

# 헬기탑재형 무인기통제 데이터링크용 RF송수신 모듈 소형화/경량화 설계

송두식\*<sup>1</sup>, 여수철\*<sup>2</sup>, 홍권기\*<sup>3</sup>, 이영진\*<sup>4</sup>, 김학준\*<sup>5</sup>, 이대홍\*<sup>6</sup>, 서정원\*<sup>7</sup>, 이준경\*<sup>8</sup>, 박준식\*<sup>9</sup>, 김회준\*<sup>10</sup>

## Design of Miniaturized/Lightweight RF Transceiver Module for Helicopter-Mounted Unmanned Aerial Vehicle Control Data Link

Du-Sik Song\*<sup>1</sup>, Su-Cheol Yeo\*<sup>2</sup>, Kwon-Ki Hong\*<sup>3</sup>, Young-Jin Lee\*<sup>4</sup>, Hack-Joon Kim\*<sup>5</sup>, Dae-Hong Lee\*<sup>6</sup>, Jung-Won Seo\*<sup>7</sup>, Jun-Kyeong Lee\*<sup>8</sup>, Jun-Sik Park\*<sup>9</sup>, and Hoi-Jun Kim\*<sup>10</sup>

이 논문은 2022년 정부(방위사업청)의 재원으로 국방기술진흥연구소의 지원을 받아 수행된 연구임(KRIT-CT-22-061)

### 요약

본 논문에서는 헬기탑재형 무인기통제 데이터링크 단말의 구성품인 RF송수신 모듈 설계에 관해 기술되었다. 주 임무링크인 1차링크는 Ku 대역에서 동작하도록 설계하고, 조종통제 링크인 2차링크는 UHF 대역에서 동작하도록 설계하였다. 소형무장헬기(LAH) 탑재성을 위해 크기 및 중량 등 물리적 사양을 고려하여 소형화 설계를 진행하였으며, 전기적 요구성능은 링크버짓을 통해 분석 후, RF 시뮬레이션 툴인 ADS, AWR와 열 해석 시뮬레이션 툴인 midas NFX를 이용하여 설계를 진행하였다. 설계된 1차링크 송수신 모듈의 크기는 145mm × 72mm × 38.5mm, 무게 약 620g, 송신출력 30 dBm 이상, 수신감도 22Mbps급 전송속도 기준 -87.4 dBm 이며, 2차링크 송수신 모듈의 크기는 145mm × 72mm × 35mm, 무게 약 520g, 송신출력 30 dBm 이상, 수신감도 2.4 Mbps급 전송속도 기준 -94.5 dBm 이다.

### Abstract

This paper describes the design of RF transceiver module, which is a component of helicopter-mounted UAV control data link terminal. The primary link, which is the main mission link, is designed to operate in the Ku band, and the secondary link, which is the flight control link, is designed to operate in the UHF band. The physical specifications such as size and weight were considered to miniaturize the design for mounting on a light armed helicopter(LAH), and the electrical performance requirements were analyzed through link budget, and the design was carried out using RF simulation tools ADS and AWR and thermal analysis simulation tool midas NFX. The size of the designed primary link transceiver module is 145mm × 72mm × 38.5mm, weighing about 620g, with a transmit output of more than 30 dBm and a receive sensitivity of -87.4 dBm at a transmission rate of 22Mbps, and the size of the secondary link transceiver module is 145mm × 72mm × 35mm, weighing about 520g, with a transmit output of more than 30 dBm and a receive sensitivity of -94.5 dBm at a transmission rate of 2.4 Mbps.

### Keywords

rf transceiver, UAV, data link, MUMT, CDL, ku-band, UHF-band

\* 한화시스템(주) 데이터링크2팀 연구원(\*<sup>10</sup> 교신저자)  
- ORCID<sup>1</sup>: <https://orcid.org/0009-0007-0826-8326>  
- ORCID<sup>2</sup>: <https://orcid.org/0009-0006-2869-2442>  
- ORCID<sup>3</sup>: <https://orcid.org/0009-0003-0580-0912>  
- ORCID<sup>4</sup>: <https://orcid.org/0009-0004-9439-7850>  
- ORCID<sup>5</sup>: <https://orcid.org/0000-0002-6809-3114>  
- ORCID<sup>6</sup>: <https://orcid.org/0009-0005-1132-4187>  
- ORCID<sup>7</sup>: <https://orcid.org/0009-0003-7396-3609>

- ORCID<sup>8</sup>: <https://orcid.org/0009-0007-7823-9117>  
- ORCID<sup>9</sup>: <https://orcid.org/0000-0002-7217-0944>  
- ORCID<sup>10</sup>: <https://orcid.org/0009-0009-5919-4966>

· Received: Jul. 26, 2024, Revised: Aug. 28, 2024, Accepted: Aug. 31, 2024

· Corresponding Author: Hoi-Jun Kim

Dept. of Datalink 2 Team, Hanwha Systems, 188, Pangyo-eok-Ro, Bundang-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-Do Republic of Korea  
Tel.: +82-31-8091-7420, Email: [hoijun.kim@hanwha.com](mailto:hoijun.kim@hanwha.com)

## I. 서 론

MUMT(Manned UnManned Teaming)는 유인 체계와 무인 체계 간 상호 협력하는 체계로 병역자원의 감소와 사회 환경의 변화, AI · 무인 자율 등 첨단 과학기술의 발달에 따라 유·무인복합운용에 대한 필요성과 활용 분야가 확대되고 있다. 주요 선진국들은 MUMT 체계 개발을 위한 핵심기술 확보에 역량을 집중하고 있으며 우리나라도 MUMT 체계 도입과 전력화를 위한 정책을 추진하고 있다. 헬기탑재형 무인기통제 데이터링크는 유·무인복합체계 개발의 하나로, 지상통제장비와 무인기 간 운용에서 무인기 통제권을 지상통제장비로부터 유인헬기로 이양받아 작전영역을 확장하고 감시정찰 능력 및 임무 효율성을 증대하기 위해 개발된다. 헬기탑재형 무인기통제 데이터링크는 헬기 탑재성 향상을 위해 기존 개별 1차링크, 2차링크 장비를 모듈 단위로 소형/경량화 설계한 후 통합하여 단일화된 장비로 개발하였다. 또한, 기존 감시정찰체계용 공용데이터링크(CDL, Common Data Link)와의 복합 및 상호 운용을 위해 무인기 표준화 과제에서 진행된 공통 아키텍처 및 표준 프로토콜/웨이브폼을 적용하여 설계하였다.

