

다중빔 능동위상배열 안테나를 고려한 테스트베드 기반 Radio 전 송링크 설계

윤종택^{1*} · 김용이² · 박홍준³ · 박주만⁴

Radio transmission link design based on a test bed considering a multi-beam active phase array antenna

Jong-Taek Youn^{1*} · Yongi Kim² · Hongjun Park³ · Juman Park⁴

^{1*}Ph.D., C4I Research Institute, LIG Nex1 Co.,Ltd, Seongnam, 13488 Korea

²Researcher, C4I Research Institute, LIG Nex1 Co.,Ltd, Seongnam, 13488 Korea

³Researcher, SE Team, Powernet Systems, Co.,Ltd, Yongin-si, 17015 Korea

⁴Researcher, Defense Space Technology Center, Agency Defence Development, Daejeon, 34186 Korea

요 약

본 논문에서는 현재 기술 개발 과제로 진행 중인 공중 네트워크 검증용 테스트베드 시스템에 다중빔 능동위상배열 안테나 모의기 적용 공중 네트워크 모사 Radio 전송링크를 설계하여 그 결과를 제시한다. Ku 대역을 활용하여 개발 중인 시스템에 대한 요구사항을 만족하도록 링크 버짓을 고려하여 Radio 전송링크를 설계하였다. 단거리 링크와 장거리 링크를 고려하여 요구되는 다중빔 증계기와 임무기의 EIRP 및 G/T 성능 규모를 적용하여 Eb/No를 기준으로 최소, 최대치 링크 마진을 확인하였다. 이러한 Radio 전송링크 설계에서 강우 가용도 등 적용 분석 결과를 이용하여 다중빔 증계시스템 적용 공중 증계 운용 환경 및 관련 시스템 규격 선정시 기준 수립에 효과적으로 활용될 수 있도록 기여하고자 한다.

ABSTRACT

This paper designs and presents the results of an air network simulation radio transmission link applied with a multi-beam active phase array antenna simulator in a testbed system for verifying an air network currently underway as a technology development task. Using the Ku band, the Radio transmission link was designed in consideration of the link budget to satisfy the requirements for the system being developed. Considering short-distance links and long-distance links, the required EIRP and G/T performance scales of multi-beam repeaters and mission planes were applied to confirm the minimum and maximum link margins based on Eb/No. In this Radio Transmission Link design, the application analysis results such as rainfall availability are used to effectively establish standards when selecting the operating radius of the multi-beam relay system and related system standards.

키워드 : 링크 버짓, 링크 마진, EIRP, G/T

Key word : Link budget, Link margin, EIRP, G/T

Received 7 October 2021, Revised 22 October 2021, Accepted 28 October 2021

* Corresponding Author Jong-Taek Youn(E-mail:jtyoun37@lignex1.com, Tel:+82-31-8026-4565)

Ph.D., C4I Research Institute, LIG Nex1 Co.,Ltd, Seongnam, 13488 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2021.25.11.1574>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

무선 링크 시스템에서 링크 버짓은 중계국과 지상국과의 통신을 하기 위한 가장 기본적인 설계 방법으로 링크 버짓 결과를 토대로 시스템의 각 장비들의 요구 성능을 확정할 수가 있다. 따라서 모든 파라미터 값들은 실제의 사용하는 값들을 적용하는 것이 중요하며 그로인한 어떤 주어진 조건에서 가장 적합한 통신상태를 예측할 수 있는 수단이라고 할 수 있다[1]. 링크 버짓 성능분석을 위해 상향링크 및 하향링크 과정으로 나누고 상향링크에서는 송신 EIRP 및 백오프 등의 마진을 계산하고 하향링크에서는 C/No 및 Eb/No 등의 마진을 분석할 수 있다. 공중 네트워크 검증용 테스트베드는 모의기를 이용하여 다중빔 능동 위상배열 안테나 적용을 위한 공중 네트워크를 지상에서 검증하고 소요 기술 개발에 활용하는데 목적이 있다.

