간섭완화기술들을 간단히 소개하고 있으며, S.1595에서는 HEO를 이용하는 FSS 시스템과 LEO/MEO FSS 시스템간에 적용할 수 있는 간섭완화기술들과 이들 기술에 대한 기술적인 평가를 하고 있다. 이들 권고에서 소개하고 있는 간섭완화기술들은 다음과 같다.

- o 위성 다이버시티 (satellite diversity)
- o 위성선택 (satellite selection strategies)
- o 지구국 다이버시티 (earth station site diversity)
- o HEO 원지점 회피 (HEO apogee avoidance)
- o 지구국 및 위성 안테나 부엽 특성 (earth station and satellite antenna side lobe)
- o 주파수 채널화 (frequency channelization)
- o 링크 밸런싱 (link balancing)
- o 편파 분리 (alternate polarization)

III. HEO FSS(↓)로부터 GSO FSS(↓)로의 간섭완화량 계산

두 시스템간에 간섭완화기술 적용시 그 효과를 분석하기 위하여, 어떠한 간섭완화기술도 적용하지 않고 HEO 위성으로부터 GSO 지구국으로의 간섭량($\Delta T/T$)을 계산하고 몇가지 간섭완화기술을 적용하였을 경우의 $\Delta T/T$ 를 계산하여 그 수치를 비교함으로써 간섭완화 효과를 분석하였다.

간섭분석에 필요한 HEO 지구국, GSO 지구국 및 GSO 위성의 위치는 다음과 같이 선정하였다. HEO 지구국 및 GSO 지구국의 위도를 N30에 고정시키고 경도를 E111.95에서 1°씩 증가시키고 GSO 위성의 경도도 E111.95에서 1°씩 증가시켜가면서 $\Delta T/T$ 를 계산하여 9개의 위치를 선정하였다.

먼저, 9개의 위치에서 HEO 위성시스템과 GSO 위성시스템간에 어떠한 간섭완화기술도 적용하지 않은 경우에 HEO 위성으로부터 GSO 지구국으로의 간섭량을 계산한 후, GSO 지구국의 안테나 패턴 변화, 편파 분리 및 GSO arc 회피 방법을 적용하여 간섭량을 계산하고 간섭완화효과를 비교하였다. 또한 이들 방법을 몇가지 동시에 적용하였을 경우의 간섭완화효과도 분석하였다. GSO arc 회피는 HEO 위성의 active arc를 변화시켜서 GSO arc 회피각을 30°에서 5°씩 증가시켰다. 한 예로, HEO 위성을 위도 30° 이상에서 active 상태가 되게 함으로써 30°의 GSO arc 회피 효과가 나타나도록 하였다. HEO 지구국과 GSO 지구국간 지리적 이격은, HEO 지구국을 중심으로 하여 GSO 지구국을 방위각 30° 간격으로 12개를 원형으로 위치시키고 그 반경을 점점 증가시켜가면서 $\Delta T/T$ 를 계산하였다.

시뮬레이션은 상용프로그램인 Visualyse를 이용하여 수행하였으며, 시뮬레이션에 이용된 시스템 특성 및 간섭평가기준은 다음과 같다.

o HEO 위성의 특성

- 시스템 타입 : USAKU-H2
- active 위성수 : 9 (북반구 : 6, 남반구 : 3)
- 동일 궤적을 가지는 위성수 : 5 (active : 3)
- 궤적 간격 : 60°(북반구), 120°(남반구)
- 궤도 경사각 : 63.435°
- 궤도 주기 : 8시간
- 원지점 고도 : 27288.3km
- 근지점 고도 : 517.4km
- 이심율 : 0.66
- e.i.r.p. : 35 dBW/MHz
- 안테나 방사패턴 : S.672-3
- 위성 트래킹 방법 : 지구국은 가시 HEO 위성 중 가장 고양각을 형성하는 위성 선택

o GSO 지구국의 특성

- 안테나 직경 : 0.6m
- 안테나 방사패턴 : ITU-R 권고 S.1428, BO.1213, RR AP8
- 안테나 최고 이득 : 35.8dBi (S.1428), 36.2dBi(BO.1213), 35.8dBi(AP8)
- 잡음온도 : 110K

o 시뮬레이션 시간 : 8시간, $\Delta t=20$ 초

o 간섭평가기준 : 전세계적으로 9개의 HEO 위성시스템이 존재하는 경우를 가정하여 위성시스템당 $\Delta T/T=6\%/9 \approx 0.67\%$

