

# HAPS 비행선에서 P-MP FWA 시스템으로의 간섭 분석

## Analysis on the Interference from HAPS Airship into P-MP FWA System

최문환\*, 함형일\*, 강영흥\*

Mun-Hwan Choi\*, Hyoung-Il Ham\* and Young-Heung Kang\*

### 요 약

본 논문에서는 새로운 간섭 모델, 실제적인 HAPS 시나리오, HAPS 시스템과 FWA 시스템에 대한 안테나 패턴과 같은 파라미터들을 이용하여 HAPS 비행선에서 P-MP FWA 기지국과 P-MP FWA 단말국으로의 간섭 영향을 분석하였다. 분석 결과를 보게 되면, HAPS AS에서 P-MP FWA BS로의 간섭 경우에 두 시스템들 사이의 호 환성은 섹터화된 BS 안테나를 이용함으로써 얻어질 수 있었다. 그러나 HAPS AS에서 P-MP FWA TS로의 경우에 동적 채널 할당과 같은 간섭 경감 기법을 이용한 이격 거리가 보장되지 않으면 두 시스템들은 동일한 대역에서 효과적으로 운용될 수 없었다.

### Abstract

In this paper, we have analyzed the effects of the interference from HAPS airship stations to P-MP FWA base station and to P-MP FWA terminal station, using more detail parameters such as a new interference model, a realistic HAPS scenario, practical antenna patterns for both HAPS system and FWA system. The analysis results show that, in the case of interference from HAPS AS into the P-MP FWA BS, compatibility between two systems can be obtained by using a sectored BS antenna with the boresight directed away from the nadir. However, in the case of Interference from HAPS AS into the P-MP FWA TS, the two systems cannot operate effectively in the same bands unless the separation distance is guranteed and/or some form of interference mitigation technique is employed such as dynamic channel allocation.

Key words : HAPS 시스템, FWA 시스템, 간섭 경감 기법, P-MP

### I. 서 론

성층권 무선 중계 시스템(High Altitude Platform Station; HAPS)은 고도 20km ~ 50km의 성층권에 무선 중계기를 탑재한 비행선을 일정 위치에 유지시켜 초고속 무선 멀티미디어 서비스를 지원 가능하게 하는 차세대 초고속 무선 통신 인프라이다[1].

이에 WRC-97에서는 47.2 ~ 47.5GHz 및 47.9 ~ 48.2GHz 대역에서 HAPS를 이용하는 고정 서비스(Fixed Service; FS)를 위한 조항을 제정하였지만, 이 대역은 강우 감쇠의 영향을 받기 쉽기 때문에 ITU-R에서는 대체 가능 주파수로 18 ~ 32GHz 대역에 대한 연구를 수행해 왔다. 그 결과 WRC-2000에서는 일부 국가에서 HAPS의 운용 주파수로 27.5 ~

\* 군산대학교 전자정보공학부(School of Electronics and Information Engineering, Kunsan National University)

· 제1저자 (First Author) : 강영흥

· 접수일자 : 2005년 11월 10일

28.5GHz 대역과 31.0 ~ 31.3GHz 대역을 고정 서비스를 이용하는 HAPS 시스템의 운용 주파수로 허용하였다[2],[3]. 이에 ITU-R에서는 28/31GHz 대역을 사용하여 고정 서비스를 제공하고 있는 기존의 고정 무선 접속(Fixed Wireless Access; FWA) 시스템과의 공유와 호환성 연구를 수행하여 왔다.

HAPS 시스템으로부터 FWA 시스템으로의 간섭의 영향에 대해 수행되어온 연구 결과로부터 다중 HAPS 비행선은 FWA 기지국에 초과 간섭을 야기하지 않는 반면, 단일 HAPS 비행선은 가입자국에 상당한 간섭을 야기하고 있어 HAPS 비행선의 nadir와 FWA 가입자국간에 200km의 이격 거리가 요구되었다. 이는 HAPS 시스템과 FWA 시스템이 공존할 수 없음을 보여주고 있지만, 그 결과들은 상당히 단순한 시나리오를 바탕으로 도출된 것들이다.