본 논문에서는 공중중계기와 다수의 무인기로 구성된 공중 네트워크 시스템의 운용 가능성을 검증하기 위한 테스트베드를 구축하기에 앞서 기술적 성능을 예측하기 위한 성능분석 및 통신링크의 분석을 수행하였다. 이러한 테스트베드 개발은 중계모의기, 임무모의기, 지상모의기 그리고 모의기 통합제어장비 등의 요소를 종합하여 최적의 성능을 발휘할 수 있는 설계 및 개발을 수행해 나가며 무인기는 그 특성상 조종사 없이 오직 통신에 의해서 운용되고 임무 수행을 하기 때문에 데이터 링크에 대한 신뢰성이 중요하다[2]. 따라서, 본 논문에서는 각 무인 모의기 운용을 위한 데이터 링크 개념과 이를 구성하는 RF 통신 시스템의 통신 링크 버짓을 통하여 분석하였고 그 결과를 제시하였다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. II장에서는 공중 네트워크 검증 테스트베드 시스템의 개념 내용을 기술하였다. III장에서는 RF 전송 링크버짓 설계 내용을 기술하고 IV장에서 결론을 맺는다.

II. 공중 네트워크 검증 테스트베드 시스템

공중 네트워크 검증을 위한 테스트베드 시스템 적용은 그림 1과 같이 다중빔 능동위상배열안테나의 중계장비, 임무장비 모의기, 지상장비 모의기, 모의기통합 및 네트워크 성능검증 시스템으로 이루어진다.

지상장비 모의기와 중계장비 모의기는 장거리 대용량 1:1 링크를 형성하며, 중계장비 모의기와 임무장비 모의기는 중거리 중용량 4:1 링크를 형성한다.

중계장비 모의기와 임무장비 모의기 사이는 임무장비 모의기별로 1개씩 총 4개의 송신/수신 채널이 할당되며, 중계장비 모의기와 지상장비 모의기 사이는 1개의 송신/수신 채널이 할당된다.

사용되는 무선 주파수는 Ku 대역 신호이며, 편파는 원형 편파를 사용한다.

중계장비 모의기는 고정된 형태로 운용되며 중계장비 모의기의 임무용 안테나는 전방향 중계를 수행하며 지상용 안테나는 지향성 안테나 형태로 운용된다. 임무장비 모의기는 공중을 비행하는 무인기를 모사하기 때문에 차량 형태로 운용되며, 중계장비 모의기의 임무용 안테나를 향하여 빔추적을 수행한다. 지상장비 모의기는 중계장비 모의기의 지상용 안테나를 향하여 지향성으로 고정되어 운용된다. 모의기통합 및 네트워크 성능 검증 시스템은 지상장비 모의기와 유선으로 연결되어 지상장비 모의기뿐만 아니라 중계장비 모의기, 임무장비 모의기를 통합 제어하며 성능 분석 기능을 수행한다.

공중 네트워크 검증 테스트베드는 Ku 대역 무선 신호로 구성되는 공중 네트워크 망에 영향을 미치지 않고 테스트베드의 임무장비 모의기를 효과적으로 제어 및 감시하기 위한 별도의 제어/감시 망으로 LTE망을 사용한다.

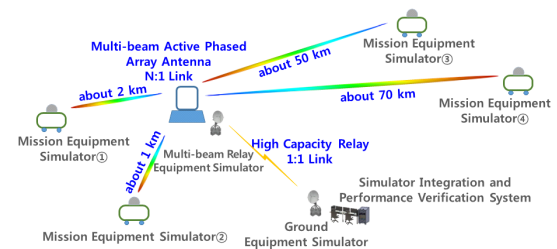


Fig. 1 Basic configuration diagram for RF transmission link verification considering multi-beam based on public network testbed

