Ka 대역에서 HAPS 비행선으로부터 GSO 위성으로의 간섭 영향 분석

정회원 강 영 홍*, 최 문 환**

The Analysis on the Interference Effects from Airship of HAPS system to Satellite of GSO system in Ka band

Young-Heung Kang,*, Mun-Hwan Choi** *Regular Members*

요 약

WRC-2000에서는 고정 업무(Fixed Service: FS)를 위한 HAPS의 운용을 위해 27.5 ~ 28.35GHz 대역과 31.0 ~ 31.3GHz 대역을 할당하였다. 그러나, 이 주파수 대역은 기존의 고정 위성 업무(Fixed Satellite Service: FSS)에 할당된 주파수이기 때문에 기존의 FSS/GSO 시스템과 FS/HAPS 시스템간의 간섭 영향에 대한 연구가 필요하게 되었다. 이러한 두 시스템간의 간섭 영향에 대한 연구를 수행하기 위해서는 주파수 운용 조건을 Reverse mode와 Forward mode로 고려할 수 있는데 본 논문에서는 HAPS 비행선으로부터 GSO 위성으로의 간섭 영향에 대해 Reverse mode의 주파수 운용 조건을 고려하였으며, C/I 기준, HAPS 시스템의 위도 그리고 HAPS 비행선의 송신 전력 등에 의한 간섭 영향을 분석하였다. 이러한 간섭 영향에 대한 분석 결과는 향후 HAPS와 고정 위성간의 주파수 공유를 위한 기준 설정에 중요한 데이터로 활용될 것이다.

Key Words : HAPS system, GSO system, Reverse mode, frequency sharing, Interference analysis

ABSTRACT

Since the bands 27.5 ~ 28.35GHz and 31.0 ~ 31.3GHz for existing fixed-satellite service were allocated to the HAPS system in WRC-2000, the analysis on the interference effects between the existing FSS/GSO system and FS/HAPS system should be needed. To do study on the interference effects between above two systems, we can consider two frequency operational conditions, one is the Reverse mode, the other is Forward mode. In this paper, we analyzed the interference effects from airship of HAPS systems to satellite of the GSO system in the case of Reverse condition mode due to the C/I criterion, the latitude of HAPS and transmitting power of HAPS airship. In future, these results will be vital data to share between HAPS and GSO systems.

Ⅰ. 서 론

성층권 무선 중계 시스템(HAPS: High Altitude Platform Stations)은 고도 20km ~ 50km의 성층권에 무선 중계기를 탑재한 비행선을 일정 위치에 유지시키고, 각종 무선 통신 서비스를 제공하는 시스템으로 초고속 무선 멀티미디어 서비스(음성, 화상, 고속 데이터 등)를 지원 가능하게 하는 차세대 초고속 무선 통신 인프라이다.[1]

이에 WRC-97에서는 47.2 ~ 47.5GHz 및 47.9 ~ 48.2GHz 대역에서 고정 서비스(FS: Fixed Service)를 위한 조항을 제정하였지만, 이 47GHz 대역은 강우 감쇠의 영향을 받기 쉽기 때문에 ITU-R은 대체 가능 주파수로 18 ~ 32GHz

* 군산대학교 전자정보공학부 위성통신 연구실(yhkang@kunsan.ac.kr)
** 군산대학교 전자정보공학부 위성통신 연구실(mhchoi@kunsan.ac.kr)
논문번호 : 040138-0331, 접수일자 : 2004년 3월 31일

대역에 대한 연구를 수행해 왔다. 그 결과 WRC-2000에서는 일부 국가에서 HAPS의 운용 주파수로 27.5 ~ 28.35GHz 대역과 31.0 ~ 31.3GHz 대역을 고정 서비스를 이용하는 HAPS 운용 주파수로 허용하였다.[2],[3]

그러나, 27.5 ~ 28.35GHz 대역 및 31.0 ~ 31.3GHz 대역은 기존의 고정 위성 서비스(FSS: Fixed Satellite Service)에 할당된 주파수이므로 기존의 FSS/GSO 시스템과 FS/HAPS 시스템 간의 간섭 영향 분석이 필요한 실정이다. 한편, 위성 시스템과 타 시스템간의 간섭 분석을 행하는데 있어서는 주파수 운용 조건을 Reverse mode(HAPS downlink와 GSO uplink를 동일 주파수로 운용)와 Forward mode(HAPS downlink와 GSO downlink를 동일 주파수로 운용)로 구분하여 간섭 분석 모델을 설정해야 한다.

