

# 해상 환경에서 무인수상정용 통신시스템의 전파 통달거리 분석

김태현<sup>\*,1)</sup> · 박현성<sup>1)</sup> · 곽상열<sup>1)</sup> · 이성호<sup>1)</sup> · 전호석<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 국방과학연구소 제6기술연구본부

<sup>2)</sup> LIG넥스원(주) 통신연구센터

## An Analysis of Radio Propagation Range of USV Communication System for Maritime Wireless Environment

Taehyeon Kim<sup>\*,1)</sup> · Hyunsung Park<sup>1)</sup> · Sangyell Gwak<sup>1)</sup> · Sungho Lee<sup>1)</sup> · Hoseok Jeon<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> The 6th Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea

<sup>2)</sup> Communication R&D Lab, LIG Nex1, Korea

(Received 1 June 2018 / Revised 13 August 2018 / Accepted 5 October 2018)

### ABSTRACT

In this paper, we analyzed the communication distances in the flat and spherical earth model using the main specifications of the wireless communication device under development to be installed in the unmanned surface vehicle(USV). We installed the wireless communication device on the test ship and the actual communication test was performed in the South Sea of Korea, it compared the experimental result with the simulated results. If the installation altitude of the transmitting and receiving antennas is low, there is not the big difference between the two models. However, when the altitude of one of the two antennas is high, the spherical earth model has similar results to the experimental data. As the altitude of the antenna installation increases, fading occurs in a certain section. We expect that this fading can be overcome through antenna technologies such as space diversity.

Key Words : Communication Link Range(통달거리), Unmanned Surface Vehicle(무인수상정), Reflection(반사), Propagation Factor(전파 요소), Diversity(다이버시티)

### 1. 서론

해양 환경에 있어서 감시정찰이나 대잠전 등과 같은 중요한 임무를 수행하는 무인·로봇체계에서 통신

의 역할은 대단히 크다고 할 수 있다. 특히, 함정이나 잠수함 등 다양한 플랫폼에서 무인체계를 전개하고 임무를 수행하며 회수까지 무인·로봇체계에서의 통신은 원격감시 및 임무통제, 수집된 영상, 제어 등의 정보를 전달하는 역할을 수행하며, RF통신 등과 같은 무선통신이 주요 통신수단으로 사용되고 있다. 구체적으로 지상/해양/항공 무인시스템의 감시 및 임무통제

\* Corresponding author, E-mail: taehyeonkim@add.re.kr  
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

를 목적으로 U/VHF 대역의 데이터통신이 사용된다<sup>[1]</sup>. 최근, 우리나라 해군과 관련기관에서는 무인수상정(USV)이나 무인잠수정(UUV)과 같은 무인정의 중요성을 인식하여 관련된 핵심기술들의 개발을 진행하고 있다. 2015년부터 국방과학연구소에서도 Fig. 1과 같이 선도형 과제로 감시정찰 및 수중탐색 등에 활용 가능한 복합임무 무인수상정 기술을 개발하고 있으며 무인수상정의 성공적인 임무 지원을 위한 통신시스템 개발이 요구되었다. 통신시스템 개발에 있어서 가장 먼저 해상환경에서의 전파손실을 예측하고 이를 통하여 통신 가능거리 산출 및 송수신기의 주요사양을 결정하게 된다. 전파손실을 예측할 때, 모든 전파 환경 조건들을 고려한다는 것은 거의 불가능하므로 상대적으로 가장 큰 영향을 미치는 직접파와 해면 반사파만을 고려하여 통신 채널 환경을 모델링하고 전파 경로 손실을 예측하게 된다<sup>[2]</sup>. 따라서 본 논문에서는 해상 환경에서의 통달거리 이론 및 이를 이용한 시뮬레이션 결과를 소개하고 무인수상정의 운용환경에 맞추어 개발한 통신시스템을 선박에 장착하여 수행한 실험결과를 비교, 설명하였다.

