

4GHz 및 11GHz 대역에서 HEO FSS의 전력속밀도에 관한 연구

정희원 임상희*, 성향숙**

Study on the Power Flux-Densities for HEO FSS in the 4 GHz and 11 GHz bands

Sang-Hee Lim*, Hyang-Suk Seong** *Regular Members*

요 약

위성망 이용의 증가로 정지궤도의 이용밀도가 높아짐에 따라 비정지궤도로서 고타원궤도에 대한 관심이 증가되고 있다. 현재 ITU-R에서는, 고타원궤도를 이용하는 고정통신위성시스템과 지상고정통신시스템이 주파수를 공유하는 4GHz 및 11GHz 대역에서 지상고정통신시스템을 효과적으로 보호하면서 고타원궤도 위성시스템을 원활하게 운용할 수 있는 고타원궤도 위성의 전력속밀도 제한에 관한 연구가 수행되고 있다. 본 연구는 현재 ITU-R에서 논의되고 있는 고타원궤도 위성시스템의 전력속밀도 마스크들에 대해서 실제 지상고정통신시스템으로의 간섭량을 계산하여 우리나라가 위치하는 중위도 지역에서 지상고정통신시스템을 효과적으로 보호할 수 있는 전력속밀도 마스크를 제안하고자 하였다.

Key Words : highly elliptical orbit satellite system, fixed-satellite service, fixed service, power flux-density, fractional degradation in performance

ABSTRACT

The interests of HEO is growing due to the congestion of GSO. ITU-R is studying about the pfd for HEO FSS in the 4GHz and 11GHz bands that will adequately protect the FS and, at the same time, will better reflect HEO FSS satellite requirements. We simulated and analysed the interference effects from the USAKU-H2 type of HEO FSS system into the FS receive station in these bands. Based on our analysis, we evaluated if the pfd masks proposed in ITU-R provided the appropriate protection to the FS located at near latitude 40°N.

1. 서론

정지궤도(GSO)의 이용밀도가 높아짐에 따라 비정지궤도(non-GSO)를 이용하는 위성서비스 특히, 고타원궤도(HEO)¹⁾의 이용에 대한 관심이 증가되고 있다. 현재 ITU 전파규칙(RR) 표 21-4에서는 GSO와 non-GSO를 이용하는 위성시스템과 고정통신(FS)시스템이 같은 주파수를 사용할 경우 FS 시스템을 적절하게 보호하면서 위성시스템이 운용될

수 있도록 위성시스템의 출력을 지구 표면에서의 전력속밀도(pfd)²⁾로 규제하고 있다. 그러나 RR 표 21-4에서 규정하고 있는 non-GSO에 대한 pfd 제한값들은 LEO와 MEO의 운용 특성만을 고려하여 개발된 것이다. HEO는 non-GSO의 범주에 포함되기는 하지만, LEO나 MEO와는 다른 시스템 운용 특성을 갖기 때문에 현 RR에 규정되어 있는 non-GSO 위성시스템에 대한 pfd 제한값들을 HEO를 이용하는 위성시스템에 그대로 적용할 수 있을지에 대해서는 현재 ITU-R에서 연구가 진행 중에

* 전파연구소(shlim@rri.go.kr), ** 전파연구소(seong@rri.go.kr)
논문번호 : 030264 - 0624, 접수일자 : 2003년 6월 24일

있다.

본 연구는 현재 ITU-R에서 논의되고 있는 마스크들을 이용하여 4GHz와 11GHz 대역에서 HEO FSS 시스템으로부터 FS 시스템으로의 간섭량을 계산하였으며, 그 결과를 토대로 FS 시스템을 적절하게 보호할 수 있는 HEO FSS 시스템의 pfd 마스크를 선정하고자 하였다. 모든 위도에서 FS를 보호하기 위해서는 pfd 마스크가 다소 강하게 제한되어야 하고 이러한 pfd의 강화는 HEO 운용에 다소 어려움을 줄 수 있으므로, 본 연구에서는 우리나라가 위치하는 중위도 지역을 기준으로 하여 pfd 마스크의 적절성 여부를 평가하였다.