그림 1은 GSO 지구국에 사용된 3개의 안테나 방사 패턴 즉, ITU RR의 Appendix 8, ITU-R 권고 S.1428, BO.1213을 비교한 것이다. S.1428과 BO.1213은 주엽 특성은 비슷하나, S.1428이 보다 개선된 부엽 특성을 가지며, Appendix 8은 전체적으로 S.1428과 BO.1213에 비해서 부엽 특성이 좋지 않으나 후엽 특성은 BO.1213에 비해서 좋은 것을 볼 수 있다. S.1428과 BO.1213은 off axis angle이 커짐에 따라서 안테나 이득이 감소하다가 다시 증가하는 것을 볼 수 있다.

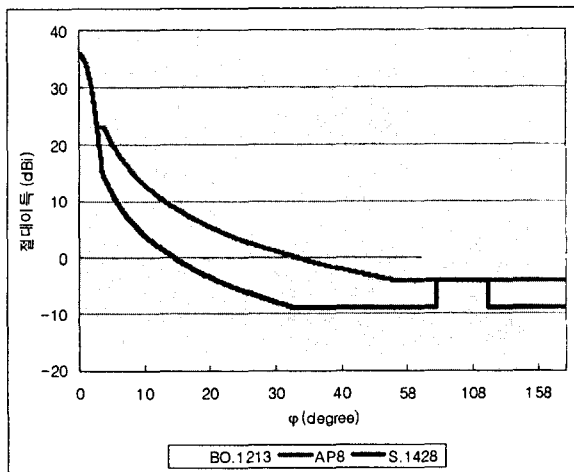


그림 1. GSO 지구국에 사용된 안테나 방사 패턴 (12.7GHz, 안테나크기: 0.6m)

그림 2는 HEO 지구국과 GSO 지구국의 위치를 고정시키고(N30, E111.95) GSO 위성의 위치를 변화시켜서 $\Delta T/T$ 를 계산한 결과로서, GSO 위성의 위치는 E111.95에서 E170.95까지 1°씩 증가시켰다. HEO와 GSO 위성시스템간에 어떠한 간섭완화기술도 적용하지 않고 GSO 지구국이 안테나 패턴 S.1428을 사용할 경우, GSO 지구국이 HEO 위성으로부터 받게 되는 간섭은 GSO 위성의 경도가 E111.95~E114.95일 경우에 $\Delta T/T$ 가 159%~51%로 매우 높게 나타난다. 이는 HEO 위성으로부터의 간섭이 GSO 지구국의 주빔 방향으로 유입되기 때문이다. GSO 위성의 경도가 E115.95 이후부터는 $\Delta T/T$ 가 급격히 감소하는데, 이는 HEO 위성으로부터의 간섭이 GSO 지구국의 부엽