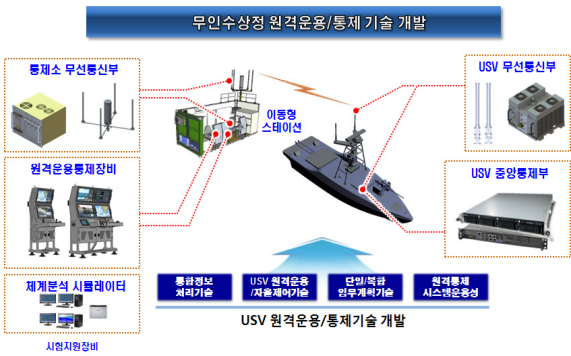


Fig. 1. Developmental concept of USV remote operation and control technology

## 2. 통신시스템 소개 및 구성

현재 개발 중인 무인수상정은 레이더, 관측카메라, 사이드스캔소나 등과 같이 다양한 탐지센서를 활용한 자율운항 및 감시정찰, 원격운용 등의 임무 수행을 목표로 하고 있다. 따라서 이러한 목표를 달성하기 위해서는 무인수상정과 운용통제소간 원활한 통신수단 제공이 필수적이라 할 수 있다.

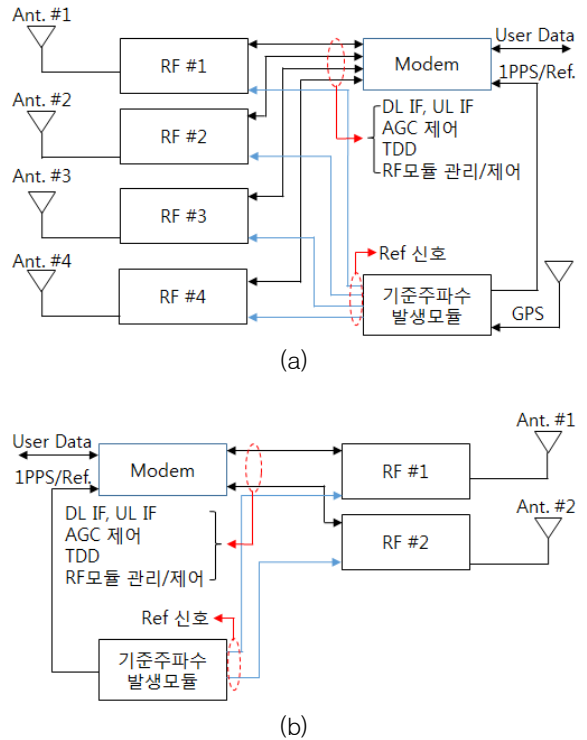


Fig. 2. (a) System model of base station and (b) USV terminal

본 장에서는 해상 통신환경에서 0.0 GHz 주파수 대역을 사용하는 고속 데이터 송수신을 위해 개발한 무선통신 시스템의 주요 설계내용을 간략히 기술하였다. 이 통신 시스템은 통제소 무선통신기와 단말기 무선통신기로 구분되며 각 무선통신기는 무선통신 신호 처리기, 기준주파수 발생모듈, RF모듈, 전원공급모듈, 모뎀 등으로 구성된다. 무선통신 신호처리기는 무선으로 송수신된 신호를 처리하는 고속 무선통신 모뎀으로 시분할 이중통신(TDD)과 주파수 자원의 효율을 높이기 위하여 직교 주파수 채널 다중화(OFDM) 방식으로 설계하였다. 이를 기반으로 0 MHz/FA 주파수 대역을 효율적으로 사용하고 효과적인 네트워크 운용을 위하여 Preamble 및 Midamble 구간과 함께 3개의 Access zone(Up-link data channel, Down-link control channel, Ad-hoc control channel)으로 구성된 통신프레임 구조를 Fig. 3와 같이 별도로 개발하였다. 또한, 다중입출력 신호처리(MIMO)를 지원하고 00 Mbps 이상의 전송속도 처리와 00 km 이상의 통신 가능 범위를 보장하기 위해 가변 무선채널 환경에서 SM,

STBC와 같은 가변 전송모드 및 통달거리에 따른 번복조 방식을 최적으로 선택할 수 있도록 Hysteresis를 이용한 AMC(Adaptive Modulation & Coding) 알고리즘이 적용되었다.

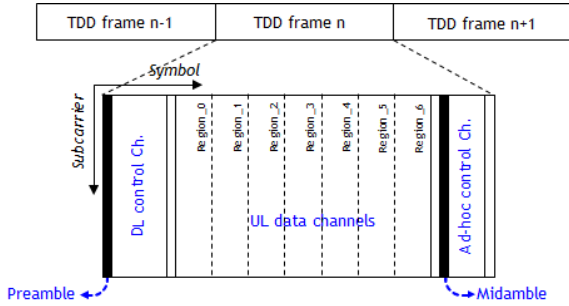


Fig. 3. Frame structure of communication system

수신 안테나는 무지향성 안테나로 10 dBi의 이득을 가진다.