따라서, HAPS로부터 FWA 시스템으로의 간섭을 분석하기 위해 HAPS 시스템과 FWA 시스템에 대한 실질적인 안테나 패턴과 적절한 전파모델 그리고 현실적인 FWA 시스템 특성을 포함하는 보다 정확한 간섭 모델에 근거하여 심도 있는 분석이 요구되고 있다.

본 논문에서는 HAPS 시스템의 비행선(airship AS)으로부터 P-MP(Point-to-Multipoint) FWA 시스템의 기지국(base station; BS) 및 단말국(terminal station; TS)으로의 간섭을 분석하기 위해 두 시스템을 위한 실질적인 안테나 패턴과 P-MP 네트워크의 적절한 지리적 분포, 그리고 HAPS 시스템의 적절한 셀 구조 등을 사용하여 HAPS 시스템과 FWA 시스템의 호환성에 대한 자세한 분석 결과를 도출 제시하였으며, 향후 HAPS 시스템의 도입에 따른 설계에 도움을 주기 위한 자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

## II. HAPS 시스템과 FWA 시스템의 특성

### 2-1 HAPS 시스템

본 논문에서 사용된 HAPS 시스템의 서비스 커버리지를 구성하는 셀들은 육각형태의 구조를 이루고 있으며, HAPS 시스템의 커버리지는 직경 60km의

영역으로 6.3km의 직경을 갖는 121개의 셀로 구성되었다고 가정한다.

각 셀들을 서비스하는 HAPS 비행선의 안테나는 ITU-R 권고안 F. 1245[4]에서 제시한 안테나 패턴을 사용하고 있으며, 송신 전력 등의 다른 시스템 특성들은 ITU-R 권고안 F. 1569[5]에 주어진 특성 파라미터를 사용하고 있다.

### 2-2 FWA 시스템

본 논문에서 사용된 FWA 시스템은 지점 대 다지점(Point-to-Multipoint; P-MP) 방식을 사용하고 있다. FWA 시스템의 BS 수신 안테나는 50에서 평탄화 되고 이후 4.5마다 1dB씩 떨어지는 안테나로, 19dBi의 이득으로 HAPS nadir를 향하여 90로 섹터화 되었다고 가정한다. 또한 EN 301 215[6]의 양각 프로파일은 실질적인 최악의 경우를 위해 무시된다.

## III. 간섭 모델

HAPS 시스템으로부터 P-MP FWA 시스템으로의 가능한 간섭 모델로는 HAPS AS로부터 P-MP FWA 시스템의 BS 또는 TS로의 간섭 모델과 HAPS GS로부터 P-MP FWA 시스템의 BS 또는 TS로의 간섭 모델을 가정할 수 있다. 본 논문에서는 고려되는 네 가지의 간섭 시나리오 중에서 HAPS AS로부터 P-MP FWA 시스템의 BS 및 TS로의 간섭 영향을 분석하였다.

### 3-1 HAPS AS에서 P-MP BS로의 간섭 모델

HAPS AS로부터 P-MP FWA BS로의 간섭을 평가하기 위해 각 시스템에 적절한 안테나 패턴과 간섭 경로 길이 분포를 위한 모델, 적절한 전파 모델, 그리고 주파수 재사용 기법을 사용한 HAPS 시스템의 셀 구조 등을 이용하여 P-MP BS와 그에 대한 HAPS 시스템의 간섭 모델이 그림 1에 나타나 있다. 여기서  $r$ 은 P-MP BS와 HAPS AS의 nadir간의 거리이고,  $h_B$ 는 P-MP BS의 높이를 나타내고 있다.

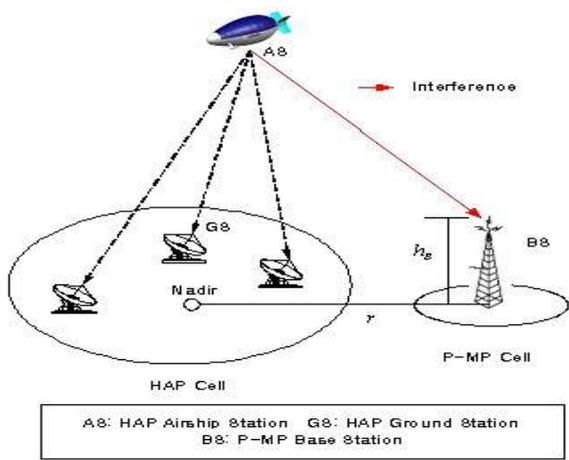


그림 1. HAPS AS로부터 P-MP BS로의 간섭 모델  
Fig. 1. Interference model from a HAPS AS into a P-MP BS.

