

드론(무인항공기)의 생명선 : 데이터링크 기술

2020.08.27

이동국 (dklee@duta-rnd.com)

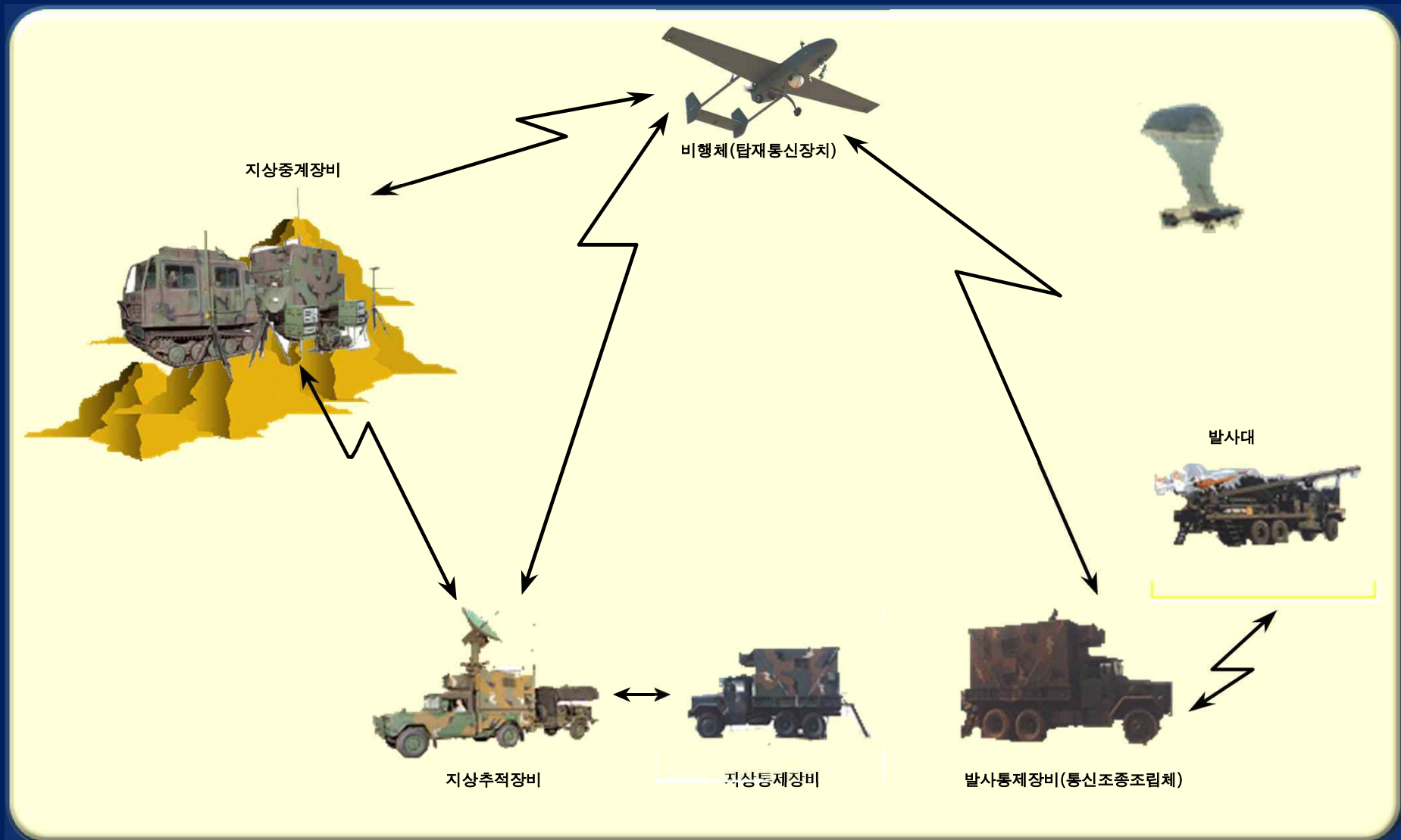
무인기의 데이터링크

사람 즉, 조종사가 없는 무인항공기와 지상의 운용자를 연결시켜주는 생명줄(Lifeline)

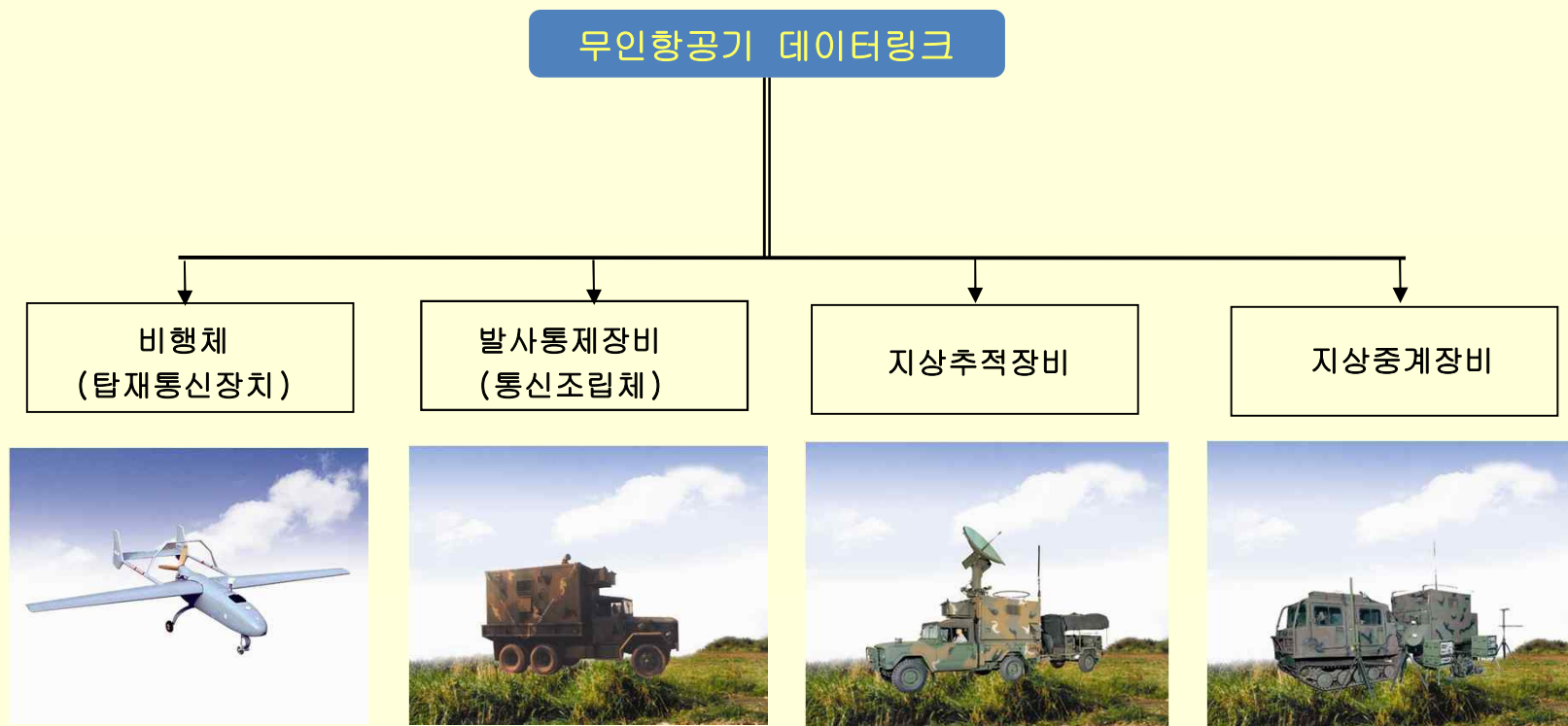


지상과 비행체를 이어주는 역할

한국군 무인기 체계(송골매)



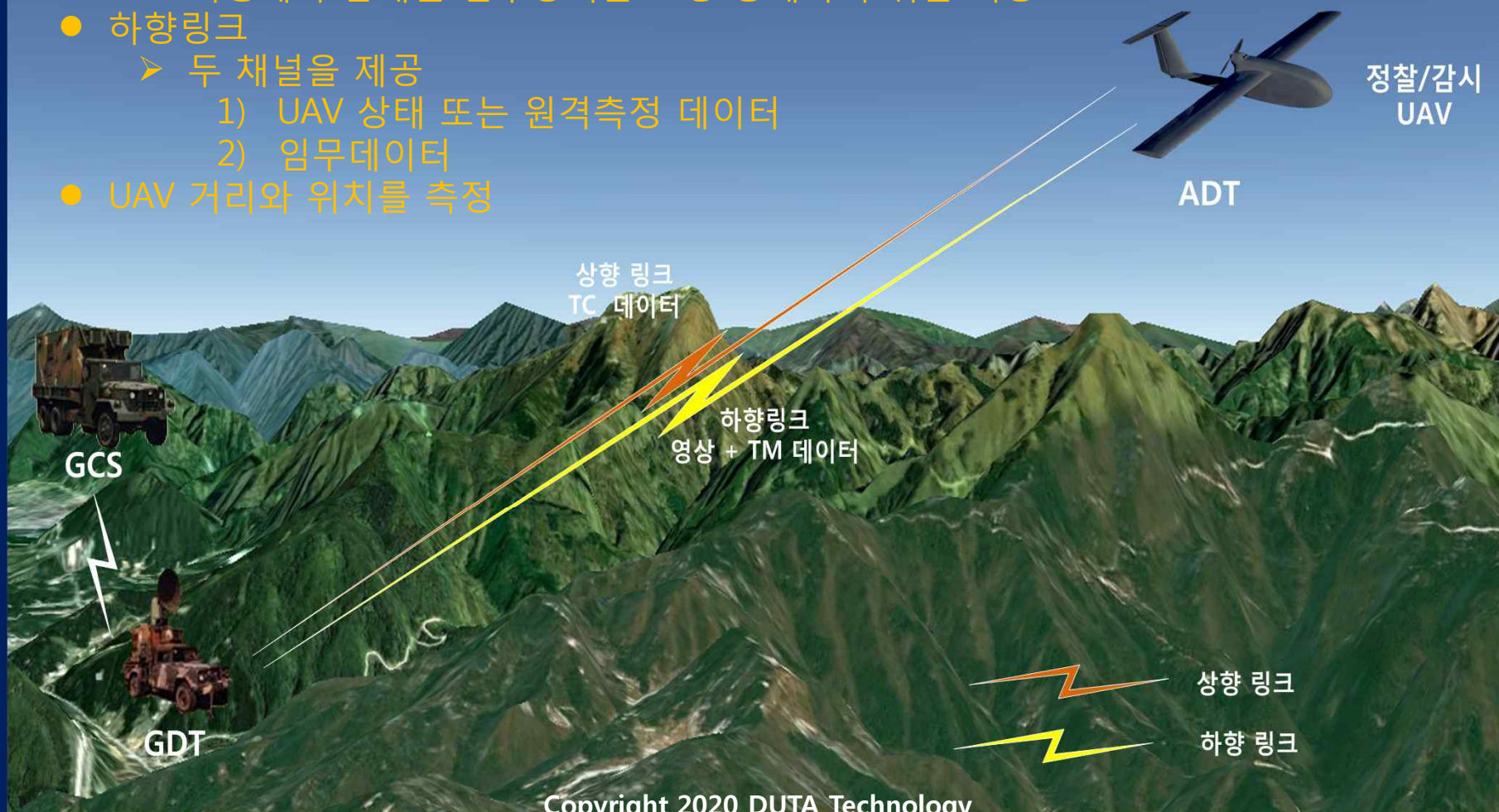
한국군 무인기 데이터링크(송골매)