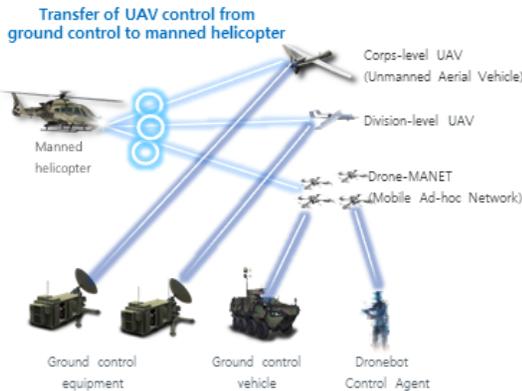


그림 1. 헬기탑재형 무인기통제 데이터링크 운용개념  
Fig. 1. Helicopter-mounted UAV control datalink concept of operations

## II. 본 론

본 논문에서는, 헬기탑재형 데이터링크용 1차링크 RF송수신 모듈과 2차링크 RF송수신 모듈의 소형화 설계에 대해 기술한다. RF송수신 모듈의 요구성능은

장비 간 운용거리, 전송속도 및 안테나 이득 등을 바탕으로 링크버짓 통해 분석하였으며, 분석을 통한 각 링크 RF송수신 모듈에 대한 요구성능은 표 1과 같다.

표 1. RF송수신 모듈 요구성능

Table 1. RF transceiver module performance requirements

Items	1st link	2nd link
Operating freq	Ku-band	UHF-band
Operating band width	Rx : 540 MHz Tx : 300 MHz	T/Rx : 50 MHz
Intermediate freq	0.4 GHz	OO MHz
Maximum channel band width	Rx : 30 MHz Tx : 20 MHz	T/Rx : 2 MHz
IF input level	-15 dBm	-15 dBm
IF output level	-10 dBm	-15 dBm
Tx output level	1W	1W
3rd order IMD	20 dBc	30 dBc
2nd/3rd harmonics	-20 dBm	-20 dBm
Out-of-band spurious	80 dBc	80 dBc
Noise figure	6.5 dB	5 dB
Rx input level range	-20~ -97 dBm (2 Mbps)	-20~ -97 dBm (1.2 Mbps)
Freq conversion method	One-conversion	Tx: Direct RF Rx: Double-conversion
Size (W × L × H)	145 <sub>mm</sub> × 72 <sub>mm</sub> × 40 <sub>mm</sub>	145 <sub>mm</sub> × 72 <sub>mm</sub> × 35 <sub>mm</sub>

### 2.1 주파수변환부 설계

기 개발된 무인기용 1차링크, 2차링크 RF송수신기는 반송파 주파수에서 기저대역 주파수로 가기 위해 중간주파수 단계를 두 번에 걸쳐 변환하는 방식을 사용하였고 이로 인해 회로가 복잡하고 많은 설계 면적을 필요로 하였다[1][2]. 그러나 ADC/DAC 디지털 하드웨어의 발달로 모뎀에서 높은 주파수 변복조가 가능해짐에 따라, 본 과제에서는 소형화 설계를 위해 1차링크 RF송수신 모듈은 그림 2와 같이 중간주파수를 L 대역으로 설정하여 주파수 변환한 번으로 운용할 수 있게 설계하였으며, 2차링크 송수신 모듈의 경우 송신은 주파수 상향 변환 없이 증폭만 수행하도록 설계하였다.

2차링크 수신인 경우, UHF 대역 상용통신장비 및 기타 관공서 통신장비 등 외부 유입 간섭신호 영향 최소화와 신뢰성 있는 수신 특성을 위해 그림 3과 같이 주파수 이중변환방식으로 설계하였다.

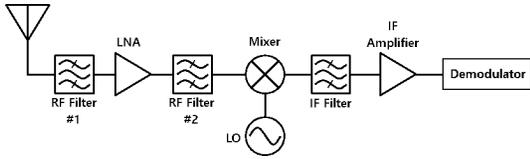


그림 2. 1차링크 주파수하향변환 방식  
Fig. 2. Primary link frequency down conversion method

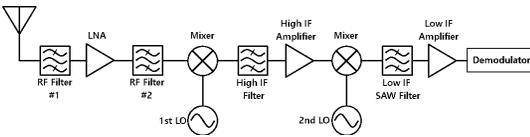


그림 3. 2차링크 주파수하향변환 방식  
Fig. 3. Secondary link frequency down conversion method

이중변환방식은 그림 4와 같이 높은 중간주파수에서는 영상 주파수 성분을 제거해주고, 낮은 중간 주파수에서는 주변 간섭신호를 제거해줌으로써 수신성능에 대한 안정성을 확보할 수 있다.

## 2.2 전단부 설계

1차링크는 FDD(Frequency Division Duplex) 통신 방식으로 연속적인 송신 신호가 수신 신호에 간섭하지 않도록 듀플렉서가 필요하며, 듀플렉서 설계를 위해 필요한 송수신 분리도를 RF 버짓 툴을 이용하여 분석하였다. 그림 5와 같이 주파수 혼합기 이후의 Ku 대역 송신경로 잡음지수와 이득 합으로 송신

신호로 인한 잡음레벨 제거를 위해 약 60 dBc 이상의 격리도가 필요함을 확인하였다.



그림 5. 1차링크 Ku대역 송신잡음 분석 버짓  
Fig. 5. Primary link Ku-band transmit noise analysis budget

Ku 대역 주파수에서 낮은 삽입손실 및 2W 이상의 허용 전력, 60 dBc 이상 고격리도 특성 등을 만족하기 위해 공동(내부에 공기 또는 유전체로 채워져 있는 구조) 타입으로 듀플렉서를 설계하였으며, 시뮬레이션 상 그림 6과 같이 Ku\_Lower 대역과 Ku\_Upper 대역 간 -70 dBc 이상의 격리도를 가지도록 설계하였다[3].

