

국내 큐브위성 지상국 전파환경 측정

문귀원^{1,†}, 구철희¹, 이성윤², 구인회¹, 안상일¹

¹한국항공우주연구원
²(주)휴라

Measurement of RF Environment for CubeSat Ground Stations in Korea

Guee Won Moon^{1,†}, Cheol Hea Koo¹, Seongyun Lee², In Hoi Koo¹ and Sang Il Ahn¹

¹Korea Aerospace Research Institute
²HURA Co., Ltd.

Abstract

This study measured the radio environment of 10 domestic institutions with CubeSat ground stations for 24 hours in three frequency bands (VHF/UHF/S-band) allocated by the International Telecommunication Union (ITU). The impact of the RF environment around the ground stations on CubeSat downlink frequencies was analysed and compared with acceptable interference noise requirements from the CubeSat RF link. The findings indicate that not only the selection of downlink frequency but also the configuration of RF communication link design and ground station system of CubeSat should consider the S-band RF environment around the ground station due to the presence of several wireless devices.

초 록

큐브위성 관제를 위해 국제전기통신연합 (ITU, International Telecommunication Union)에서 할당하고 있는 아마추어 주파수 가운데 3개의 주파수 대역 (VHF/UHF/S-band)에 대하여, 큐브위성 지상국을 보유하고 있는 국내 10개 기관 사이트의 전파환경을 24시간 동안 각각 측정하였다. 측정된 결과를 바탕으로 큐브위성의 하향 교신주파수에서의 지상국 주변 전파잡음과 큐브위성 RF 통신링크에서 허용가능한 지상국 주변의 간섭잡음 요구조건을 비교하여 영향성을 분석하였다. 분석 결과 S 대역 환경은 다양한 무선 기기의 주파수가 혼재되어 사용되므로 지상국 주변 전파환경을 고려하여 큐브위성의 하향 교신주파수를 선정하여야 하고 아울러 RF 통신링크 설계나 지상국 시스템을 구성하여야 함을 확인하였다.

Key Words : CubeSat(큐브위성), Ground Station(지상국), Frequency(주파수), Band(대역), Noise(잡음)

1. 서 론

초소형위성은 저비용으로 단기간 개발이 가능하며, 우주신기술 개발과 우주탐사에 진입하는 장벽을 낮춤으로써 우주산업이 활성화되는데 핵심적인 역할을 하고 있다.

과학기술정보통신부는 2012년부터 우주인력 양성과

우주기술의 저변확대를 위해 초소형위성급 큐브위성 경연대회를 개최하여 왔고, 2031년까지 100기 이상의 공공분야 초소형위성을 산업체 주도로 개발할 예정이다. 또한 4개의 중소·벤처기업을 최종 선정하여 우주산업에 진출할 수 있도록, 초소형위성 기반의 우주 비즈니스 시범모델 개발을 위한 ‘스페이스 이노베이션’ 사업을 추진하고 있다.

이러한 일련의 초소형위성 프로그램의 임무성공을 위한 기반의 일환으로, 정부 출연연구원 및 국내 대학에 구축되어 있는 큐브위성 지상국의 전파환경을 측정하여 위성의 통신링크 영향성을 사전에 검토할 수

Received: Aug. 10, 2022 Revised: Oct. 29, 2022 Accepted: Nov. 10, 2022

† Corresponding Author

Tel: +82-42-860-2455, E-mail: aeromoon@kari.re.kr

© The Society for Aerospace System Engineering

있도록 하였다.

본 논문에서는 2019년 경연대회에서 선정되어 큐브위성을 개발하고 있었던 4개 대학의 지상국 주변 전파환경을 24시간 동안 측정된 결과와 그 활용 방안을 제시하였다. 측정된 결과를 바탕으로 개발 큐브위성의 통신링크 버짓에서 요구하는 허용 가능한 수신 간섭잡음 레벨과 비교하였으며, 큐브 위성의 교신주파수 대역에서의 전파잡음 영향성을 분석하였다.

2. 큐브 위성 지상국 전파환경 측정

2.1 측정 개요

우주공간의 큐브위성이 사용하는 주파수는 국제전기통신연합(ITU)에 등록이 필요한 반면, 지상에서는 신고는 하되 허가 없이 사용하는 비면허 대역의 주파수로 특히 대학교는 많은 사람들이 같이 사용하는 공용 시설이기에 블루투스(Bluetooth), 와이파이(Wi-Fi) 등의 무선 기기와 다양한 연구과제 수행으로 여러가지 전파 사용 장치들이 주변에 있을 가능성이 높다.

그런데, 큐브위성은 지상에서 수백 km 이상의 먼 거리에 있어 수신 신호는 미약 신호가 되어 지상에서의 다른 신호와 중첩된다면 혼신에 취약할 수밖에 없다 [1]. 이런 이유로 성공적인 큐브 위성 통신을 위하여 국내에 구축된 큐브 위성 지상국 주변의 전파환경을 측정하였고, 10개 대상 기관은 다음 Table 1과 같다.

Table 1 CubeSat Ground Stations Measured

출연연구원(2)	한국항공우주연구원(대전) 한국천문연구원(대전)
대학(8)	서울대학교(서울), 연세대학교(서울) 경희대학교(용인), 항공대학교(고양) 충남대학교(대전), KAIST(대전) 공군사관학교(청주) 조선대학교(광주)

측정은 2020년 10월 7일부터 11월 13일까지 실시하였고, 구체적인 측정 장소와 측정 시의 환경은 Table 2와 같다.