데이터링크 기능

- 상향링크
 - 비행체와 탑재된 임무장비를 조종 통제하기 위한 기능
- 하향링크
 - 두 채널을 제공
 - 1) UAV 상태 또는 원격측정 데이터
 - 2) 임무데이터
- UAV 거리와 위치를 측정



UAV 데이터링크 설계 제약사항

- UAV 플랫폼 크기 -> 데이터링크 시스템의 크기, 무게와 전원소모
- 탑재 임무장비의 타입(EO/SAR imagery, Motion Imagery, Elint, Comint) -> 전송속도
- 임무범위
- 주파수 가용도(주파수 대역 할당과 대역폭)
- 환경조건(강우, 습기, 지형, 구름...)
- 전자기조건(EMI/EMC)

요구사항 정립

1. 통신거리(=무인기 운용거리?)
2. 전송 데이터량과 종류(00bps, 영상, 데이터...)
3. 운용 주파수 대역(s-band, c-band....)
4. 에러검출/정정 (CRC, RS, Viterbi, Interleave...)
5. 안티재밍, 비화(FH, DSSS, RS2,4,5, IDEA, AES,...)
6. 통신채널 다중화 (FDM, TDM,...)
7. 중량,부피 (<00KG, < 00CM^3)
8. 환경조건(온도, 진동, 충격, 고도...)
9. 전자기조건, etc

기술적 데이터 분석/제시

통신거리

Link Budget Analysis

전송 데이터량과 종류

가용 BW, 변복조기법 분석 및 선정

운용 주파수 대역

대역별 특성 분석 및 가용성 파악 (허가는 별도문제)

에러검출/정정

예상 에러 패턴 분석 후 장비의 시스템 지연시간 등을 고려하여 에러검출방법 및 정정방안 제시

안티재밍, 비화

DS, FH, Scramble 등 방안제시

통신채널 다중화

FDM, TDM, SDM, HYBRID

중량, 부피

비행체-통신장비특성의 trade-off

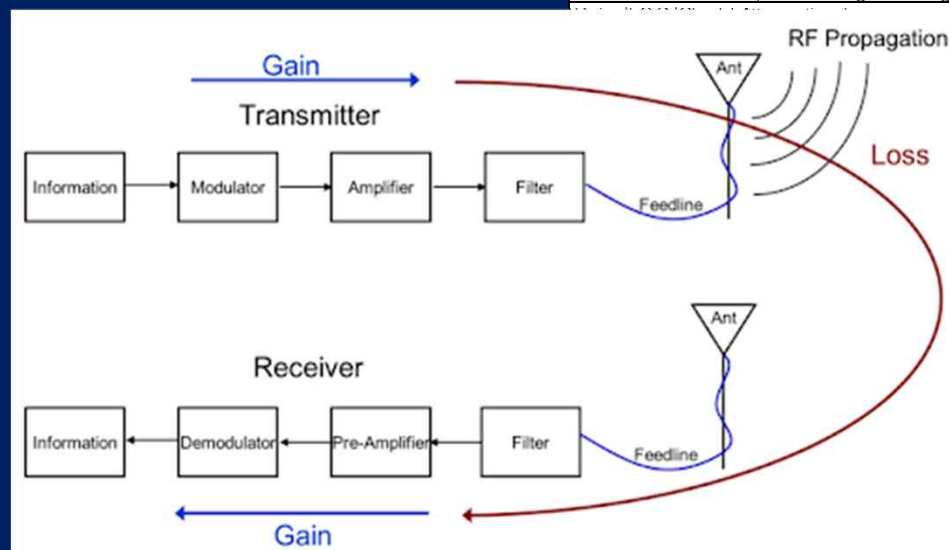
환경조건/전자기조건

장비 운용조건을 고려

Link Budget

무선 통신시스템에서 종간의 신호전달 채널(공기)의 감쇄 등을 고려하여 송신기와 수신기가 성공적으로 통신이 이루어 지도록 spec을 정하거나 조정하는 작업 또는 그 계산 결과

- 전송거리
- 안테나
- 편파
- 변조방식
- 대역폭
- 출력
- 수신감도 등



900MHz LINK BUDGET ANALYSIS		
Parameter	Unit	UPLINK Value
Operating Frequency (Fo)	MHz	900
Wave-Length(Lambda)	Meter	0.333
Operation Range (Ro)	Km	20
Transmitter Section		
Transmitter Output Power	W	1
	dBm	30.0
Diplexer Insertion Loss	dB	-1.5
RF Cable Attenuation Loss	dB	-0.5
TX Antenna Gain	dBi	5
EIRP(Effective Isotropic Radiated Power)	dB	33.0
FREE SPACE LOSS(32.5+20logFo+20logRo)		
	dB	-117.6
	dB	0.0
	dB	0.0
	dB	-1.0
	dB	-118.6
	dBm	-85.6
	dBi	2
	dB	-1.5
	dBm	-169.9
	K	738.4
	dB	28.7
	K	300
	dB	1
	dB	3
	k	290.0
	J/K	1.38E-23
	dBm	-198.6
	Hz	9,600
	dB	39.8
	dB	-130.1
	dB	45.0
	dB	0.0
BPSK/QPSK or TDD/FDD	dB	8
FADE Margin	dB	37.0

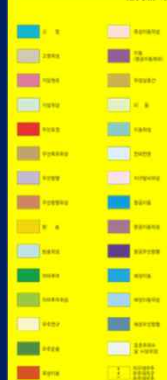
주파수명칭 및 분배표

Frequency Designation Chart

Radar	VHF	UHF	L	S	C	X	K _u	K	K _a	millimeter															
ECM	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M												
Wavelength (cm)	300	200	150	100	75	60	50	40	30	20	15	10	7.5	6	5	3.75	3	2	1.5	1	.75	.6	.5	.4	.3
Wavelength λ (dB/Meter)	4.8	3.0	0	-3.0	-2.0	-10.0	-13.0	-17.0	-20.0	-23.0	-25.2														
Frequency (GHz)	.1	.15	.2	.3	.4	.5	.6	.75	1	1.5	2	3	4	5	6	8	10	15	20	30	40	50	60	70	100

대한민국 주파수 분배도표

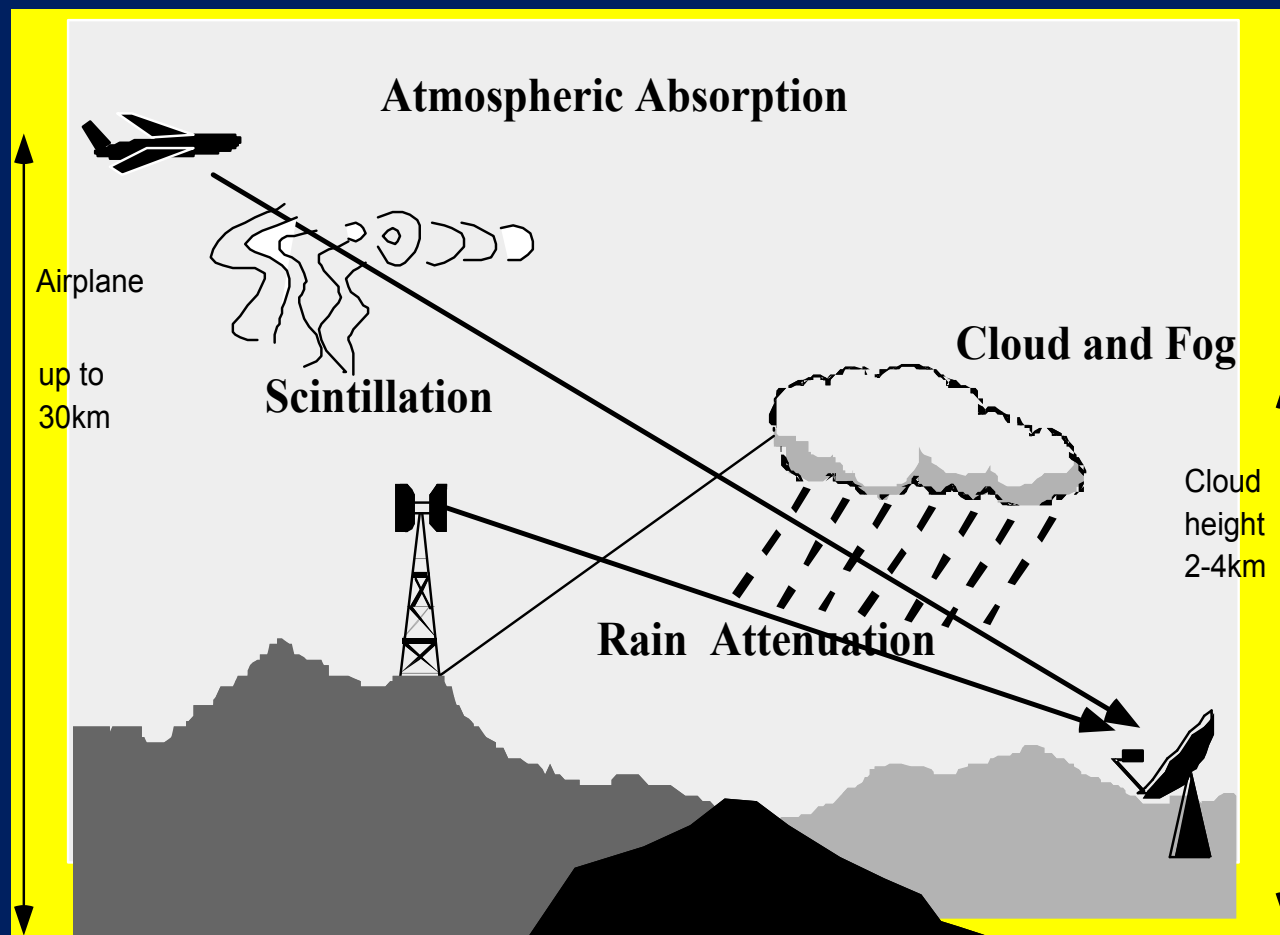
(2009. 1.3)



