

# Yagi-Uda 안테나를 이용한 무인표적기 통신 끊김 현상의 트리블 슈팅

황지환\*, 서형필, 조규룡  
국방기술품질원

## Trouble Shooting due to Short Link Loss of UAT using Yagi-Uda Antenna

Ji-Hwan Hwang\*, Hyeong-pil Seo, Kyu-Lyong Cho  
Defence Agency for Technology and Quality(DTaQ)

**요 약** 본 논문은 다목적 훈련지원정(MTB)에 탑재하여 운용하는 무인표적기의 통신 끊김 현상을 해결하기 위하여, Yagi-Uda 안테나를 활용한 트리블 슈팅 과정을 기술하였다. 무인표적기는 대공유도탄 사격 훈련을 위하여 한국 해군이 함상에서 운용하는 최초의 고정익 무인기이다. 트리블 슈팅 중 Link Budget 산출과 Friis 공식을 이용해 통신안테나 출력과 안테나 이득 개선 필요성을 확인한 후 통신품질을 증대시켰다. 1차 비행시험은 통신 끊김 현상을 확인하기 위해 개선 전의 출력을 가지는 통신안테나와 기존 안테나를 설치하여 통신 끊김 현상을 확인하였고, 2차 비행시험은 출력이 0W로 증폭된 통신안테나를 적용하여 통신 상태가 양호한 것을 확인 하였다. 3,4차 비행시험은 통신 끊김 현상 개선 확인을 위한 최종시험으로 증폭된 통신안테나를 적용하였고, 좌현안테나는 Yagi-Uda 통신안테나를 적용하였다. 3,4차 비행시험을 통하여 본 논문에서 제안한 방법으로 통신 끊김 현상이 개선됨을 확인하였다. 본 논문은 한국 해군 함정에서 무인표적기 통신품질 향상을 위한 트리블 슈팅 과정에 대한 최초의 사례로서 의미가 있다. 향후에는 함정에 미래 탑재 될 무인기표적기에 대한 통제능력과 관련한 연구가 필요하겠다.

**Abstract** This paper describes the troubleshooting for the operation of unmanned aircraft target (UAT). The troubleshooting used a Yagi-Uda antenna to reduce the loss of communication of UAT mounted on a multi-purpose training boat (MTB). The UAT is the first fixed-wing unmanned aerial vehicle operated by the ROK Navy on a ship for training on anti-aircraft missile firing. Link budget calculation and Friis formula used in the troubleshooting confirmed the need to improve communication antenna output and gain, and further troubleshooting increased the communication quality. The first flight test was conducted by installing every piece of equipment used before the improvement to check the loss of communication. The second test used an amplified communication antenna and confirmed that the communication condition was good. An amplified communication antenna was used in the 3rd and 4th tests, and a Yagi-Uda antenna was used as the port antenna. It was confirmed from the 3rd and 4th tests that the loss of communication was reduced. This research is useful as the first study on troubleshooting to improve the communication quality of UAT on a Korean Navy ship. In conclusion, further research on the control capability of UAVs that will be mounted on ships in the future is needed.

**Keywords** : UAT, Yagi-Uda Antenna, Link Budget, Friis Equation, Trouble shooting, Short Link Loss

---

\*Corresponding Author : Ji-Hwan Hwang(Defense Agency for Technology and Quality)

email: jhhwang@dtqa.re.kr

Received January 27, 2022

Accepted April 1, 2022

Revised February 14, 2022

Published April 30, 2022

## 1. 서론

### 1.1 개요

우리 해군은 해상훈련(전자전 훈련, 대공유도탄사격 훈련, 대함사격 훈련, 잠수함 어뢰발사 훈련 후 훈련어뢰 회수)을 전담하여 지원하는 Fig.1의 다목적훈련지원정(Multi-purpose Training Boat: 이하 MTB)을 획득하였다[1]. MTB는 대공유도탄사격 훈련을 위해 무인표적기(Unmanned Aircraft Target)를 운용하며 조타실의 운용콘솔에서 원격으로 통제된다. 무인표적기는 MTB 함미갑판에 설치된 슬라이딩 발사대에서 발사되며 적의 대함유도탄을 모사해야하므로 원거리로부터의 저공비행을 할 수 있어야 한다. 구축함이나 호위함 등은 대함유도탄을 모사하는 무인표적기에 직접사격을 함으로써 대공유도탄 사격훈련을 하는 운용개념을 갖고 있다. 선정된 무인표적기에 대한 현지 수락시험은 이루어지지만, MTB에 탑재하면서 무인표적기 통제용 안테나의 높이, 주변 안테나와의 간섭, 수락시험이 수행된 위치와 함정 탑재 후 시험평가가 수행된 해역의 전파(Propagation) 특성, 해상기상 등 달라지는 환경에 의하여 통신 거리가 짧아지고 저고도 비행시 통신 끊김현상도 확인되어 이에 대한 보안을 통해 대공유도탄사격훈련 지원능력에 대한 기준 충족 확인이 필요하였다.