이에 본 연구에서는 Reverse mode로 주파수 운용을 할 때 HAPS 시스템의 비행선으로부터 GSO 위성으로의 간섭 영향을 분석함으로써, 향후 HAPS 시스템의 설계에 도움을 주기 위한 자료를 제공하는데 그 목적이 있다. 이를 위해 Ⅱ장에서는 HAPS 시스템과 GSO 위성 시스템과의 간섭 모델을 제안하며, Ⅲ장에서는 간섭 분석을 수행하여 HAPS 비행선이 GSO 위성에 미치는 간섭 영향을 평가하고 Ⅳ장에서 결론을 내린다.

Ⅱ. 간섭 분석 모델

고도 20km의 HAPS 시스템을 이용하는 서비스 이미지는 그림 1과 같이 나타낼 수 있다. 20km 고도의 고정점에서 각 HAPS 비행선은 367개의 스팟빔을 이용해서 110km의 직경의 지상 서비스 지역을 커버한다. 본 논문에서는 110km의 직경의 커버리지를 서비스하기 위해 HAPS 시스템의 최소 운용 앙각을 20° 로 가정한다. 이와 같이 넓은 지역을 HAPS 시스템으로 커버하기 위해서는 수많은

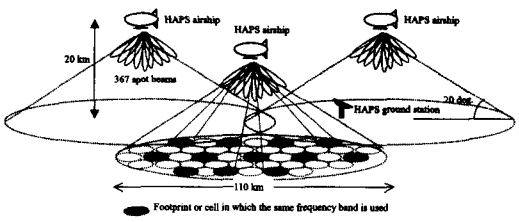

그림 1. HAPS 서비스 이미지

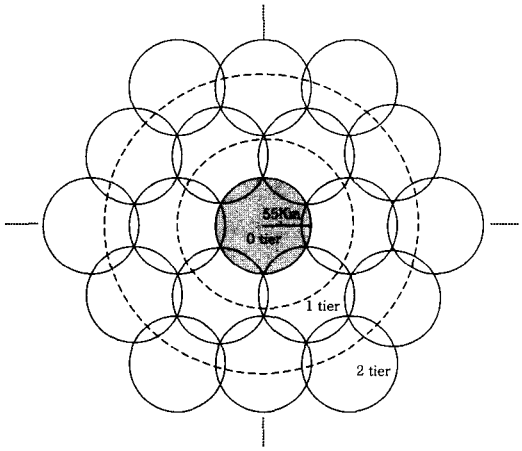

그림 2. 광역 서비스를 위한 커버리지 구성 예

HAPS 비행선을 고정 배치해야 하며, 지상에서의 서비스 커버리지는 그림 2와 같이 육상 이동 시스템의 tier개념으로 고려할 수 있다.

HAPS 비행선으로부터 지상국으로 downlink를 통해 신호를 전송하는 경우 만일 GSO 지구국으로부터 위성으로 uplink를 통해 신호를 전송한다면 HAPS 비행선으로부터 GSO 위성에 간섭 신호가 수신될 수 있다. 그림 3은 HAPS 시스템의 downlink 상에서 HAPS 비행선이 GSO 위성에 미치는 간섭을 분석하기 위한 모델을 보이고 있으며, HAPS 시스템의 downlink상에서 GSO 위성 시스템의 uplink로의 희망 신호 대 간섭 신호의 전력비 C/I는 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$C/I = P_e + G_e + G_s - [P_h + G_h(\Delta) + G_s(\Omega)] - 20log(l_w/l_i) \quad (1)$$

여기서,

P_e : *GSO* 지구국의 송신 전력
G_e : *GSO* 지구국의 송신 안테나 이득
G_s : *GSO* 위성의 수신 안테나 이득
P_h : *HAPS* 비행선의 송신 전력
$G_h(\Delta)$: 각 Δ에 대한 *HAPS* 비행선의 간섭 신호 송신 안테나 이득
$G_s(\Omega)$: 각 Ω에 대한 *GSO* 위성의 간섭 신호 수신 안테나 이득
l_w/l_i : 희망 신호 경로와 간섭 신호 경로의 거리 비