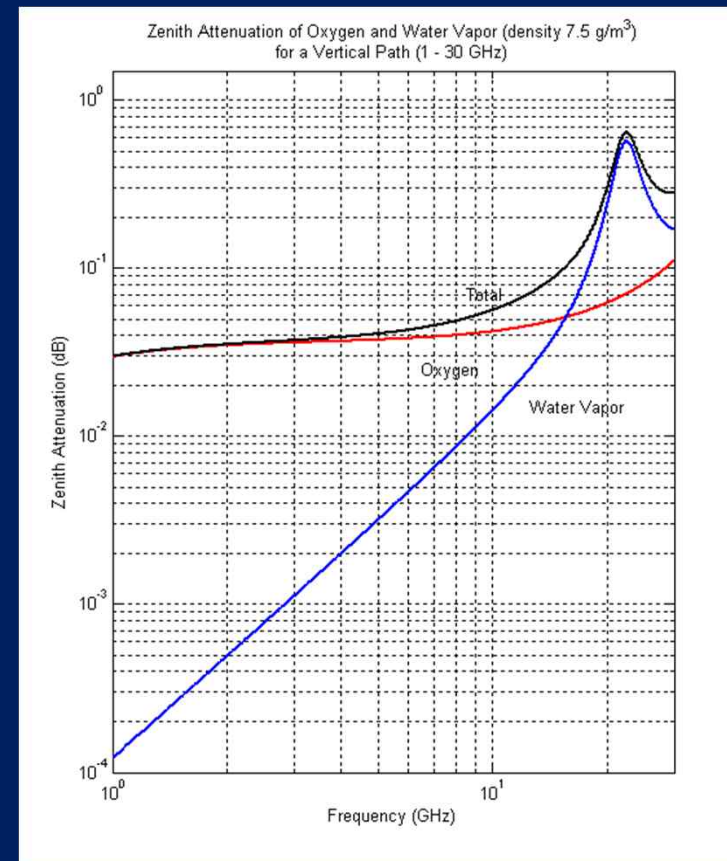
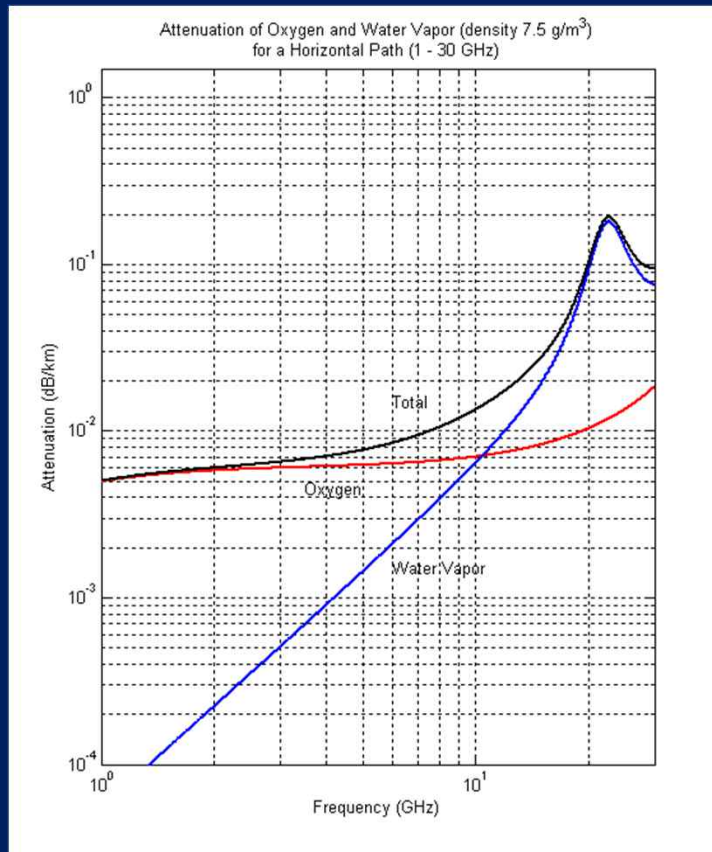
방송통신위원회
한국전파진흥협회



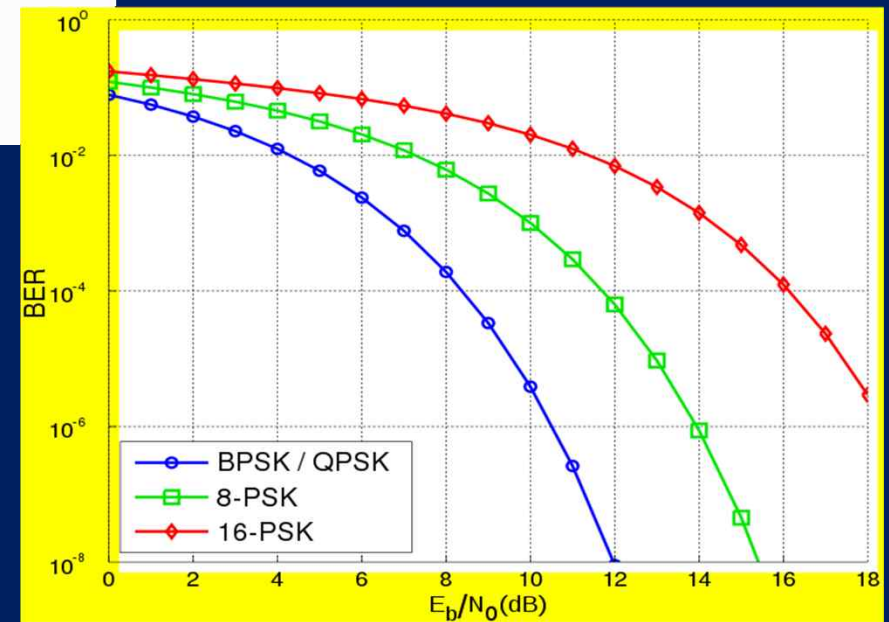
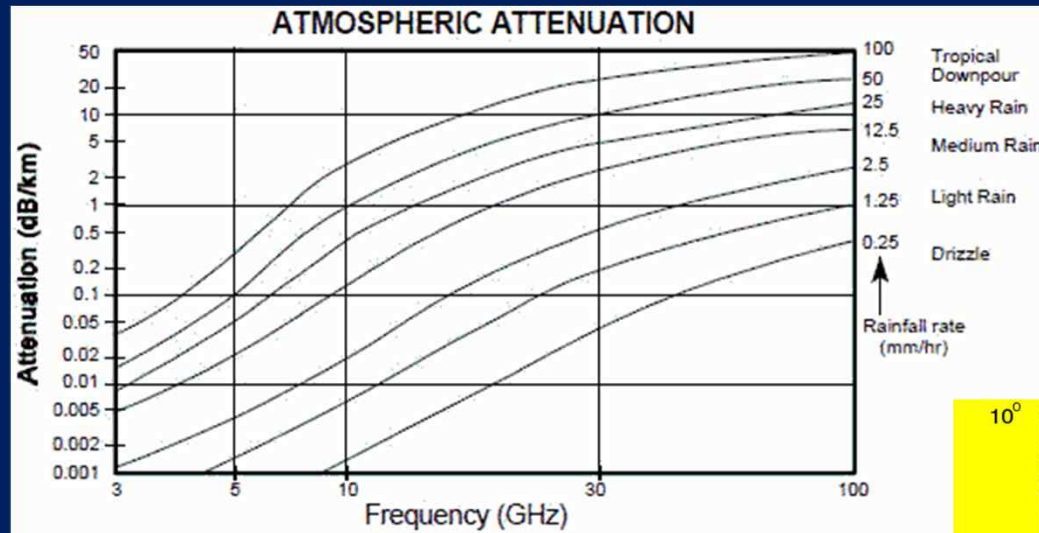
주파수와 대기조건



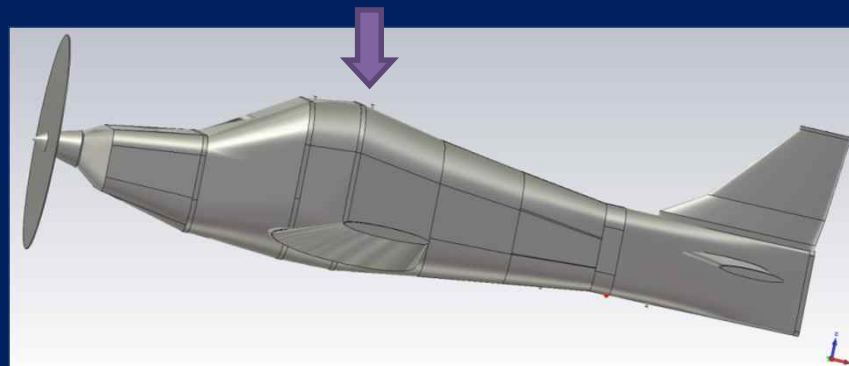
주파수와 대기조건



강우, BER



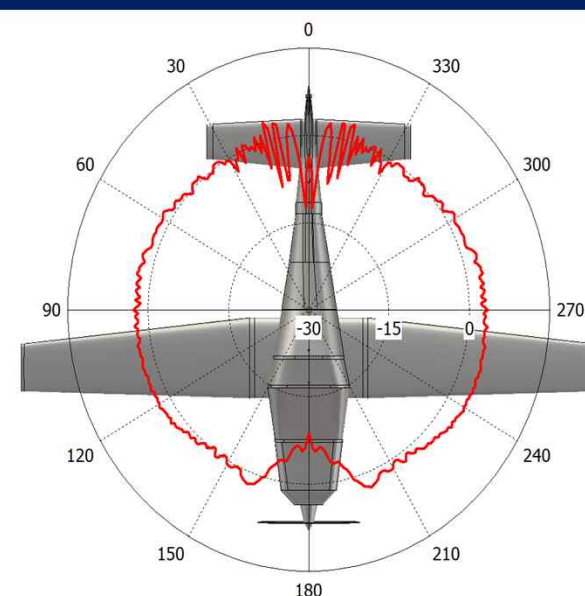
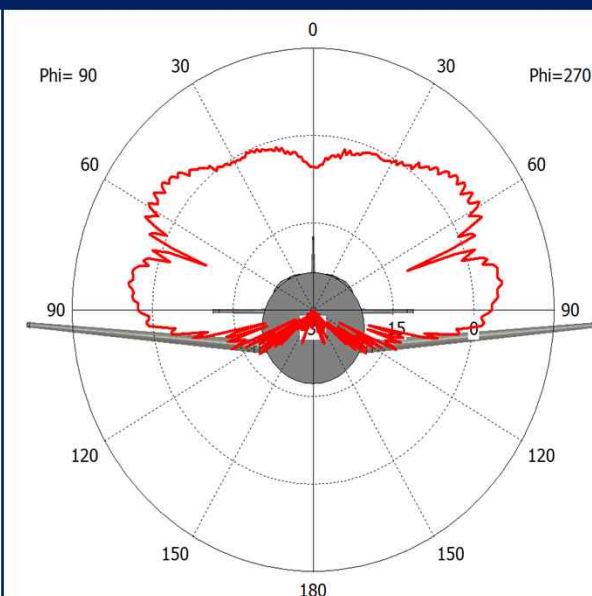
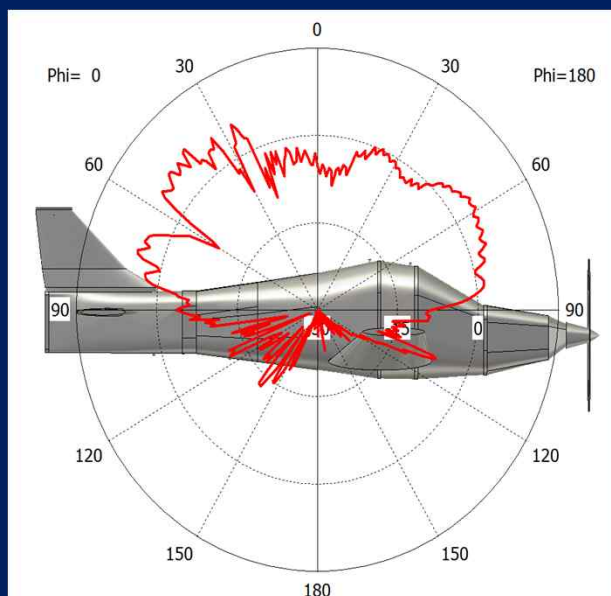
안테나 설치위치와 기체 영향성 분석