Fig. 1. MTB(Multi-purpose Training Boat)

### 1.2 연구 내용 및 구성

본 연구는 무인표적기를 탑재하여 운용하는 다목적훈련지원정의 통신 끊김 현상(Short Link Loss)을 해결하기 위하여, Yagi-Uda 안테나를 활용한 품질 개선을 통해 무인표적기 운용에 대한 트러블 슈팅 과정을 기술하였다. 2장에서는 Yagi-Uda 안테나와 프리스(Friis) 전송방정식에 대해 기술하고, 3장에서는 무인표적기 통신 끊김 원인분석, 4장에서는 Link Budget 산출과 Friis 방정식을 이용해 통신안테나 출력과 안테나 이득 개선 필요성을 확인하여 신호증폭기 증가 및 Yagi-Uda 안테나 적

용으로 통신품질 개선 과정을 기술하였다. 또한, EMI 현상 해석을 통하여 Yagi-Uda 안테나 적용에 대한 EMI 현상을 예방하기 위한 이론적 검토를 하였다. 본 논문에서 언급하지는 않았지만 추후 실선 EMI 시험을 수행하여 검증을 완료하였다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 Yagi-Uda 안테나

Yagi-Uda 안테나는 HF, VHF, UHF 대역에서 다양하게 쓰이며[2], 선형 다이폴안테나 여러 개로 배열되며 Fig. 2와 같이 구성된다. Yagi-Uda 안테나는 간단한 구조와 상대적으로 높은 이득 때문에 매우 많이 쓰인다. 일반적인 Yagi-Uda 안테나는 수평편파이며 빔폭은 50°(수직)×50°(수평), 이득은 5~15dB, 밴드폭은 5% 정도이다. 본 논문에서 적용한 Fig. 2의 안테나는 여진기(Exciter)와 1개의 반사기(Reflector), 13개의 도파기(Director)로 구성된 15개 소자(Element)의 Yagi-Uda 안테나로서 여진기로부터 도파기의 방향으로 주엽이 방사되며 약 00dB의 이득을 갖는다[3].

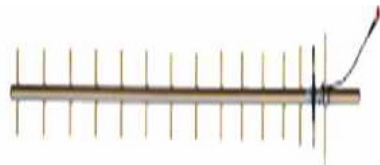


Fig. 2. Yagi-Uda Antenna (Length: 1.6m, Weight : 0.9kg)

### 2.2 프리스(Friis) 전송방정식

무선통신시스템에서 출력전력  $P_t$ 를 갖는 송신기가 이득  $G_t$ 를 갖는 송신안테나에 급전되며, 신호는 이득  $G_r$ 을 갖는 수신안테나로 수신된다. 수신전력이  $P_r$ 이고 거리가  $R$ 이라고 할 때 안테나 급전에서 임피던스 부정합, 편파 부정합, 대기손실, 부정렬, 장애물 손실 등이 없다고 가정하면 수신전력은 (1)과 같이 계산할 수 있다. 안테나는 원거리장에서 동작한다. 이 방정식은 프리스(Friis) 전송방정식이다[4,5].

$$P_r = P_t \frac{G_t G_r \lambda_0^2}{(4\pi R)^2} \quad (1)$$

프리스 전송방정식은 통신 링크상에서 수신전력을 계산하기 위해 사용할 수 있으며, (1)은 여기서 다시 쓸 수 있다.

$$P_r = P_t G_t G_r \left( \frac{\lambda_0}{4\pi R} \right)^2 \frac{1}{L_{sys}} \quad (2)$$

이는 또한 링크방정식이라고 한다. 시스템손실  $L_{sys}$ 은 안테나 급전 부정합, 지향오차(Pointing Error), 대기 손실과 편파손실 등에 기인하는 다양한 손실을 포함한다.