2.2 측정 방법

전파잡음의 측정 구성 및 방법은 ‘KS X 3237:2015, 전파잡음 측정방법’에 따라 수행하였다[2]. Figure 1은 전파환경 측정을 위한 측정시스템 구성도를 나타낸다. 측정에 사용된 계측 장비는 전파측정 수신기(Edge RF)이다.

Table 2 Measurement Places and Conditions

측정장소	날씨	위성안테나 거리	특이사항
한국천문연구원 세종홀 옥상	맑음	5 m	-
한국항공우주연구원 활용협력센터옥상	맑음	5 m	안테나 설치중
경희대학교 천문대 3층	맑음	3 m	근처 공군부대
서울대학교 공과대학 옥상	맑음	5 m	관악산 방송 안테나
한국항공대학교 전자관 옥상	흐림	20 m	20m거리 이동통신 안테나
연세대학교 이과대학 옥상	맑다 흐림	10 m	10m거리 위성 안테나
충남대학교 기초2호관 옥상	맑음	3 m	-
공군사관학교 단재관 5층	맑음	10 m	-
카이스트 N7-2(기계공학부)	맑음	3 m	-
조선대학교 항공우주공학관 옥상	맑음	5 m	-

전파측정 수신기는 전파측정을 목적으로 만들어진 수신기로, 전파 스펙트럼을 측정하는 스펙트럼 분석기와 다르게 수신기 앞단에서 관심있는 주파수 범위의 신호만 필터링하여 통과시키는 전단 필터(Pre-Selection Filter)를 구비하여 대역 외의 큰 전파 주파수를 차단함으로써 원하는 주파수의 신호를 잘 수신할 수 있게 하는 특징이 있다.

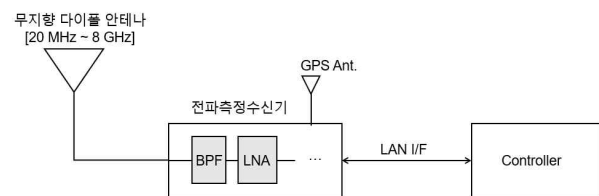


Fig. 1 RF Environment Measurement System Configuration

또한 온도를 일정하게 하는 기능을 넣어 높은 주파수 정확도와 낮은 위상잡음 특성을 가진, GPS에 동기화된 OVCXO(Oven Controlled Crystal Oscillator)를 기

준주파수 발생기로 사용하고 있다.

측정 안테나는 20 MHz ~ 8 GHz 주파수 대역을 커버하는 광대역 무지향 다이폴 안테나를 사용하였다.

지상국 전파환경 측정시의 위성 안테나와 측정 안테나 및 전파측정 수신기의 배치 형상은 Fig. 2와 같다.

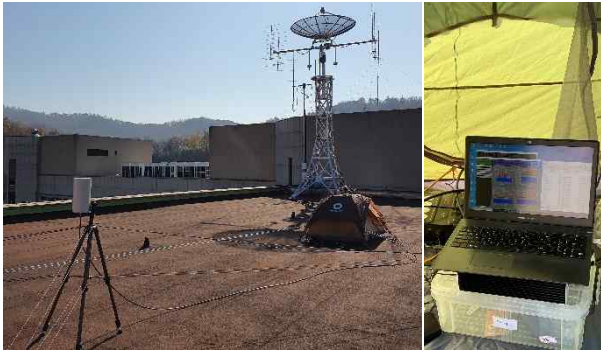


Fig. 2 RF Measurement Set Configuration

Table 3은 본 측정의 최종 주파수 대역으로, VHF, UHF 및 S-band 총 3개의 대역을 선정하였다. 측정대역은 큐브위성의 통신에 사용될 수 있는 아마추어 주파수 대역이 포함되도록 하였다.

Table 3 RF Environment Measurement Bandwidth

대역	측정대역 (MHz)	RBW (kHz)	아마추어주파수 (MHz)
VHF	137-156	1	144-146
UHF	420-450	1	435-438
S-band	2,200-2,500	5	2,400-2,450

협대역 신호를 주로 사용하는 VHF(140 MHz) 및 UHF(430 MHz) 대역은 분해능 대역폭을 1 kHz로, 광대역 신호를 주로 사용하는 2.4 GHz 대역의 S 대역은 분해능 대역폭을 5 kHz로 각 대역의 특징에 맞춰 분해능 대역폭을 조정하여 측정하였다.

분해능 대역폭(RBW; Resolution Bandwidth)은 스펙트럼 분석기에서 스펙트럼을 표현하는 파라미터 중의 하나로, 측정주파수 대역의 분해능력을 의미한다. RBW는 측정하고자 하는 신호의 주파수 대역폭보다 작게 설정해야 정확한 신호를 계측할 수 있으며, RBW가 작을수록 세밀한 주파수 전력을 표시할 수 있다.

2.3 측정 방법

측정 주파수 대역의 주파수 범위가 넓기 때문에 보다 정밀한 측정을 위해 측정대역을 나누어 측정하는 Swept FFT(Fast Fourier Transform) 방식으로 측정을 진행하였다[3,4].

FFT 분석은 시간축 신호를 어느 구간만 잘라내어

계산하므로 샘플된 신호에 불연속이 생기게 되는데, 이로 인해 단일 주파수 스펙트럼과 이웃하는 주파수 성분이 모두 나타나게 된다. 이웃하는 주파수 성분을 사이드 로브(side lobe) 또는 신호 누설이라고 하는데, 사이드 로브가 클 경우 측정하고자 하는 신호 스펙트럼을 구분하기 어렵게 한다.