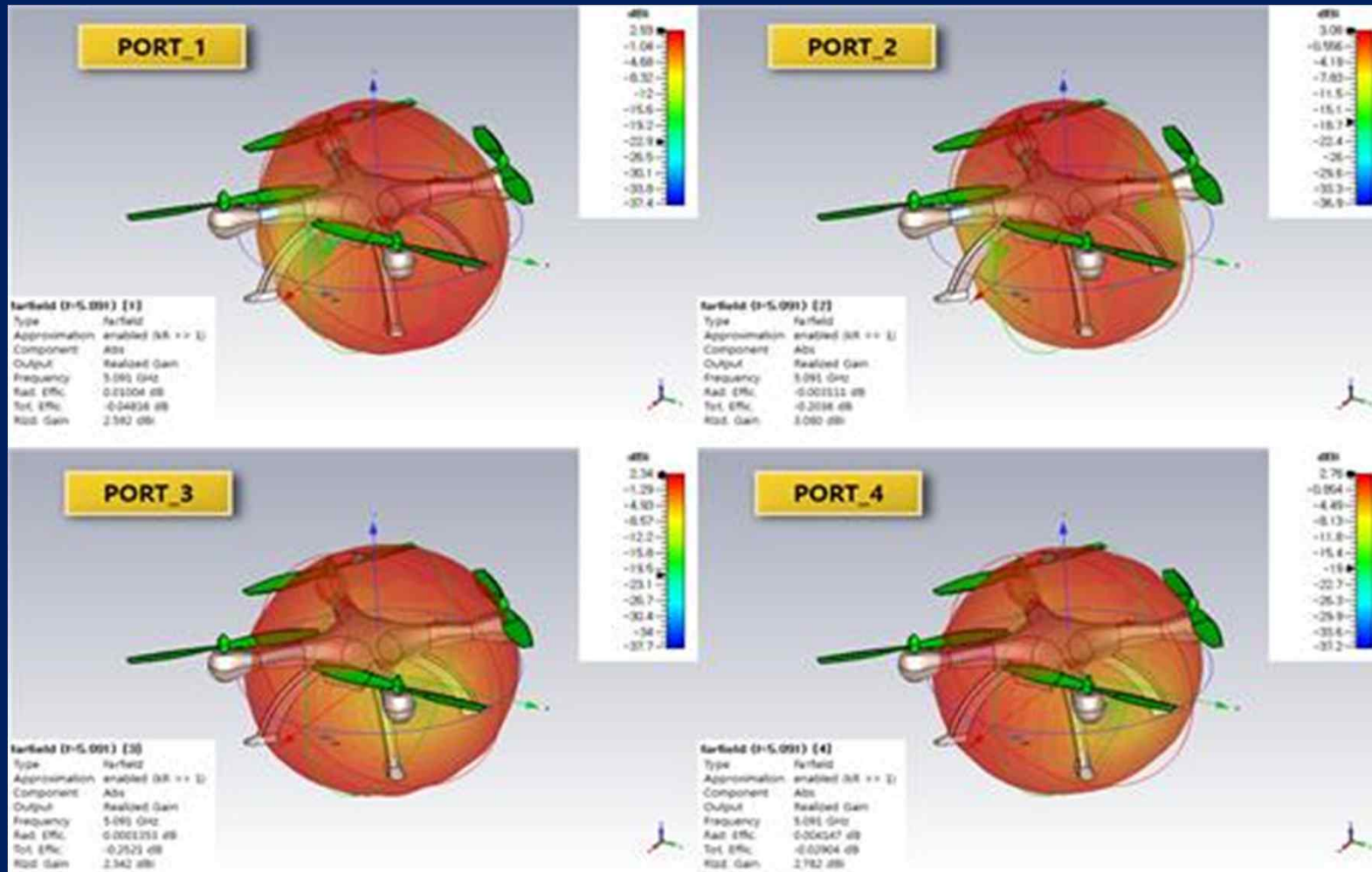
■ Elevation(Pitch 방향)

■ Elevation(Roll 방향)

• Azimuth(Yaw 방향)



안테나 설치위치와 기체 영향성 분석



RF Connector 선정시 참고 자료

Connector Type	Normal Impedance	Frequency Range	Insertion Loss	Connector Durability
MCX	50 Ω	DC ~ 6 GHz	$0.06\sqrt{f[\text{GHz}]} \text{ dB}$	500 Cycles
MMCX	50 Ω	DC ~ 6 GHz	$0.06\sqrt{f[\text{GHz}]} \text{ dB}$	500 Cycles
SMA	50 Ω	DC ~ 18 GHz	$0.05\sqrt{f[\text{GHz}]} \text{ dB}$	500 Cycles
SSMA	50 Ω	DC ~ 40 GHz	$0.04\sqrt{f[\text{GHz}]} \text{ dB}$	500 Cycles
SMB	50 Ω , 75 Ω	DC ~ 4 GHz(@50 Ω) DC ~ 1 GHz(@75 Ω)	$0.2\sqrt{f[\text{GHz}]} \text{ dB}$	500 Cycles
SMC	50 Ω , 75 Ω	DC ~ 10 GHz(@50 Ω) DC ~ 1 GHz(@75 Ω)	0.6 dB _{max}	500 Cycles
SMZ	75 Ω	DC ~ 6 GHz	0.6 dB _{max}	500 Cycles
BNC	50 Ω , 75 Ω	DC ~ 4 GHz(@50 Ω) DC ~ 1 GHz(@75 Ω)	$0.2\sqrt{f[\text{GHz}]} \text{ dB}$	500 Cycles
TNC	50 Ω , 75 Ω	DC ~ 4 GHz	$0.2\sqrt{f[\text{GHz}]} \text{ dB}$	500 Cycles