III. RF 전송 링크버짓 설계

본 장에서는 우선 테스트베드 기반 다중빔안테나에 대해 가장 영향 요소가 큰 거리에 따른 주파수 구분, 자

유공간 손실을 그래프로 확인하고, 강우 가용도를 고려한 감쇠 내용[3,4]을 확인하였다. 지상링크와 공중 링크에 대한 비교 검토[5]를 통해 지상 테스트베드의 효율성을 확인하고 단거리 링크와 장거리 링크를 고려하여 요구되는 다중빔 중계기와 임무기의 EIRP 및 G/T 성능치를 적용하여 Eb/No를 기준으로 최소, 최대치 링크 마진을 계산하고 Radio 전송링크 설계 결과를 제시하였다.

자유공간상에 높은 주파수 대역에서의 전파는 파동의 형태로 퍼져나가고 직진성을 갖고 전파된다. Ku대역에서의 전송시스템에서의 전파전파는 자유공간손실, 대기손실과 포인팅 손실, ISI(Inter Symbol Interferences) 등의 영향을 받게 될 수 있다. 여기서 자유공간에서의 손실은 신호 강도 손실에 지배적이며 거리와 주파수에 따라 결정된다. 전송손실 Ls 는 다음과 같이 나타낼 수 있다[6].

$$L_s = 32.45 + 20\log_{10}f(MHz) + 20\log_{10}d(km) \quad (1)$$

여기서, f 는 반송파 주파수이고 d는 송신단과 수신단과의 거리를 나타낸다.

그림 2는 상기 방정식으로부터 나타나는 주파수와 거리별 경로 손실을 그래프로 나타내었다.

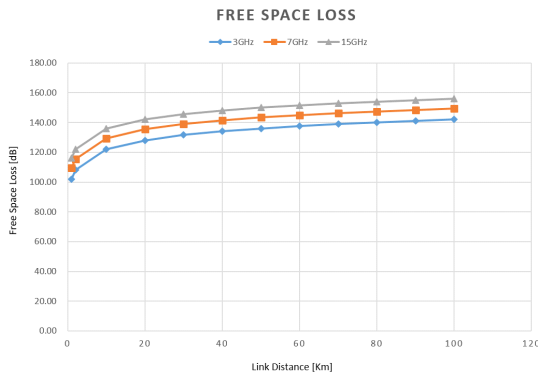


Fig. 2 Free space loss by frequency according to distance

공중 링크 적용을 위한 Ku대역에서의 강우 감쇠 예측 모델에 의한 강우 감쇠량을 고려한 산출되는 링크 버짓에서의 분석 및 예측은 필요할 것으로 판단된다. 그림 3은 Rec. ITU-R P.618-8와 Crane 강우감쇠 예측 모델을 사용한 서울지역의 강우감쇠를 확인한 그래프[7]이다. 이를 통해 링크버짓 설계 결과에서 Ku대역 15GHz의 운용주파수, 99%의 강우가용도, 운용거리별 가시선 링크 거리를 가정하여 도출된 결과에 따라 어느 정도의 링크

마진 및 전력제어가 요구되는지 분석 및 예측이 가능하다. 또한, 강우 감쇠를 극복하기 위한 단절 없는 통신 링크의 유지를 가능하게 하여 링크 안정성 및 신뢰성을 높이기 위한 전략 수립으로도 활용이 가능하다[8,9].

공중 네트워크 검증을 위한 지상링크와 공중링크의 비교는 표 1과 같다.

공중 링크에서의 L1 채널과 L2 채널의 최소 전송 EIRP를 기준으로 요구되는 다중빔 중계기, 임무기의 최소 G/T 성능을 구하려면 시스템적으로 요구되는 C/No를 정의할 필요가 있다. C/No는 아래와 같이 전송 EIRP, 경로 손실, 수신 G/T의 성능으로 산출되어진다.

$$\frac{C}{N_0} = \frac{EIRP_t \cdot \left(\frac{G}{T}\right)_r}{L_p \cdot k} \quad (2)$$

여기서, k는 볼츠만 상수로 1.3806504×10⁻²³ J/K (= -228.6dB/Hz/K)를 나타낸다.

