

# 47/48GHz 대역의 HAPS 지상국을 위한 최대 허용 off-axis 레벨 제안

최문환\*·강영홍\*·박종민\*\*·구본준\*\*·안도섭\*\*

\*군산대학교\*\*한국전자통신연구원

## A Proposal of the Maximum Allowable Off-axis Level for HAPS Ground Station in 47/48GHz Bands

Mun-Hwan Choi\*·Young-Heung Kang\*·Jong-Min Park\*\*·Bon-Jun Ku\*\*·Do-Seob Ahn\*\*

\*Kunsan National University·ETRI\*\*

E-mail : mhchoi@kunsan.ac.kr

### 요 약

ITU-R 결의 122는 47/48GHz 대역에서 위성 우주국 수신기와의 주파수 공유를 위해 HAPS 지상국에 대한 전력 제한에 대한 연구를 요구하고 있으며, ITU-R 권고 SF.1481-1에서는 FSS 시스템과의 주파수 공유를 위해 HAPS 지상국의 안테나 방사 패턴의 사이드 로브 특성을 개선하도록 권고하고 있다.

이에 본 논문에서는 HAPS 및 GSO FSS 서비스 커버리지간 비현실적인 이격거리를 줄이면서 결의 122에서 요구하고 있는 HAPS 지상국에 대한 전력 제한 및 권고 SF.1481-1의 지상국 안테나 사이드 로브 개선 등을 고려한 지상국의 최대 허용 off-axis e.i.r.p. 레벨을 제안함으로써 HAPS 지상국과 FSS 위성 수신기간의 주파수 공유의 가능성을 보인다.

### ABSTRACT

Resolution 122 requires to study power limitation applicable for HAPS ground stations to facilitate sharing with space station receivers in 47/48GHz bands. ITU-R Recommendation 1481-1 recommends to improve the side lobe characteristics of HAPS ground station antenna for sharing between FSS system and HAPS system.

Thus, in this paper, we propose maximum allowable off-axis e.i.r.p. level of HAPS ground station antennas by considering power limitation to HAPS ground station in Resolution 122 in order to reduce unfeasible separate distance between HAPS and GSO FSS service coverage, and improve the side lobe characteristics of HAPS ground station antennas in Recommendation SF.1481-1.

### 키워드

HAPS 시스템, GSO FSS 시스템, 최대 허용 off-axis 레벨, 전력 제한

### I. 서 론

ITU-R 결의 122[1]는 47/48GHz 대역에서 우주국 수신기와 주파수 공유를 위한 HAPS 지상국에 대한 전력 제한에 대한 연구를 요구하고 있다. 또한 ITU-R 권고 SF.1481-1[2]은 FSS 시스템과의 주파수 공유를 위해 HAPS 지상국의 안테나 방사 패턴의 사이드 로브 특성을 개선하도록 권고하고 있다. 이에 GSO FSS 시스템의 uplink에 미치는 HAPS 지상국의 간섭 전력을 제한하면서 지상국

안테나의 사이드 로브 레벨의 개선을 통한 HAPS 지상국과 FSS 시스템간 주파수를 공유할 수 있는 HAPS 지상국의 최대 허용 off-axis e.i.r.p 밀도 레벨을 규정하는 것이 필요하다.

또한 ITU-R 권고 SF.1481-1의 고밀도 FSS 시스템과 FSS 시스템간의 주파수 공유 분석을 위한 간섭 기준 및 예측 과정은 두 시스템의 주파수 공유를 위해 FSS 위성 footprint와 HAPS 커버리지 영역간의 충분한 off-set을 이루도록 HAPS 커버리지 영역을 FSS 위성 안테나의 boresight로부터

멀리 떨어지도록 요구하고 있다. 이는 두 시스템 간의 서비스 커버리지를 되도록 멀리 분리 시켜야 하는 비현실적인 시스템 주파수 공유 조건이라 할 수 있다.

이에 본 논문에서는 비현실적인 서비스 커버리지 간의 이격거리를 줄이면서 결의 122에서 요구하고 있는 HAPS 지상국에 대한 전력 제한 및 ITU-R 권고 SF.1481-1의 지상국 안테나 사이드 로브 개선 등을 고려한 지상국의 최대 허용 off-axis e.i.r.p. 레벨을 제안함으로써 HAPS 지상국과 FSS 위성 수신기간 공유의 가능성을 제시한다.