### 3. 통달거리 계산

전파 손실을 예측하는 것은 무선통신 시스템 설계 시 가장 우선적으로 수행하는 작업으로, 이를 통하여 무선통신 링크의 통신 가능거리 계산, 송수신기의 주요사양 확정 등이 가능하게 된다. 이 장에서는 무선통신기의 개발시 적용된 세부 제원을 활용하여 통달거리를 평면지구모델과 곡률지구모델로 나눠 이론적으로 해석해 보고 관계식을 유도해 보았다.

Table 1. Simulation parameters

구 분	설정값
송신기 출력( $P_t$ )	00 dBm
송신 안테나 이득( $G_t$ )	7 dBi
수신 안테나 이득( $G_r$ )	10 dBi
송신 케이블 손실( $L_t$ )	2 dB
수신 케이블 손실( $L_r$ )	5.8 dB
대기손실을 포함한 안테나패턴 손실( $L_a$ )	1 dB
데이터통신 마진(M)	7 dB
잡음 지수(NF)	5 dB
채널코딩 이득( $G_c$ )	7 dB

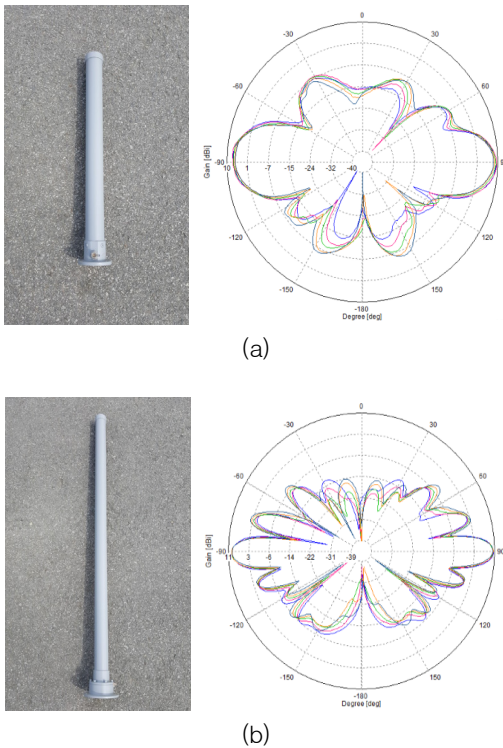


Fig. 4. Vertical antenna pattern of (a) the transmitting and (b) receiving antenna

이번 실험에 적용된 안테나는 두 종류로 시험선에 설치된 송신 안테나는 Fig. 4에 제시된 무지향성 안테나로써 7 dBi의 이득을 가지며 육상통제소에 설치된

#### 3.1 자유공간 전파

널리 알려진 기본적인 전파 전파 방정식, 식 (1)에 송수신 케이블 손실, 잡음지수, 데이터통신 마진, 채널코딩 이득을 반영하여 수신기 신호 대 잡음비를 식 (2)로 정리하였다.

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

$$SNR = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{4\pi R^2} \frac{1}{4\pi} \frac{1}{L_t L_r L_a} \frac{1}{kTB} \frac{1}{MNF} G_c \quad (2)$$

여기서  $P_r$ 는 수신기 수신신호 세기,  $\lambda$ 는 파장,  $R$ 은 송수신 안테나간 이격거리,  $k$ 는 볼츠만 상수( $1.38054 \times$

$10^{23}$ ), T는 절대온도, B는 수신 대역폭이며 나머지 각 구성요소의 상세 값은 Table 1과 같다.

해수면에서의 전파 환경은 육지와 달리 지형지물이 없는 반면 대기밀도가 불균일하고, 통신 서비스가 가능한 최대한 직선거리는 등가가시거리로써 길다. 해수면 자유공간의 대기밀도는 해수면에 가까울수록 높고 멀어질수록 기온, 기압, 습도 등의 저하로 점차 낮아지기 때문에 유전율과 굴절률이 감소한다. 따라서 해수면 위를 진행하는 전파는 직진하지 않고 얇은 대기층을 따라 위를 향해 계속 굴절한다. 그 결과 해수면 위를 진행하는 전파의 최대 직선거리는 지표면을 진행하는 전파의 최대 직진거리보다 더 긴 등가가시거리가 된다. 따라서 지표면과 해수면의 자유공간에서 전파가 동일 직선거리를 진행하는 경우, 해수면에서의 전파경로손실은 전파의 잦은 굴절로 인해 지표면에서보다 증가할 뿐만 아니라 여기에 주파수에 비례한 경로손실이 추가로 발생한다. 해수면 자유공간에서의 전파경로손실 및 수신전력을 보다 정확하게 예측하기 위하여 위 식 (2)에  $k_1$ 과  $k_2$ 의 보정상수를 추가하였다<sup>3)</sup>.