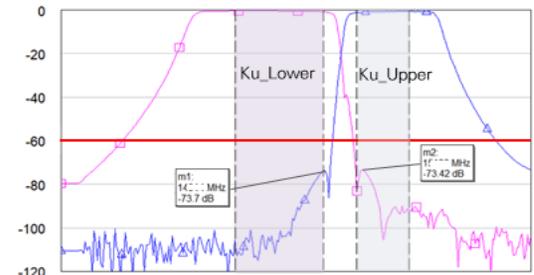


그림 6. 1차링크 듀플렉서 격리도 특성  
Fig. 6. Primary link duplexer isolation characteristics

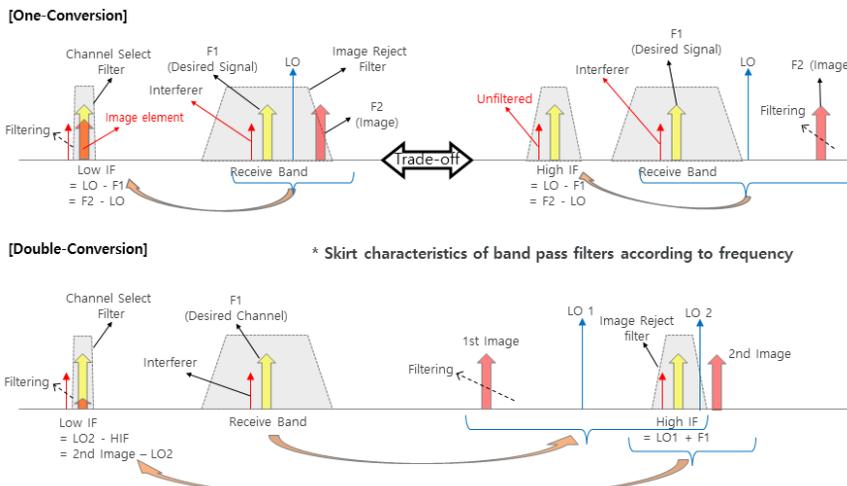


그림 4. 주파수 이중변환방식의 불요신호 필터링 방법  
Fig. 4. Unwanted signal filtering method using frequency double conversion method

2차링크는 시간을 나눠 송수신이 이루어지는 TDD(Time Division Duplex) 통신방식으로, 송수신 주파수가 같아 송신 시 여기 된 신호가 수신단 LNA(Low Noise Amplifier)에 데미지를 주는 것을 방지하기 위해 전단부에 고 격리 스위치부를 설계하였다. 수신부 보호를 위해 필요 격리도는 송신출력 30 dBm 시, 수신입력범위 -20 dBm 이하로 입력되게 약 60 dBc 이상 격리도를 가지며, 소형화를 위해 SOI(Silicon on Insulator) 타입 반도체 스위치를 선정하여 설계하였다. 선정된 SPDT(Single-Pole Double Throw) 스위치 격리도 특성은 그림 7과 같으며, 약 78 dBc 이상의 격리도를 가지는 것으로 확인되었다.

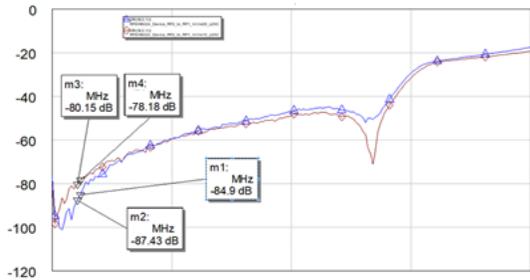


그림 7. 2차링크 송수신 스위치 격리도 특성  
Fig. 7. Secondary link transmit/receive switch isolation characteristics

### 2.3 수신경로 설계

수신경로 잡음지수 성능은 아래 식 (1)[4]와 같이 RF입력부 필터 삽입손실 및 초단 증폭기의 잡음지수 성능과 이득 성능이 수신부 전체 잡음지수 성능에 매우 큰 영향을 미친다.

$$F_T = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} \dots + \frac{F_N - 1}{G_1 G_2 \dots G_{N-1}}$$

\*  $F$ : Noise Factor  
\*  $G$ : Gain

(1)

RF송수신 모듈에 요구된 수신잡음지수 성능을 만족하기 위해, 1차링크 모듈은 Ku 대역에서 낮은 삽입손실을 가지는 Cavity 타입 듀플렉서를 적용하

였으며, 초단 증폭기로 1.3 dB 잡음지수와 25 dB 이득을 가지는 QPA2735 저잡음증폭기를 적용하였다. 설계된 1차링크 수신경로 버짓은 그림 8과 같으며, 잡음지수는 5.21 dB로 분석되었다.

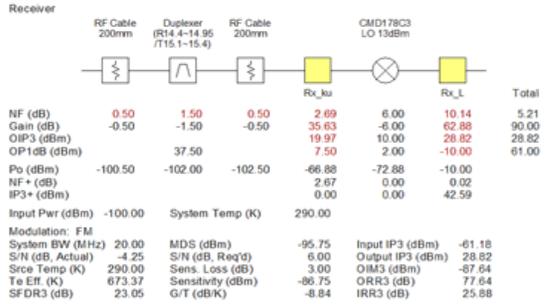


그림 8. 1차링크 수신경로 잡음지수 분석 버짓  
Fig. 8. Primary link receive path noise figure analysis budget

2차링크는 1.8 dB 이하의 낮은 삽입손실을 가지는 BPF(Band Pass Filter)와 함께 0.8 dB 잡음지수와 21 dB 이득을 가지는 ADL5523 저잡음증폭기를 초단에 적용하여 요구하는 잡음지수 성능을 만족하도록 설계하였다. 2차링크 수신경로 버짓은 그림 9와 같으며, 잡음지수는 3.84 dB로 분석되었다.

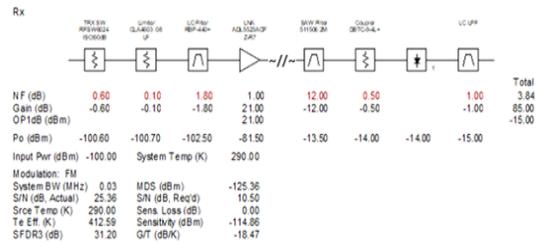


그림 9. 2차링크 수신경로 잡음지수 분석 버짓  
Fig. 9. Secondary link receive path noise figure analysis budget

수신경로에 대한 잡음지수 분석과 함께 -20 dBm에서 -97 dBm 범위로 가변 수신되는 반송파 입력신호를 1차링크는 -10 dBm, 2차링크는 -15 dBm으로 증폭하여 모뎀으로 신호를 전달해 주기 위해 VGA(Variable Gain Amplifier)와 DSA(Digital Step Attenuator)를 적용하여 AGC(Auto Gain Control) 기능을 구현하였다[5].