Note : 제조사별 사양이 다를 수 있음

운용거리 Vs. 최저비행고도

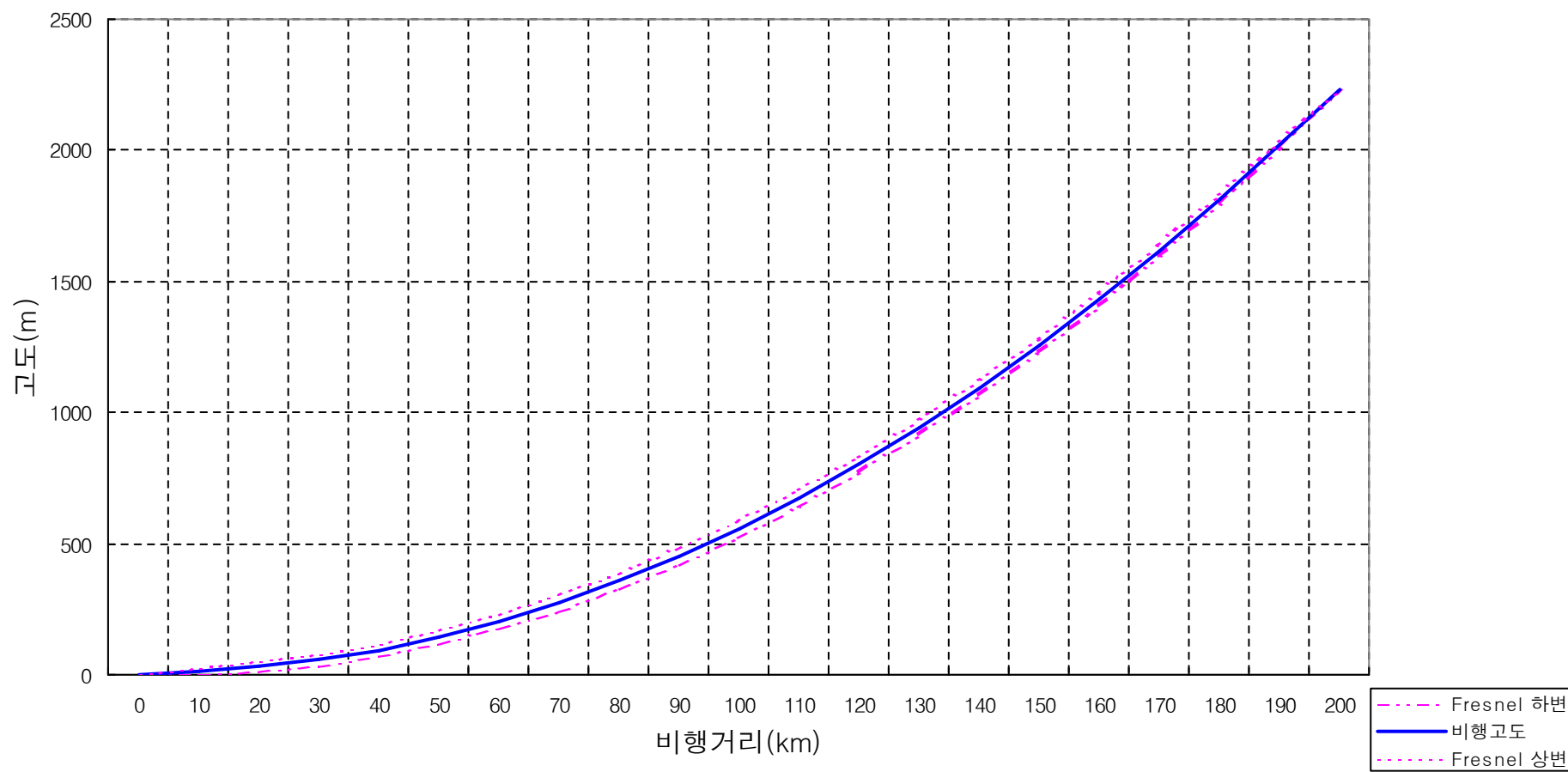
조건

- ❖ 통신거리 : 200km
- ❖ 주파수 : 14.9GHz
- ❖ 지상안테나 높이 : 2m
- ❖ 적용기후 : 온대지방

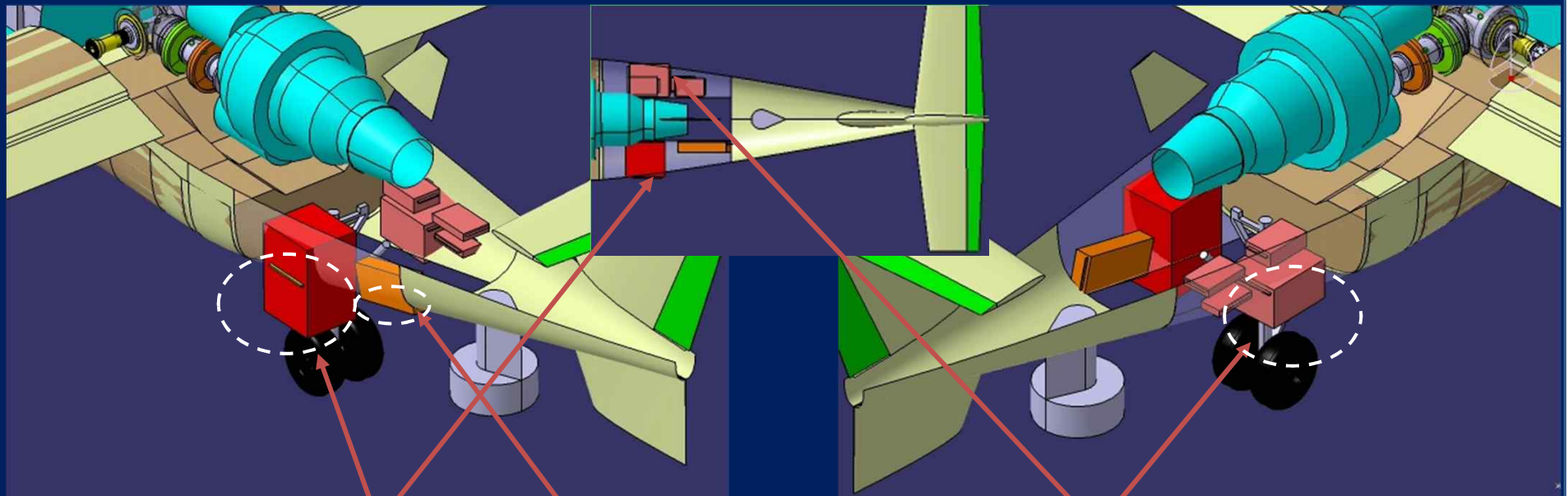
거리(km)	최저비행고도(m)	1st Fresnel Zone Radius(m)
0	2	0
10	15	14
20	31	19
30	57	23
40	95	25
50	143	27
60	203	29
70	274	30
80	357	31
90	451	32
100	557	32
110	674	32
120	803	31
130	943	30
140	1095	29
150	1258	27
160	1433	25
170	1619	23
180	1815	19
190	2022	14
200	2232	0

운용거리 Vs. 최저비행고도

비행고도 Vs. 비행거리



탑재장치 볼륨 문제

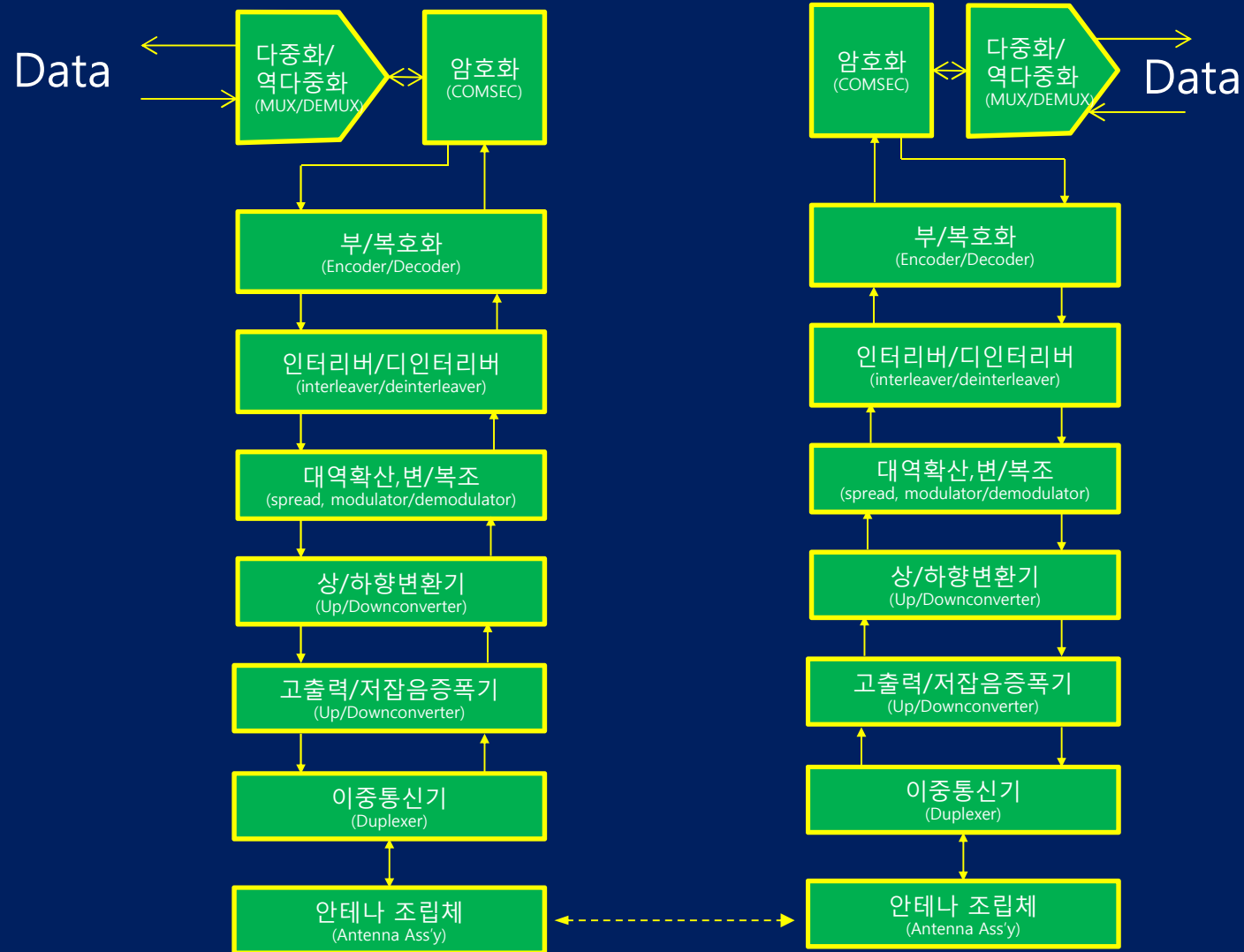


높이 및 폭 축소 설계 필요

폭 축소 설계 필요

통합설계 고려 및
볼륨축소 설계 필요

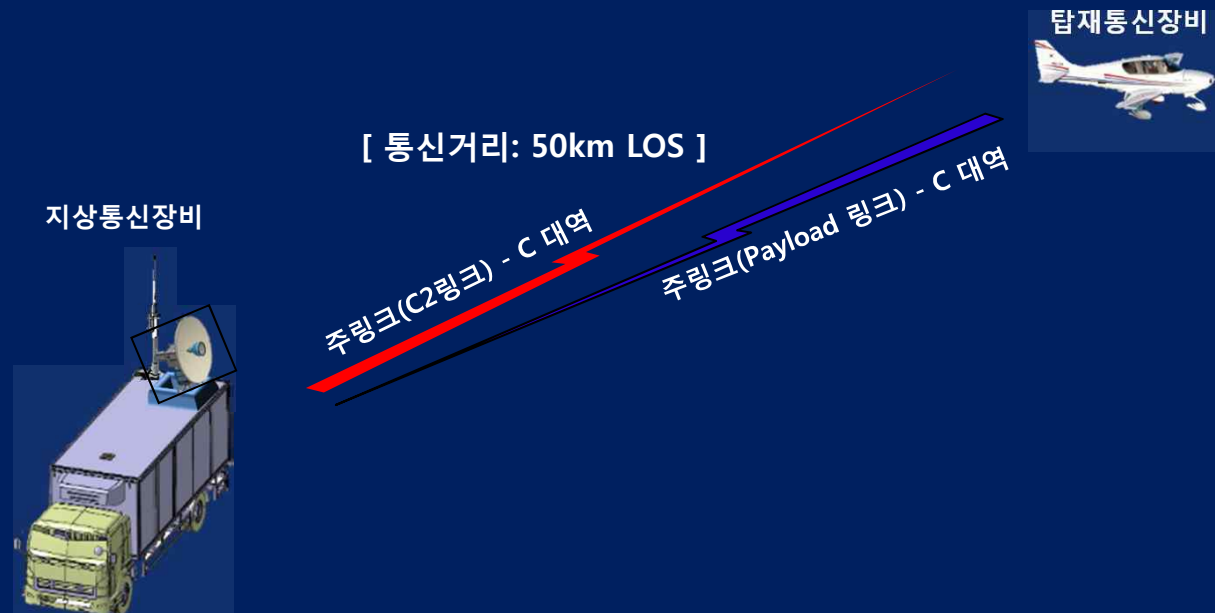
Data Link Function Block Diagram



무인기 데이터링크 설계 사례

운용 개념

- 통신거리 : LOS 50 km
- 운용주파수 대역 : C대역 2링크(주링크 C2링크, Payload링크),
- 비행체 자동추적 : GPS 기반 위치 추적



운용주파수

- 소형드론 : 2.4 GHz & 5.8 GHz 비면허 대역 사용 권고
- 무인항공기급(150 kg 초과) : 면허 대역 사용 권고

주파수 또는 중심주파수	대역폭	안테나공급전력/ 안테나이득	특이사항	비고
2400~2483.5 MHz	무선설비규칙 참조 (점유 주파수 대역폭 : 0.5Mhz 이상 26Mhz 이하 전력밀도 : 10mW/Mhz 이하)	10mW/MHz, 6 dBi (최대 1 W***)	무선데이터 통 신시스템용	비면허
5030~5091 MHz	250 kHz 이내	10 W	지상제어	허가용 (실험국)
5091~5150 MHz (5100,5120,5140 MHz 중심 14.5 BW)	20 MHz 이내	1W	임무용	허가용 (실험국) 구체화작업중
5650~5850 MHz (5650~5725 MHz, 5725~5825 MHz, 5825 ~ 5850 MHz)	80 MHz 이내	10mW/MHz, 6 dBi (최대 1 W***)	무선데이터 통 신시스템용	비면허

* 출처 : ICT융합 신산업 활성화를 위한 무인비행기 주파수 공급(미래창조과학부, 2016.12).
2020 신산업.생활 주파수 공급계획(안)(과학기술정보통신부, 2017.12)

통신거리 분석

• 주링크-C2링크 운용 거리 분석

구분	주통신링크
Modulation	GMSK
Availability (%)	99% 이상
신호 품질 (FER) %	5
TDD Data Rate (kbps)	76.8kbps
Frequency (MHz)	5091
신호 대역폭(MHz)	0.25
송신 출력 (dBm)	+33
송신 삽입손실(dB) – 케이블	-1.0
송신 안테나 이득(dBi)	2.0
송신 EIRP (dBm)	34.0
통달거리 (Km)	50
Path Loss (dB)	-140.6
편파손실 (dB)	-3.0

구분	주통신링크
강우 감쇠 (dB)	0.0
Channel Total Loss(dB)	-143.6
수신 안테나 이득 (dBi)	30
수신 케이블 손실	-1.0
장비 최저 수신 레벨(dBm)	-80.6
송수신기 수신감도 (dBm)	-101
신호이득 여유	20.4