$$SNR_K = SNR - (k_1 + k_2 f) \quad (3)$$

여기서  $k_1$ 은 해수면과 지표면 자유공간에서의 전파 경로손실 차를 보정하기 위한 값(11.3)이며  $k_2$ 는 해수면 자유공간 전파환경에서의 100 MHz 당 평균전파경로손실 증가량을 보정하기 위한 값( $5.2 \times 10^{-11}$ )이다.

### 3.2 평면지구 전파모델

무인수상정이 운용되는 해상환경에서는 육상과는 달리 해수면에서의 전파 반사 등의 다중경로에 의한 전파가 가장 큰 영향을 미치게 된다. 전파가 해수면에 반사될 때 진폭은 감쇄되고 위상은 변경된다. 특히, 위상은 역위상일 경우 손실, 동위상일 경우 이득으로 작용하게 되며 파장이 짧거나 안테나의 고도가 높아질수록 이와 같은 간섭현상이 심해지게 된다. 따라서 일반적인 경우 송수신기간의 직접 경로를 통한 직접파와 해면 반사파만을 고려하여 통신 채널환경을 모델링하고 전파 경로 손실을 예측하게 된다<sup>4,5)</sup>.

수직과 수평 반사계수는 각각 식 (4), (5)와 같으며 입사각( $\psi_g$ ), 유전상수( $\epsilon$ ) 및 주파수에 의존한다. 유전상수( $\epsilon$ )는  $\epsilon = \epsilon_r - j60\lambda\sigma$ 와 같이 표현되며 GHz 대역에서의 바닷물의 유전상수( $\epsilon_r$ )은 69, 도전율( $\sigma$ )은 4로 입력하였다.

$$\Gamma_v = \frac{\epsilon \sin \psi_g - \sqrt{\epsilon - \cos^2 \psi_g}}{\epsilon \sin \psi_g + \sqrt{\epsilon - \cos^2 \psi_g}} \quad (4)$$

$$\Gamma_h = \frac{\sin \psi_g - \sqrt{\epsilon - \cos^2 \psi_g}}{\sin \psi_g + \sqrt{\epsilon - \cos^2 \psi_g}} \quad (5)$$

반사에 의한 영향을 고려하기 위해 자유공간이 아닌 조건에서 전파 전파를 설명하는데 이용되는 전파 요소(Propagation Factor)를 식 (6)와 같이 표현하였으며 해수면 근처에서는 다중경로에 의한 전파가 전파 요소에 지배적인 영향을 준다. E는 매질이 존재하는 경우의 전계이며  $E_0$ 는 자유공간의 전계이다.<sup>7)</sup>

$$F = \left| \frac{E}{E_0} \right| \quad (6)$$

다중경로 전파를 고려하기 위하여 Fig. 5와 같이 평면지구에 대해 살펴보겠다. 송신기 안테나의 설치고도  $h_r$ , 수신기 안테나의 설치고도  $h_t$  이고 입사각이  $\psi_g$  일 때, 송신된 전파의 에너지는 직접경로  $R_d(A-C)$ 와 반사경로  $R_i(A-B-C)$ 에 의해 안테나에 전달된다.

이 때, 두 경로의 거리  $\Delta R$ 와 위상  $\Delta \Phi$ 는 식 (9)과 식 (10)와 같이 송신기와 수신기간의 거리, 송신기 안테나와 수신기 안테나 설치 높이, 그리고 파장과의 관계식으로 정리될 수 있다.

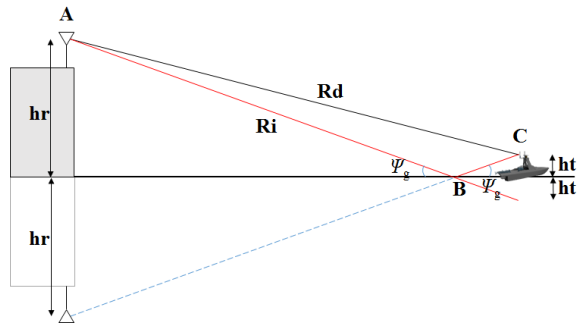


Fig. 5. Propagation model in the flat earth

$$R_d = \sqrt{R^2 + (h_t - h_r)^2} \approx R + \frac{(h_t - h_r)^2}{2R} \quad (7)$$

$$R_i = \sqrt{R^2 + (h_t + h_r)^2} \approx R + \frac{(h_t + h_r)^2}{2R} \quad (8)$$

$$\Delta R = R_i - R_d \approx \frac{2h_t h_r}{R} \quad (9)$$

$$\Delta\Phi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta R \quad (10)$$