식(2)를 데시벨로 변환하면

$$10\log_{10} P_r = 10\log_{10} P_t + 10\log_{10} G_t + 10\log_{10} G_r - 20\log_{10} \left( \frac{4\pi R}{\lambda_0} \right) - 10\log_{10} L_{sys} \quad (3)$$

$$P_r = P_t + G_t + G_r - SL - L_{sys} (dB) \quad (4)$$

식(4)에서 공간손실과 다양한 손실을 빼고 송신안테나와 수신안테나의 이득을 더하면, 송신전력에서 시작하는 수신전력을 계산하기 위한 링크 버짓(link budget)이라 불리는 Table 3을 만들 수 있다.

### 3. 무인표적기 통신 끊김 원인분석

#### 3.1 통신품질에 영향을 주는 고려요소

1장에서 언급했듯이 무인표적기의 시험평가 과정 중 저고도/장거리 비행 시 통신 끊김 및 통신 품질 불량 현상이 관측되었다. 통신품질에 영향을 미치는 요소는 식(4)와 Fig. 3을 통해 확인할 수 있다. 첫 번째는 출력전력  $P_t$ 의 부족, 두 번째는 송신안테나 이득  $G_t$  부족, 세 번째 수신안테나 이득  $G_r$  부족, 네 번째 공간손실  $SL$  과다, 다섯 번째 시스템손실  $L_{sys}$ 의 과다로 결과적으로 수신전력  $P_r$ 이 수신기의 수신감도 보다 작을 경우 통신품질에 나쁜 영향을 미친다. 여섯 번째, 식(4)와 무관하게 유사주파수를 사용하는 다른 안테나와의 전자기간섭의 영향도 고려할 수 있으나, 이는 장비 사양 변경 또는 안테나 위치 변경 등 쉽게 조치할 수 없는 부분이 많으므로 제일 마지막 검토 고려요소로 판단하였다.

#### 3.2 통신품질 개선 방향

첫 번째 고려요소인 출력전력  $P_t$ 의 증대를 통한 문제 해결은 가능성이 제일 크다. 무인표적기에 간단하게 증폭기 설치를 통해 해결이 가능하기 때문이다. 물론 무인항공기의 증량증가와 전력소모 등에 좋지 않은 요소로 작용할 수는 있지만 전체 증량에 비해 비중이 크지 않을 경우 가장 손쉬운 해결책이 될 수 있다.

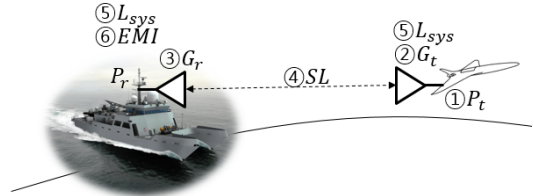


Fig. 3. Factors that Influence Communication Quality

두 번째 고려요소인 송신안테나 이득  $G_t$ 의 증가의 방법은 무인표적기가 3차원 기동을 하므로 무지향성 안테나를 사용할 수 밖에 없기 때문에 고려요소가 될 수 없다.

세 번째 수신안테나 이득  $G_r$ 의 증대는 함정에 탑재된 안테나를 변경해야할 필요성이 있어 신중한 접근이 필요하지만 함정의 크기가 무인표적기에 비해서는 상대적으로 커서 안테나 변경이 용이하고 해당주파수 대역의 UHF대역으로 이미 TV 수신 안테나 등에서 널리 쓰이는 Yagi-Uda안테나를 사용할 수 있다는 점과 무인기의 위치가 실시간으로 함정으로 수신 될 수 있다는 점을 고려하면 수신안테나를 무인표적기 방향으로 향하도록 함정 운용을 할 수 있다는 점이 고려요소로 작용하였다.

네 번째 공간손실  $SL$ 의 최소화는 우리가 무인표적기 운용고도나 거리 등에서 극복해야 할 사항으로 자유공간에서의  $SL = 20\log_{10}(\lambda/4\pi R)$ 로서 거리와 파장의 함수이므로 통신품질 향상을 위해 고려할 수 있는 요소가 아니다.