## II. 시스템 특성

### 1. HAPS 시스템

전형적인 HAPS 시스템은 권고 F.1500[3] 및 F.1481-1에 주어진다. 본 논문에서 사용된 시스템은 21-25km 상공의 성층권에 고정 위치한 비행선을 포함한다. 또한 HAPS 비행선과 지상국간의 통신은 기본적으로 주파수 재사용을 행하는 셀룰러 기반으로 이루어진다. HAPS 지상국의 분포는 세 가지 영역, 즉 urban, suburban, rural 커버리지(각각 UAC, SAC, RAC)로 나누어 분석된다.

커버리지는 지상국이 HAPS를 바라보는 양각 방향으로 정의된다. 표 1은 HAPS nadir로부터 측정된 지상 커버리지 반경 및 해당 양각을 제시하고, 표 2는 해당 지상국에 대한 파라미터들을 나타낸다. 표 2에서 uplink 상의 지상국은 4-PSK 변조방식의 요구할당 방식 멀티캐리어 TDMA를 사용한다. 또한 HAPS 지상국을 위한 안테나 방사 패턴은 권고 F.699-6[4]을 사용한다.

표 1. 지상 커버리지 및 양각

커버리지	양각(도)	지상 범위(km)	
		고도 21km	고도 25km
UAC	90-30	0-36	0-43
SAC	30-15	36-76.5	43-90.5
RAC	15-5	76.5-203	90.5-234

표 2. 지상국 특성 파라미터

커버리지	송신전력(dBW)	안테나이득(dBi)
UAC	-8.2	23
SAC	-7	38
RAC	-1.5	38

### 2. GSO FSS 위성 우주국

uplink용으로 47GHz 주파수 대역에서 운용하게 될 일련의 FSS 시스템이 존재한다. 표 3은 전형적인 GSO FSS 위성 우주국의 파라미터를 나타내며, HAPS 지상국과의 간섭 분석을 위해 사용된다.

표 3. GSO FSS 위성 특성 파라미터

최대 안테나 이득(dBi)	51.8
간섭 기준(dB(W/MHz))	-15.05
안테나 패턴	권고 ITU-R S.672-4[5] (L <sub>s</sub> =-20)

## III. 간섭분석

HAPS 지상국이 GSO FSS 위성에 미치는 총 간섭을 분석하기 위해서는 HAPS 커버리지가 지상국으로 분포되어 있다고 가정하고, FSS 우주국의 수신 간섭은 다수의 시뮬레이션을 통해 계산되며, 각 시뮬레이션의 수행은 권고 SF.1481-1에 근거하여 HAPS 지상국의 4 가지 랜덤 분포의 경우에 대해 간섭을 분석한다. 다수 간섭원으로 사용되는 HAPS 지상국에 대한 4 가지 분포 특성이 표 4에 주어진다. 여기서 case 4인 경우는 세 커버리지 준에 100개의 동일 채널 지상국을 지원할 수 있는 HAPS 시스템을 가정한 것이다.

표 4. HAPS 지상국의 분포

커버리지	RAC	SAC	UAC
양각범위	5-15	15-30	30-90
사용자 단말의 수			
case 1	0	0	100
case 2	10	30	60
case 3	33	33	34
case 4	100	100	100

그림 1에 간섭 분석 시나리오 모델을 보인다. 그림 1은 FSS 위성 footprint와 HAPS 커버리지간의 충분한 off-set을 얻기 위해 위성 지구국이 nadir(HAPS 커버리지의 중심)로부터 멀어지는 시나리오를 보인다. 최악의 경우는 지구국이 HAPS 커버리지 nadir상에 위치하는 경우이다. 위성은 위도 0° 및 경도 0°상에 위치한다고 가정하고, HAPS 커버리지 및 지구국은 경도 0°상에서 단지 위도에 따라 이동한다고 가정한다.

그림 2는 표 4에 정의된 4 가지 경우에 대해 10,000번의 시뮬레이션을 통해 얻어진 누적분포(CDF)를 나타낸다. 만일 GSO FSS 위성의 간섭 기준을 -150.5dB(W/MHz))로 가정하면, 표 4에 주어진 HAPS 지상국의 4 가지 분포 시나리오에 대해 각각 90%, 30%, 5%, 98%의 지상국이 간섭 기준을 초과하고 있음을 알 수 있다. 즉, HAPS 지상국이 양각이 높은 지역에 많이 분포할수록 위성에 미치는 간섭이 크게 된다. case 4인 경우가 가장 크게 나타나며, 그 다음으로 case 1의 경우가 case 2 및 case 3보다도 양각이 높은 UAC 지역에 지상국이 많이 분포하므로 위성에 큰 간섭을 미치고 있다.