특히 송신기와 수신기 간 거리가 안테나 설치고도보다 매우 크기 때문에 반사계수( $\Gamma$ )가 -1인 입사각이 0으로 가정하면 이 지점에서 반사된 신호는 진폭 손실 없이 180° 위상 변이를 일으키는 것을 의미하며 전파 요소(F) 제곱은 식 (11)와 같다. 전파 요소의 제곱은 전파가 전파될 때 손실 항목으로 추가되며 전파 요소를 고려한  $SNR_{k.flat}$  은 식 (12)과 같이 표현된다<sup>[6]</sup>.

$$F^2 = 2 - 2\cos\Delta\Phi = 4 \left( \sin \frac{2\pi h_t h_r}{\lambda R} \right)^2 \quad (11)$$

$$SNR_{k.flat} = SNR_k \times 4 \left( \sin \frac{2\pi h_t h_r}{\lambda R} \right)^2 \quad (12)$$

### 3.3 곡률지구 전파모델

평면지구모델은 송신기와 수신기 안테나 설치고도가 낮아 거리가 가까운 경우에는 효과적이거나 안테나 설치고도가 증가하여 통달거리가 멀어질 경우는 오차가 증가하게 된다. 특히, 송수신기 간의 거리가 멀어질 경우 지구 곡률을 고려한 곡률지구모델을 사용하게 된다. 따라서 다중경로 전파에 대한 송수신 성능의 영향을 더욱 정확히 모델화하기 위하여 Fig. 6와 같이 곡률 지구를 고려하였다.

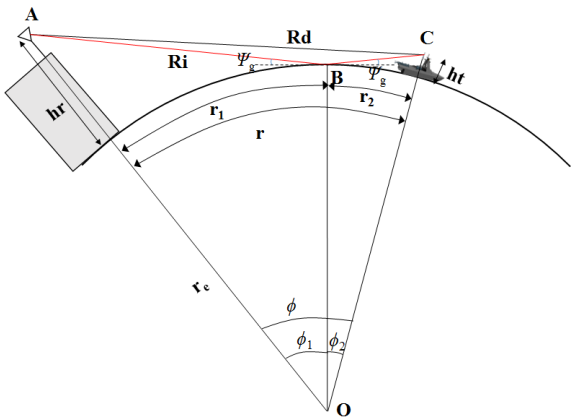


Fig. 6. Propagation model in the spherical earth

$$R_1 = \sqrt{h_r^2 + 4r_c(r_c + h_r)} \left( \sin \frac{\Phi_1}{2} \right)^2$$

$$R_2 = \sqrt{h_t^2 + 4r_c(r_c + h_t)} \left( \sin \frac{\Phi_2}{2} \right)^2 \quad (13)$$

$$R_d = \sqrt{(h_t - h_r)^2 + 4(r_c + h_t)(r_c + h_r)} \left( \sin \frac{\Phi_1 + \Phi_2}{2} \right)^2$$

$$\Delta R = \frac{4R_1 R_2 (\sin \Psi_g)^2}{R_1 + R_2 + R_d} \quad (14)$$

$$\Psi_g = \sin^{-1} \left( \frac{2r_c h_r + h_t^2 - R_1^2}{2r_c R_1} \right)$$

식 (11)과 동일한 가정으로 전파 요소를 유도해 보면 식 (15)와 같이 표현할 수 있으며 전파 요소의 제곱은 전파가 전파될 때 손실 항목으로 추가되어  $SNR_{k.sphere}$  는 식 (16)과 같이 표현된다<sup>[6]</sup>.

$$F^2 = 2 - 2\cos\Delta\Phi = 4 \left( \sin \left( \frac{\pi}{\lambda} \frac{4R_1 R_2 (\sin \Psi_g)^2}{R_1 + R_2 + R_d} \right) \right)^2 \quad (15)$$

$$SNR_{k.sphere} = SNR_k \times 4 \left( \sin \left( \frac{\pi}{\lambda} \frac{4R_1 R_2 (\sin \Psi_g)^2}{R_1 + R_2 + R_d} \right) \right)^2 \quad (16)$$