1. 링크 설계(C/N)[10]

링크 구성은 다중빔 중계기와 임무기간 두 링크 사이의 링크 요소로 나타낸다.

다음과 같은 목적으로 설계를 수행한다.

- 수신기 입력 시 최소 C/N으로 연결 연속성 보장
- 최대 채널 전송량 전송

링크에서 고려되어야 할 주요 기준은 지상과 링크와의 간섭을 피하고 임계값 이상의 C/N비를 유지하기 위한 지구 표면의 최대 허용 플렉스 밀도에 대한 한계이다. 대역폭을 고려한 C/N 비는 채널 수를 줄여 노이즈 대역폭을 감소시킴으로써 증가될 수 있다.

$$\begin{aligned} [C/N_o] &= [EIRP] + [G/T] - [L] + 228.6(dBHz) \quad (3) \\ &= \text{송신부EIRP} - \text{수신부G/T} + (\text{경로손실} + \text{감쇠}) + 228.6 \end{aligned}$$

링크 데이터는 제어감시 및 범위 지정 데이터로 분류된다. 그 제어감시 기능은 다양한 서브시스템 및 페이로드 데이터의 상태를 수집, 변환, 멀티플렉싱, 획득하기 위해 필요로 하는 데이터 인코딩 및 전송이다.

범위 데이터는 온보드 송수신부를 사용하여 다중빔 중계기의 범위를 제공한다.

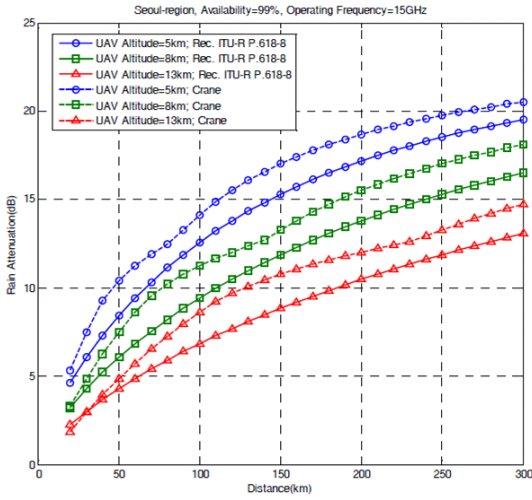


Fig. 3 Rain attenuation obtained by Rec. ITU-R P.618.8[5] and Crane model in Seoul[7,8]

Table. 1 Comparison between terrestrial and air communication

Parameters		Terrestrial communication	Air communication
Frequency		C-, Ku-, Ka-band	C-, Ku-, Ka-band
Atmosphere loss		The higher the frequency, the higher	The higher the frequency, the higher, Relatively higher
Rainfall attenuation		Relatively smaller	High (changes with rain rate)
Noise temperature loss		Negligible	High
Long term fading	Free Space Loss	Same	Same
	Shadowing	Possible to occur	Negligible
Short term fading	Doppler	Slow	Possible to occur
		Fast	Possible to occur
	Multi-Path	Flat	Relatively higher
		Freq. selective	Relatively higher
Rician fading		High	Negligible
Antenna diameter		The higher the frequency, the smaller	The higher the frequency, the smaller
Frequency bandwidth effect		Relatively less	Regular
System effect		Regular/Complex	Regular/Complex
Fade Margin		Relatively higher	Relatively smaller
Availability		High	Relatively less

2. 비트 오류율 개념(BER)

디지털 변조에서 성능 기준은 수신부에서 신호 샘플링 시점에 극성 반전에 기인되는 Error 가능성의 측정인 BER조건에 지정되어 있다. 그것은 ISI의 양과 잡음에 의존한다. C/N비는 디지털 통신시스템 성능 평가의 척도로서 BER은 비트 단위 값, C/N은 심볼 단위 값, Eb/No는 비트 단위 값으로 Eb/No를 기준으로 원하는 BER을 만족하기 위해 비트 에너지에 의한 요구 마진 산출이 가능하다. 또한 강우 가용도를 고려한 감쇠값 적용 적정성이 확보되는 링크 설계가 가능하다. 링크 설계 기준으로 에너지 신호로 표현된 디지털 신호의 크기에 대한 마진 확보가 요구된다.