II. HEO 위성시스템의 운용 및 간섭 특성

1. HEO 위성시스템의 운용 특성

HEO 위성시스템은 양각, 서비스 영역의 크기, active arc의 크기 및 수 등에 따라 다양한 시스템의 설계와 운용이 가능한데, 공통적인 운용 특성을 간략히 정리하면 다음과 같다.¹⁾

HEO 위성시스템에서 각 위성은, active arcs, operational windows, high-latitude stationary arcs 등으로 불리는, 궤도의 특정 부분에서만 운용되며, active arc의 크기는 시스템 설계에 따라 달라진다. 연속적인 서비스가 제공되기 위해서는 모든 순간에 각 active arc 내에 적어도 하나 이상의 위성이 존재하여야 하는데, 같은 active arc 내에 있는 위성들

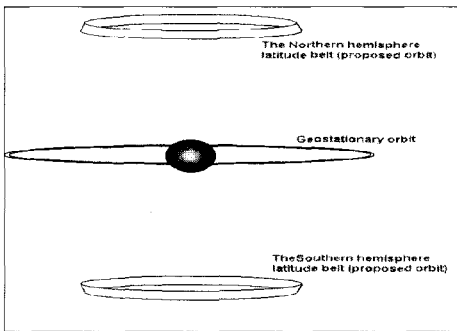


그림 1. 정지 궤도와 HEO 위성시스템에 의한 궤도 belt
Figure 1. Geostationary orbit and Highly elliptical orbit belt

은 수시간 정도의 핸드오버 간격을 가지며 연속 서비스를 가능하게 한다. HEO 위성은 지구표면에서 반복되는 궤적을 가지며, active arc의 크기와 안테나의 지향성에 따라서 지구국 안테나의 조향성이 달라진다.

active arc 내의 HEO 위성과 적도 근처의 지구국은 지양각, 중·고위도의 지구국은 교양각이 형성되는데, 중·고위도 지역에서 HEO 위성시스템은 하나의 정지궤도 위성으로 서비스할 수 있는 지역보다 동서로 더 넓은 지역을 서비스할 수 있다. 또한, 정지궤도위성과 이격시켜서 설계할 수 있으므로, active arc 내의 HEO 위성과 정지궤도 위성간의 공유 가능성이 향상될 수 있다.

그림 1과 그림 2는 active arc에 의한 궤도 belt와 HEO 궤적의 한 예를 나타낸 것으로, 그림 2의 굵은 선 부분은 active arc에서의 궤적이다.

2. 궤도형태별 위성시스템의 간섭 특성

FS시스템이 위성시스템으로부터 받게 되는 간섭의 특성은 위성시스템의 궤도 형태에 따라서 달라지는데, 이것은 궤도형태에 따라 위성시스템의 운용 방법이 달라지기 때문이다. 각 궤도형태별 위성시스템으로부터 FS시스템이 받게 되는 간섭의 특성을 요약하면 다음과 같다.¹⁾

1) GSO 위성망으로부터 FS 시스템으로의 간섭
GSO arc의 위성에 의한 간섭은 순간적이 아닌 영구적인 특성을 갖는다. 즉, FS 링크가 GSO arc를 향할 경우에 FS 링크는 높은 레벨의 영구적인 간섭을 받게 된다. 하지만 GSO arc는 정해져있기 때문에

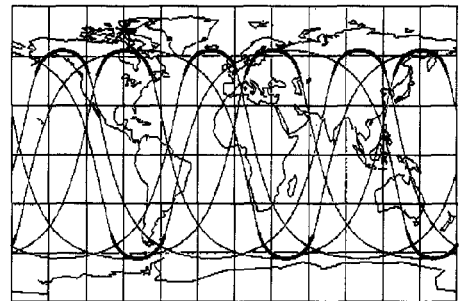


그림 2. HEO 궤적의 예 (굵은선 : active arc에서의 궤적)
USAKU-H2형 HEO시스템, 주기 : 7시간 50분
Figure 2. Sub-satellite ground tracks of the USAKU-H2 system (bold lines : active service arcs, period : 7hrs 50mins)

1) HEO : highly elliptical orbit
2) pfd : power flux-density

이러한 간섭을 받을 수 있는 FS 수신기의 방위각과 양각의 쌍이 지리적으로 정해지므로, 필요하다면 이러한 방위각과 양각을 피하여 FS 링크를 설계함으로써 FS 링크가 받을 수 있는 간섭을 완화시킬 수 있다.