신호이득여유 20.4dB@50km

통신거리 분석

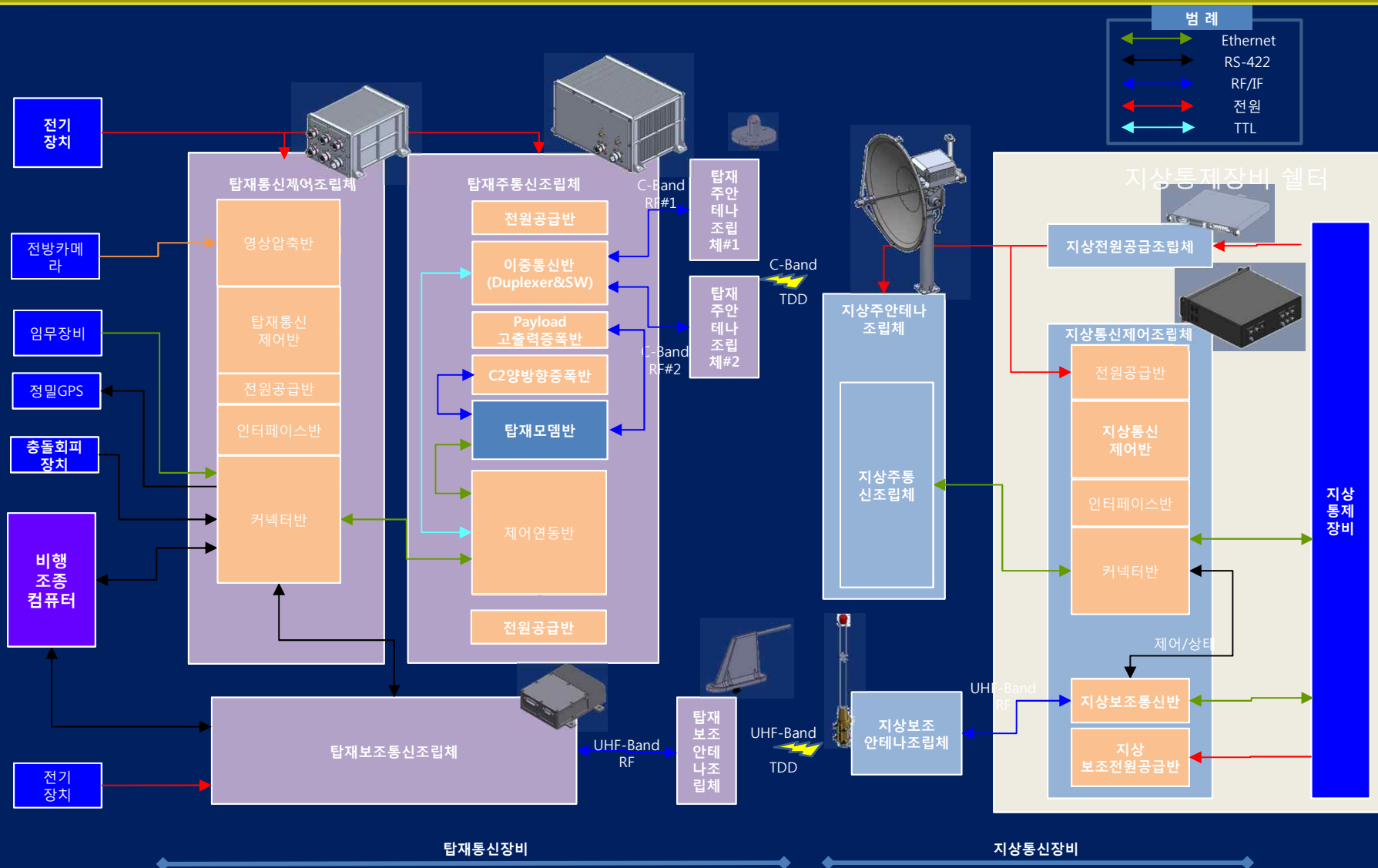
- 주링크-Payload 링크 운용 거리 분석

구분	주통신링크
Modulation	QPSK
Availability (%)	95% 이상
신호 품질 (FER) %	5
Data Rate (Mbps)	10
Frequency (MHz)	5150
신호 대역폭(MHz)	20
송신 출력 (dBm)	+36
송신 삽입손실(dB) – 케이블	-1.0
송신 안테나 이득(dBi)	2.0
송신 EIRP (dBm)	37.0
통달거리 (Km)	50
Path Loss (dB)	-140.7
편파손실 (dB)	-3.0

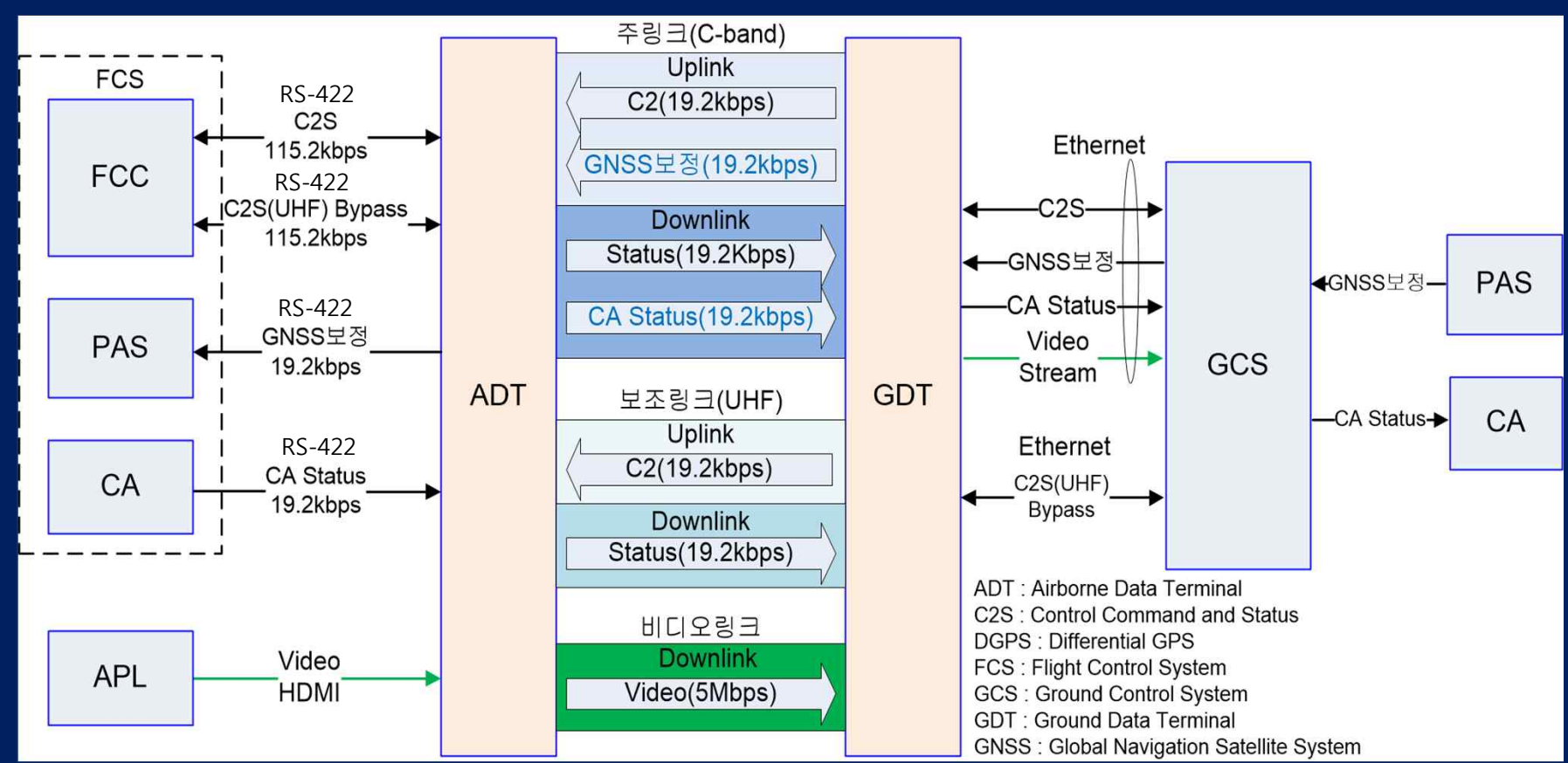
구분	주통신링크
강우 감쇠 (dB)	0.0
Channel Total Loss(dB)	-143.7
수신 안테나 이득 (dBi)	30
수신 케이블 손실	-1.0
장비 최저 수신 레벨(dBm)	-77.7
송수신기 수신감도 (dBm)	-93
신호이득 여유	15.3

신호이득여유 15.3dB@50km

시스템 구성



링크별 전송속도



드론 데이터링크 발전 방향 및 주파수 관련사항

드론 구성



데이터링크/통신

데이터링크 기술은 제어 데이터와 정보 데이터를 송수신하기 위한 무선통신 기술로 무인기와 관제센터, 무인기와 무인기, 유·무인기 간 정보교환을 위해 필요하다. 통신을 위해 지상·위성 제어용 통신, 무인기 간 V2V 통신, 보안 프로토콜 설계 등 요소 기술이 필요하다. 요소 기술을 확보하여 비행 및 임무 제어 데이터, 임무 정보 데이터 등을 송수신하기 위한 양방향 통신, 유효성, 신뢰성, 통합성을 보장할 수 있는 소형경량 통신시스템, 무선주파수, LTE 등 무선통신 기술과 접목된다.