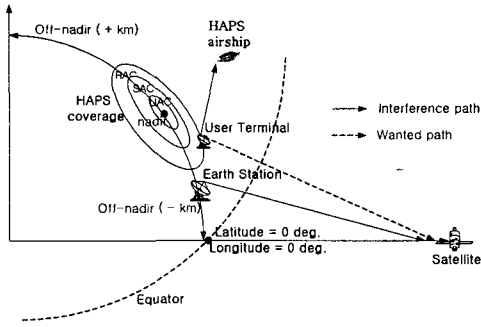


그림 1. 간섭 시나리오

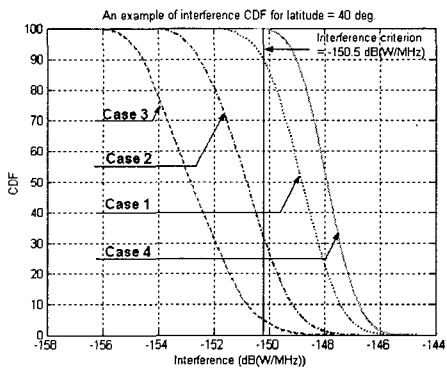


그림 2. HAPS 지상국 분포에 따른 CDF

IV. 최대 허용 off-axis e.i.r.p. 제한

본 장에서는 off-axis와 off-angle 특성을 제한하여 GSO FSS 위성 에 미치는 HAPS 지상국의 간섭 영향을 감소시킴으로써 두 시스템간의 주파수 공유를 가져올 수 있는 방안을 제안한다. 그 예로써 HAPS 지상국의 최대 허용 off-axis e.i.r.p. 밀도의 최대 허용 레벨을 제한하기 위한 레벨 규정을 제안한다.

표 5. 최대 허용 off-axis e.i.r.p.

	UAC	SAC	RAC
input power density at feed (dB(W/MHz))	-11.2	-10	-4.5
maximum off-axis e.i.r.p. densities in clear-sky condition (dB(W/MHz)); $3^\circ \leq \phi \leq 20^\circ$	$18 - 25\log\phi$	$19 - 25\log\phi$	$25 - 25\log\phi$

권고 S.524-8[6]에서는  $29 - 25\log\phi$  안테나 사이드 로브 패턴이 타 위성으로의 간섭 전력을 제한하기 위한 규정으로 제안되고 있으며, 이를 근거로 표 5에 지상국 안테나의 메인 로브와 위성 우주국간의 off-angle을  $3^\circ$  이상으로 가정하여 계산된 최대 허용 off-axis e.i.r.p.를 제한한다.

표 5의 최대 허용 off-axis e.i.r.p.를 이용하여 위도  $40^\circ$ 인 HAPS 커버리지 내의 case 4 분포 지상국들에 의한 위성에 미치는 간섭의 형태를 그림 3에 보인다.

이 결과로부터  $-100\text{km}$  off-nadir는 물론  $+100\text{km}$  off-nadir에서도 주파수 공유가 가능할 뿐만 아니라 지구국이 HAPS 커버리지 중앙에 놓이더라도 단지 5% 이하의 지상국이 간섭 기준을 초과함으로써 위성에 미치는 간섭의 영향을 최소화할 수 있다.