2.4 송신경로 설계

헬기탑재형 무인기통제 데이터링크는 RF송수신 모듈이 장착되는 통합통신장치와 1차링크 안테나 장치, 2차링크 안테나로 나뉜다. 1차링크 안테나 장치와 통합통신장치는 헬기 장착 위치에 따라 통합형으로 사용하거나, 분리형으로 사용 가능하며, 통합형으로 사용 시 통합통신장치와 1차링크 안테나 간 RF 케이블 길이는 약 0.5 m 이내, 분리형으로 사용 시 통합통신장치와 1차링크 안테나 장치 간 최대 이격 되어 장착될 시 RF 케이블 길이는 약 6.0 m 로 분석된다. 아래 표 2는 설계 시 고려된 종단 증폭기 간 비교 표이다.

헬기 내 장착할 곳이 협소하여 장치 간 이격 되어 장착되었을 경우 추가적인 케이블 손실로 인한 증폭기 출력 상승으로 12W급 증폭기인 TGA2218-SM은 선형성 규격인 IMD(Inter-Modulation Distortion) 20 dBc 규격을 만족하기 어려울 것으로 보이며, TGA2219-CP가 동일 출력에서 효율은 떨어 지지만, 패키지 사이즈가 더 크고, 패키지 베이스가 열전도가 좋은 구리이며, 증폭기의 열 저항은 낮고 패키지 베이스가 금속 기구에 바로 접촉되는 점 등으로 보았을 때 열적인 측면에서는 더 유리할 것으로 생각되었다. 이러한 사항을 고려하여 1차링크 종단 증폭기는 25W급 TGA2219-CP를 적용하였다[6].

표 2. 1차링크 종단 증폭기 비교 분석

Table 2. Primary link termination amplifier comparison analysis

Items	TGA2218-SM	TGA2219-CP
Psat	41dBm (12W)	44dBm (25W)
① Pin	2dBm (0.002W)	4dBm (0.003W)
② Amp pout	35dBm (3.16W)	35dBm (3.16W)
IM3	20dBc	27dBc
③ Coupler+circulator +SMP connector loss	1.5dB	1.5dB
④ Cable+duplexer +cable	2.5dB	2.5dB
⑤ Ant port pout (= ②-③-④)	31dBm	31dBm
⑥ P consumption	18.2W (28*0.65)	22.4W (28*0.8)
⑦ P dissipation (= ⑥-②+①)	15.04W	19.24W
⑧ Power added efficiency (= (②-①)/⑥)	17.36%	14.1%
⑨ Thermal resistance	2.96°C/W	1.56°C/W
⑩ Junction temperature (= ⑦*⑨ + Tcase)	44.51°C (+ Tcase)	30.01°C (+ Tcase)
Package dimensions	5.5mm × 4.5mm × 1.67mm	15.2mm × 15.2mm × 3.5mm

아래 그림 10은 송신경로 전체에 대한 시뮬레이션 회로이며, 그림 11은 요구성능인 1W 출력 시 CE106 전자파 시험 규격인 송신출력 신호 대비 불요파 80 dBc 이상, 2/3차 하모닉 -20 dBm 이하 규격을 만족하는지 확인한 해석 결과이다[7][8].

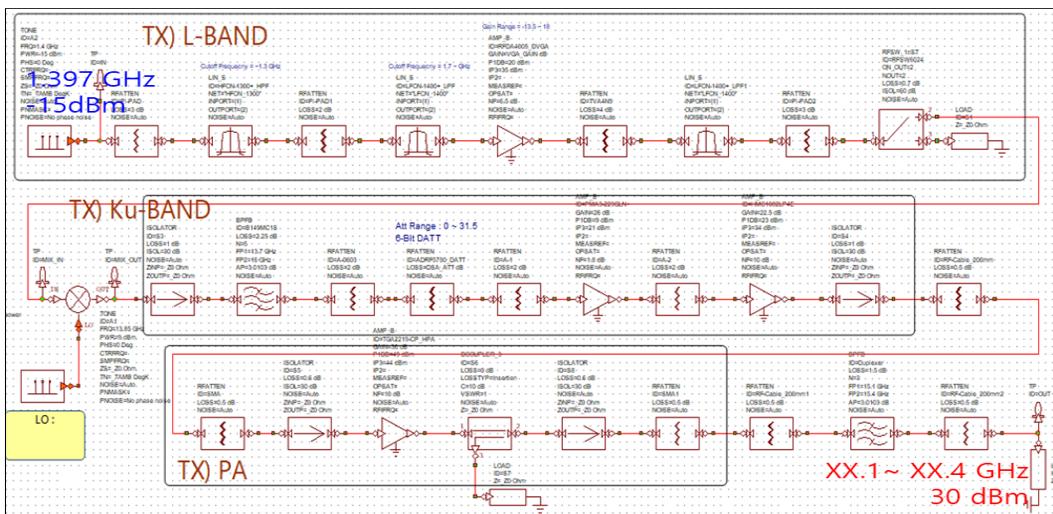


그림 10. 1차링크 송신경로 회로도

Fig. 10. Primary link transmission pathway schematic

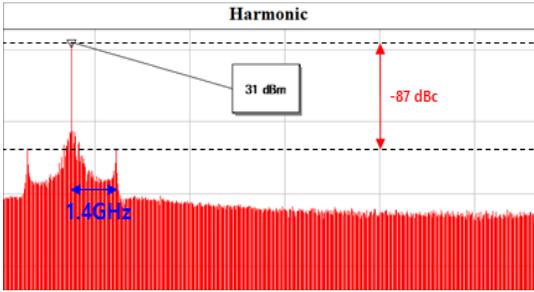


그림 11. 1차링크 송신경로 출력 및 불요파 해석 결과  
Fig. 11. Primary link transmission path output and spurious wave analysis results

표 3. 2차링크 종단 증폭기 분석

Table 3. Secondary link termination amplifier analysis

Items	NPA1003QA
Psat	38.5dBm(7W)
① Pin	15dBm(0.03W)
② Amp Pout	34dBm(2.51W)
IM3	40dBc
③ BPF+Coupler	1.5dB
④ SPDT+SPDT+MCX	1.5dB
⑤ Ant Port Pout (= ②-③-④)	31dBm
⑥ P consumption	7.28W (28*0.26)
⑦ P dissipation (= ⑥-②+①)	4.8W
⑧ Power Added Efficiency (= (②-①)/⑥)	34.07%
⑨ Thermal Resistance	12°C/W
⑩ Junction Temperature (= ⑦+⑨ + Tcase)	57.6°C (+ Tcase)

2차링크는 증폭기 이후의 BPF, SPDT 및 커플러 손실 등과 함께 30 dBc 이상의 IMD 규격 만족을 위해 7W급 증폭기인 NPA1003QA를 적용하였다. 2차링크 증폭기를 분석한 결과는 표 3과 같다.