다섯 번째 시스템손실  $L_{sys}$ 은 Table 2에 명시된 바와 같이 송신선 손실( $L_{t,L}$ , Tx Line Loss), 지향오차, 대기손실( $L_{p, Atm}$ , Atmosphere Absorption), 강우손실( $L_{p, pre}$ , Precipitation Absorption)과 편파손실( $L_{r, Pol}$ , Rx Polarization Loss), 기타 수신기 손실( $L_{r,L}$ ,  $L_{r,spread}$ ) 등으로 개선하기 어려운 요소로 개선

방향에서 제외하는 것으로 검토하였다. 전자교란 특성도 시기와 위치에 따라 영향을 받는 요소이기 때문에 마찬가지로 고려할 수 있는 요소가 아니다. 하지만, 시험평가 당일 전파교란 상태를 점검해 볼 필요는 있다. 대류권 내 전파교란(Tropospheric Ducting Condition) 상태 정도를 확인하였으나 비행 성능시험 실시 구역의 대류권 내 전파교란 상태는 Fig. 4와 같이 제작사 권고 Level 7 이하에서 비행 시험구역이 Level 2~4로 아주 양호한 것으로 확인되어 무인표적기 통신 끊김 현상과 관련이 없는 것으로 판단하였다[6].

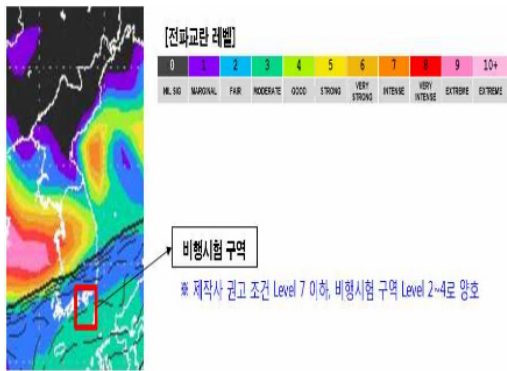


Fig. 4. Tropospheric Ducting Condition

여섯 번째로 전자기간섭의 영향에 관한 사항이다. 제작사에서 항해레이더 영향의 가능성을 제시하였으나, 무인표적기와 항해레이더 주파수 대역이 달라 영향이 없고, 무인표적기 통신안테나는 항해레이더의 송신 Beam 폭의 영향이 없는 항해레이더 하부에 배치되어 문제없었다. 또한, EMI/EMC 기술용역 해석결과도 항해레이더와 무인표적기 간의 EMI 간섭은 없는 것으로 확인되었다. 따라서 무인표적기 통신이 끊김과 연결 현상이 반복되는 것은 항해레이더의 영향보다는 무인표적기 시스템 자체의 통신 품질이 양호하지 않은 영향 때문인 것으로 판단하였다.

#### 4. 통신 끊김 개선

3장에서 기술한 통신 끊김 현상을 해결하기 위해 첫 번째 고려요소인 출력전력  $P_t$ 의 증대, 세 번째 수신안테나 이득  $G_r$ 의 증대를 통신 끊김 개선을 위한 트러블 슈팅의 목표로 하여, 아래 Fig. 5와 같이 무인표적기 통신

출력  $P_t$  증폭과 MTB 좌현 통신안테나를 지향성타입으로 변경하여  $G_r$ 의 증대를 검토하였다. 또한 안테나 변경에 따른 EMI 현상유무를 이론계산과 실선시험을 통해 측정하여 확인하기로 하였다.

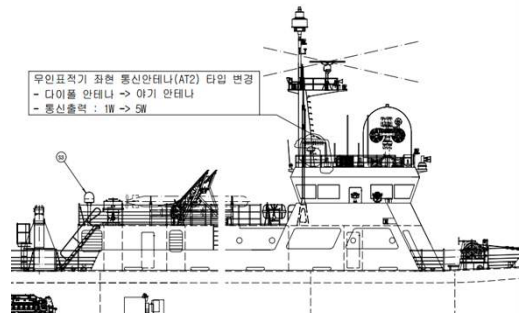


Fig. 5. Quality Improvement Direction for troubleshooting of Loss Communication

비행시험은 총 4차로 진행하였으며, 세부 시험조건 변화는 Table 1과 같다. 1차 비행은 무인표적기 발사 후 기체 이상 없이 1,000ft 고도 상승하여 정상 이륙하였으며 000km 비행 통제거리 시험을 수행하였다.