C/No와 Eb/No는 아래와 같이 정리될 수 있다.

$$\frac{C}{N_o} = \frac{E_b}{N_o} \cdot \frac{R_b}{B} \quad (4)$$

$$\frac{C}{N_o} (dB) = \frac{E_b}{N_o} - 10 \log \left(\frac{B}{DataRate} \right) \quad (5)$$

$$\frac{E_b}{N_o} (dB) = \frac{C}{N_o} (dB) + 10 \log(B) - 10 \log(1/DataRate) \quad (6)$$

상기에 근거하여 링크 마진은 다음과 같이 산출될 수 있다.

3. 링크 마진

링크 버짓 계산에 필요한 링크 마진은 다음과 같다. 일반적으로 특정 목적을 달성하기 위해 적용 영역의 가장자리에 주어진다.

수신부에서 C/N은 대부분 종단에서 적용된다.

다음과 같이 다양한 손실을 고려하여 계산한다. 모든 손실의 합계 = FSL + 대기 손실 + 편광 손실 + 안테나 정렬 오류

링크 마진 계산에 적용되는 주요 요인은 다음과 같다.

- 송신 주파수
- 최소 C/N 요건
- 적용범위의 종류
- 장애물의 특성
- 수신 특성(고정, 이동, 휴대용 실내)
- 수신안테나 종류
- 표고각

- 변조 시스템
- 전달체계 종류(지상, 하이브리드, 위성)

링크 마진의 계산 방법은 다음과 같다.

1단계: 주파수 대역

2단계: 무선 링크 매개 변수 결정

3단계: 수신기 G/T 결정

4단계: 링크 C/N을 확인하기 위한 링크 버짓 결정

5단계: 링크 전력 및 링크 C/N 잡음 버짓 결정

6단계: 전파 조건 및 링크 가용성 추정.

7단계: Eb/No 계산

8단계: 링크 마진 결정

상기의 방법으로 링크버짓을 산출하면 다음과 같다.

다중빔 중계기와 임무기간의 송수신 가능한 최대 EIRP와 G/T는 표 2와 표 3과 같이 도출된다.

야외 시험환경 조건인 무인기간의 통신 거리는 5중으로 가정하고 사용 주파수는 15GHz로 파라미터를 설정하여 분석, 설계하였다. 표 4는 시뮬레이션 파라미터를 나타낸다.

Table. 2 The parameters from the multi-beam relay to the mission

Parameters		
EIRP	dBW	19
G/T	dB/K	-12

Table. 3 The parameters from the mission to the multi-beam relay

Parameters		
EIRP	dBW	22
G/T	dB/K	-7

거리별 영향 요소를 분석하여 링크 마진 변화에 대해 표 5, 표 6, 그림 4과 같이 나타내고 다중빔 중계기와 임무기간 강우 감쇄량 등을 고려한 적정 마진을 확인하였다.