2) non-GSO 위성시스템으로부터 FS 시스템으로의 간섭

FS는 그 안테나의 주엽으로 non-GSO 빔이 들어올 경우에 높은 레벨의 간섭을 받게 되는데, 이렇게 FS가 높은 레벨의 간섭을 받을 수 있는 FS의 방위각과 양각의 쌍은 GSO의 경우에 비해서 훨씬 더 많게 된다. 하지만, 이러한 높은 레벨의 간섭이 발생할 확률은 영구적이지 않고 시간에 따라 변한다.

3) HEO 위성시스템으로부터 FS 시스템으로의 간섭

active arc 내의 HEO 위성에 의해 발생하는 간섭은 준영구적이고, HEO 위성들은 어떤 시간 동안 FS 안테나의 주엽에 반복적으로 나타나게 된다. FS가 높은 레벨의 간섭을 받을 수 있는 방위각과 양각의 쌍은 GSO의 경우와는 달리 하나의 arc에 제한되지 않고 비교적 넓은 벨트 형태에서 발생할 수 있는데, FS 수신기가 이들 벨트들을 피하는 것은 쉬운 일이 아니다. 이러한 상황에서 경사각이 매우 큰 HEO 위성시스템은, 저위도 지역에서 거의 남북 방향으로 형성되는 FS 링크에 치명적인 간섭을 줄 수 있다.

III. HEO FSS와 FS간 주파수 공유

1. ITU-R 연구 동향

ITU-R은 1990년대 후반부터 4GHz와 11GHz 대역에서 HEO FSS 시스템의 pfd 마스크에 대한 연구를 수행하고 있으며, 18GHz대역에 대한 연구는 최근 시작하였다. 대부분의 국가들은 HEO가 궤도 특성 측면에서는 non-GSO의 하나로 간주되지만 운용 특성 측면에서는 LEO나 MEO와는 다른 특성을 가지므로 HEO는 non-GSO에 적용되는 pfd 마스크와는 다른 별도의 마스크 즉, RR 21조 표21-4의 pfd 마스크보다 더 강하게 규제된 마스크가 적용되어야 한다는 입장이다. 하지만, 일부 국가들은 RR 표21-4에서 LEO 및 MEO에 적용되는 pfd 마스크가 HEO FSS 시스템으로부터 FS시스템을 보호하는데 충분하며, 이보다 더 강한 기준을 적용하는 것은

HEO FSS시스템의 운용에 너무 많은 제약을 가하는 것이라고 주장하고 있다. 현재 논의되고 있는 HEO FSS의 pfd 마스크들을 표 1과 2에 정리하였다. 마스크 A와 B는 기준 FDP (10log(FDP)=-10dB)³⁾를 초과하는 FS 링크의 비율(allowance, 이하 "FS의 허용률"이라고 한다)을 10%로, 마스크 C, D, E, F, G는 ~0%로 하여 제안된 것이다.

HEO 위성시스템에서 active 위성의 수, FS의 허용률 등은 pfd 마스크를 정하는 데 있어서 중요한 변수이지만, 이들 파라미터에 대한 각국의 입장이 상이하여 합의가 이루어지지 못하고 있다. 따라서 HEO 시스템의 특성과 각 위도에서 가지 active 위성수, FS의 주엽과 HEO 위성의 active arc가 최대 간섭이 발생되도록 정렬될 확률, FS 링크가 HEO 위성으로부터 간섭평가기준(10log(FDP)=-10dB)을 초과하는 간섭을 받을 경우 그 허용률 등에 대한 연구가 더 수행되어야 할 것이다.