Table 1. Mission Summary

Mission Profile and Test Results				
Test Flight	$P_t$ , W (dBm)	$G_r$ (dBi)	Comm. Loss Distance, M (km)	Low Altitude (m)
1st	1(30)	3	25(46.3)	0 below
2nd	5 (37)	3	-	0 below
3rd	5 (37)	3	51.3(95)	-
		14 (port)	000km above	
4th	5 (37)	3	50.1(92.78)	-
		14 (port)	000km above	
		3(starboard)	000km above	

기체는 1차 비행 성능시험 시 사용된 기체와 동일하게 출력 0W 적용된 기체이며 시험 전 제작사에서 예측한 최대 비행 통제거리의 약 00M(해리; 이하생략) 예상하였다. 실제 비행 시 17 ~ 18M 부근에서 부터 통신 끊김 현상이 발생하기 시작하였고, 25M 이상의 거리에서 통신 끊김 현상이 발생하였다.

000km 비행통제거리 시험은 불가하다고 판단하여 무인표적기 MTB 복귀 과정에서 0m 최저고도 시험을 실시하여 무인표적기도 추락 없이 정상적으로 회수하였다.

### 4.1 무인표적기 송신출력 증대

1차 비행 분석 결과 통신 끊김 현상 발생 관련하여 기존과 동일한 출력 0W로는 지속적인 통신 끊김 현상이 발생할 것으로 예측하였다. 2차 비행시에는 Table 2와 같이 기존 0W 증폭기(Autopilot 장비 내장형) 대신 0W 증폭기(MTB 운용콘솔 및 무인표적기)를 적용하여 통신 끊김 현상 및 통신품질 불량 문제를 개선하고, 000km 비행 통제거리 시험도 문제없이 실시할 수 있다고 판단하였다. 사용된 0W 증폭기의 형상은 Fig. 6과 같으며 Link Margin을 고려하여 통달거리는 0W 출력에서 103.5km이며 0W 출력으로 증폭시 232km로 계산되었다.

Table 2. Antenna Specifications

Frequency	000-000 MHz
Output Power	0W(Autopilot Equipped)
	0W(Additional Installed)

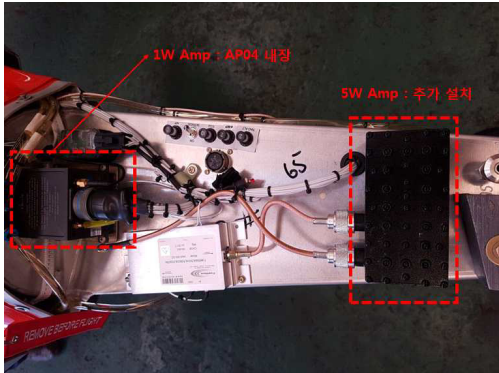


Fig. 6. 0W Amplifier

Table 3의 EIRP 계산에서는 무지향성 안테나인 점과 안테나돔이 없는 점을 감안하였다. 총전파손실에서 대기 손실( $L_{p, Atm}$ ), 강수손실( $L_{p, pre}$ )은 주파수  $f=000\text{MHz}$ 로 1GHz미만에서는 없는 것으로 계산하였다. 잡음 계산은 상온 290K를 기준으로 하였다. 필수 신호대잡음비 ( $SNR_{Req}$ )은 수신감도  $-107\text{dB}$ 를 고려하여 5dB로 하였다.

2차 비행은 무인표적기 발사 후 기체 이상 없이 1,000ft 고도 상승하여 정상 이륙하였으며 0m 최저고도 시험을 실시하여 무인표적기도 추락 없이 정상적으로 회수하였다.

Table 3. Link Budget Table(Omni-directional Antenna)

Link Budget Table				
	Item	Symbol	Operation	Value
Transmitter	Tx Power	$P_t$	+	30/37 dBm
	Tx Line Loss	$L_{t, L}$	+	-2 dB
	Tx Antenna Gain	$G_t$	+	6 dBi
	Effective Isotropic Radiated Power	EIRP		34 dBm
Propagation	Free Space Loss	$20\log_{10}\left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)$	+	-132 dB
	Atmosphere Absorption	$L_{p, Atm}$	+	0
	Precipitation Absorption	$L_{p, pre}$	+	0
	Total Propagation Loss	$L_{p, Tot}$		-132 dB
Receiver	Rx peak Antenna Gain	$G_r$	+	3 dBi
	Rx Polarization Loss	$L_{r, Pol}$	+	0
	Rx Component Line Loss	$L_{r, L}$	+	-1 dB
	Spreading Implementation Loss	$L_{r, spread}$	+	-1 dB
	Effective Carrier Power	$P_{Carrier}$		-97 dBm
Noise	Thermal Noise density	$kT$	-	-174 dBm/Hz
	Rx Noise Bandwidth	BW(1MHz)	-	60 dBHz
	Rx Noise Figure	NF	-	2 dB
	Effective Noise Power	$P_{Noise}$		-112 dBm
Summary	Available SNR	$SNR_{Avail}$		15 dB
	Required SNR	$SNR_{Req}$		5 dB
	Net Signal Margin(Link Margin)			10 dB

2차 비행 분석 결과 통신 끊김 현상 발생 관련하여 출력 0W로 개선 후 시험한 결과 통신 상태가 양호하였고, 통신 끊김 현상 없이 Fig. 7의 1,000초 인근에서 0m 최저고도 비행성능시험을 완료하였다.