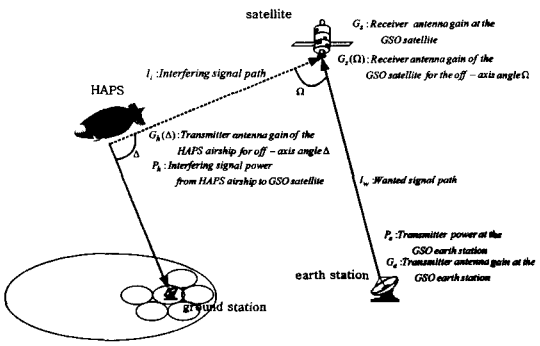

그림 3 HAPS 비행선으로부터 GSO 위성으로의 간섭모델

또한 HAPS 지상국들이 동일한 안테나 패턴을 갖는 다고 가정하고 HAPS 지상국 안테나 이득으로서 ITU-R 권고 F.1245-1[4]에 다음과 같이 규정되어 있다.

$$G(\delta) = G_{\max} - 2.5 \times 10^{-3} (\frac{D}{\lambda}\delta)^2 \ dB \quad for \ 0^\circ < \delta < \delta_m$$
$$39 - 5log\frac{D}{\lambda} - 25log\delta \ dB \quad for \ \delta_m \leqq \delta < 48^\circ$$
$$-3 - 5log\frac{D}{\lambda} \ dB \quad for \ 48^\circ \leqq \delta \leqq 180^\circ \qquad (2)$$

여기서,

$G_{\max}$: 안테나의 최대 이득 (dBi)

δ : $off-axis$ 각

D: 안테나 직경

λ : 파장

δ_m $:\frac{20\lambda}{D}\sqrt{G_{\max}-G_1}$

$G_1 : 2+15log\frac{D}{\lambda}$

한편 GSO 위성의 안테나 패턴은 ITU-R 권고 S.672-4[5]에 다음과 같이 규정되었으며 본 논문에서는 L_s를 -20으로 가정하여 a와 b를 각각 2.58과 6.32로 하여 계산하였다.

$$G(\phi) = G_m - 3(\phi/\phi_0)^2 \quad for \ \phi_0 \leqq \phi \leqq a\phi_0$$
$$G_m + L_s \quad for \ a\phi_0 < \phi \leqq b\phi_0$$
$$G_m + L_s + 20 - 25log(\phi/\phi_0) \quad for \ b\phi_0 < \phi \leqq \phi_1$$
$$0 \quad for \ \phi_1 < \phi \qquad (3)$$

여기서,

G_m : 안테나의 최대 이득 (dBi)

$G(\phi)$: 각 ϕ에서의 안테나 이득 (dBi)

ϕ_0 : $3dB$빔 폭 $(degree)$

ϕ_1 : 식 (3)의 패턴에서

$G(\phi)$가 $0dBi$일 때의 ϕ값

L_s : 최대 이득에 대한

요구되는 $near-in-side-level\,(dB)$

a, b : 아래 표에 주어진 값

L_s	a	b
-20	2.58	6.32
-25	2.88	6.32
-30	3.16	6.32

HAPS 비행선으로부터 GSO 위성으로의 간섭 영향에 대한 시뮬레이션을 위해 그림 4에서 보는 바와 같이 GSO 위성 시스템의 지구국을 적도상에 고정하고, HAPS 시스템의 홈셀을 서비스하는 비행선의 위도를 10°씩 증가시켜가면서 각각의 위치에서 GSO 위성으로의 간섭 영향을 계산하였으며, 또한 HAPS 시스템의 홈셀을 서비스하는 비행선의 nadir를 향하는 중심 빔의 송신 전력을 변화시켜가며 시뮬레이션을 수행하여 간섭을 야기하는 시스템

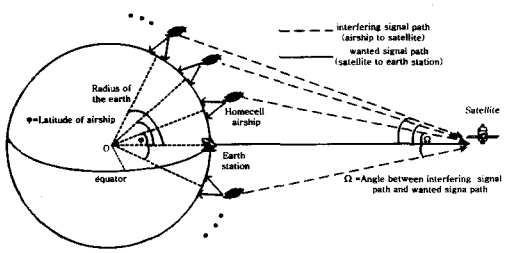

그림 4 시뮬레이션 모델

의 송신 전력이 간섭에 미치는 영향을 알아보았다.