표 1. 4GHz 대역에서 HEO FSS의 pfd 마스크
Table 1. pfd masks considered in the 4GHz band

	pfd (dB(W/m ²)/1MHz)		
	0° ≤ θ < 5°	5° ≤ θ < 25°	25° ≤ θ < 90°
마스크 A	-136	-136+0.5(θ - 5)	-126
마스크 B	-142	-142+0.9(θ - 5)	-124
마스크 C	-147	-147+1.15(θ - 5)	-124
마스크 D	-158	-158+1.65(θ - 5)	-125

표 2. 11GHz 대역에서 HEO FSS의 pfd 마스크
Table 2. pfd masks considered in the 11GHz band

	pfd (dB(W/m ²)/1MHz)		
	0° ≤ θ < 5°	5° ≤ θ < 25°	25° ≤ θ < 90°
RR 표21-4 (10.7-11.7GHz)	-126	-126+0.5(θ - 5)	-116
RR 표21-4 (11.7-12.7GHz)	-124	-124+0.5(θ - 5)	-114
마스크 E (10.7-12.7GHz)	-147	-147+1.75(θ - 5)	-112
마스크 F (10.7-12.7GHz)	-149	5° ≤ θ < 15° -149+3(θ - 5) 15° ≤ θ < 25° -119+0.3(θ - 15)	-116
마스크 G (10.7-12.7GHz)	-136	-136+(θ - 5)	-116

3) FDP : fractional degradation in performance

2. FDP

ITU-R 권고 F.1108-2와 SF.1320에 의하면, FS 시스템과 non-GSO 위성시스템이 주파수를 공유할 경우 FS 시스템이 non-GSO 위성시스템으로부터 받게 되는 간섭의 영향은 FS 시스템에서 FDP를 계산하여 평가할 수 있다.^{[2],[3]}

다이버서티를 적용하지 않는 FS 시스템에서, 동작불능시간은 페이드마진에 역으로 비례하고 페이드 마진은 총잡음(잡음+간섭)에 역으로 비례하므로 동작불능시간은 총잡음에 직접 비례하게 된다. 따라서 간섭에 의한 총잡음의 증가는 동작불능 혹은 FDP의 증가에 비례하게 된다.

$$FDP = \sum \frac{I_i}{N_T} \quad (1)$$

- f_i : i 번째 확률
- I_i : i 번째 순간에 모든 가시위성으로부터의 누적 간섭량
- N_T : 수신기 열잡음
- Σ : 전체 시뮬레이션 시간에 대한 합산

다이버서티를 이용하는 FS시스템의 경우에, 동작 불능시간은 페이드마진의 제곱에 역비례하므로 동작 불능시간 증가는 총잡음 증가의 제곱에 비례하게 된다.

$$FDP = \sum [(1 + I_i/N_T)^2 - 1]f_i \quad (2)$$

최대전력 결합 다이버서티를 이용하는 경우에는 다음과 같다.

표 3. 시뮬레이션에 이용된 시스템 파라미터
Table 3. System parameters used for the simulation

F S		H E O F S S	
주파수	3.95GHz, 11.2GHz	시스템 타입	USAKU-H2
위 도	북위 20°, 40°, 60°	active 위성수	45 (북반구 : 30, 남반구 : 15)
안테나 직경	3m	동일궤적을 갖는 위성수	5 (active : 3)
안테나 고도	0m	궤적 간격	북반구 : 12°, 남반구 : 24°
안테나 양각	0°	궤도 경사각	63.435°
안테나 방위각	1°~180° (1° 간격)	궤도 주기	8hrs
안테나 이득	3.95GHz : 39.63dBi 11.2GHz : 48.68dBi	원지점 고도	27288.3km
feeder loss	3dB	근지점 고도	517.4km
잡음온도	750K	이심률	0.66
안테나 방사패턴	Rec. ITU-R F.1245	pdf 마스크	4GHz : A, B, C, D 11GHz : RR 표 21-4, E, F, G