3-2 HAPS AS에서 P-MP TS로의 간섭 모델

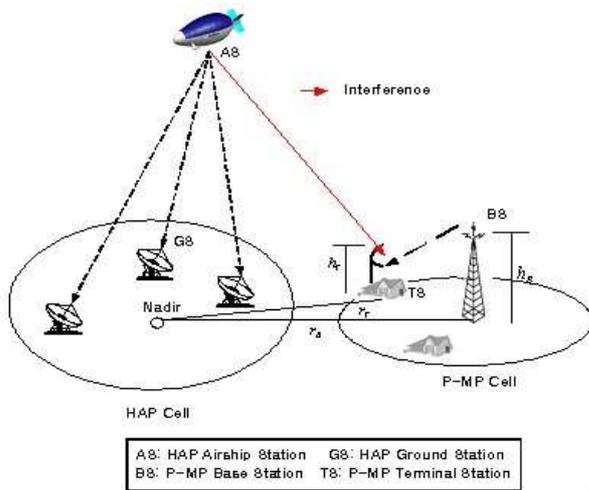


그림 2. HAPS AS로부터 P-MP TS로의 간섭 모델  
Fig. 2. Interference model from a HAPS AS into a P-MP TS.

HAPS AS로부터 P-MP TS로의 간섭 모델 역시 HAPS AS로부터 P-MP BS로의 간섭 모델의 경우와 동일한 환경을 사용하여 그림 2와 같이 나타낼 수가 있다. 여기서  $r_B$  와  $r_T$  는 각각 P-MP BS와 HAPS AS의 nadir 사이의 거리와, P-MP TS와 HAPS AS의 nadir 사이의 거리를 나타낸다. 또한  $h_B$  와  $h_T$  는 각각 BS와 TS의 높이를 나타내고 있다.

IV. 간섭 분석 및 평가

HAPS AS로부터 P-MP FWA BS 또는 TS로 수신된 전력은 인접 셀이나 동일 셀 안에서 평가되어야 한다. HAPS AS의 스팟 빔으로부터 P-MP BS 또는 TS로의 간섭 전력  $I$  (dB(W/MHz))는 다음 식으로 얻어질 수 있다[7].

$$I = P_{Tx\_AsBn} + G_{Tx\_AsBn}(\theta_{AsBn\_F}) - L_s - L_{AtmAs\_F} + G_{Rx\_FWA}(\theta_{F\_As}) - L_{fRx\_FWA} \quad (1)$$

여기서,

$P_{Tx\_AsBn}$ : HAPS( $H_m$ )의 스팟 빔( $B_n$ )의 송신 전력 밀도(dB(W/MHz))

$G_{Tx\_AsBn}(\theta_{AsBn\_F})$ : FWA국으로 향하는 HAPS AS 스팟 빔의 안테나 이득(dBi)

$L_s$ : HAPS AS와 FWA 국간의 자유 공간 경로

손실(dB) 
$$L_s = 20 \cdot \log\left(\frac{4\pi d \times 1000}{\lambda}\right)$$

$d$ : HAPS AS와 FWS 국간 거리(km)

$\lambda$ : 파장(m)

$L_{AtmAs\_F}$ : HAPS AS와 FWA 국간 대기 흡수 손실(dB)(IRU-R 권고안 F. 1404 Appendix 1,  $A(h, \theta)$ )[8]

$G_{Rx\_FWA}(\theta_{F\_As})$ : HAPS AS를 향하는 FWA 국의 안테나 이득(dBi)

$L_{fRx\_FWA}$ : 수신측에 있는 FWA국의 피더 손실 (dB)

또한 P-MP FWA 시스템의 BS 또는 TS의 안테나에 수신된 열 잡음에 대해서 HAPS AS로부터 수신된 총 간섭 전력을 평가하는 것이 중요하다. 수신된 총 간섭 전력 대 잡음의 비,  $I/N$  은 식 (2)를 사용하여 얻을 수 있다.