또한 HAPS 지상국과 GSO 지구국의 위치가 극단적으로 나타날 경우 두 가지 형태로 간섭 모델을 설정하여 그 간섭 영향 분석을 간략히 할 수 있다.

1. Transhorizon path 모델(간섭영향이 최악인 경우)

그림 5는 HAPS 비행선으로부터 지상국으로 향하는 스팟 빔과 GSO 지구국에서 위성으로 향하는 스팟 빔이 일직선을 이루어 HAPS 비행선으로부터 GSO 위성으로의 간섭 경로가 수평을 이루는 경우의 모델을 보여주고 있다. 따라서 위성의 수신 안테나 이득은 비행선으로부터 들어오는 간섭 신호의 수신 안테나 이득과 같아지고 또한 전체 희망 신호의 경로와 간섭 신호의 경로의 길이가 거의 같아지기 때문에 이러한 경우에 HAPS 비행선으로부터 GSO 위성으로의 희망 신호 대 간섭 신호 전력비 C/I는 식 1에 의해서 식 4와 같이 나타낼 수 있으며, 또한 멀티 빔을 형성하는 HAPS 시스템일 경우 각 스팟 빔들의 총 C/I는 식 5와 같이 구할 수가 있다.

$$C/I \cong P_e + G_e - (P_h + G_h) = E_e - E_h \quad (4)$$

$$(C/I)_T \cong 1/\sum_i \frac{1}{[C/I]_i} \quad (5)$$

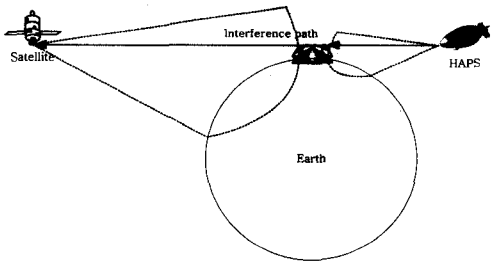

그림 5 Transhorizon path 모델

2. Backlobe path 모델(간섭영향이 최저인 경우)

그림 6은 GSO 지구국과 HAPS 지상국간의 거리가 멀리 떨어져 있는 경우에 대한 모델을 보이고 있다. 이 경우에서 HAPS 비행선으로부터 GSO 위성으로 향하는 간섭 신호와 GSO 위성의 안테나로 들어오는 수신 간섭 신호가 backlobe를 형성하게 되며 이 때 비행선으로부터 수신되는 간섭 신호에 대한 안테나 이득은 식 3의 위성 안테나 패턴식에 의해서 $0dB$가 되므로 HAPS 비행선으로부터 GSO 위성으로의 희망 신호 대 간섭 신호 전력비 C/I는 식 1에 의해서 식 6과 같이 나타낼 수 있으며, 또한 멀티 빔을 형성하는 HAPS 시스템일 경우 각 스팟 빔들의 총 C/I는 식 7로 구할 수가 있다.

$$C/I \cong P_e + G_e + G_s - (P_h + G_h(\Delta)) \quad (6)$$

$$(C/I)_T \cong 1/\sum_i \frac{1}{[C/I]_i} \quad (7)$$

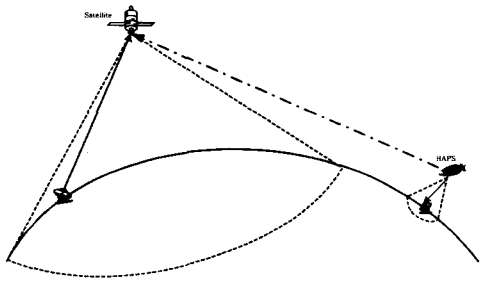

그림 6 Backlobe path 모델

Ⅲ. 간섭 분석 모델

본 연구에서는 HAPS 비행선으로부터 GSO 위성에 이르는 간섭 영향에 대한 분석을 수행하는데 있어, GSO 위성에 대한 허용 간섭 기준으로 $C/I = 22.1dB$를 이용하였으며, Doc.4-9S/219 -E에서 제시한 간섭 전력 대 잡음 전력비 C/N을 이용하여 식 8과 같이 C/I를 도출하였다.