으로 유입되기 때문이다. 하지만 GSO 위성의 경도가 E158.95 이후부터는 $\Delta T/T$ 가 다시 증가하게 되는데 이것은 S.1428의 경우 off axis angle 80°~120°에서 안테나 이득이 증가하기 때문이다(그림 1 참조). GSO 지구국의 안테나 패턴이 S.1428일 경우, HEO와 GSO 위성시스템간에 30°의 GSO arc 회피 방법이 적용되었을 경우를 보면, 간섭완화기술이 적용되지 않은 경우에 비해서 $\Delta T/T$ 가 감소하는 것을 볼 수 있다. 특히, GSO 위성의 경도가 E111.95~E114.95인 경우에 $\Delta T/T$ 가 급격히 감소하는데, 이것은 30°의 GSO arc 회피로 인해서 GSO 지구국의 주빔 방향으로 간섭이 유입되지 않기 때문이다. HEO와 GSO 위성시스템간에 30° GSO arc 회피가 적용되었을 경우, GSO 지구국의 안테나 패턴 변화에 따른 $\Delta T/T$ 를 비교해보면, S.1428, AP8, BO.1213 순으로 간섭량이 커지는 것을 볼 수 있다. 30°의 GSO arc 회피가 적용되면, GSO 지구국은 HEO 위성으로부터 적어도 off axis angle 34° 이상에서 간섭이 유입되게 되므로, 실질적으로 off axis angle 34° 이상에서의 안테나 특성이 GSO 지구국의 $\Delta T/T$ 에 영향을 주게 된다. S.1428은 3개의 안테나 패턴 중 주엽 및 부엽 모두에서 가장 좋은 안테나 특성을 보이므로 $\Delta T/T$ 도 가장 작은 것을 볼 수 있다. BO.1213과 AP8의 경우, BO.1213이 AP8에 비해서 전체적으로 더 나은 부엽 특성을 보이지만 off axis angle 70° 이상에서는 AP8이 더 나은 안테나 특성을 나타낸다. 본 연구에서 $\Delta T/T$ 는 8시간 시뮬레이션 후 평균치를 구하였기 때문에, GSO 지구국이 BO.1213을 사용하였을 때보다 AP8을 사용하였을 때 $\Delta T/T$ 가 더 작게 나타나게 되는 것이다. BO.1213의 경우, GSO 경도가 커짐에 따라서 $\Delta T/T$ 가 증

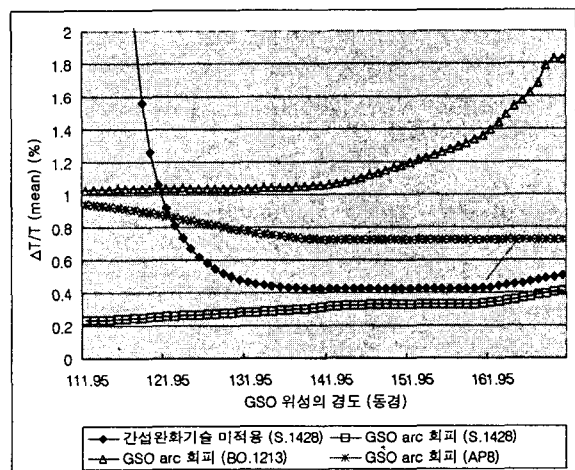


그림 2. GSO 위성의 경도 변화에 따른 $\Delta T/T$ (HEO 및 GSO 지구국의 위치 : N30, E111.95 GSO arc 회피각 : 30°)

가하게 되는 것은 이는 이미 언급한 것처럼 BO.1213이 off axis angle 70° 이상에서 안테나 이득이 커지기 때문이다.

표 1은 선정된 9개 위치에서 간섭완화방법을 적용하지 않은 경우와 간섭완화방법으로서 GSO 지구국의 안테나 패턴 변화, 편파 분리, 30°의 GSO arc 회피를 적용한 경우에 $\Delta T/T$ 를 계산한 결과이다. HEO와 GSO 시스템간에 편파 분리 기술을 적용하였을 경우, 전체적으로 $\Delta T/T$ 가 크게 감소함을 볼 수 있다. 편파 분리에 의한 $\Delta T/T$ 감소 효과는 두 서비스 지역의 지리적 이격이 클수록 감소하기 때문에 두 서비스 지역이 근접한 경우에만 유용하고, 직교하는 두 편파만을 사용할 수 있다는 점에서 시스템당 주파수 이용효율은 감소하게 된다. 표 1에서 편파 분리에 의한 $\Delta T/T$ 의 감소 효과가 적은 것은 편파 분리에 의한 간섭완화 효과를 ITU-R에서 지리적 이격과 관계없이 6dB로 정한 것을 적용하였기 때문이다. 30° GSO arc 회피에 의해서 S.1428은 간섭 기준을 만족

하지만 BO.1213과 AP8은 모두 간섭기준을 초과하는 것을 볼 수 있다. 이는 이미 언급한 것처럼 S.1428의 부엽 특성이 BO.1213과 AP8보다 좋기 때문이다.