## 4. 통달거리 시뮬레이션 및 실험

### 4.1 시뮬레이션

데이터통신 통달거리는 Table 1의 시뮬레이션 제원을 사용하여 무인수상정과 육상통제소의 0.0 GHz 주파수에 대해 무인수상정에 설치된 송신기 안테나 설치고도 3 m 및 16.5 m와 육상통제소에 탑재된 수신기 안테나 설치고도 20 m 및 141 m 별로 자유공간, 평면지구모델, 곡률지구모델에 대하여 각각 시뮬레이션을 수행하였으며 결과는 Fig. 7, 8와 같다.

소형 무인수상정에 설치될 안테나 높이를 3 m, 육상통제소가 설치될 안테나 높이를 가장 낮은 20 m라고 가정하여 시뮬레이션을 수행한 결과, Fig. 8와 같이 약 13 km 까지 통달거리 확보가 가능할 것으로 예상되며 송신 및 수신 안테나의 설치 위치를 높일 경우 통달거리 확장이 가능하나 무인수상정의 협소한 공간을 고려할 경우 무인수상정 보다는 육상통제소의

안테나 설치 위치를 높이는 것이 통달거리 확보에 유리할 것이다.

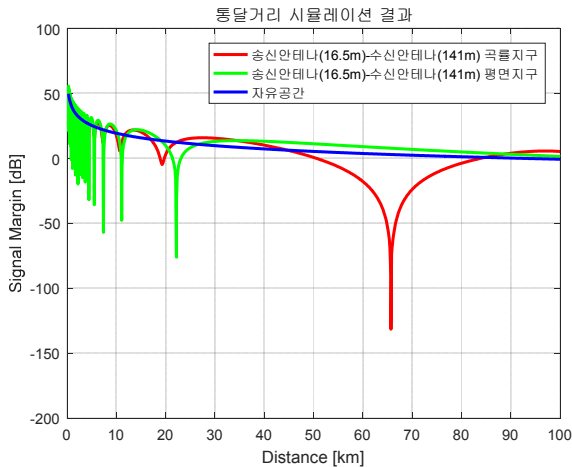


Fig. 7. Simulation of communication range(@Tx Ant. height 16.5 m, Rx Ant. height 141 m)

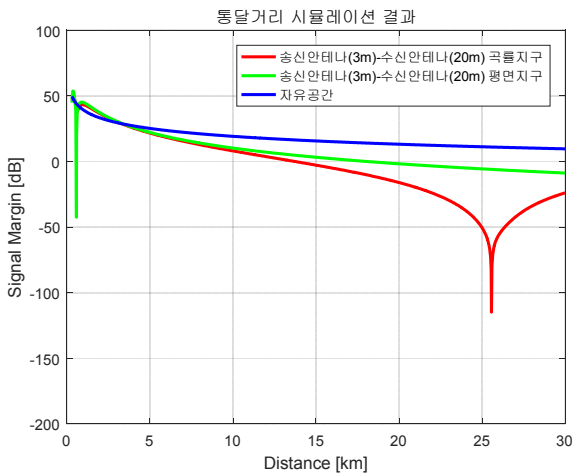


Fig. 8. Simulation of communication range(@Tx Ant. height 3 m, Rx Ant. height 20 m)

또한, 육상통제소의 수신 안테나 설치 높이를 변경하면서 고도별 통달거리를 계산해 보았으며 예상한 바와 같이 수신 안테나의 설치 위치를 높일 경우 통달거리 확장이 가능하게 된다. 이는 전파 전파 방정식의 안테나 설치 높이 변수와 더불어 반사 요소가 가장 큰 손실 요소로 작용하기 때문이다. 반사 요소는 해상통신환경에서 가장 큰 손실 요소이며 굴절과 반

사 요소는 평면과 곡률지구모델에 의해 동시에 고려되는 요소로서 통달거리에 미치는 영향을 분리할 수 없다. 반사는 송수신 안테나 설치 고도가 모두 낮고 입사각이 가장 작은 수평 방향으로 입사할 경우 가장 손실이 크며 송수신 안테나 중 어느 한쪽의 고도가 증가할 경우 손실이 감소하고, 양쪽 고도가 모두 증가할 경우 더욱 감소하는 경향을 보인다. 그리고 육상통제소 수신 안테나의 설치 높이가 낮으면 평면 및 곡률지구모델의 통달거리 계산 결과 차이가 많이 나지만 수신 안테나의 설치 위치가 높을수록 지구와 유사한 곡률지구모델을 이용한 통달거리 계산이 유효하게 된다.<sup>[7]</sup>