$$C/I = C/N + 12.2dB \quad (8)$$

그림 7은 위에서 제시한 간섭 모델에 대하여 위도의 변화에 따른 각 시나리오의 C/I 값들의 변화를 나타내고 있다. Transhorizon path 모델(간섭 영향이 최악의 경우)의 경우에는 C/I 가 약 32.9 dB의 값을 보이고 있으며, Backlobe path 모델(간섭 영향이 최저의 경우)의 경우에는 120.9dB의 값을 보이고 있다. 이 때 단일 HAPS 시스템에 대한 위도별 C/I 값들의 변화는 위도가 남위와 북위

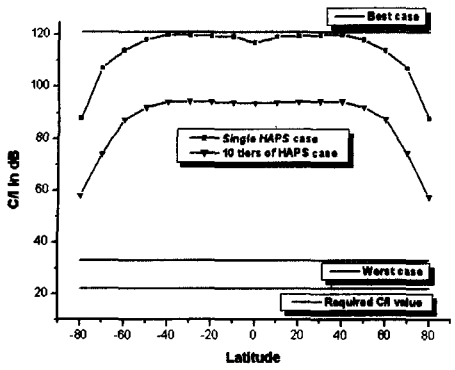

그림 7 여러 가지 시나리오에 대한 위도별 C/I

약 40° 까지는 116.9dB에서 119.9dB까지의 3 dB 차이를 보이며 거의 균일한 분포를 보이다가 이후 감소하기 시작하여 위도가 약 80° 에서 급격하게 감소하여 약 87.8dB의 C/I 값을 갖는다. 또한 비행선들에 의해 구성되는 tier가 10tier로 가정한 멀티 HAPS 시스템의 경우에 대한 위도별 C/I 값들의 변화 역시 HAPS 시스템의 위도가 증가함에 따라서 약 40° 까지는 93.6dB에서 94.4dB까지 거의 균일한 분포를 보이다가 50° 이후에 급격히 감소하고 있으며 80° 에서는 58dB의 C/I 값을 보이고 있다. 대부분의 경우 본 논문에서 이용한 간섭 기준인 22.1dB를 초과하고 있음을 알 수 있다.

그림 8은 간섭을 야기하는 시스템의 송신 전력이 간섭에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기

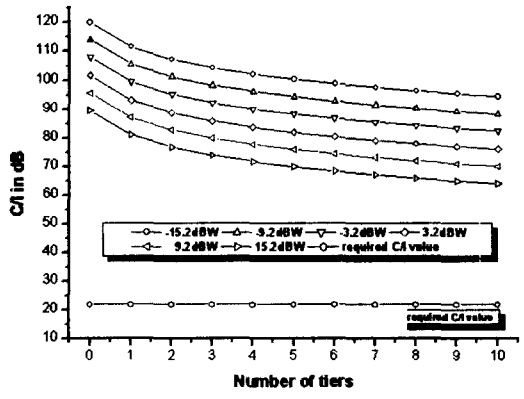

그림 8 전력 변화에 대한 tier별 C/I

위하여 10tier를 형성하는 멀티 HAPS 시스템

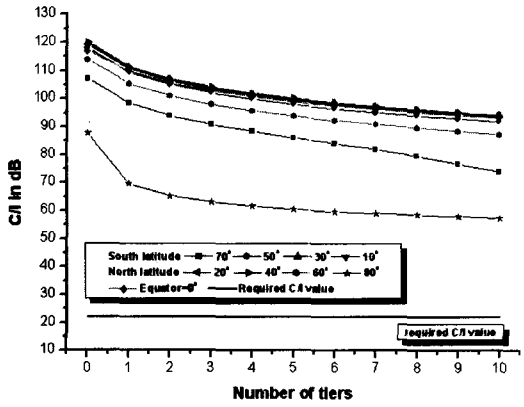

그림 9 위도 변화에 대한 tier별 C/I

에서 홈셀을 서비스하는 비행선의 위도를 40° 로 고정시키고 각 비행선의 nadir를 향하는 중심 빔의 전력을 변화시켜 가면서 산출한 각 tier별 C/I 값들을 나타내고 있다. 송신 전력을 증가시키면서 분석한 tier별 C/I 값들은 tier가 증가함에 따라서 균일하게 감소하고 있음을 알 수 있다. 하지만, tier의 증가에 따라 감소되는 C/I 값은 간섭 기준에 가까워지고 있는 것으로 미루어 간섭을 야기하는 비행선이 증가함에 따라 HAPS 비행선으로부터 GSO 위성으로의 간섭의 영향이 커지고 있음을 보여준다.