GSO 지구국이 BO.1213이나 AP8 안테나를 사용하면, GSO와 HEO 시스템간의 30° GSO arc 회피만으로는 두 시스템의 주파수 공유가 불가능하다. 따라서 이 경우에는 추가적으로 다른 간섭완화기술이 적용되어야 할 것이다. 표 2와 3은 BO.1213과 AP8의 경우에 30° GSO arc 회피 이외에 추가적으로 편파분리와 지구국 분리 방법을 적용하여 $\Delta T/T$ 를 계산한 결과이다. 편파 분리를 추가적으로 적용하였을 경우에는 BO.1213과 AP8 모두 간섭 기준을 만족하는 것을 볼 수 있다. 하지만 지구국 분리의 경우에는, AP8 안테나는 HEO 지구국과 GSO 지구국이 최대 260km 정도 이격되어야 간섭기준을 만족하며, BO.1213의 경우에는 300km를 이격시켜도 간섭 기준을 만족하지 못하는 것을 볼 수 있다. 따라서 지구국간의 지리적 이격은 HEO 위성시스템과 GSO 위성망간의 주파수 공유를 위한 효과적인 방법이 아니라고 사료된다.

표 1. 간섭완화기술의 적용으로 인한 $\Delta T/T$ 의 변화
(간섭기준을 초과하는 부분은 음영 표시)

$\Delta T/T$ (%)	HEO 및 GSO 지구국 위치	N30, E111.95			N30, E121.95			N30, E131.95		
	GSO 위성 위치	E111.95	E147.95	E170.95	E111.95	E121.95	E180.95	E111.95	E145.95	E190.95
간섭완화기술 미적용	S.1428	158.62	0.42	0.51	1.25	0.46	0.97	0.34	0.24	0.68
	BO.1213	174.44	1.32	2.59	1.93	1.24	2.60	1.01	1.02	1.87
	AP8	174.12	1.17	1.11	8.78	2.75	1.03	1.49	0.74	0.74
편파 분리 (HEO : LHCP, GSO : RHCP)	S.1428	39.66	0.11	0.13	0.31	0.11	0.24	0.09	0.06	0.17
	BO.1213	43.61	0.33	0.65	0.48	0.31	0.65	0.25	0.25	0.47
	AP8	43.53	0.29	0.28	2.20	0.69	0.26	0.37	0.18	0.18
GSO arc 회피 (30°)	S.1428	0.23	0.33	0.41	0.35	0.26	0.67	0.37	0.24	0.59
	BO.1213	1.03	1.13	1.83	1.24	1.27	1.91	1.30	1.13	1.76
	AP8	0.94	0.72	0.72	1.00	0.91	0.80	0.90	0.76	0.76

표 2. GSO arc 회피와 편파 분리 기술의 동시 적용으로 인한 $\Delta T/T$ 의 변화
(간섭기준을 초과하는 부분은 음영 표시)

$\Delta T/T$ (%)	HEO 및 GSO 지구국 위치	N30, E111.95			N30, E121.95			N30, E131.95		
	GSO 위성 위치	E111.95	E147.95	E170.95	E111.95	E121.95	E180.95	E111.95	E145.95	E190.95
GSO arc 회피 (30°)	S.1428	0.23	0.33	0.41	0.35	0.26	0.67	0.37	0.24	0.59
	BO.1213	1.03	1.13	1.83	1.24	1.27	1.91	1.30	1.13	1.76
	AP8	0.94	0.72	0.72	1.00	0.91	0.80	0.90	0.76	0.76
GSO arc 회피(30°) + 편파분리	BO.1213	0.26	0.28	0.46	0.31	0.32	0.48	0.33	0.28	0.44
	AP8	0.23	0.18	0.00	0.25	0.23	0.20	0.23	0.19	0.19

표 3. GSO arc 회피와 지구국 분리의 동시 적용으로 인한 ΔT/T의 변화

(HEO 지구국의 위치 : N30, E111.95
간섭기준을 초과하는 부분은 음영 표시)

ΔT/T (%)	GSO 위성 위치			
	안테나패턴	E112.95	E147.95	E170.95
GSO arc 회피 (30°)	BO.1213	1.03	1.13	1.83
	AP8	0.94	0.72	0.72
GSO arc 회피 (30°) + 지구국분리	BO.1213	0.79	0.87	1.23
		300km *	300km *	300km *
		N32.70 **	N32.70 **	N32.70 **
	AP8	E111.95	E111.95	E111.95
		0.65	0.66	0.66
		260km *	135km *	135km *
	N32.34 **	N31.21 **	N31.21 **	
	E111.95	E111.95	E111.95	