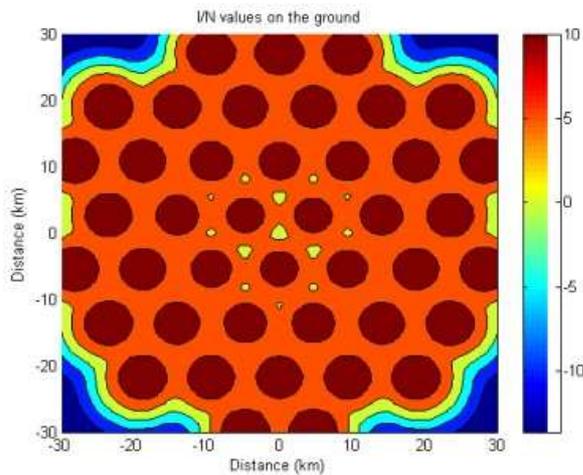
$$I/N = I - 10 \log(293 \times k \times 10^{NF/10} \times 10^6) \quad (2)$$

여기서,

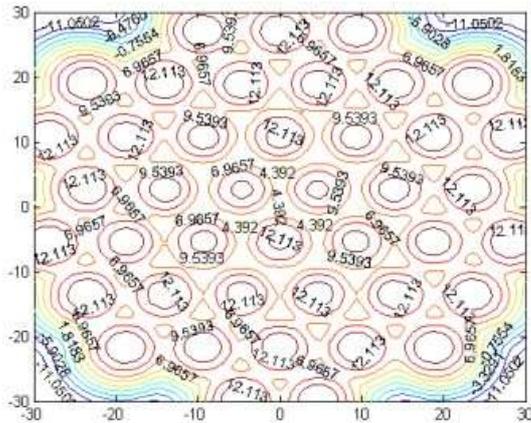
$k$ : 볼츠만 상수( $1.38 \times 10^{-23}$ )(J/K)

$NF$ : P-MP BS 또는 TS의 잡음 지수(dB)

4-1 HAPS AS에서 P-MP TS로의 간섭 모델



(a) I/N filled contour



(b) I/N labelling contour

그림 3. I/N 특성(직경 60km, 3채널 주파수 재사용 셀 121개, 자유공간손실)

Fig. 3. I/N characteristics with 60km service coverage, 121 cells with 3 channels and free space pathloss.

그림 3의 (a)와 (b)는 -40dB의 사이드로브 레벨을 갖는 안테나 패턴을 이용한 지상에서의  $I/N$  을 보여주고 있다. HAPS 시스템의 서비스 커버리지는 직

경 60km로 3 채널 주파수 재사용 계수를 갖는 121개의 셀로 구성되어 있다. 또한 자유 공간 손실이 고려되었으며 수신기의 잡음 지수는 6dB로 가정하였다.

그림 3에서 보는 것과 같이 최대  $I/N$  값은 12.113dB로 HAPS 스팟 빔의 중심에서 나타나고 있으며, 최소  $I/N$  값은 커버리지 영역의 코너 끝부분에서 -11.0502dB가 나타나고 있다.

또한 HAPS AS로부터 P-MP BS로 수신된 간섭 전력은 BS의 높이나 경로 손실모델, BS 안테나 패턴, 그리고 HAPS 시스템의 셀 구조 등에 따라 영향을 받는다. 따라서 HAPS AS로부터의 간섭 전력에 대한 보다 자세한 분석을 위해 이러한 요소들에 대한 고려가 요구된다.

4-1-1 P-MP BS 안테나 높이

본 논문에서 BS의 안테나 높이를 최소 20m에서 최대 100m로 가정하였다. 그림 4는 3채널 주파수 재사용을 고려할 때, HAPS AS의 nadir와 P-MP BS 간 거리의 함수로써 전방향성 P-MP BS안테나(0dB 이득)에서 나타나는  $I/N$  을 보여준다.