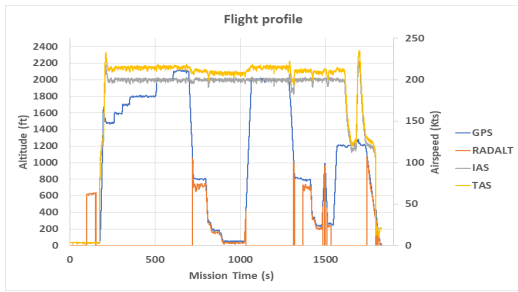


Fig. 7. Flight Profile of 2nd Flight

3차 비행은 무인표적기 발사 후 기체 이상 없이 1,000ft 고도 상승하여 정상 이륙하였으며 000km 비행 통제거리 시험을 실시하였다. 무인표적기 기체는 0W 출력을 적용하였고, 원거리에서 통신 끊김 상황 발생을 대비하여 좌현 통신안테나를 Yagi-Uda 안테나로 변경 설치하였고 000km 비행통제거리 시험에 성공하였으며 무인표적기도 추락 없이 정상적으로 회수하였다.

3차 비행분석결과 통신 끊김 현상 관련하여 000km 비행 시도 중 51.3M 부근에서 통신 끊김 현상이 발생하여 좌현 Yagi-Uda 안테나로 전환하여 시험을 진행하였고 000km 이상의 거리에서 운용콘솔에서 무인표적기가 통제되는 것을 확인하였다. 000km 이후 다시 우현 다이폴안테나로 전환하여 운용콘솔과 무인표적기 간 정상적인 송/수신 통신을 확인하였다. 하지만 000km 비행 안전성 확보를 위해 50M(92.6km) 이상의 거리에서는 Yagi-Uda 안테나가 필요할 것으로 판단하였다.

#### 4.2 Yagi-Uda 안테나로 수신이득 증대

4차 비행은 무인표적기 발사 후 기체 이상 없이 1,000ft 고도 상승하여 정상 이륙하였으며 000km 비행 통제거리 시험을 실시하였다. 비행 조건은 3차비행과 동일하고 000km 비행통제거리 시험에 성공하였으며 무인표적기도 추락 없이 정상적으로 회수하였다.

4차 비행 분석 결과 통신 끊김 현상 관련하여 000km 비행 시도 중 50.1M 부근에서 통신 끊김 현상이 발생하여 좌현 Yagi-Uda 지향성안테나로 전환하여 시험 진행하였고 000km 이상의 거리에서 운용콘솔에서 무인표적기가 통제되는 것을 확인하였다. 통신상태 확인결과 000km 이상의 거리에서 Up-Link 93%, Down-Link 86%로 양호 기준 80% 이상 대비 아주 양호하였다. 000km 이후 다시 우현 다이폴 안테나로 전환하였을 때 운용콘솔과 무인표적기 간 정상적인 송수신 통신을 확인

하였다. 최대 비행통제거리는 Fig. 8에서 보이는 바와 같이 55.7M(103.1km)로 확인되었다.

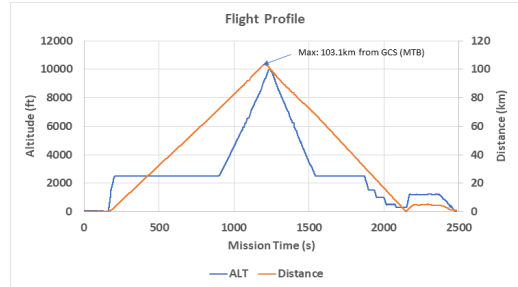


Fig. 8. Flight Profile of 4th Flight

기존 MTB에는 통신용으로 동일한 무지향성 다이폴안테나가 좌/우현에 설치되었다. 000km 비행 통제거리 시험 시 통신 끊김 현상 발생을 대비하여 우현 통신안테나는 기존과 동일한 다이폴안테나를 적용하고, 좌현 통신안테나는 Yagi-Uda 안테나를 적용하여 시험을 실시하는 방안을 제시하였다. 우현 다이폴안테나로 000km 비행 통제거리 시험을 진행하고, 원거리에서 통신 끊김 현상이 발생할 경우 좌현 Yagi-Uda 안테나로 전환하여 시험을 진행하기로 계획하였다. 좌/우현 통신안테나는 운용콘솔의 좌/우현 안테나 선택 스위치로 전환이 가능하다. Yagi-Uda 안테나 방사패턴은 Fig. 9 및 Fig. 10과 같다.