$$FDP = \sum f_i [(2I_i/N_T) + 3/2(I_i/N_T)^2] \quad (3)$$

IV. USAKU-H2형 HEO FSS 시스템으로부터 FS시스템으로의 간섭 영향 분석

1. 시뮬레이션

상용 프로그램인 Visualyse를 이용하여 HEO FSS 시스템과 FS 시스템간 간섭분석 모델을 구현하고 4GHz와 11GHz 대역에서 FS의 FDP를 계산하였다. 우선, 하나의 고정된 FS 위치에서, FS 안테나의 방위각을 1°에서 180°까지 1°씩 변화시켜가면서 각 방위각에서 24시간 동안 $\Delta t=20$ 초마다 모든 가시위성으로부터의 누적 간섭량을 구하고, 이렇게 모아진 누적 간섭량 데이터들을 이용하여 FDP를 계산하였다. 4GHz 대역에서 FS 시스템은 높은 스펙트럼 효율을 얻기 위해서 64-QAM과 같은 다차변조방식을 이용하여 점대점 전송을 하게 되고 이러한 시스템에서는 다중경로 페이딩을 보상하기 위해 일반적으로 다이버서티 수신 기술을 이용하게 되므로, FDP는 식 (3)을 이용하여 계산하였다. 11GHz 대역에서 FS시스템은 일반적으로 다이버서티 수신 기술을 이용하지 않으므로 FDP는 식 (1)에 의해서 계산하였다. FS의 위치를 변화시켜가면서 이 과정을 반복하였다. HEO 시스템을 구성하는 각 HEO 위성의 출력은 평가하고자 하는 pfd 마스크를 입력하여 각 위성으로부터 실제 지구표면에 떨어지는 pfd 값이 이 마스크를 만족하도록 하였다.

본 연구에서는 어떤 pfd 마스크를 따르는 HEO 위성들로 구성된 HEO FSS 시스템과 FS 시스템을 일정 시간 동안 운용시킨 후 FS가 HEO 시스템으로부터 받게 되는 간섭을 시간 평균하여 간섭 영향을 평가하였는데, 이와 같은 방법으로 간섭 분석을 할 경우에 HEO FSS 시스템의 궤도 특성이나 운용 방법 등이 간섭량의 중요 변수가 된다. 본 연구에서는 좀더 객관적인 분석을 위하여 ITU-R 내의 연구반에서 제시한 HEO FSS와 FS 모델을 참고로 하여 시뮬레이션을 수행하였다.^[4]

pfd 마스크의 적절성을 평가하는데 있어서 FS의 허용률은 상당히 중요한 요인이 되는데, 일반적으로 FS를 보호하려는 국가들은 FS의 허용률을 ~0%, HEO 위성을 운용하려고 하는 국가들은 10%로 하여 pfd 마스크를 평가 및 제한하고 있다. 본 연구는 FS 시스템의 보호에 초점을 맞추어서 FS 허용률 ~0%에 근거하여 현재 논의되고 있는 HEO의 pfd 마스크들의 적절성을 평가하였다.

2. 4GHz 대역에서의 FDP 계산 결과

표 4는 3.95GHz에서 마스크 A, B, C, D로 운용되는 HEO 위성들로 인한 FS 수신기의 FDP 계산 결과로, 기준 FDP(10log(FDP)=-10dB)를 초과하는 FS 방위각의 퍼센트와 10log(FDP)의 최대값을 FS의 위도별로 정리한 것이다. 각 방위각에서 FS 링크가 형성된다고 가정한다면, FS가 북위 40°에 위치할 경우 기준 FDP를 초과하는 FS 링크의 비율은 마스크 A에 의해서는 17.8%, 마스크 B에 의해서는 8.3%이지만, 마스크 C와 D에 의해서는 FS의 모든 링크가 기준 FDP를 만족함을 볼 수 있다. 또한 각 마스크에 의한 FDP의 최대치는 마스크 A의 경우