Table. 4 The parameter of the simulation

Parameters	Set/Value
Radio transmission method	Frequency Division Duplex
Frequency	Ku Band
Link Distance(D)	1/2/50/70/110 Km
Path Loss(dB)	116.0/122/150/153/157

Table. 5 Link budget from the multi-beam relay to the mission

Parameters	Distance(Km)	1	2	50	70	110
	unit					
Frequency	MHz	Ku band	Ku band	Ku band	Ku band	Ku band
Transmit Antenna Gain	dB	18	18	18	18	18
RADOME LOSS	dB	-	-	-	-	-
RRF+R/J+INTERNAL CABLE LOSS	dB	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
TRANSMIT LINE LOSS	dB	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77
Data Rate	Mbps	16	16	16	16	16
Modulation Type	-	8PSK	8PSK	8PSK	8PSK	8PSK
Code Rate	-	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4
Occupancy Factor	-	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
Required Eb/No (FER=10 ⁻²)	dB	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4
EIRP						
Radiated Power per Carrier (3W HPA, 1dB Back-off)	dBW	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00
Path Loss						
Path Loss (Free)	dB	116.16	122.18	150.14	153.06	156.99
Downlink S/N						
Received Power	dBW	-97.16	-103.18	-131.14	-134.06	-137.99
Receive G/T	dB/K	-7.00	-7.00	-7.00	-7.00	-7.00
Boltzmanns Constant	dBW/K*Hz	-228.60	-228.60	-228.60	-228.60	-228.60
Antenna Pointing Margin	dB	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Downlink C/No	dB*Hz	123.44	117.42	89.46	86.54	82.61
Downlink Eb/No	dB	51.40	45.38	17.42	14.50	10.57
Link Margin						
Link Margin	dB	43.00	36.98	9.02	6.10	2.17

Table. 6 Link budget from the mission to the multi-beam relay

Parameters	Distance(Km)	1	2	50	70	110
	unit					
Frequency	MHz	Ku band	Ku band	Ku band	Ku band	Ku band
Transmit Antenna Gain	dBi	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00
RADOME LOSS	dB	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
RRF+R/J+INTERNAL CABLE LOSS	dB	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
TRANSMIT LINE LOSS	dB	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77
Data Rate	Mbps	16	16	16	16	16
Modulation Type	-	8PSK	8PSK	8PSK	8PSK	8PSK
Code Rate	-	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4
Occupancy Factor	-	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
Required Eb/No (FER=10 ⁻²)	dB	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4
EIRP						
Radiated Power per Carrier (3W HPA, 1dB Back-off)	dBW	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00
Path Loss						
Path Loss (Free)	dB	116.16	122.18	150.14	153.06	156.99
Downlink S/N						
Received Power	dBW	-94.16	-100.18	-128.14	-131.06	-134.99
Receive G/T	dB/K	-12.00	-12.00	-12.00	-12.00	-12.00
Boltzmanns Constant	dBW/K*Hz	-228.60	-228.60	-228.60	-228.60	-228.60
Antenna Pointing Margin	dB	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Downlink C/No	dB*Hz	121.44	115.42	87.46	84.54	80.61
Downlink Eb/No	dB	49.40	43.38	15.42	12.50	8.57
Link Margin						
Link Margin	dB	41.00	34.98	7.02	4.10	0.17

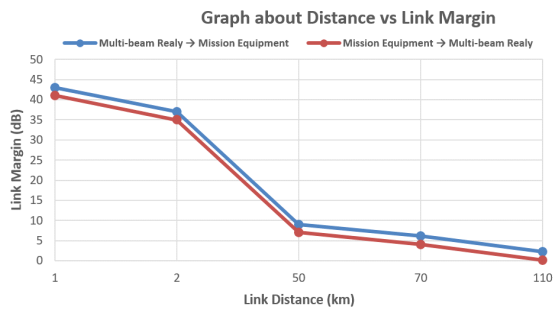


Fig. 4 Link margin analysis table by distance

링크 버짓 결과로 거리와 파라미터에 따라 0.17 ~ 43 dB 값을 나타냄을 알 수 있고 요구 가용도를 고려한 강우 감쇠량 적용 다중빔 중계기와 임무기간에 전력 제어량 예측이 가능하다. 임무기에서 다중빔 중계기로 50Km에서 10dB의 강우감쇠를 고려한다면 임무기의 EIRP는 +3dB 이상의 전력제어가 요구됨을 알 수 있다. 즉, Ku대

역에서의 임무기의 출력 전력 범위 또는 Eb/No 최소치를 예측하여 설계에 적용가능하다.