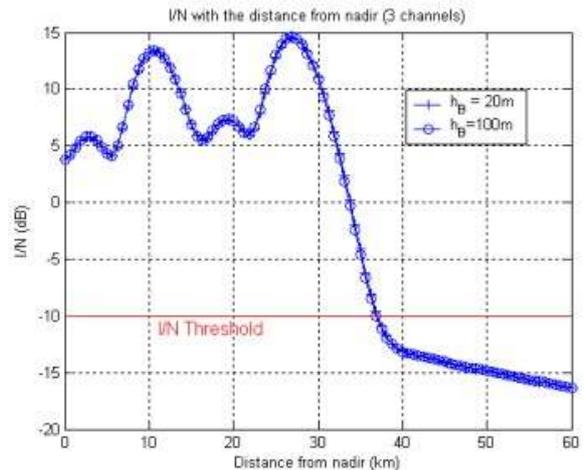


그림 4. P-MP BS 안테나 높이에 따른 I/N  
Fig. 4. I/N with the height of P-MP BS.

그림 4에서 알 수 있듯이, P-MP BS의 안테나 높이는 HAPS AS로부터 수신된 간섭 전력에 그다지 영향을 미치지 않는다. 정확한 수신을 위한  $I/N$  값

의 임계값을  $-10\text{dB}$  이하로 할 때, 두 시스템간의 호환을 위해서 서비스 경계 사이에  $7\text{Km}$  이상의 이격 거리가 요구된다. 즉 P-MP BS는 HAPS 시스템의 nadir로부터  $37\text{km}$  이상의 이격 거리를 요구하는 것이다.

4-1-2 경로 손실 모델

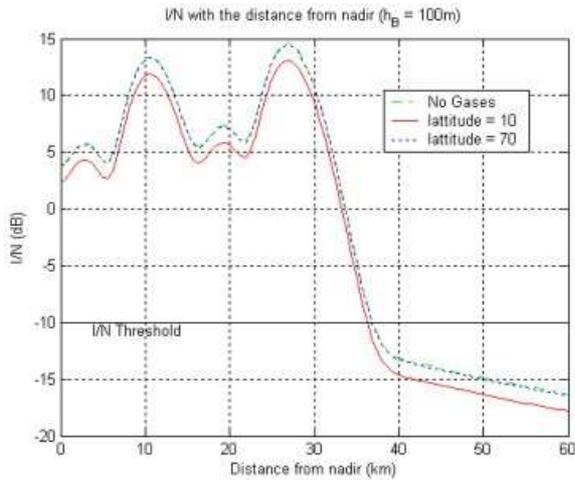


그림 5. 대기 가스에 의한 I/N  
Fig. 5. I/N due to the atmospheric passes.

그림 5는 HAPS AS의 nadir로부터의 거리에 대한 함수로써 BS 수신기에서의  $I/N$  값을 보여주는데, HAPS AS와 P-MP BS간 기울어진 경로에서 대기 가스에 의한 감쇠를 고려한 것이다. 높은 위도에서 대기 가스에 의한 감쇠는 아주 미미하고,  $I/N$  은 가스 흡수가 없는 경우와 거의 동일하게 나타나고 있지만, 예를 들어  $10$  정도의 낮은 위도에서는  $I/N$  이  $2\text{dB}$  정도 낮게 나타나고 있음을 알 수 있다.

4-1-3 P-MP BS 안테나의 패턴

지금까지의 결과들은 모두  $0\text{dBi}$  이득의 전방향성 안테나를 사용하는 P-MP BS를 고려한 것이었다. 하지만, P-MP 시스템의 셀은 스펙트럼 효율을 높이고 동일 채널 간섭을 감소시키기 위해서  $3\sim 5$ 개의 작은 섹터로 나뉘어진다. 본 논문에서는 P-MP BS의 섹터 안테나로  $28\text{dBi}$ 의 이득을 갖는 지향성 안테나를 고

려하였다.