2.9dB, 마스크 B는 -6.1dB, 마스크 C는 -11.4dB, 마스크 D는 -17.5dB이다. 마스크 A와 B가 FS의 허용률을 10%, 마스크 C와 D가 ~0%로 하여 제안되었음을 감안하더라도, 마스크 A는 FS의 허용률 10%를 훨씬 초과하고 있으며, FDP 값도 최대 2.9dB까지 나타나는 것을 볼 수 있다. FS의 허용률을 10%로 한다면 마스크 B도 HEO의 pfd 마스크가 될 수 있을 것이다. 하지만, FDP가 전체 시간에 대한 평균임을 상기한다면 FS가 약 8%의 링크에서 기준 FDP를 초과할 수 있음을 허용해야 한다는 것은 FS 운영에 상당한 제약이 될 것이다. 마스크 D의 경우 모든 FS 링크에서 기준 FDP를 만족하지만 FDP의 최대값이 -17.5dB임을 볼 때 필요 이상으로 FS를 보호하고 있음을 알 수 있다. 마스크 C는 저위도 지역의 FS에 다소 많은 간섭을 야기시키지만 북위 40° 부근에서는 FS가 잘 보호되므로, 우리나라가 위치하는 중위도를 기준으로 판단할 경우 마스크 C가 FS를 보호하는데 적절하다고 사료된다.

그림 3은 마스크 A, B, C, D에 의한 FS의 FDP를 방위각에 대해서 나타낸 것이다. HEO 위성군 배열이 FS 수신기의 경도를 중심으로 대칭이기 때문에, FS의 방위각 181°~360°에서의 FDP 변화 그래프는 방위각 1°~180°에서의 FDP 그래프에 대해 대칭적인 특성을 보일 것이다. 4개의 마스크들에 의한 FDP 그래프를 비교해보면, 도래각에 따른 pfd와 FDP간의 일정한 변화 패턴을 발견할 수 있다. 작은 도래각에서의 pfd 값을 감소시키면 FDP의 피크가 나타나는 방위각에서 FDP 값들이 크게 감소하지만 기타 다른 방위각에서 FDP 값의 변화는 상대적으로 적은 것을 볼 수 있다. 반면, 높은 도래각에서의 pfd 값을 감소시키면 주로 FDP 피크가 나타나지

표 4. 각 마스크에 의해서 10log(FDP)=-10dB를 초과하는 FS 방위각의 퍼센트 및 10log(FDP)의 최대값
Table 4. Percentages of FS station azimuth exceeding 10log(FDP)=-10dB and maximum values of 10log(FDP) for each mask

	FS의 위도					
	20°N		40°N		60°N	
	퍼센트 (%) *	최대값 (dB) **	퍼센트 (%) *	최대값 (dB) **	퍼센트 (%) *	최대값 (dB) **
마스크 A (-136/-126)	15.6	7.48	17.8	2.87	3.3	-0.77
마스크 B (-142/-124)	11.1	2.68	8.3	-6.06	1.1	-9.55
마스크 C (-147/-124)	1.7	-2.21	0	-11.41	0	-13.68
마스크 D (-158/-125)	0	-12.02	0	-17.48	0	-17.07

* : 10log(FDP)=-10dB를 초과하는 FS 방위각의 퍼센트, ** : 10log(FDP)의 최대값

않은 방위각에서 FDP 값들이 크게 감소함을 볼 수 있다(그림 4 참조). 따라서 FDP의 피크치 조절은 작은 도래각에서의 pfd 조절로, FDP 전체 레벨의 조절은 큰 도래각에서의 pfd 조절로 가능할 것이다. 이것은 다음과 같이 이해할 수 있다. FS가 HEO 위성으로부터 받는 간섭은 HEO 위성으로부터 FS의 주엽으로 간섭이 유입되는 경우에 피크가 될 것이기 때문에, 저양각으로 운용되는 FS의 경우 HEO 위성의 낮은 도래각에서의 pfd를 제한할수록 FS가 HEO 위성으로부터 받게되는 간섭 영향이 줄어들 것이다. HEO 위성에서 큰 도래각으로 FS로 유입되는 간섭은 FS의 부엽으로 들어오게 되므로 실제 FS의 운용에 미치는 영향은 적게 된다. 따라서 HEO 위성으로부터 FS를 보호하기 위해서는 HEO 위성의 낮은 도래각에서의 pfd를 제한하는 것이 중요하다. 반면, 큰 도래각에서는 HEO 위성에 상대적으로 높은 레벨의 pfd를 허용할 수 있을 것이다. 이는 일반적으로 고양각으로 운용되는 HEO의 운용 요구 사항에 적합한 것이다.