그림 12는 송신경로 전체에 대한 시뮬레이션 회로이며, 그림 13은 요구성능 1W 출력 시 CE106 전자파 시험 규격인 2차/3차 하모닉 -20 dBm 이하, 송신출력 대비 불요파 80 dBc 이상 규격을 만족하는지 확인한 해석 결과이다.

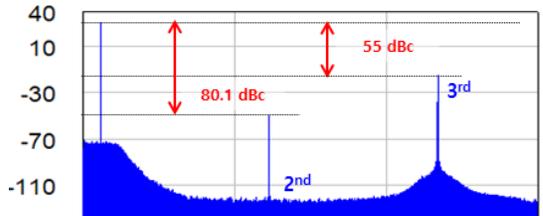


그림 13. 2차링크 송신경로 출력 및 불요파 해석 결과  
Fig. 13. Secondary link transmission path output and spurious wave analysis results

### 2.5 송수신 모듈 구성도 및 설계 형상

설계된 1차링크 송수신 모듈의 내부 구성도는 그림 14와 같다. 기능별로 송신 보드, 수신 보드, 증폭 보드, 제어 보드로 구성되어 있으며 주파수 변환을 위한 합성부는 송/수신 보드에 각각 설계되어 있다.

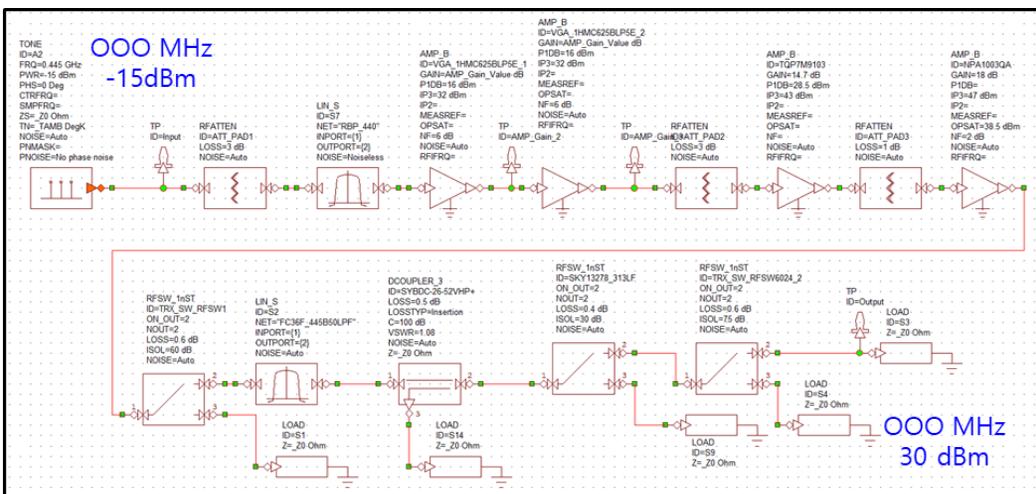


그림 12. 2차링크 송신경로 회로도  
Fig. 12. Secondary link transmission pathway schematic

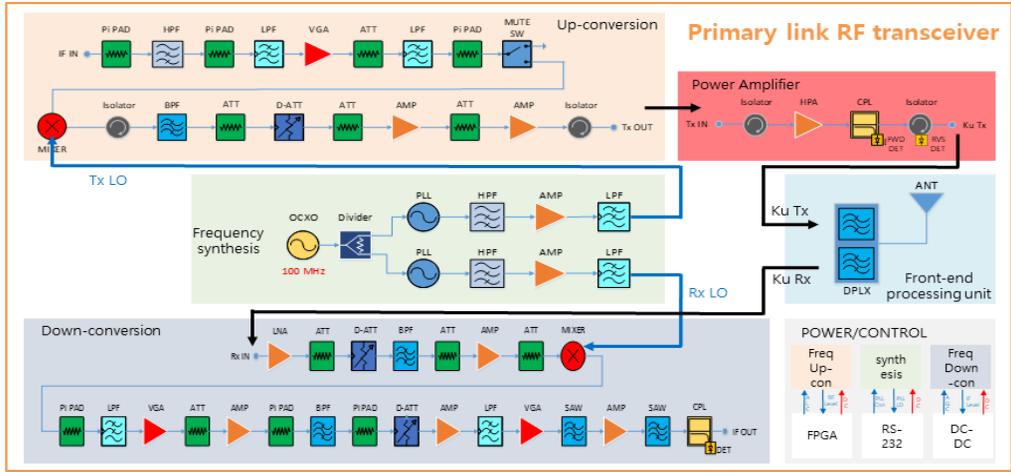


그림 14. 1차링크 송수신 모듈 블럭도  
Fig. 14. Primary link transceiver module block diagram

1차링크 송수신 모듈은 기능적으로는 크게 전단부, 출력증폭부, 제어부, 송신부, 수신부로 나뉜다. 전단부는 1차링크안테나와 연결 및 송수신 분리 역할을 한다. 수신부는 전단부로부터 받은 Ku 대역 수신신호를 L 대역으로 주파수 변환 및 AGC 기능으로 수신출력을 -10 dBm으로 조절하여 통합모뎀반에 전달한다. 송신부는 통합모뎀반에서 L대역 신호를 입력받아 Ku 대역으로 상향 변환한 후 출력증폭부로 전달하고, ALC(Auto Level Control) 기능 수행을 위해 VGA 및 DSA와 연동한다. 출력증폭부는 2W 이상 증폭하여 전단부로 신호를 전달한다. 제어부는 통합제어반과 RS232 통신을 통해 1차링크 송수신 모듈의 제어 및 상태정보를 관리한다. 1차링크 송수신 모듈의 물리적 형상 분해도는 그림 15와 같다.