이러한 사이드 로브 효과를 줄이기 위해 FFT 방식으로 스펙트럼을 계산할 때는 윈도우 함수를 사용하는데, 그 종류가 다양하고 특성이 다르다. 본 측정에서는 Blackman-harris 4term 함수를 적용하여 계산하였으며, Blackman 함수는 신호의 사이드 로브가 작게 나타나고 신호 레벨의 동적범위가 넓어 다른 주파수로의 신호누설이 적은 특징을 가지고 있다.

스펙트럼 측정을 위한 FFT 사이즈는 8192 포인트(2^{13})를 사용하였다. VHF 대역의 측정주파수 범위는 19 MHz, UHF 대역은 30 MHz로 RBW를 1 kHz 선정하였을 때, 한번에 측정할 수 있는 FFT 측정대역폭은 3.2 MHz로 정해진다. S 대역의 RBW는 5 kHz로 FFT 측정대역폭은 16 MHz이다. 각 대역의 측정 주파수 범위를 FFT 측정대역폭으로 나누면 Table 4와 같은 측정횟수로 측정하게 된다.

Table 4 Number of Measurement Times

대역	측정대상 범위 (MHz)	FFT 측정대역폭 (MHz)	RBW (kHz)	대역내 측정수
VHF	19	3.2	1	6
UHF	30	3.2	1	10
S-band	300	16	5	19

측정은 하루 중에 어느 시간 대에 사용량이 있는지를 조사하기 위해 24 시간을 연속으로 측정하였다. GPS 시각 기준으로 매 30 초 마다 VHF부터 순차적으로 35개의 측정 대역을 측정하여, FFT 계산을 통해 각 스펙트럼들의 최대, 최소 및 평균값을 구했다.

3. 지상국 전파환경 측정 결과

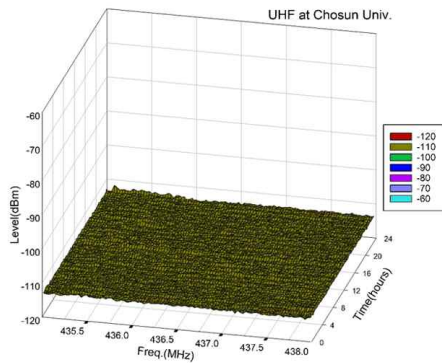
지상국 전파환경은 Table 2에 명시한 10개의 지상국에 대하여 모두 측정하였으나, 본 논문에서는 2019년 경연대회에서 선정된 큐브위성을 개발하던 4개 대학의 지상국 주변에 대한 전파환경 측정 결과를 정리하였다. 측정 결과는 Table 3의 측정 대역 중, 위성통신에 사용할 수 있는 아마추어 주파수 대역에 한정하여 나타내었다.

3.1 대학별 지상국 전파환경 특성

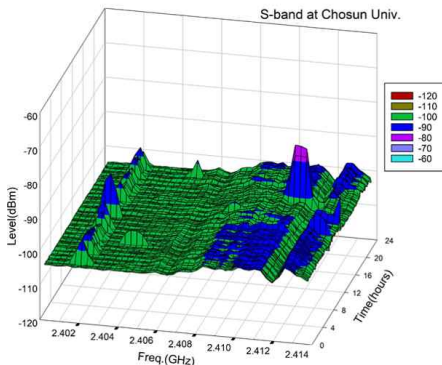
(1) 조선대 지상국 전파환경 특성

조선대 항공우주공학관 옥상에서 측정한 전파잡음 측정결과는 Fig. 3과 같다. Figure 3(a)는 UHF 대역의 435-438 MHz 아마추어 주파수대에서 측정한 전파환경이며, Fig. 3(b)는 2,400-2,414 MHz의 S 대역에 대한 전파환경이다.

UHF 대역의 측정결과는 -110 dBm 이하로 전파잡음이 거의 측정되지 않았으며, S 대역의 경우 2402 MHz, 2409 MHz, 2411 MHz, 2413 MHz 주파수대에서 -90 dBm 이상의 전파잡음이 발생하는 것을 확인하였다.



(a) UHF-band Noise Spectrum



(b) S-band Noise Spectrum

Fig. 3 RF Environment of Chosun University Ground Station

(2) 카이스트 지상국 전파환경 특성

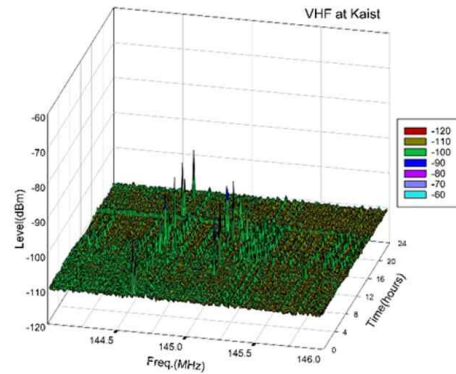
Figure 4는 카이스트 기계공학부 건물에서의 전파잡음 측정결과이다. Figure 4(a)는 144-146 MHz VHF 아마추어 주파수대에서의 전파환경이며, (b)는 UHF 대역의 전파환경, (c)는 S 대역에 대한 전파환경이다.