3. 11GHz 대역에서의 FDP 계산 결과

표 5는 11.2GHz에서 RR 표 21-4의 마스크와 마스크 E, F, G로 운용되는 HEO 위성들로 인한 FS 수신기의 FDP 계산결과이다. FS가 북위 40°에 위치할 경우, RR 표21-4에 의해서 기준 FDP(10log(FDP)=-10dB)를 초과하는 FS 링크의 비율은 7.2%이지만, 마스크 E, F, G에 의해서는 모든

FS 링크에서 기준 FDP가 만족됨을 볼 수 있다. 또한, 각 마스크에 의한 FDP의 최대치는 RR 표21-4의 경우 -1.8dB, 마스크 E는 -17.8dB, 마스크 F는 -21.8dB, 마스크 G는 -11.5dB이다. 마스크 E와 F의 경우, 저·고위도 지역 모두에서 기준 FDP를 만족하지만 FDP의 최대치를 볼 경우 FS를 필요 이상으로 보호하고 있음을 알 수 있다. RR 표21-4 마스크의 경우, 약 7%의 링크가 기준 FDP를 초과하고 FDP의 최대값이 약 -1dB라는 것은 FS 측면에서 다소 수용하기 어려운 조건으로, FS의 불가용률(unavailability)이 거의 1.6배 정도 증가될 것이다. 따라서 마스크 G가 저·고위도 모두에서 FS를 가장 잘 보호할 수 있을 것으로 사료된다. 그림 4는 북위 40°에서 RR 표21-4와 마스크 E, F, G에 의한 FS의 FDP를 방위각에 대해서 나타낸 것이다.

V. 결론

4GHz 대역에서 마스크 C(147/-124)는 저위도 지역의 FS에 다소 높은 간섭(FDP 피크=-2.2dB)을 주지만 우리나라가 위치하는 북위 40° 근처에서는 기준 FDP를 만족하면서 FS를 잘 보호하고, 11GHz 대역의 경우에는 RR 표 21-4의 마스크보다 낮은 도래각에서의 pfd를 10dB 감소시킨 마스크 G(-136/-116)가 저·고위도 지역 모두에서 FS 시스템을 잘 보호한다고 판단된다.