Yagi-Uda 안테나는 지향성을 가지고 있으므로 최대 성능을 발휘하기 위해 운용시 Fig. 11과 같이 Yagi-Uda 안테나의 방향이 무인표적기의 방향을 바라보고 있어야 한다. 따라서 MTB는 무인표적기 방향으로 Heading을 30도 이내로 항해가 필요하며, 이는 함 운용에 제한사항이 된다.

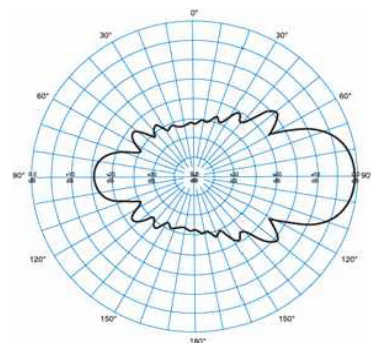


Fig. 9. Radiation Pattern of Yagi-Uda Antenna (Elevation), BW=20°

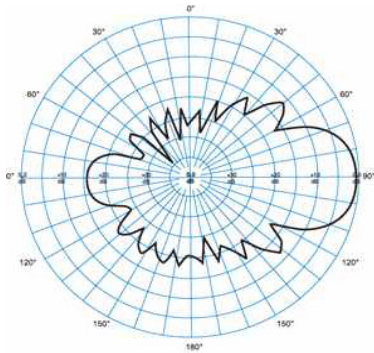


Fig. 10. Radiation Pattern of Yagi-Uda Antenna (Azimuth), BW=30°

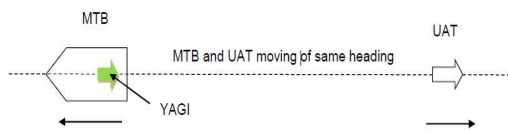


Fig. 11. Placement of Yagi-Uda Antenna for Remote Control of UAT



Fig. 12. Yagi-Uda Antenna (Port)

### 4.3 Yagi-Uda 안테나 적용에 따른 EMI 분석

주파수  $f$ 에서 송신안테나의 출력이  $P_t$ , 이득이  $G_t$ , 수신안테나의 이득이  $G_r$ , 송신점에서 수신점까지의 전파의 진행거리가  $d$ 일 때, 수신전력은 (5)와 같다.

$$P_r = WA_e = \frac{P_t G_t}{4\pi d^2} \frac{\lambda^2 G_r}{4\pi} \quad (5)$$

송수신 안테나 간의 상호결합량은 (6)과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Antenna Coupling} &= 10\log_{10} \frac{P_r}{P_t} \quad (6) \\ &= 10\log_{10} \left[ G_t G_r \left( \frac{c}{4\pi f d} \right)^2 \right] \end{aligned}$$

무인표적기 통신안테나 송신 시 전자기 간섭을 받을 수 있는 수신기는 Fig. 13에서 보이는 바와 같이 N5(무선식별시스템, RFID), E2D, E2O 및 E3(전자전훈련지원체계, EWT)이다. 기존의 다이폴안테나를 사용한 경우와 Yagi-Uda 안테나를 사용한 경우에 대해 송신기와 수신기 사이의 상호 결합량을 비교한 결과 Table 4와 같이 Yagi-Uda 안테나로 변경한 경우가 기존의 다이폴안테나의 경우 보다 전자기 상호결합 측면에서 더 우수한 것으로 나타났다. 송신 Power가 0W에서 0W로 약 7dB 증가한 것을 고려하면 AT2-N5의 경우는 IM(Interference Margin)에는 거의 변화가 없으나 E2D, E2O 및 E3의 경우는 IM이 크게 개선됨을 알 수 있다. 이는 기존 다이폴안테나는 Azimuth 방향으로 Omni-Directional(무지향성)한 특성을 가지나 Yagi-Uda 안테나의 경우 Fig. 9,10에서 보여진 바와 같이 Elevation 및 Azimuth 두 방향 모두에서 Directional(지향성)한 특성을 가지고 있기 때문이다.