VHF 대역의 경우 잡음 레벨은 약 -100 dBm으로 측정되었으며, 144.5 MHz와 145 MHz에서 약 -90 dBm 정도의 전파잡음이 간헐적으로 나타났다.

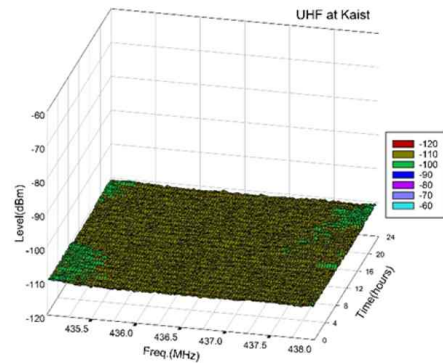
UHF 대역의 경우 -110 dBm 정도의 전파잡음이 나타났다며 435.5 MHz 이하, 437.3 MHz 이상의 주파수

대역에서 10 dB 정도 높은, -100 dBm의 잡음 레벨이 측정되었다.

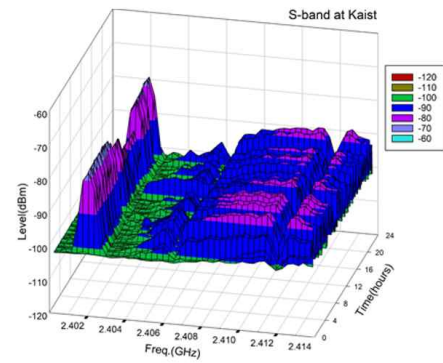
S 대역의 전파환경은 전반적으로 잡음 레벨이 높게 측정되었다. 2402 MHz에서 최대 -70 dBm까지 측정되었으며, 2403 MHz 주파수 주변을 제외하고는 -90 dBm 이상의 전파잡음이 24시간 동안 지속적으로 관측되었다.



(a) VHF-band Noise Spectrum



(b) UHF-band Noise Spectrum



(c) S-band Noise Spectrum

Fig. 4 RF Environment of KAIST Ground Station

(3) 서울대 지상국 전파환경 특성

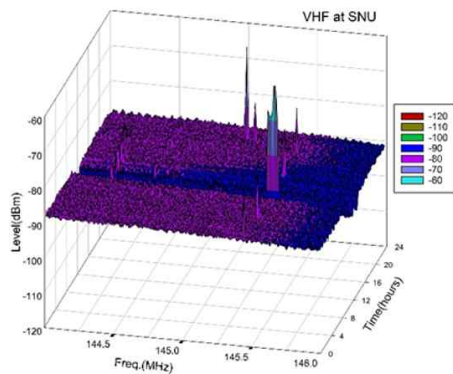
서울대 공과대학 옥상에서 측정한 전파환경은 Fig. 5에서 보여준다. 서울대 지상국 주변의 VHF 대역 전파잡음 환경은 카이스트와 비교했을 때 약 20 dB 이상

높게 측정되었다.

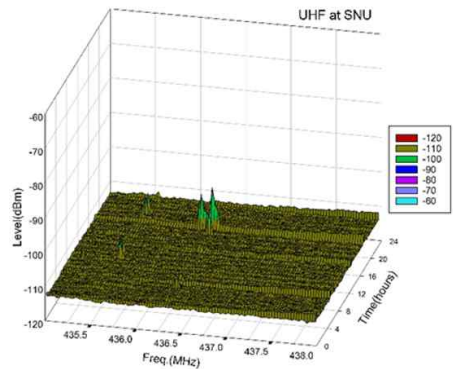
144-145.5 MHz 주파수 대역에서 -80 dBm 정도의 전파잡음이 발생하였고, 145.6-146 MHz 주파수대의 전파잡음은 대략 -90 dBm으로 나타났다.

UHF 대역에서는 대부분 -110 dBm 이하의 낮은 전파잡음이 측정되었으며, 가장 큰 잡음레벨은 436 MHz 근방에서 -100 dBm이었다.

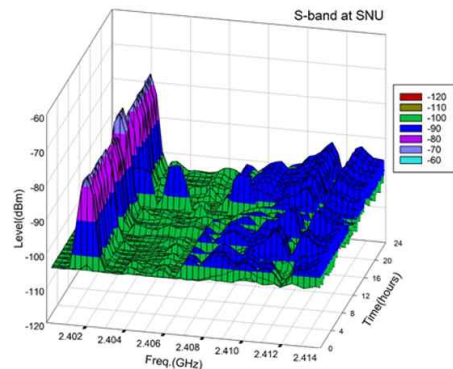
S 대역의 전파환경은 카이스트 지상국 주변 환경과 유사하게 측정되었다. 2402 MHz에서 최대 -70 dBm까지 측정되었으며, 2408-2414 MHz까지 -90 dBm의 전파잡음이 24시간 동안 지속적으로 측정되었다.