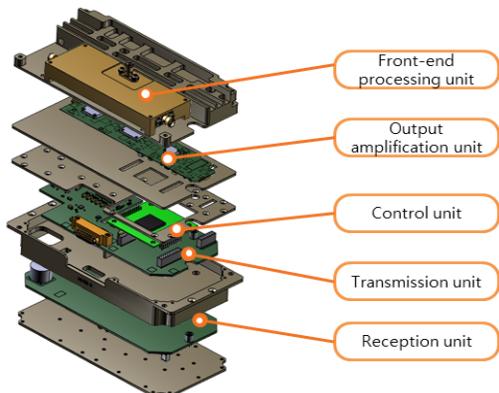


그림 15. 1차링크 형상 분해도  
Fig. 15. Primary link shape exploded view

설계된 2차링크 송수신 모듈의 내부 구성도는 그림 16과 같다. 기능별로 송신 보드, 수신 보드, 제어 보드, 주파수 합성 보드로 구성되어 있으며 주파수 합성 보드에서 고속 주파수 변환을 위해 가변 국부 주파수는 DDS(Direct Digital Synthesis) 칩을 이용하여 설계하였다.

2차링크 송수신 모듈은 기능적으로는 크게 주파수 합성부, 수신부, 송신부, 제어부로 나뉜다. 주파수 합성부는 수신부에서 주파수 하향 변환에 필요한 고정 국부 주파수 및 가변 국부 주파수를 생성해 주는 역할을 하며, 수신부는 2차링크 안테나로부터 수신한 UHF 대역 신호를 IF 주파수로 변환 및 AGC 기능으로 수신출력을 -15 dBm으로 조절하여 통합모뎀반으로 전달한다. 송신부는 통합모뎀반에서 받은 UHF 대역 송신신호를 ALC 기능을 통해 1W 이상 증폭하고, 대역통과필터로 하모닉 및 불요파를 여과하여 2차링크 크안테나로 송신신호를 전달한다. 제어부는 통합모뎀반과 RS232, LVTTTL 통신을 통해 2차링크 송수신 모듈의 제어 및 상태정보를 관리한다. 2차링크 송수신 모듈의 물리적 형상 분해도는 그림 17와 같다.

## 2.6 열 해석 및 열 설계

열전달 종류에는 전도, 대류, 복사가 있다. 전도는 접촉을 통한 물질, 분자 간 열 이동이며, 대류는 공기나 물 등의 유체에 의한 열 이동, 복사는 전자파에 의한 열에너지 방출이다.

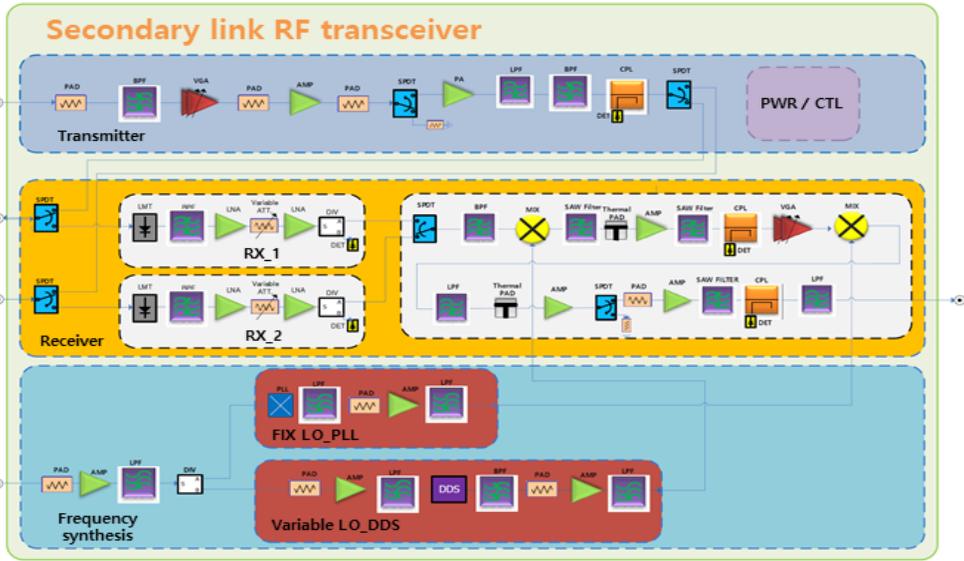


그림 16. 2차링크 송수신 모듈 블럭도  
Fig. 16. Secondary link transceiver module block diagram

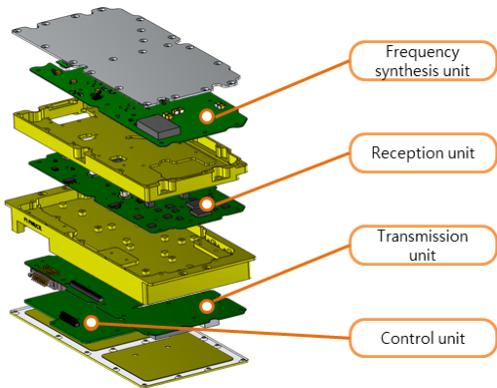


그림 17. 2차링크 형상 분해도  
Fig. 17. Secondary link shape exploded view

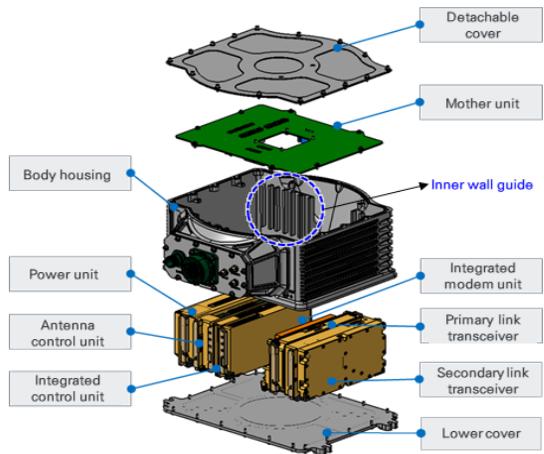


그림 18. 통합통신장치 형상 분해도  
Fig. 18. Integrated communication device shape exploded view

헬기탑재형 무인기 통제 데이터링크용 RF 송수신 모듈은 통합통신장치 함체 내부에 슬롯 형태로 장착되는 모듈로, 전도를 이용한 방열 설계를 위해 모듈 기구 양 끝이 그림 18의 함체 내벽 가이드 기구에 밀착하여 접촉될 수 있도록 모듈 양측에 리테이너를 장착하였다. 이와 함께 함체 아래 커버와 모듈 사이 공간은 방열패드를 적용하여 아래 커버를 통해서도 방열이 될 수 있도록 하였다.