EMI 실선시험 시에도 우현 다이폴안테나와 좌현 Yagi-Uda 안테나 송신 시 전자기 간섭 피해를 받는 수신 장비는 없는 것으로 확인되었다[7].

Table 4. Analysis of Antenna Coupling

Tx-Rx	Dipole	Yagi-Uda	Diff.
AT2-N5	-32.33dB	-38.69dB	-6.36dB
AT2-E2D	-82.73dB	-101.95dB	-19.22dB
AT2-E2O	-58.46dB	-93.27dB	-34.81dB
AT2-E3	-47.14dB	-71.54dB	-24.4dB

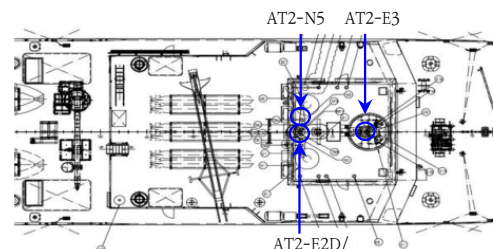


Fig. 13. Topside Antenna Installation

## 5. 결론

한국 해군에서는 대공유도탄사격 훈련을 위해 무인표적기를 다양하게 활용하고 있다. 그러나 무인표적기와 MTB의 통신 끊김 현상이 발생하였고 통신품질 개선을 위해 통신 출력을 증폭시키고 좌현 통신안테나는 Yagi-Uda 안테나를 적용하여 통신 끊김 현상이 해결되는 것을 확인하였다. 통신 끊김 현상을 해결함으로써 한국 해군 대공유도탄사격 훈련 성과가 극대화 될 것으로 기대한다.

하지만 Yagi-Uda 안테나를 사용함으로써 MTB는 무인표적기 방향으로 Heading을 30도 이내로 항해해야 하는 함 운용의 제한사항이 있다. 따라서 군·산·학·연에서도 이에 대한 많은 교육과 연구가 필요하다.

## References

- [1] Editorial Board, "Hanjin Heavy Industry and Construction's MTB Navy delivery", Bulletin of the Society of Naval Architects of Korea, vol.55, No.1, pp. 108-110, 2018.3.
- [2] Constanine A. Balanis, Antenna Theory 3rd Ed. Wiley, pp.577-597, 2005.
- [3] Warren L. Stutzman. et al.(Yoon Young Joong, et al.), Antenna Theory and Design, Wiley(Kyobobook), pp.236-237, 2004.
- [4] Il-keun Lee, et al., Radar engineering and Applications in Electronic Warfare, DaeyoungSa, pp.131. 2006.
- [5] Kai Chang(Ic-Pyo Hong), RF and Microwave Wireless Systems, WILEY INTERSCIENCE(Hanbit Academy), pp.276-289. 2014.
- [6] Hepburn Tropo Index[Internet], Available From: [www.dxinfocentre.com](http://www.dxinfocentre.com) (accessed Aug. 28, 2017)
- [7] UAT flight Analysis Report for MTB project, HJSC, Korea. pp.1-28.

황 지 환(Ji-Hwan Hwang)

[정회원]



- 1997년 2월 : 해군사관학교 전자공학과(공학사)
- 2001년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과(공학석사)
- 2011년 2월 : 고려대학교 전기전자공학과(공학박사)
- 2018년 1월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

<관심분야>

신호처리, 인공지능, 시스템제어

서 형 필(Hyeong-pil Seo)

[정회원]



- 2003년 2월 : 해군사관학교 전자공학과(공학사)
- 2013년 2월 : 연세대학교 일반대학원 전기전자공학부(공학석사)
- 2014년 1월 ~ 2015년 6월 : 해군사관학교 무기체계 공학과 조교수
- 2015년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

<관심분야>

RCS 감소, 위상배열, 레이더

조 규 룡(Kyu-Lyong Cho)

[정회원]



- 2002년 2월 : 영남대학교 정보통신공학과(공학사)
- 2010년 2월 : 한국해양대학교 해양공학과(공학석사)
- 2017년 8월 : 한국해양대학교 전기전자공학과(공학박사)
- 2004년 2월 ~ 현재 : 국방기술품질원 책임연구원

<관심분야>

신호처리, EMI/EMC, 수중음향