(a) VHF-band Noise Spectrum



(b) UHF-band Noise Spectrum

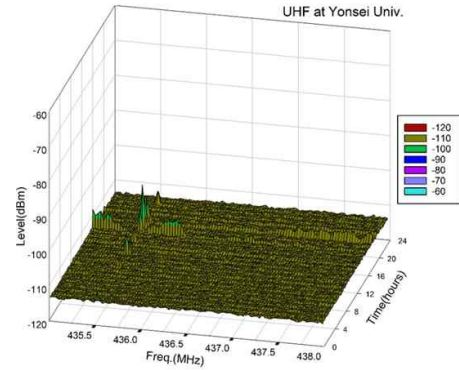


(c) S-band Noise Spectrum

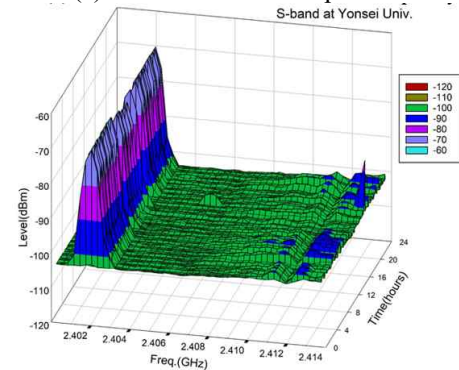
Fig. 5 RF Environment of Seoul National University Ground Station

(4) 연세대 지상국 전파환경 특성

연세대 이과대학 옥상에서 측정한 전파환경은 Fig. 6 과 같다.



(a) UHF-band Noise Spectrum



(b) S-band Noise Spectrum

Fig. 6 RF Environment of Yonsei University Ground Station

다른 3개 대학과 마찬가지로 UHF 대역에서는 대부분 -110 dBm 이하의 낮은 전파잡음이 측정되었으며, 가장 큰 잡음레벨은 435.5 MHz 근방에서 -100 dBm 이었다.

S 대역의 전파잡음은 다른 3개 대학과는 다른 잡음 환경을 보여준다. Figure 6 (b)는 연세대 지상국 주변의 S 대역 전파환경으로, 2402 MHz 주파수대에서 -70 dBm의 전파잡음이 24시간 측정된 것은 카이스트와 서울대 환경과 유사하나, 2403-2411 MHz까지 -100 dBm으로 낮은 전파잡음 특성을 보이고 있었다. 2402 MHz를 제외하고는 2413-2414 MHz 대역에서 잡음레벨은 -90 dBm이었다.

Table 5는 지역별 지상국 전파환경 측정결과를 정리한 내용이다.

Table 5 Maximum RF Noise Level around Ground Stations

지상국	측정잡음레벨
조선대	VHF: N/A UHF: < -110 dBm S: -90 dBm (-80 dBm@2411 MHz)
카이스트	VHF: -90 dBm@145 MHz UHF: -110 dBm (-100 dBm@435 MHz) S: -90 dBm (-70 dBm@2402 MHz)
서울대	VHF: -90 dBm @145.6-146 MHz UHF: -110 dBm (-100 dBm@436 MHz) S: -90 dBm (-70 dBm@2402 MHz)
연세대	VHF: N/A UHF: -110 dBm (-100 dBm@435.3 MHz) S: -90 dBm (-70 dBm@2402 MHz)

3.2 수신주파수 대역별 지상국 전파환경 특성

앞 절에서 설명한 큐브위성 지상국 주변의 전파환경 측정결과를 위성통신 수신주파수 대역별로 비교 및 분석하였다.

(1) UHF 대역 전파환경

과학기술정보통신부 고시(제2022-19호) 대한민국 주파수 분배표에 따르면 430-441 MHz 주파수대는 무선탐지, 아마추어, 항공이동을 제외한 이동의 용도로 분배된 주파수 대역이다. 435 MHz 가 아마추어국 지정주파수로 사용되고 있고, 433.795-434.045 MHz는 데이터 전송용 특정 소출력 무선기기 주파수로 할당되어 있으며, 433.67-434.17 MHz는 컨테이너 집하 및 관리 장소에 한하여 RFID/USN(Ubiquitous Sensor Network)용 주파수로 사용된다[5].

UHF 대역에 대한 각 지상국의 전파잡음 레벨은 유사한 경향을 나타냈으며 배경잡음 레벨은 약 -110 dBm이었다. Figure 7의 UHF 대역 측정 결과 비교에서 보여준 것과 같이 카이스트 지상국의 경우 435.3 MHz 이하, 437.3 MHz 이상에서 -100 dBm으로 10 dB 높게 측정되었고, 서울대의 경우 436 MHz 주변, 연세대의 경우 435.3 MHz에서 배경잡음 레벨보다 10 dB 높게 나타났다.

배경잡음 레벨보다 높게 나타난 주파수들은 아마추어 무선통신이나 데이터전송용 무선기기에서 사용되는 주파수임을 확인할 수 있다.