열 해석 시 모듈의 기구 및 PCB 모델링 단순화를 진행하였으며, 정상상태 열 분포로 안정화되었다는 가정하에 선형 해석으로 진행하였다. 열 해석 시 적용한 재료 물성치 파라미터값은 표 4와 같다.

표 4. 열 해석 대상 재료 물성치

Table 4. Material properties for thermal analysis

Items	Housing and module case	PCB	Electronic circuit parts and thermal pad
Materials	Aluminum (AL6061-T651, T6)	FR-4 (Includes copper trace)	Silicon
Thermal conductivity, W/(mm·°C)	0.161	0.02	0.16

그림 19와 그림 20은 외기온도 55 °C, 대류계수 0.00001 W/(mm2·°C) 자연대류 조건에서 합체에 장착된 1차링크, 2차링크 송수신 모듈의 열해석 결과이며, 1차링크 모듈 외부 케이스 최대 발열부위 온도는 약 73 °C, 2차링크는 약 68 °C로 해석되었다.

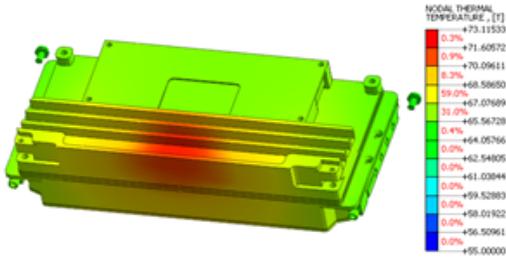


그림 19. 1차링크 송수신 모듈 열해석 형상  
Fig. 19. Primary link transceiver module thermal analysis shape

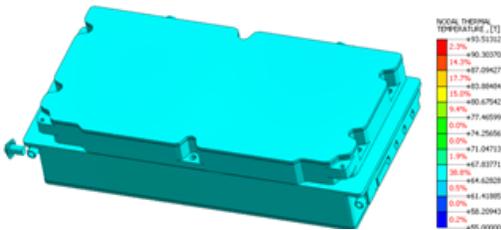


그림 20. 2차링크 송수신 모듈 열해석 형상  
Fig. 20. Secondary link transceiver module thermal analysis shape

열 설계란 반도체 부품이 규정된 최대접합온도 ( $T_{j\_max}$ ) 내에서 동작할 수 있도록 계산을 통해 열저항을 저감 되도록 설계하는 것이다. 이를 위해 RF송수신 모듈에서 사용된 부품별 발열량을 조사하고 열해석을 통해 발열소자를 분석한 후 PCB 동박 (Copper) 면적과 VIA 홀 개수를 조정하여, 부품 접합온도가  $T_{j\_max}$  규정을 넘지 않는지 확인하였다. 그림 21, 그림 22 열해석 결과와 함께 아래 식 (2)[9]를 통해 1차링크, 2차링크 중단증폭기에서 발생한 열이  $T_{j\_max}$  규정을 넘지 않는지 확인하였다.

$$T_j = T_c + (V \cdot I - P_{out} - P_{in}) \cdot R_{th} \quad (2)$$

- \*  $T_j$  : Junction Temperature (°C)
- \*  $T_c$  : Case Temperature (°C)
- \*  $V$  : Input Voltage (V)
- \*  $I$  : Operating Current (A)
- \*  $P_{out}$  : Output Power (W)
- \*  $P_{in}$  : Input Power (W)
- \*  $R_{th}$  : Thermal Resistance (°C/W)

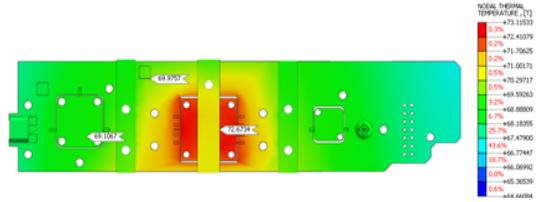


그림 21. 1차링크 고출력증폭 보드 열해석 형상  
Fig. 21. Primary link high power amplifier board thermal analysis geometry

1차링크에 사용된 출력증폭기 데이터시트를 통해 확인한 최대  $T_{j\_max}$ 는  $MTTF > 1 \times 10^6$  (hours) 기준으로 230 °C로 확인되며, 수식을 통해 분석된  $T_j$  값은 다음과 같다.

$$T_c = 73^\circ\text{C}, V = 28\text{V}, I = 0.8\text{A}, R_{th} = 1.56^\circ\text{C/W}, P_{out} = 35\text{dBm} (3.16\text{W}), P_{in} = 4\text{dBm} (0.003\text{W})$$

$$T_j = 73 + (28 \cdot 0.8 - 3.16 + 0.003) \cdot 1.56 = 103.01^\circ\text{C}$$



그림 22. 2차링크 송신보드 열해석 형상  
Fig. 22. Secondary link transmitter board thermal analysis geometry

2차링크에 사용된 출력증폭기 데이터시트를 통해 확인한 최대  $T_{j\_max}$ 는  $MTTF > 1 \times 10^6$  (hours) 기준으로 180°C로 확인되며 수식을 통해 분석된  $T_j$  값은 다음과 같다.

$$T_c = 68^\circ\text{C}, V = 28\text{V}, I = 0.26\text{A}, R_{th} = 12^\circ\text{C/W}, P_{out} = 34\text{dBm} (2.51\text{W}), P_{in} = 15\text{dBm} (0.032\text{W})$$

$$T_j = 68 + (28 \cdot 0.26 - 2.51 + 0.03) \cdot 12 = 125.6^\circ\text{C}$$

열해석 및 열분석 결과 1차링크, 2차링크 송수신 모듈 내 부품들이  $T_{j\_Max}$  규격 이내 온도에서 동작하고 있음을 확인하였다[10].

### III. 결 론

본 논문에서는 헬기탑재형 무인기통제 데이터링크 단말의 소형/경량화 요구사항에 맞춰 1차링크, 2차링크 RF송수신 모듈 설계에 관해 기술하였다. 개발되었던 군단 무인기용 RF송수신기(송수신반+전단처리반) 대비 무게는 약 1/4, 크기 약 1/3 가량 경량/소형화 되었으며, 이와 함께 요구되는 전기적 특성과 환경 규격 만족 여부를 시뮬레이션을 통해 검증하였다. 설계를 토대로 제작 중이며, 추후 제작품을 통해 요구 규격을 만족하는지 확인 시험 진행과 함께 시뮬레이션 결과와 비교할 예정이다. 물리적 사양과 함께 전기적, 환경 규격에 부합한다면 추후 다양한 소형/경량화가 요구되는 신규 데이터링크 플랫폼에 적용 가능할 것으로 기대된다.