구분	설명
무인이동체와 지상통제시스템	무인이동체 조종자가 지상통제시스템을 이용하여 무인이동체에 제어신호를 전송하고 무인이동체로부터 상태, 위치 및 임무데이터 등을 지상통제시스템으로 전송받는 시스템
무인이동체와 통신 인프라	유·무선망, 셀룰러망, 위성통신망 등과 같은 통신인프라를 활용하여 전파비가시권 환경에서 무인이동체와 지상통제시스템 사이에 이루어지는 정보 교환 시스템
무인이동체와 무인이동체	무인이동체에 탑재된 통신 디바이스들 간 직접 정보를 교환하는 D2D(Device to Device) 기술을 기반으로 지상통제시스템을 거치지 않고 복수의 무인이동체로 구성된 네트워크를 통해 이루어지는 정보 교환 시스템

드론기술발전 전망 - 데이터링크분야

현재	미래	비고
WiFi 등 비면허대역 P2P	<ul style="list-style-type: none"> - Cellular Communicaton(LTE, 5G) - Satellite Communication - Long Rage Air to Ground Communication - Ad Hoc Network - 시간-위치 동기화, 정보공유 및 분산처리 - Digital Network 	<ul style="list-style-type: none"> • BVLOS비행 가능 • 자율군집비행

드론 데이터링크 주파수

중대형 무인항공기 동시제어 주파수

□ (추진배경) 화물운송, 농약살포, 군 정찰기 등 민간 및 공공분야 무인 항공기 수요 증가에 따라 제어(조종) 임무용(영상전송) 주파수 공급('16년)

< 무인항공기 제어·임무용 주파수 현황 >

	제어용		임무용	
비면허	2400-2483.5MHz	10mW/MHz	5650-5850MHz	10mW/MHz
면허	5030-5091MHz	10W	5091-5150MHz*	미정*
	11/12/14/19/30GHz(위성)	52W		

AeroMACS(공항 교통제어) 국제표준 주파수로 국내는 무인기용으로 분배('16.9월)

⇒ 중대형 무인항공기 등 상용화 및 보급 확산에 대비해 기술기준 국제조화 및 고도화, 주파수 공동사용 방안 마련 필요

드론 데이터링크 주파수

□ (추진내용) 중대형 무인기 제어 임무용 주파수 기술기준 고도화

① 지상제어용 주파수(5030-5091MHz) 채널 수 확대 및 출력 완화('17년)

- 채널 수 확대(기존대비 4배 ↑*) 및 출력 허용기준 완화(10W→무인기 당 10W)로 동시제어 가능한 무인기 수를 현재보다 4배 이상 제고 *

- ICAO가 개발 중인 국제표준을 반영, 채널당 대역폭 최대치(1.1MHz →250kHz) 축소

② 고해상도 영상전송용 주파수(5091-5150MHz) 이용기준 마련('20년)

- '16년 분배되었으나 기술기준 및 상용칩 부재로 실제 사용하지 못하는 동 대역의 기술기준*을 제정

* 현재 개발 중(유콘시스템, 항우연, ETRI 등)인 구현칩의 사양을 반영하고, 동 대역에 분배/분배예정인 위성휴대전화 및 AeroMACS와의 공동사용 추진

드론 데이터링크 주파수

특수목적용 소형 드론 주파수

□ (추진배경) 택배·소방 등 가시거리內 소형 무인비행장치(드론)가 확산할 것으로 전망되나, 소형 드론은 비면허 대역 위주로 이용 ※ '16년 정부가 제정한 드론 주파수 이용 지침에 따르면, 무인항공기 중량별 이용 주파수 대역을 구분하였으며 소형 드론은 비면허 대역을 이용토록 권고

< 무인항공기 제어주파수 현황 >

주파수	출력	이용 권고 무인항공기 중량
2400-2483.5MHz (비면허)	10mW/MHz	소형(25Kg이하), 중형(25~150Kg)
5030-5091MHz (면허)	10W	대형(150Kg초과)
11/12/14/19/30GHz (위성)	52W	

⇒ 택배, 건물·교량 안전검사, 산불감시 등 국민생활 밀접 분야에서 소형드론의 안정적 제어를 위해 주파수 확보 필요

□ (추진내용) 저고도 소형 드론 제어 전용 주파수 분배('20년) ○ 국제 표준화* 동향 및 인접국 주파수 분배 정책**, 산업계 수요 등을 고려하여 국내 환경에 적합한 주파수 대역 공급 추진 * 미국(RTCA)은 소형 드론 제어용으로 960~1164MHz 공동사용 가능성 검토 중 ** 일본은 2.4GHz 및 5.8GHz 대역 일부를 소형 드론용 면허 주파수로 기분배

드론 데이터링크 주파수

5G 주파수

5G 주파수 경매 결과

시작가 최종
 두 대역 총 낙찰가: 3조 2,760억원 → **3조 6,183억원** (3,423억원 증가)

▶ 3.5GHz 대역



▶ 28GHz 대역

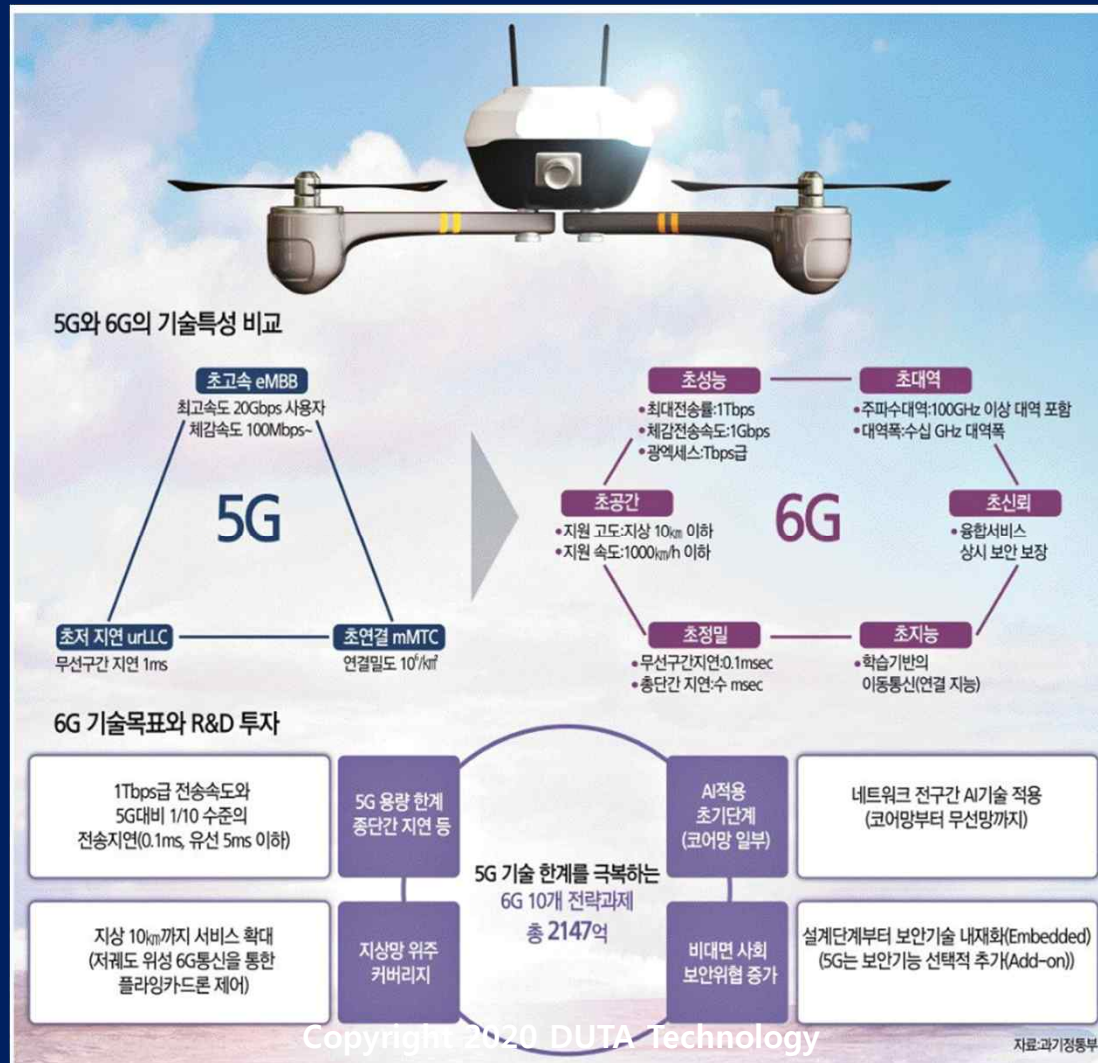


자료/ 과학기술정보통신부

YONHAP NEWS 연합뉴스

김토일, 장예진 기자 / 20180618 / 페이스북 tuneey.kr/LeYN1, 트위터 @yonhap_graphics

드론 데이터링크 주파수



드론 데이터링크 관련법

[별표 1]

특별비행 안전기준(제4조 관련)

구 분	주요 내용
공통사항	<ul style="list-style-type: none"> 이/착륙장 및 비행경로에 있는 장애물이 비행 안전에 영향을 미치지 않아야 함 자동안전장치(Fail-Safe)를 장착함 충돌방지기능을 탑재함 추락 시 위치정보 송신을 위한 별도의 GPS 위치 발신기를 장착함 사고 대응 비상연락·보고체계 등을 포함한 비상상황 매뉴얼을 작성·비치하고, 모든 참여인력은 비상상황 발생에 대비한 비상상황 훈련을 받아야 함
야간 비행	<ul style="list-style-type: none"> 야간 비행 시 무인비행장치를 확인할 수 있는 한 명 이상의 관찰자를 배치해야 함 5km 밖에서 인식가능한 정도의 충돌방지등을 장착함 충돌방지등은 지속 점등 타입으로 전후좌우를 식별 가능 위치에 장착함 자동 비행 모드를 장착함 격외선 카메라를 사용하는 시각보조장치(FPV)를 장착함 이/착륙장 지상 조명시설 설치 및 서치라이트를 구비함
개별 사항	<ul style="list-style-type: none"> 조종자의 가시권을 벗어나는 범위의 비행 시, 계획된 비행경로에 무인비행장치를 확인할 수 있는 관찰자를 한 명 이상 배치해야 함 조종자와 관찰자 사이에 무인비행장치의 원활한 조종이 가능할 수 있도록 통신이 가능해야 함 조종자는 미리 계획된 비행과 경로를 확인해야 하며, 해당 무인비행장치는 수동/자동/반자동 비행이 가능하여야 함 조종자는 OCC(Command and Control, Communication) 장비가 계획된 비행 범위 내에서 사용가능한지 사전에 확인해야 함 무인비행장치는 비행계획과 비상상황 프로파일에 대한 프로그래밍이 되어있어야 함 무인비행장치는 시스템 이상 발생 시, 조종자에게 알림이 가능해야 함 통신(RF 통신 및 LTE 통신 기간망 사용 등)을 이중화함 GCS(Ground Control System) 상에서 무인비행장치의 상태 표시 및 이상 발생 시 GCS 알림 및 외부 조종자 알림을 장착함 시각보조장치(FPV)를 장착함

통신(RF 통신 및 LTE통신 기간망 사용 등)을 이중화함.