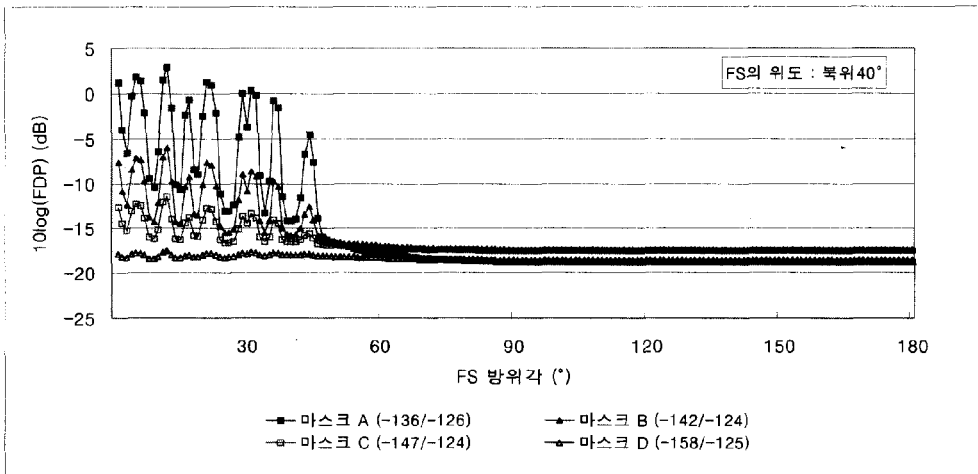


그림 3. 3.95GHz에서 FS 수신기의 방위각에 대한 FDP
Figure 3. FDP versus FS azimuth in 3.95GHz

HEO 위성시스템의 pfd 마스크를 정하는데 있어서 기준 FDP를 초과하는 간섭에 대한 FS의 허용률은 상당히 중요한 변수가 된다. Rec. ITU-R F.1494는 11/12GHz 대역에서 다른 서비스로부터 시간에 따라 변하는 간섭이 유입될 경우 그러한 간섭으로부터 FS를 보호하기 위한 장기간간섭기준(long term interference criterion)으로서 FDP가 -10dB를 초과해서는 안된다고 권고하고 있다.^[5] 하지만 HEO FSS시스템의 pfd 제한은 FS 시스템의 적절한 보호와 HEO FSS시스템의 원활한 운용이 동시에 만족되어야 하고, 이를 위해서 FS 시스템과

HEO FSS시스템의 운용 요구사항을 동시에 만족시킬 수 있는 적절한 합의점이 필요하다. 이러한 측면에서 본 연구는 FS의 보호에 편향되어 HEO 위성시스템으로부터 FS로의 간섭이 다소 과대 평가되었을 수 있다. 따라서 FS 시스템과 HEO 위성시스템이 적절한 수준에서 주파수를 공유할 수 있도록 간섭기준을 초과하는 간섭에 대한 FS의 허용률 등에 대해서 더 연구되어야 하며 이와 함께 HEO 시스템의 위성군 특성 및 active 위성수 등에 대한 연구도 수행되어야 할 것이다.

표 5. 각 마스크에 의해서 10log(FDP)=-10dB를 초과하는 FS 방위각의 퍼센트 및 10log(FDP)의 최대값
Table 5. Percentages of FS station azimuth exceeding 10log(FDP)=-10dB and maximum values of 10log(FDP) for each mask

	FS의 위도					
	20°N		40°N		60°N	
	퍼센트 (%) *	최대값 (dB) **	퍼센트 (%) *	최대값 (dB) **	퍼센트 (%) *	최대값 (dB) **
RR 표 21-4 (-126/-116)	6.7	-1.34	7.2	-1.77	1.1	-5.11
마스크 E (-147/-112)	0	-16.77	0	-17.83	0	-17.81
마스크 F (-149/-116)	0	-12.96	0	-21.83	0	-22.41
마스크 G (-136/-116)	0	-11.28	0	-11.51	0	-14.44

* : 10log(FDP)=-10dB를 초과하는 FS 방위각의 퍼센트, ** : 10log(FDP)의 최대값

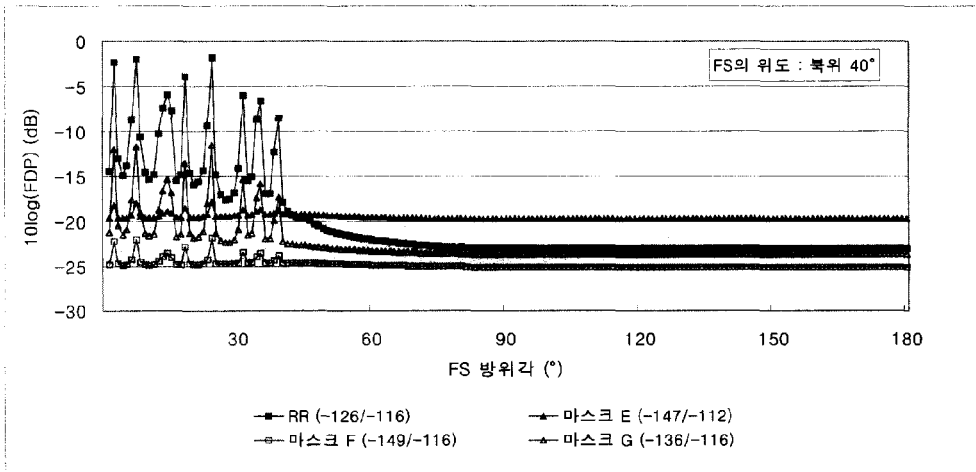


그림 4. 11.2GHz에서 FS 수신기의 방위각에 대한 FDP
Figure 4. FDP versus FS azimuth in 11.2GHz