IV. 결론

본 논문에서는 다중빔 능동위상배열 안테나 모의기 적용 공중 네트워크 검증용 테스트베드 시스템의 무선 전송 링크를 설계하고 요구되는 공중 링크에서의 최소 RF 성능 및 파라미터를 제시하고 Ku 대역에서의 링크 버짓 분석을 수행하였다.

본 연구를 통해 다중빔 중계시스템 적용 공중 중계 전송 링크 설계에 효과적으로 활용이 가능할 것으로 기대한다. 또한, 요구 성능 파라미터에 대한 정확한 분석과 설계를 통해 검증할 수 있도록 할 것이다. 본 연구를 기반으로 향후 무선링크 검증 방안에 중점을 두고 연구를

수행하고자 한다.

ACKNOWLEDGEMENT

This study was carried out as part of a project supported by Agency Defence Development (UC190038ED)

REFERENCES

- [1] K. S. Lee and K. H. Koo, "Design of the satellite beacon receiver using array based digital filter," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 27, no. 10, pp. 909-916, Oct. 2016.
- [2] A. A. Atayero, M. K. Luka, and A. A. Alatishe, "Satellite Link Design A Tutorial," *International Journal of Electrical and Computer Sciences*, vol. 11, no. 4, pp. 1-6, 2011.
- [3] Attenuation by atmospheric gases, *Recommendation ITU-R* pp. 676-679, 2012.
- [4] D. Minoli, "Innovations in Satellite Communications Technology," *Wiley*, 2015.
- [5] ITU-R, Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems, *Recommendation ITU-R P.618-12*, 2017.
- [6] ITU-R, Calculation of free-space attenuation, *Recommendation ITU-R P.525-4*, 2019.
- [7] J. Lee, "Rain Attenuation Analysis for Designing UAV Data Link on Ku-Band," *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 40, no. 7, 2015.
- [8] D. Y. Choi, J. S. Kim, and S. K. Noh, "A Study on the Prediction of Rain Attenuation for Ku-band in Korean Rain Environment," *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 36, no. 2, 2011.
- [9] M. You and C. S. Sin, "Conceptual Design of the RF Links for KASS Satellite Communication System," *Journal of Satellite, Information and Communications*, vol. 11, no. 3, pp. 12-17, 2016.
- [10] K. Singh, A.V. Nirmal, and S. V. Sharma, "Link margin for wireless radio communication link," *ICTACT Journal on Communication Technology*, vol. 08, no. 03, 2017.



윤종택(Jong-Taek Youn)

2010년 8월 아주대학교 정보통신대학원 석사
2015년 8월 아주대학교 대학원 공학박사
2021년 9월 정보통신기술사
1996년 7월-현재 LIG넥스원(주) 수석연구원
※관심분야 : 무선전송, 무선 네트워크 설계, MAC



김용이(Yongi Kim)

1998년 2월 한국과학기술원 학사
2000년 2월 한국과학기술원 석사
2010년-현재 LIG넥스원(주) C4연구소 선임연구원
※관심분야 : 무선통신, WLAN, Ad-hoc network, 라우팅



박홍준(Hongjun Park)

1990년 2월 단국대학교 전자공학과 학사
1992년 2월 단국대학교 전자공학과 석사
2007년-현재 주파워넷시스템즈 수석연구원
※관심분야 : 위성통신, RF 설계



박주만(Juman Park)

2009년 2월 경남대학교 전자공학과 학사
2011년 2월 경북대학교 전자공학과 석사
2012년-현재 국방과학연구소 국방우주기술센터 선임연구원
※관심분야 : 무선전송, RF, 안테나, 무선 네트워크 설계, MAC