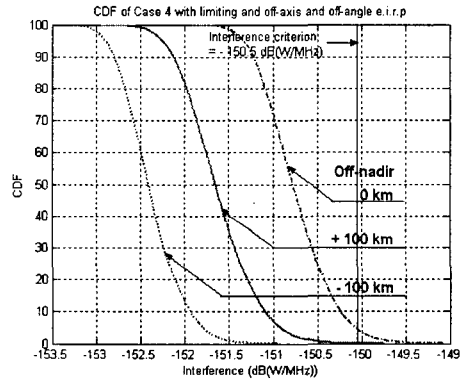


그림 3. 제안된 최대 허용 off-axis e.i.r.p.에 의한 간섭 분포

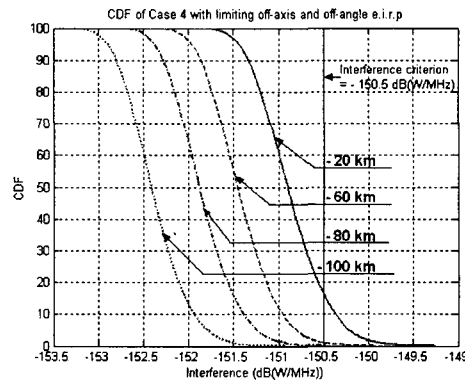


그림 4. 위도 감소방향의 off-nadir 거리에 따른 간섭 분포

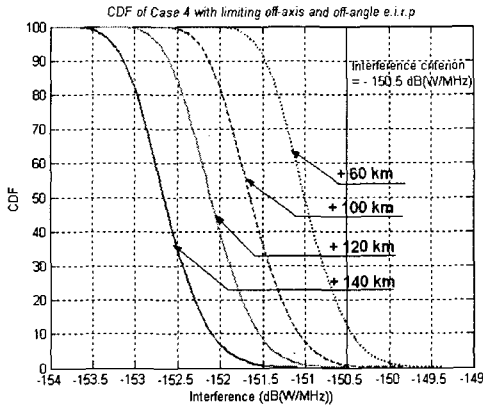


그림 5. 위도 증가방향의 off-nadir 거리에 따른 간섭 분포

그림 4 및 그림 5는 HAPS 지상국 100%가 간섭 기준을 만족하기 위한 위성 지구국과 HAPS 커버리지간의 off-nadir 거리를 구하기 위한 간섭 분포 결과이다. 그림 4로부터 위도가 감소하는 방향으로의 위성 지구국 off-nadir 거리는 -80km, 그림 5로부터 위도가 증가하는 방향으로로는 +120km 이상의 거리에서 100% HAPS 지상국이 위성 간섭 기준을 만족한다. 이러한 off-nadir 거리는 HAPS 커버리지 반경 203km 이내에 들어가므로 동일 지역에서도 위성 지구국이 RAC 지역을 벗어나면 주파수 공유가 가능함을 보인다.

### V. 결 론

본 논문에서는 결의 122에서 47/48GHz 대역의 위성 지구국 수신기와 주파수 공유를 위한 HAPS 지상국에 대한 전력 제한에 대한 연구를 요구하므로 GSO FSS 시스템의 uplink상에 미치는 HAPS 지상국의 간섭 전력을 제한하면서 지상국 안테나의 사이드 로브 레벨의 개선을 통한 HAPS 지상국과 FSS 시스템간의 주파수 공유를 가져올 수 있는 HAPS 지상국에 대한 off-axis e.i.r.p. 밀도의 최대 허용 레벨을 표 5와 같이 제안하였다.

제안된 최대 허용 off-axis 레벨을 이용하여 HAPS 지상국 100%가 간섭 기준을 만족하기 위한 위성 지구국과 HAPS 커버리지간의 off-nadir 거리는 위도가 감소하는 방향으로 -80km, 위도가 증가하는 방향으로로는 +120km이상의 거리가 필요하다. 이러한 off-nadir 거리는 HAPS 커버리지 반경 203km 이내에 들어가므로 동일 지역에서도 위성 지구국이 RAC 지역을 벗어나면 주파수 공유가 가능함을 보인다.

본 논문의 연구를 통해 도출된 주파수 공유를 위한 기술 기준 및 데이터는 새로운 HAPS 시스템의 도입을 위한 기초 자료로 이용될 수가 있으며, 향후 본 연구 결과를 바탕으로 ITU-R 기고문

제출 및 국제 표준회의에 주파수 공유 기준 결과 반영 등을 위한 노력이 요구된다.

### 참고문헌

- [1] Resolution 122, Use of the bands 47.2-47.5GHz and 47.9-48.2GHz by high altitude platform stations(HAPS) in the fixed service and by other services, ITU-R
- [2] ITU-R Recommendation SF.1481-1, Frequency sharing between systems in the fixed service using high-altitude platform stations and satellite systems in the geostationary orbit in the fixed-satellite service in the bands 47.2-47.5 and 47.9-48.2GHz
- [3] ITU-R Recommendation F.1500, Preferred characteristics of systems in the fixed service using high altitude platforms operating in the the bands 47.2-47.5GHz and 47.9-48.2GHz
- [4] ITU-R Recommendation F.699-6, Reference radiation patterns for line-of-sight radio-relay system antennas for use in coordination studies and interference assessment in the frequency range from 1 GHz to about 70GHz
- [5] ITU-R Recommendation S.672-4, Satellite antenna radiation pattern for use as a design objective in the fixed-satellite service employing geostationary satellites
- [6] ITU-R Recommendation S.524-8, Maximum permissible levels of off-axis e.i.r.p. density from earth station in getstationary-satellite orbit networks operating in the fixed-satellite service transmitting in the 6GHz, 14GHz and 30GHz frequency bands