무인기 위성링크 기술

-Global Hawk 사례-

Global Hawk Data Link



Global Hawk 에 적용된 L3 Communications 데이터링크 제품 스펙

• 가시선 링크

- 주파수 : X-band
- 상향링크
 - Data rate 200kbps
 - Viterbi Coded($R=1/2$, $K=7$)
 - Interleaved
 - BPSK
 - DSSS
- 하향링크
 - Data rate : 10.71/137/274 Mbps
 - Viterbi Coded($R=1/2$, $K=7$)(10.71 Mbps rates)
 - Interleaved(10.71 Mbps rates)
 - Offset QPSK
 - 70Watt(TWTA – 진행파관 증폭기)

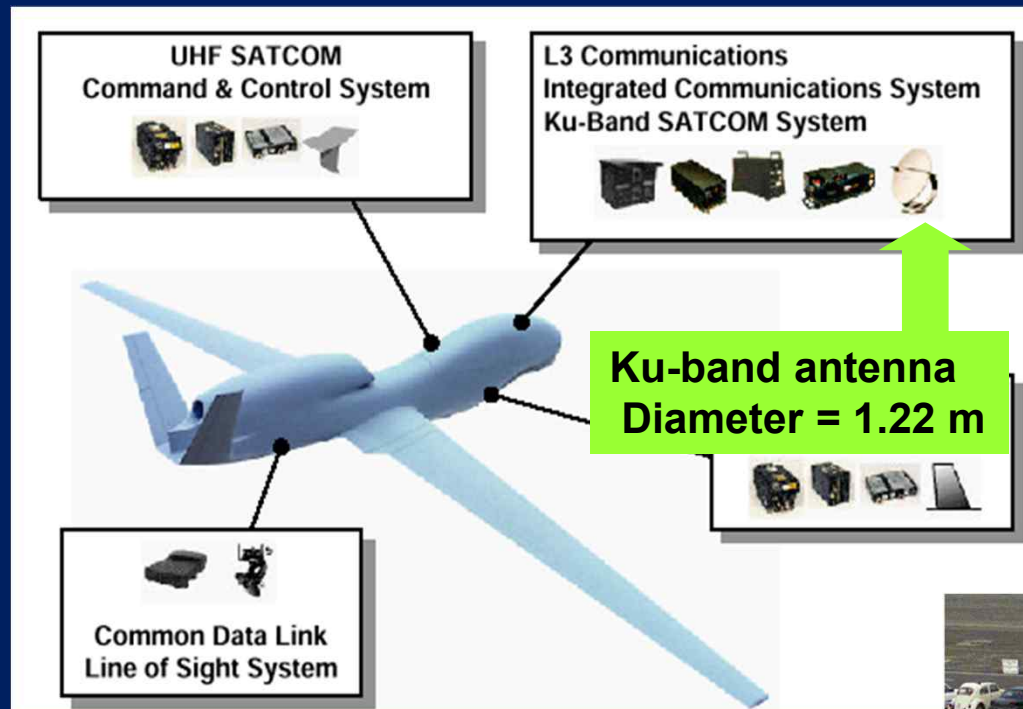
❖ 비가시선 링크

- 주파수 : Ku-band
- 상향링크
 - Data rate 200kbps
 - Viterbi Coded($R=1/2$, $K=7$)
 - Reed Solomon $R=192/208$
 - Interleaved
 - QPSK/BPSK
- 하향링크
 - Data rate : 1.544 ~ 50 Mb/s
 - Viterbi Coded($R=1/2$, $K=7$)
 - Reed Solomon $R=192/208$
 - Interleaved
 - QPSK/BPSK
 - 400Watt(TWTA – 진행파관 증폭기)

❖ 보조링크

- 주파수 : UHF-band
- 가시 링크
 - Data rate 9.6kbps
 - Half Duplex
- 비가시 링크
 - Data rate : 1.2kbps
 - Viterbi Coded($R=1/2$, $3/4$, $K=7$)

Design of UAV Systems



Design issues

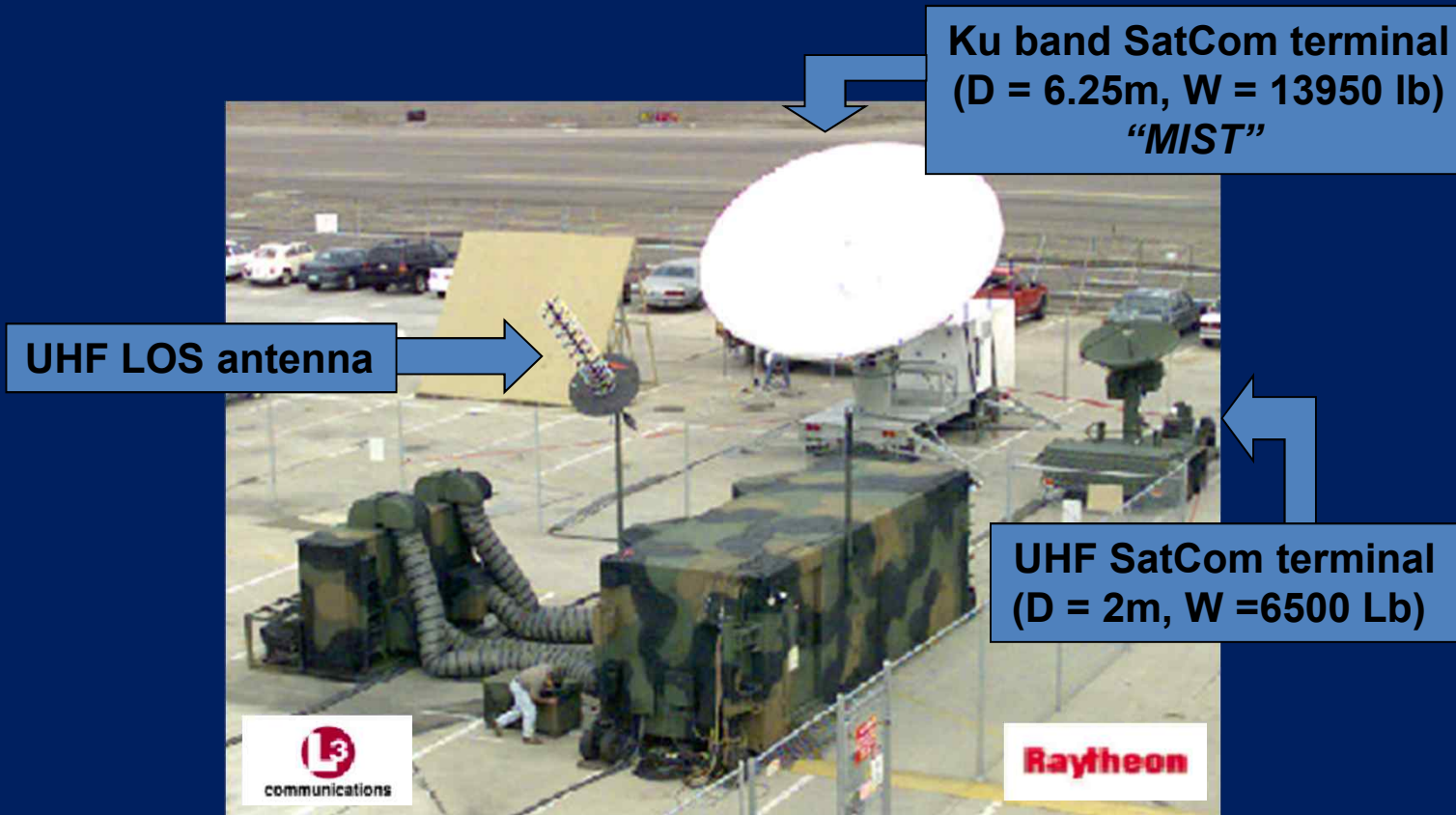
- Transmitter, receiver
 - Size
 - Weight
 - Location
- Antennae
 - Ditto
- Power and cooling
- Cost and complexity

Operational issues

- Link availability
- Bandwidth availability
- Logistics
 - Transportability
- Operations and support cost

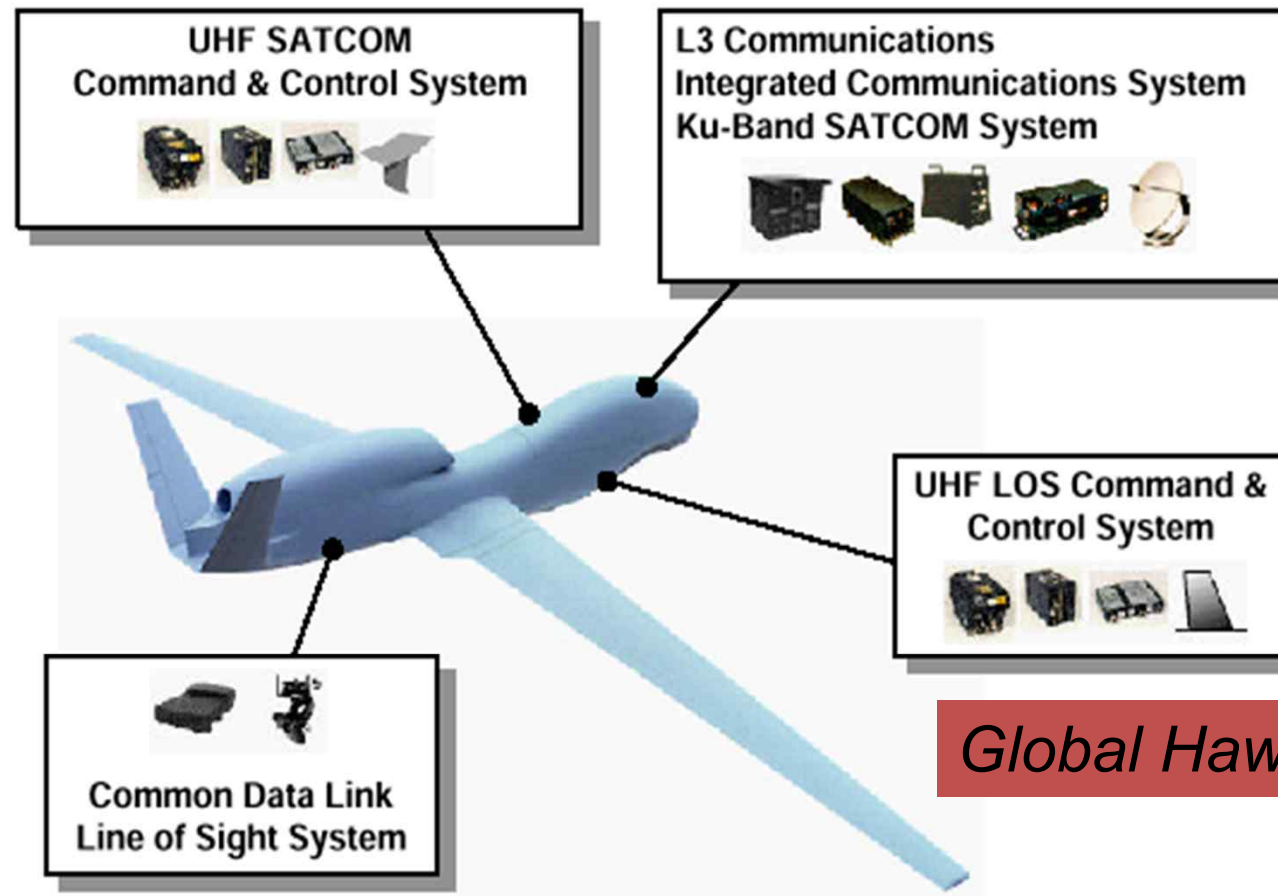


Design of UAV Systems



Global Hawk GDT

Design of UAV Systems



Global Hawk ADT

Approved for Public Release (Distribution Unlimited)
August 12, 1999
452-AS-3948.pptf.13



Global Hawk Data Link

Global Hawk 에 적용된 L3 Communications 데이터링크 ADT 구성



맺음말

- 무인항공기 체계의 중요한 서브시스템인 데이터링크는 생명줄 역할
- 비행체 크기(중량) 및 운용반경에 따라 다양한 데이터링크 필요
- 운용 주파수 필요에 따라 국내외적으로 주파수 분배정책 활동 활발
- 이동통신망과 무인항공기(드론)의 접목활동 활발
- 다중운용, 군집운용에 필요한 데이터링크 연구개발 필요
- 무인항공기의 위성통신 접목 및 광대역 데이터 전송을 위한 레이저 통신분야 연구개발 기대

감사합니다.