HAPS AS로부터 P-MP BS의 섹터 안테나로 수신된 간섭 레벨은 TS를 향하는 P-MP BS의 안테나 보어사이트(boresight)에 절대적으로 의존한다. BS 안테나의 방향에 따른 HAPS AS로부터의 간섭에 대한 최상의 경우와 최악의 경우로 분석할 수 있는데, 최상의 경우는 BS 안테나 보어사이트가 HAPS AS로부터 반대쪽을 바라보는 경우(opposite boresight)이고, 최악의 경우는 BS 안테나 보어사이트가 HAPS AS의 nadir를 향하고 있는 경우(nadir boresight)이다.

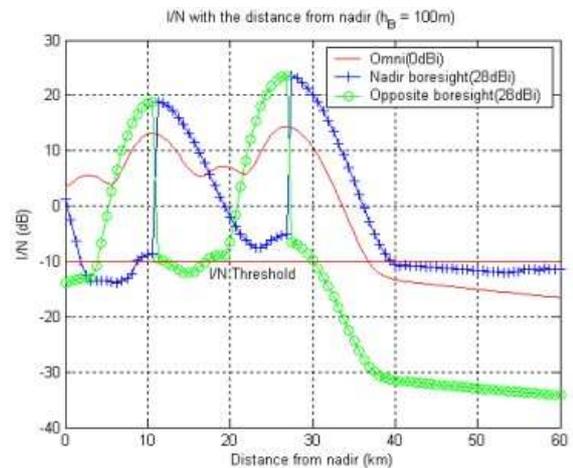


그림 6. P-MP 섹터 셀의 최상의 경우와 최악의 경우에 대한 I/N  
Fig. 6. I/N due to the best and the worst case of P-MP sector cell.

BS 수신기에서의  $I/N$  은 이러한 두 가지 경우 모두에 대해 평가되었으며, 전방향성 안테나를 사용하는 경우와 비교하여 그림 6에 나타내었다. 최악의 경우 전방향성 안테나를 사용하는 경우보다 최대  $7\text{dB}$  정도까지 높게 나타나고 있으며, HAPS AS와 P-MP 셀 간 최소 이격 거리는  $20\text{km}$  이상이 된다. 반면, 최상의 경우에는 BS 수신기에서 전방향성 안테나를 사용하는 경우와 비교하여  $I/N$  이  $18\text{dB}$  감소되고 있음을 알 수가 있다. 이러한 경우에서 HAPS 서비스는 P-MP 셀의 경계지역에서 제공될 수가 있어 이격 거리가 필요하지 않다. 따라서 HAPS AS와 P-MP BS는 섹터 안테나를 사용하는 경우에 동일 주파수를 공유할 수가 있다.

4-2 HAPS AS에서 P-MP TS로의 간섭

P-MP TS가 전방향성 안테나를 사용하는 경우, HAPS AS로부터 P-MP TS로 수신된 간섭은 P-MP BS가 전방향성 안테나일 경우에서 HAPS AS로부터 수신된 간섭의 경우와 동일하게 나타나기 때문에 본 논문에서는 지향성 안테나를 갖는 P-MP TS를 고려한다.

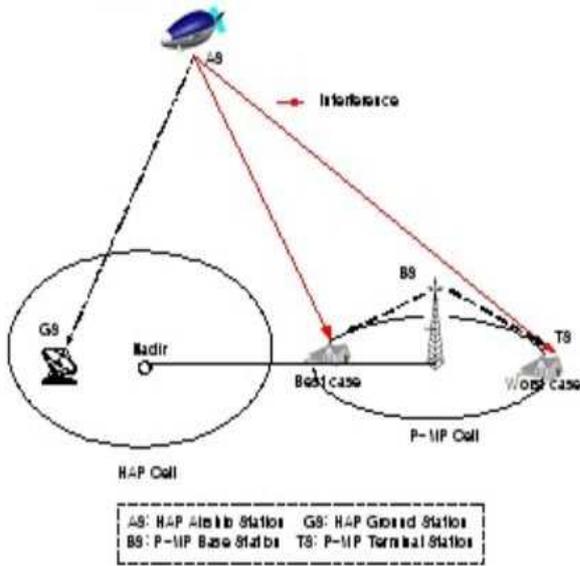


그림 7. 최상의 경우와 최악의 경우에서 TS위치  
Fig. 7. The best and the worst TS location.