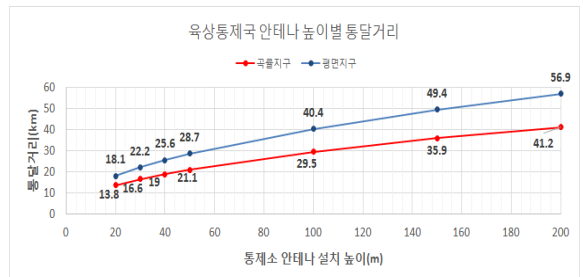


Fig. 9. Comparison of the communication distances of the base station(Rx) by the antenna height (@Tx Ant. height 3 m)

#### 4.2 시뮬레이션과 실험결과 비교

해상 실험은 Fig. 10과 같이 실제 무인수상정이 아닌 별도의 시험선박에 무선통신기 및 안테나를 설치하였으며 육상에서는 해발고도 141 m 위치의 시설에 무선통신기 및 안테나를 설치하여 수행하였다.

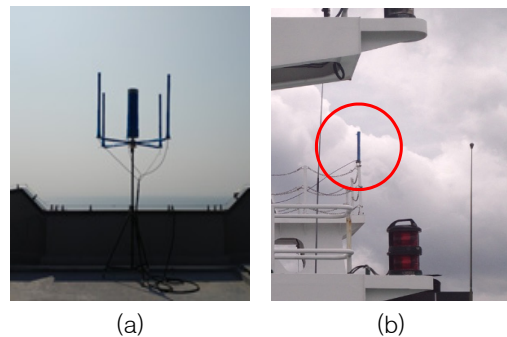


Fig. 10. (a) Receiving antenna on the rooftop and (b) transmitting antenna on the test ship

그리고 통신시스템의 전송모드는 MIMO-STBC 방식을 사용하였으며 16-QAM 변조로 약 00 Mbps 이상의 전송용량을 제공하도록 설정하였다.

Fig. 11은 시험선이 움직인 이동경로를 그린 그림이다. 육상통제소를 기준으로 시험선이 남쪽 방향으로 이동하였고 이동경로 전체 구간에서 송신 안테나의 송신 신호가 섬이나 대형 선박 등의 장애물 없이 수신 안테나 측으로 전달되었다.



Fig. 11. Path of the test ship for maritime communication

곡률지구모델에 의한 수신신호세기 시뮬레이션 결과와 실제 측정결과의 비교는 Fig. 12와 같으며 시뮬레이션 결과와 실제 측정결과가 상당히 일치하는 것을 볼 수 있다. 이 그림에서 송신 및 수신 안테나간 거리가 멀어질수록 수신신호 세기가 감쇄하고 페이딩으로 인한 손실이 커지는 것을 볼 수 있다. 그리고 통달거리 측정 결과를 비교해 보면 Fig. 7의 시뮬레이션 결과에서는 통달거리가 약 51 km 정도로 나타났으나 실제 실험을 통한 측정결과, 약 56 km 까지 통달거리 확보가 가능하였다. 이는 시뮬레이션에서 반영하지 못한 실험 당일의 파고 및 대기온도 등의 다양한 전파 환경에 영향을 줄 수 있는 요인으로 인하여 통달거리 차이가 발생하는 것으로 보인다.

그리고 약 38 km 지점에서 수신신호세기 측정값이 급감하는 원인은 TDD 전송프레임의 구조 특성으로 수신신호가 업링크 측정 윈도우를 벗어나서 발생한 것으로 예상된다.

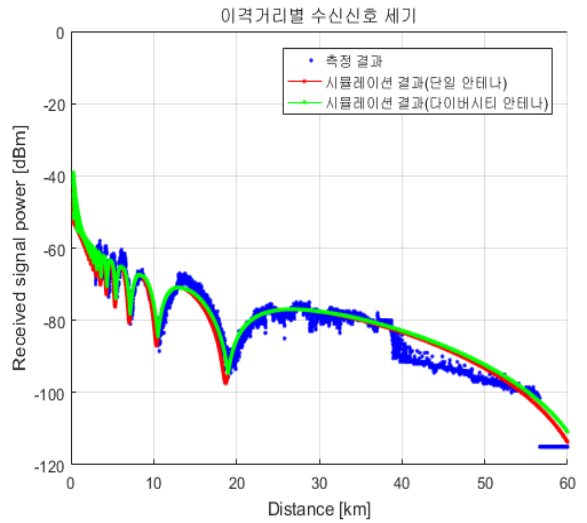


Fig. 12. Comparison of the measured result and simulated result(@Tx Ant. height 16.5 m, Rx Ant. height 141 m)