### References

[1] B. K. Jeong, J. W. Seo, and J. H. Ryu, "Transceiver Design for Terminal Operating with Common Data Link on Ku-Band", Journal of KJKIEES, Vol. 26, No. 11, pp. 978-984, Nov. 2015. <http://dx.doi.org/10.5515/KJKIEES.2015.26.11.978>.

[2] J. W. Choi and J. H. Kim, "Ku-Band RF Transceiver System Design for UAV Line-Of-Sight Datalink", Journal of IEIE, Vol. 51, No. 9, pp. 46-53, Sep. 2014. <http://dx.doi.org/10.5573/ieie.2014.51.9.046>.

[3] J. Y. Kim, "RF Transceiver Design and Implementation for Common Data Link", Journal of IKEEE, Vol. 19, No. 3, pp. 371-377, Sep. 2015. <http://dx.doi.org/10.7471/ikeee.2015.19.3.371>.

[4] B. K. Kim, J. M. Kim, D. K. Lee, T. S. Kim, and I. K. Kim, "Analysis and design of ku-band airborne video transceiver system for smart-UAV", Journal of KICS, Vol. 29, No. 7A, pp. 807-813, 2004.

[5] H. J. Kim and J. W. Lee, "Design of a Low-Power RF Transceiver for Small UAVs Using Switching Power", Journal of KJKIEES, Vol. 28, No. 10, pp. 779-787, Oct. 2017.

<http://dx.doi.org/10.5515/KJKIEES.2017.28.10.779>.

[6] S. Y. Choi, B. H. Lee, and G. H. Lee, "Design of X-band High Power Amplifier Module", Journal of KIIT, Vol. 16, No. 8, pp. 19-25, Aug. 2018. <http://dx.doi.org/10.14801/jkiit.2018.16.8.19>.

[7] N. Zhu, J. Y. Cai, and W. Q. Wang, "A new method of developing high-performance ku-band radar transceiver", IET International Radar Conference, pp. 1-4, 2009.

[8] J. C. Mena and J. R. L. Sudupe, "Radar transceiver module for QUASAR UAV based polarimetric SAR system", 2013 European Radar Conference, Nuremberg, Germany, Oct. 2013.

[9] "PAE / PDISS / TJ CALCULATOR", QORVO, <https://www.qorvo.com/design-hub/design-tools/interactive/pae-pdiss-tj-calculator> [accessed: Jun. 21, 2024]

[10] "Calculating Transistor Chip Temperature", ROHM, [https://www.rohm.com/electronics-basics/transistors/tr\\_what7](https://www.rohm.com/electronics-basics/transistors/tr_what7) [accessed: Jun. 21, 2024]

### 저자소개

#### 송 두 식 (Du-Sik Song)



2006년 2월 : 순천향대학교  
정보기술공학부(공학사)  
2016년 8월 : (주)RFHIC  
책임연구원  
2016년 9월 ~ 현재 :  
한화시스템(주) 전문연구원  
관심분야 : SSPA, MUM-T,  
GaN RF송수신 설계

#### 여 수 철 (Su-Cheol Yeo)



2008년 2월 : 동아대학교  
전자공학과(공학사)  
2010년 2월 : 동아대학교  
전자공학과(공학석사)  
2010년 1월 ~ 현재 :  
한화시스템(주) 수석연구원  
관심분야 : 데이터링크 안테나  
시스템

홍 권 기 (Kwon-Ki Hong)



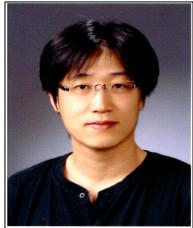
2006년 2월 : 한양대학교  
전파공학과(공학사)  
2008년 2월 : 한양대학교  
전파공학과(공학석사)  
2008년 1월 ~ 현재 :  
한화시스템(주) 수석연구원  
관심분야 : 데이터링크 시스템  
설계

서 정 원 (Jung-Won Seo)



2007년 2월 : 경북대학교  
전자전기공학부(공학사)  
2009년 2월 : 경북대학교  
전자전기컴퓨터공학부(공학석사)  
2010년 1월 ~ 현재 :  
(주)한화시스템 전문연구원  
관심분야 : 초고주파 및  
데이터링크 시스템 설계

이 영 진 (Young-Jin Lee)



2000년 2월 : 한양대학교  
전기/전자공학과(공학사)  
2003년 2월 : 한양대학교  
전기/전자공학과(공학석사)  
2010년 3월 ~ 현재 :  
한화시스템(주) 수석연구원  
관심분야 : 신호처리 및  
통신시스템 설계

이 준 경 (Jun-Kyeong Lee)



2016년 8월 : 성균관대학교  
기계공학부(공학사)  
2020년 3월 : (주)한화/방산 연구원  
2020년 4월 ~ 현재 :  
한화시스템(주) 선임연구원  
관심분야 : 데이터링크 시스템  
기계 설계

김 학 준 (Hack-Joon Kim)



2004년 2월 : 홍익대학교  
컴퓨터공학과(공학사)  
2020년 2월 : 연세대학교  
국방융합공학협동과정(공학석사)  
2004년 1월 ~ 현재 :  
한화시스템(주) 수석연구원  
관심분야 : 공통/전술 데이터링크,  
UAS, 머신러닝

박 준 식 (Jun-Sik Park)



2014년 2월 : 전북대학교  
전자·정보공학부(공학사)  
2016년 2월 : 전북대학교 대학원  
전자·정보공학부(공학석사)  
2015년 12월 ~ 현재 :  
한화시스템(주) 전문연구원  
관심분야 : 데이터링크, 전자전,  
레이다 신호처리

이 대 홍 (Dae-Hong Lee)



2006년 2월 : 성균관대학교  
전자전기공학과(공학사)  
2008년 2월 : 성균관대학교  
전자전기컴퓨터공학과(공학석사)  
2008년 10월 ~ 현재 :  
한화시스템(주) 수석연구원  
관심분야 : 전자공학, 통신공학,  
군통신

김 회 준 (Hoi-Jun Kim)



2001년 2월 : 전북대학교  
정보통신공학과(공학사)  
2003년 8월 : 전북대학교 대학원  
정보통신공학과(공학석사)  
2004년 3월 ~ 현재 :  
(주)한화시스템 수석연구원  
관심분야 : 데이터링크 시스템  
설계