P-MP 시스템의 TS는 일반적으로 BS의 서비스 커버리지 영역에 불규칙하게 분포되어 있기 때문에, 그림 7에서 보이는 것처럼 최상의 경우는 TS가 커버리지의 왼쪽 경계에 위치하는 경우이고, 최악의 경우는 TS가 커버리지의 오른쪽 경계에 위치하는 경우라 할 수 있으며, P-MP TS 수신기에서의  $I/N$  을 이 두 경우에 대해서 평가되었다.

그림 8은 HAPS AS의 nadir와 P-MP BS간 거리의 함수로써 TS 수신기에서의  $I/N$  을 보여준다. TS 안테나의 보어사이트 이득은 28dBi이고 P-MP 서비스 커버리지는 1km, TS와 BS의 높이는 각각 20m와 50m이다.

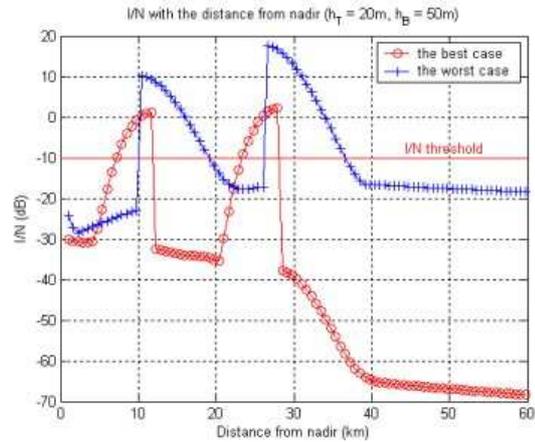


그림 8. HAPS AS에서 P-MP TS로의 I/N  
Fig. 8. I/N from HAPS AS into P-MP TS in the best and worst cases.

그림 8에서 최상의 경우, 대부분 어떤 이격 거리도 요구하지 않고 두 시스템은 동일한 주파수 대역을 효율적으로 공유할 수 있음을 알 수 있다. 반면 최악의 경우에는 두 시스템간 이격 거리를 6km 이상 요구하고 있다. 따라서, P-MP 시스템에 섹터화된 BS를 사용할 때, TS가 FWA 커버리지의 먼 경계에 위치하는 경우 28/31GHz 대역에서 FWA 시스템에 어떠한 유해 간섭도 야기하지 않으면서 HAPS 시스템을 사용할 수가 있다.

간섭 영향에 대한 보다 심도 있는 분석을 위해 1km 직경의 서비스 영역에 500개의 TS가 존재하는 경우에 대한 간섭을 평가하였으며, 이 경우에 대한  $I/N$  이 그림 9에 나타나 있다.

그림 9는 HAPS AS nadir와 P-MP BS간 거리의 함수로써 10dB의  $I/N$  임계치를 초과하는 TS의 확률을 보여주고 있다. 전방향성 안테나를 사용하는 TS의 경우, 모든 TS들이 nadir로부터 36km의 거리 내에서  $I/N$  임계치를 초과하고 있다. 반대로 지향성 안테나를 사용하는 TS의 경우, 임계치를 초과하는 확률이 상당히 감소하여 몇몇 특정 동일 채널 셀을 제외하고는 HAPS 커버리지 안에서 대역을 효율적으로 공유할 수 있음을 알 수 있다.

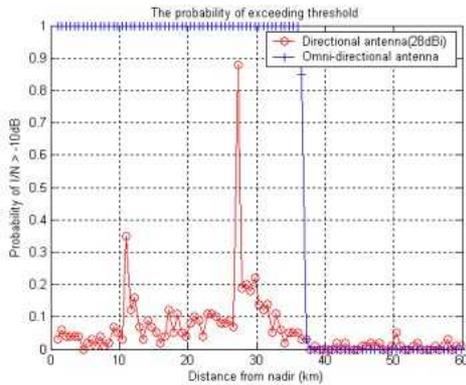


그림 9. I/N 임계치를 초과하는 TS의 확률  
 Fig. 9. The probability of TS exceeding the threshold.