* : HEO 지구국과 GSO 지구국간 지리적 이격 거리
** : GSO 지구국의 위치

표 4는 GSO arc 회피각을 변화시켜가면서 GSO 지구국에서의 ΔT/T를 계산한 결과로, GSO 지구국의 안테나 패턴은 S.1428을 사용하였다. HEO 지구국과 GSO 지구국의 위치는 HEO 위성이 active 상태가 시작되는 위도와 그 위도에서 HEO 위성의 궤적이 만나는 경도로 설정하였다. HEO 지구국과 GSO 지구국의 위치를 이렇게 설정한 이유는 이 위치에서 GSO 지구국이 HEO 위성으로부터 가장 큰 간섭을 받을 수 있기 때문이다. GSO arc 회피각이 커질수록 즉, HEO 위성의 active arc의 시작 위도가 커질수록 ΔT/T가 점점 감소하는 것은 GSO 지구국에서 HEO 위성으로부터의 간섭이 유입되는 off axis angle이 증가하고 또한 HEO 위성의 고도가 높아져 거리손실이 증가하기 때문이다.

표 4. GSO arc 회피각의 변화에 따른 ΔT/T의 변화
(GSO 지구국의 안테나 패턴 : ITU-R 권고 S.1428)

GSO arc 회피각	HEO 지구국과 GSO 지구국의 위치	GSO 위성의 위치	ΔT/T (%)
30°	N30, E111.95	E111.95	0.233
35°	N35, E113.33	E113.33	0.216
40°	N40, E114.83	E114.83	0.203
45°	N45, E116.50	E116.50	0.202
50°	N50, E118.50	E118.50	0.171
55°	N55, E121.38	E121.38	0.131

IV. 결 론

USAKU-H2형 HEO 위성시스템과 GSO 위성망간에 GSO arc 회피, 지구국 안테나 패턴 개선, 편파 분리, 지구국간 지리적 이격 등의 간섭완화기술을 적용하여 실제 간섭완화 효과를 분석한 결과 GSO arc 회피에 의한 간섭완화 효과가 가장 뛰어났다. GSO arc 회피 기술은 GSO 지구국의 주엽 방향으로의 간섭을 크게 감소시키지만 후엽 방향으로의 간섭완화효과는 적으므로, GSO 지구국의 주엽 방향으로의 간섭 완화에 좋은 기술로 사료된다. 편파 분리에 의한 주파수 공유는 두 시스템의 서비스 지역이 지리적으로 근접한 경우에는 가능하지만 두 시스템이 직교하는 편파만을 사용할 수 있으므로 실질적으로 시스템당 주파수 이용효율은 감소하게 된다. 반면에 GSO 지구국 안테나 패턴의 부엽 특성 개선은 두 시스템이 주파수를 공유할 수 있는 좋은 방법이 될 수 있다. BO.1213이나 AP8보다는 부엽 특성이 개선된 S.1428 패턴을 사용할 경우 부엽 방향으로의 간섭량이 크게 감소함을 확인할 수 있었다. GSO 지구국과 HEO 지구국의 지리적 이격은 수백 km 정도의 이격을 통해서 ΔT/T가 간섭 기준을 만족하기 때문에 이는 현실적으로 두 시스템의 주파수 공유에 큰 잇점이 없다고 사료된다.

본 연구는 주파수 대역, 안테나 크기에 따른 분석이 수행되지 않았기 때문에 이에 대한 연구가 더 필요하며, GSO 지구국의 수신 안테나 패턴 변화시 GSO arc 회피각의 변화에 의한 간섭완화효과에 대한 연구도 더 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] Rec. ITU-R S. 1431, ITU, 2000.
- [2] Rec. ITU-R S. 1595, ITU, 2002.
- [3] Rec. ITU-R S. 1328-2/4, ITU, 2000/2002.
- [4] Rec. ITU-R S. 1428-1, ITU, 2001.
- [5] Rec. ITU-R BO. 1213, ITU, 1995.
- [6] ITU RR vol. II, AP8, ITU, 2000.