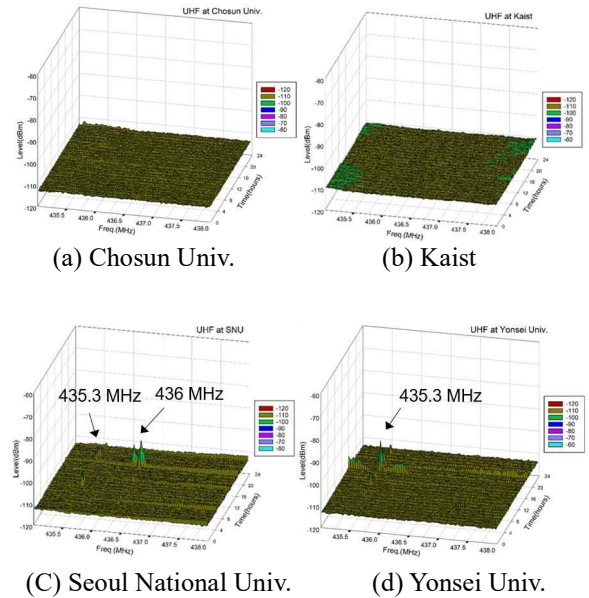


Fig. 7 UHF Noise Level Comparison

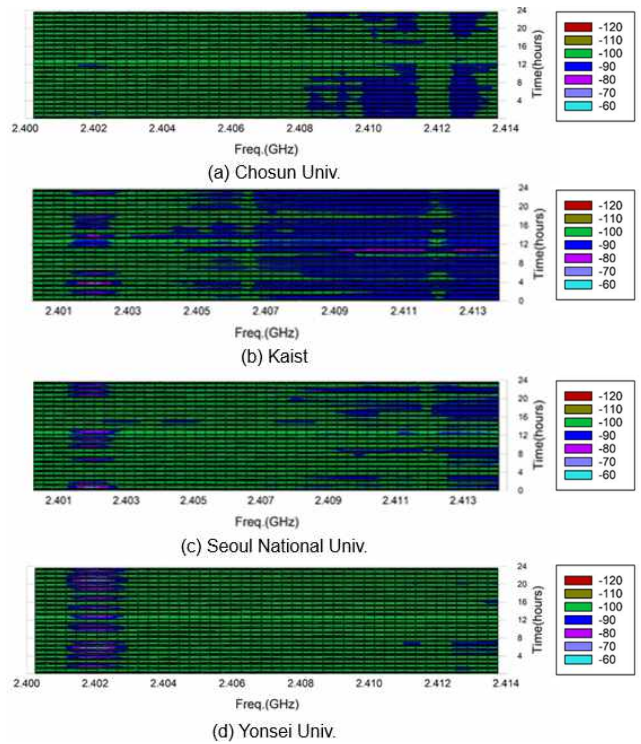


Fig. 8 S-band Noise Level Comparison

(2) S 대역 전파환경

S 대역의 경우는 UHF 대역과 달리 전파잡음이 매우 높게 측정되었으며, 사용되는 주파수도 넓게 분포하고 있었다. Figure 8은 각 지상국의 S 대역 전파잡음 측정결과를 비교한 그래프이다.

모든 대학의 지상국 주변에서 공통적으로 잡음 레벨이 높게 나타난 주파수는 2402 MHz 주변과 2413 MHz 주변 주파수였다. 특히 2402 MHz 주변 주파수대에서는 조선태를 제외한 다른 대학에서는 최대 -70 dBm으로 나타났다. 카이스트 지상국의 경우 2403-2404 MHz 대역을 제외한 모든 주파수대에서 전파잡음이 발생하였다.

2300-2450 MHz 주파수대는 고정, 이동, 무선탐지 및 아마추어 용도로 분배된 주파수 대역이며 실생활에 광범위하게 사용되고 있다. 국내에 분배된 주파수대역과 용도는 Table 6과 같다[5].

Table 6 2300-2450 MHz Frequency Allocation

주파수대역	용도
2300-2483.5 MHz	도서통신용
2300-2400 MHz	휴대인터넷용
2400-2483.5 MHz	무선데이터통신시스템용 무선기기
2427-2453 MHz 2434-2465 MHz 2439-2470 MHz	이동체식별장치용 무선기기
2400-2483.5 MHz	코드없는 전화기
2425 MHz	아마추어국지정주파수

무선데이터 통신시스템용 무선기기가 사용하는 2400-2483.5 MHz 대역은 산업·과학·의료 등에 쓰이는 주파수 대역(ISM band)으로, 대표적인 무선통신 시스템으로는 블루투스, 무선랜(Wi-Fi), Zigbee 등이 있다. Figure 9는 2.4 GHz ISM 밴드에서의 블루투스, 무선랜, Zigbee의 사용 주파수 채널을 보여준다[6]. 이를 통해 2400-2483.5 MHz 대역 전반에 걸쳐 무선기기들이 주파수를 점유하여 사용하고 있는 것을 알 수 있다.

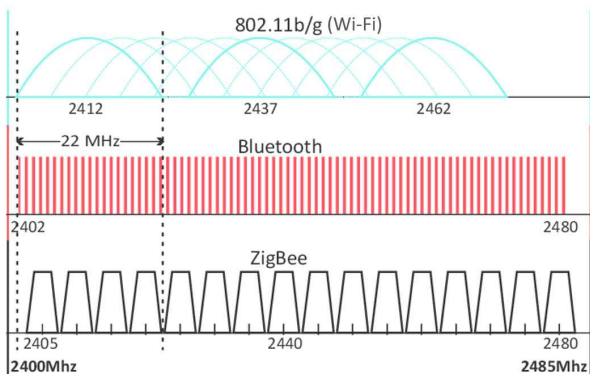


Fig. 9 802.11, Bluetooth and ZigBee Channels in the 2.4 GHz ISM Band[6]

Figure 9의 주파수 대역 점유 현황과 S 대역에서 측

정한 전파잡음 결과와 비교하면 2402 MHz 주변의 높은 전파잡음의 주요 요인은 블루투스 통신에 의한 것으로 추정할 수 있으며, 2410 MHz 주변의 전파잡음은 무선랜 및 Zigbee에 의한 것으로 추정된다. 이와 같이 큐브위성의 S 대역 통신링크 환경은 다양한 무선기기의 주파수와 혼재되어 사용되므로 주변 전파환경을 고려하여 위성의 RF 통신링크 설계나 지상국 시스템을 구성하여야 한다.