### V. 결 론

본 논문에서는 HAPS 시스템의 AS로부터 P-MP FWA BS 및 TS로의 간섭 영향에 대하여 분석하였다.

HAPS AS로부터 P-MP FWA BS로의 간섭의 경우, 섹터 안테나를 사용하는 BS국이 HAPS AS nadir의 반대편을 바라보고 있을 때 두 시스템은 28/31GHz 대역에서 효율적으로 운용될 수가 있다. 그러나, HAPS AS로부터 P-MP FWA TS로의 간섭의 경우에는 충분한 이격 거리가 보장되지 않거나, 적절한 간섭 경감 기법이 적용되지 않는다면 이 대역에서 두 시스템은 효율적인 스펙트럼 공유가 불가능하다.

향후 HAPS 시스템으로부터 P-MP TS로의 간섭 영향에 대한 추가적인 연구를 통하여 HAPS 시스템과 P-MP FWA 시스템간의 호환성에 대한 분석이 필요할 것이다.

### 참 고 문 헌

[1] B. S. Kim, J. M. Park, B. J. Ku, Y. H. Kang and D. S. Ahn, "Analysis on the interference effects into the radio-relay station from the HAPS system," *CIC 2001*, Seoul, Korea, Oct. 30~Nov. 2 2001.  
 [2] Masauki OODO and Ryu MIURA, "A study

of frequency sharing and contribution to ITU for wireless communication systems using stratospheric platforms," *Journal of the Communication Research Laboratory*, Vol. 48 No. 4, 2001  
 [3] Doc.4-9S/219-E, "Interference from the downlink of fixed service using high altitude platform stations to the uplink of the fixed satellite service in the band 27.5GHz~28.35GHz," 28 March 2002.  
 [4] ITU-R Recommendation F.1245, "Mathematical model of average and related radiation patterns for line-of-sight point-to-point radio-relay system antennas for use certain coordination studies and interference assessment in the frequency range from 1GHz to about 70GHz," 2000.  
 [5] ITU-R Recommendation F. 1569, "Technical and operational characteristics for the fixed services using high altitude platform stations in the bands 27.5~28.35GHz and 31.0~31.3GHz," 2002.  
 [6] ETSI EN 301 215-2 v 1.3.1, "Fixed Radio Systems; Point-to-Multipoint Antenna; Antennas for point-to-multipoint fixed radio systems in the 11GHz to 60GHz band; Part 2: 24GHz to 30GHz," June 2002.  
 [7] DNR ITU-R F. [9B/HAPS - FWA], "Interference evaluation from fixed service systems using high altitude platform stations to conventional fixed service systems in the bands 27.5~28.35GHz and 31.0~31.3GHz," May 2002.  
 [8] ITU-R Recommendation F. 1404, "Minimum propagation attenuation due to atmospheric gases for use in frequency sharing studies between systems in the fixed service and systems in the broadcasting-satellite, mobile-satellite and space science services," 1999.

강 영 흥 (姜榮興)



1984년 : 항공대학교 통신공학사  
 1986년 : 항공대학교 전자공학 석사  
 1993년 : 항공대학교 전자공학 박사  
 1988년 3월~1990년 2월 : 항공대학교 통신정보공학과 조교  
 1995년 8월~1996년 8월 : 일본

오사카대학 객원교수  
 2000년 1월~현재 : 한국 ITU-R 위원  
 1990년 4월~현재 : 군산대학교 전자정보공학부 교수  
 관심분야 : 이동통신, 위성통신, 표준화

함 형 일 (咸炯一)



1998년 2월 : 호원대학교 정보통신 공학사  
 2003년 2월 : 군산대학교 전자정보 공학 석사  
 2003년 8월~현재 : 군산대학교 전자정보공학부 박사과정  
 관심분야 : UWB, 성층권통신망

최 문 환 (崔文煥)



2002년 2월 : 군산대학교 정보통신 공학사  
 2004년 2월 : 군산대학교 전자정보공학 석사  
 2004년 3월~현재 : 군산대학교 전자정보공학부 박사과정  
 관심분야 : 이동통신, 성층권통신망