그림 9는 간섭을 야기하는 HAPS 비행선의 중심 빔의 송신 전력을 일정하게 고정시킨 후 비행선의 위도를 증가시켜가면서 각 위도에서 HAPS 비행선으로부터 GSO 위성으로의 간섭 영향을 보이고 있다. 위도가 40° 까지는 위도별 tier의 증가에 따른 C/I 값의 감소가 적은 폭으로 나타나고 있으나 50° 에서부터 감소의 폭이 증가하면서 80° 에서는 급격한 감소를 보이고 있다.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 고정 서비스를 제공하는 HAPS 시스템과 고정 위성 서비스를 제공하는 GSO 위성 시스템간의 간섭 영향을 정확하고 효율적으로 계산할 수 있는 방법을 제공하고 그 결과를 분석하였다.

그림 7에서 알 수 있듯이 HAPS 시스템의 셀 커버리지의 위도가 높아질수록 간섭의 영향이 크게 나타나 계산된 C/I 값들이 제시된 간섭 기준에 근접하고 있어 위도가 높은 지역에서의 HAPS 시스템의

서비스 커버리지 설계에서 GSO 위성에 미치는 간섭의 영향을 고려해야만 할 것이다. 특히 위도가 약 50° 이상의 지역에서는 적절한 간섭 경감 기법의 도입을 통해 GSO 위성에 미치는 간섭의 영향을 감소시켜야 할 것으로 보인다.

또한 그림 8에서는 각각 HAPS 시스템의 셀 커버리지의 위도를 고정시키고 각 비행선에서 nadir를 향하는 빔의 전력을 증가시켜감에 따라 tier별로 나타나는 간섭의 영향이 완만하게 증가하고 있음을 알 수 있으며, 그림 9와 같이 전력을 고정시키고 HAPS 시스템의 위도를 변화시킬 때 각 tier별 C/I 값의 변화에서는 HAPS 시스템의 셀 커버리지의 위도가 60° 가 될 때까지는 거의 비슷한 값을 보이면서 tier의 증가에 완만한 감소 형태를 보였으나, 80° 에서는 급격히 감소되고 있음을 알 수 있었다. 따라서 고정 서비스를 제공하는 HAPS 시스템과 고정 위성 서비스를 제공하는 GSO 위성 시스템간의 공유를 위해서 위도가 높은 지역에서는 적절한 간섭 경감 기법 등의 도입을 통해 GSO 위성으로의 간섭의 영향을 감소시켜야 할 것으로 보인다. 또한 tier별로 나타나고 있는 간섭 영향의 분포에서 알 수 있듯이 비행선의 대수가 증가하면서 간섭 영향이 점차 커지고 있어 향후 두 시스템간의 공유 기준 설정에 있어서 HAPS 비행선의 운용 대수를 적절하게 유지하는 방법 등이 도입되어야 할 것으로 보인다.

본 논문의 간섭 영향에 대한 분석 결과는 향후 HAPS와 GSO 위성간의 주파수 공유를 위한 기준 설정에 중요한 데이터로 활용될 수 있을 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] Masayuki OODO, 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] Rec. ITU-R F.1245-1, Mathmetical model of average and related radiation patterns for line-of-sight point-to-point radio-relay system antennas for use in certain coordination studies and interference assesment in the frequency range from 1GHz to about 70GHz

[5] Rec. ITU-R S.672-4, Satellite antenna radiation pattern for use as a design objective in the fixed-satellite service employing geostationary satellite, 1990- 1992- 1993- 1995- 1997

강 영 흥(Young-Heung Kang) 정회원

1984년 : 한국항공대학교 통신 공학사
1986년 : 한국항공대학교 전자공학 석사
1993년 : 한국항공대학교 전자공학 박사
1988년 3월~1990년 2월 : 한국항공대학교 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

최 문 환(Mun-Hwan Choi)

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