4. 측정결과 적용 및 시사점

4.1 큐브위성 지상국 전파환경 영향성 분석

큐브위성의 교신주파수는 위성의 상세설계회의 이후 주파수 등록 단계에서 최종 확정되었는데, 연세대 큐브위성의 경우는 제공된 지상국 주변 전파환경 특성을 고려하여 하향 교신주파수를 최종 조정하였으며, 서울대 큐브위성은 당초 설정된 하향 교신주파수가 제공된 지상국 주변 전파환경을 고려하였을 때 최적임을 확인하였다.

Table 7은 큐브위성의 하향 교신주파수를 보여주고 있으며, Fig. 10은 지상국 전파잡음 스펙트럼에서 선정된 교신주파수를 나타냈다.

Table 7 CubeSat Downlink Frequencies

지상국	Frequency Band	
	UHF-Band	S-Band
조선대	437.485 MHz	2412 MHz
카이스트	436.0285 MHz	2404 MHz
서울대	436.49 MHz	2405 MHz
연세대	436.5 MHz	2406.55 MHz

지상국 주변의 전파잡음이 클 경우 위성 통신링크에 간섭잡음으로 작용할 수 있으며, 이는 RF 링크의 신호대 잡음 비(SNR)를 악화시킨다. 따라서 큐브위성 하향 교신주파수에서의 지상국 주변의 전파잡음과 큐브위성 RF 통신링크에서 허용가능한 지상국 주변의 간섭잡음 요구조건을 비교하여 영향성을 분석하였다.

위성의 설계단계에서는 RF 링크버짓 분석이 수행되는데, RF 링크버짓은 궤도상의 위성과 지상국간의 통신링크에 대해 요구성능, 즉 RF 통신시스템의 성능을 만족하는지 평가하는 기법이다.

큐브위성을 개발하던 대학에서 수행한 상세설계검토(CDR) 자료와 시험준비검토(TRR) 자료에는 각 큐브위성의 RF 링크버짓 설계 데이터가 제시되었는데, RF 통신 시스템의 성능지표로 잡음전력밀도에 대한 비트에너지의 비(E_b/N_0)가 사용되었다[7-10].

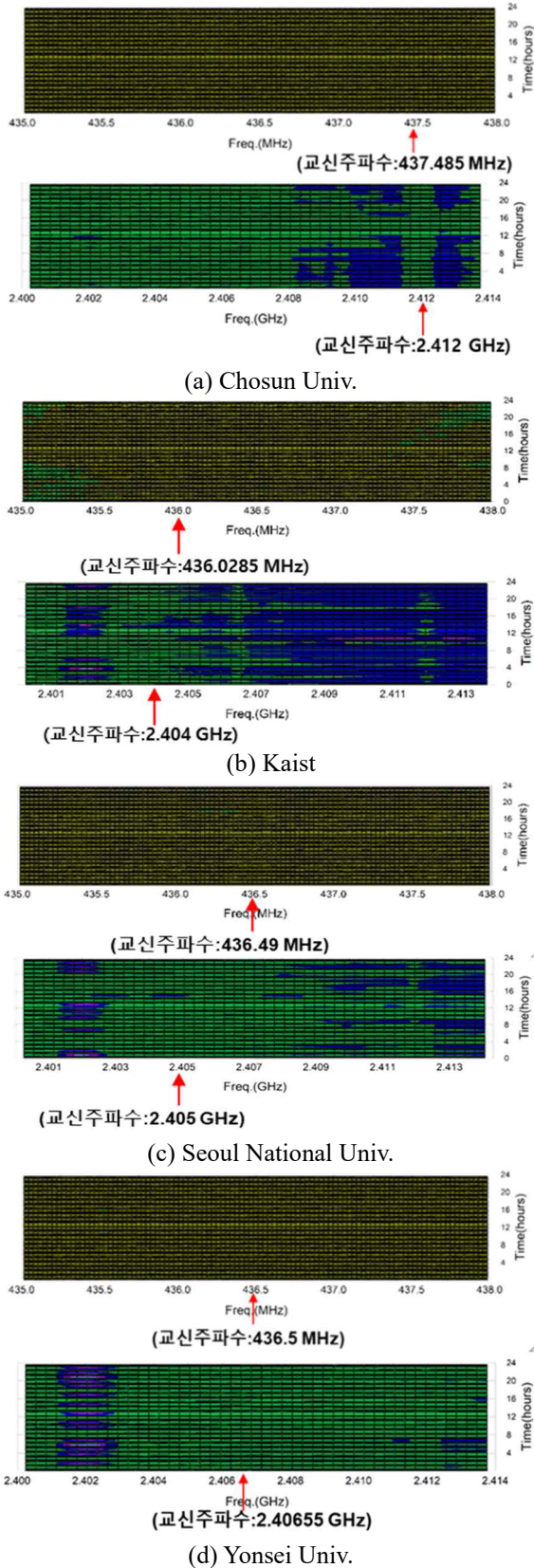


Fig. 10 CubeSat Downlink Frequencies with RF Noise Spectrum

E_b 는 비트 당 에너지로 신호전력(S)을 비트율(data rate)로 정규화 한 것이며, N_0 는 잡음전력 스펙트럼 밀도로 잡음전력(N)을 대역폭(Bandwidth)으로 정규화 한 것이다. E_b/N_0 는 Eq. 1과 같이 표현된다[11].

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S}{N} \times \frac{\text{Bandwidth}}{\text{Data Rate}} \tag{Eq. 1}$$

RF 링크버짓 설계 데이터에서 제시된 E_b/N_0 요구기준, 대역폭, 비트율과 지상국 시스템에서 수신하는 위성의 신호 전력(S)을 Eq. 1에 적용하면 시스템에서 요구하는 잡음전력(N)을 계산할 수 있다.

여기에서 잡음전력은 지상국 시스템에 의한 잡음을 의미하며, 지상국 주변의 전파환경에 의한 잡음은 지상국 시스템 잡음전력에 추가적인 간섭으로 작용한다.

만약 전파환경에 의한 간섭잡음이 지상국 시스템 잡음전력에 비해 매우 작다면 전파환경에 의한 간섭잡음이 SNR 성능에 미치는 영향이 미미하다 라고 할 수 있다.

즉, 지상국 시스템에 의한 잡음전력에 비해 전파환경에 의한 간섭잡음이 6 dB 이하일 경우 영향성이 거의 없다고 할 수 있으므로[12], 지상국에서 요구하는 전파환경에 의한 간섭잡음 기준은 Eq. 1을 이용하여 계산된 지상국 시스템에 의한 잡음전력 값보다 6 dB 낮은 값으로 계산하였다.

상기에서 계산된 지상국에서 허용 가능한 전파환경에 의한 간섭잡음 기준과 각 지상국에서 측정된 전파잡음 전력을 비교해 본 결과, 선정된 큐브위성의 하향 교신주파수에서 지상국 주변의 전파잡음 레벨이 큐브위성의 RF 통신에 영향을 주지 않음을 확인하였다.

4.2 시사점

큐브위성에서 사용하는 통신주파수는 국제전기통신연합(ITU)에 등록해야 하지만, 지상에서는 신고하지 않고 개설할 수 있는 비면허 주파수 대역으로 해당 대역은 다양한 용도로 사용되고 있는 광범위한 무선통신 설비가 존재할 가능성이 높다.

이런 환경은 위성 RF 통신링크에 전파간섭을 야기하여 통신성능을 악화시킬 수 있다. 비면허 대역에서 사용되는 무선기기에 의해 발생하는 전파간섭은 통제하기 어려우므로, 큐브위성의 RF 통신링크 버짓 설계시에 지상국 주변의 전파환경 특성을 파악하여 이를 고려하는 것이 필요하다. 부득이하게 지상국 주변의 전파환경 간섭잡음이 높은 주파수대에 교신주파수가 선정이 될 경우, RF 통신시스템의 SNR을 향상시킬 수 있는 다른 방안들을 시스템 설계에 적용해 볼 수 있을 것이다.

5. 결 론

경연대회 큐브위성을 개발하던 지상국 주변의 전파환경 측정결과를 위성통신 수신주파수 대역별로 분석한 결과, UHF 대역에서는 대부분 -110 dBm 이하의 낮은 전파잡음이 측정되어 혼신의 우려가 없었으나, S 대역 환경은 다양한 무선기기의 주파수가 혼재되어 사용되므로 주변 전파환경을 고려하여 위성의 하향 교신 주파수를 선정하여야 하고 아울러 RF 통신링크 설계나 지상국 시스템을 구성하여야 함을 확인하였다.

본 논문에서 제시된 큐브위성 지상국들의 전파잡음 수준 데이터는 비면허 대역의 주파수를 사용하는 향후 개발 큐브위성의 교신주파수 선정 및 통신링크 버짓 설계 등에 기초 자료로 활용될 수 있도록 하였다.

후 기

본 논문은 기상청(국가기상위성센터) 천리안위성 2A 호 기상업무를 위한 관제사업의 지원으로 수행되었다.

References

- [1] Jae Soo Yang, Sang Soo Bae, Yu Min Hwang, and Jin Young Kim, "A Study of Radio-Wave Interference on Location Selection of Satellite Ground Stations," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 25, no. 9, pp. 944-951, Sep. 2014.
- [2] KS X 3237:2015, Methods for measurements of radio noise, 2015.12.29.
- [3] Rohde & Schwarz, "Measuring with Modern Spectrum Analyzers," *Educational Note*, pp. 1-127, Feb. 2013.
- [4] Christoph Rauscher, "Fundamentals of Spectrum Analysis," *Rohde & Schwarz*®, 5th Edition, 2011.
- [5] Korea Frequency Distribution Table(Notice No. 2022-19), Broadcastings and Communications Commission, 2022.
- [6] Akash Baid, Suhas Mathur, Ivan Seskar, Sanjoy Paul, Amitabha Das, Dipankar Raychaudhuri, "Spectrum MRI: Towards Diagnosis of Multi-Radio Interference in the Unlicensed Band," in *Proc. IEEE Wireless Commun. Netw. Conf.*, pp.534-539, Mar. 2011.
- [7] CubeSat CDR data packages submitted by Chosun Univ., 2020.
- [8] CubeSat TRR data packages submitted by Kaist, 2021.
- [9] CubeSat CDR data packages submitted by SNU, 2020.
- [10] CubeSat CDR data packages submitted by Yonsei Univ., 2020.
- [11] Tae-Chong Cho, "An artificial noise generation method for MODEM performance test in satellite communication system", *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC)*, Vol. 20, No. 4, pp.59-64, Aug. 2020.
- [12] Haengseon Lee, "Analysis of Wireless Communication Service Interference", *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol.26, no.6, pp.36-43, Nov. 2015.