#### 4.3 공간 다이버시티를 이용한 페이딩 해소 방안

무인수상정 또는 육상통제소가 페이딩의 영향을 덜 받기 위해서는 두 개 이상의 안테나를 분리 설치, 공간 다이버시티를 적용하여 여러 개의 수신 신호 중 페이딩 영향이 적은 신호를 취사선택하거나 합성 수신하는 방안을 고려해 볼 수 있겠다. Fig. 12에서 보듯이 약 19 km 지점에 존재하는 페이딩 영역은 공간 다이버시티 수신 안테나 적용, 두 개의 안테나를 결합함으로써 약 2.5 dB의 이득을 가져와 극복이 가능할 것으로 보여진다. 더 큰 다이버시티의 효과를 위해서는 두 안테나간의 고도차를 크게 주어야겠지만 물리적인 제약으로 인해 높은 고도차를 주기는 어려우므로 안테나 설치고도를 136 및 141 m로만 가정하여 시뮬레이션을 수행하였다.

$$RSSI_{combined} = \max(RSSI_{main}, RSSI_{Diversity}) \quad (17)$$

또한, 무인수상정의 송신 안테나 높이(3 m)와 육상통제소의 다이버시티 수신 안테나를 적용하여(15 및 20 m) 시뮬레이션을 수행하였으며(Fig. 13) 단일 안테나 적용했을 때와 비교 시, 두 경우 모두에서 통달거리 내에서는 페이딩 구간이 나타나지는 않았으나 다이버시티 안테나 적용하여 약 1.7 km의 통달거리 확장이 가능함을 보여주고 있다.

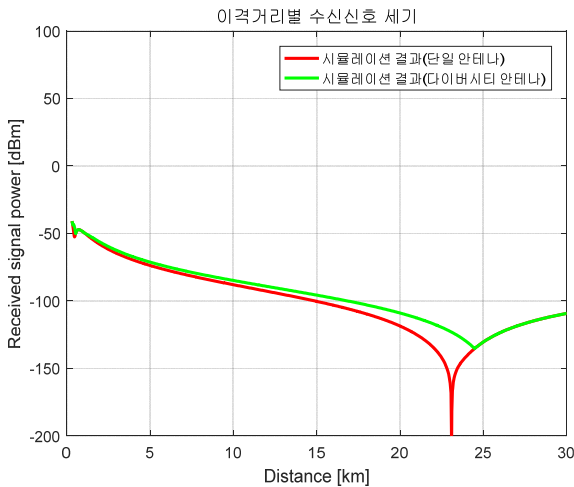


Fig. 13. Simulation result using the diversity antenna (@Tx Ant. height 3 m, Rx Ant. height 15 and 20 m)

## 5. 결론

미래의 네트워크 중심 전장 환경에서 각 전투단위가 개별적으로 가지는 방호력 및 타격능력을 극대화하기 위해서는 작전임무를 수행하는 각각의 구성단위들을 하나의 통신망으로 연결하여 각 단위가 수집/획득한 정보를 신속하게 공유하고, 이를 기반으로 전장 상황에 최적으로 부합하는 임무계획 및 임무수행을 실시하여야 한다<sup>8)</sup>. 따라서, 작전지역 내 유인 및 무인 전투체계간 협력작전으로 상호 원격통제 및 공격에 대한 시너지를 확보하기 위해서는 열악한 작전환경에서도 끊임 없이 강건한 통신 수단 제공 및 고속의 Data Link 기술이 필수적이라 하겠다.

본 논문에서는 무인수상정에 탑재하기 위해 개발 중인 무선통신기를 실제 해상환경에서 실험하여 결과 데이터를 확보하였고 기본적인 전파 전파 방정식에 케이블 손실, 채널코딩 이득, 굴절, 반사 요소 등을 포함하여 평면 및 곡률지구모델에서 구한 통달거리 계산 결과 비교해 보았다. 그리고 이 결과 데이터를 육상통제소 및 무인수상정의 안테나 설치고도를 변경하면서 통달거리를 비교 분석 해 보았다. 그 결과, 무인수상정과 통제소가 운용하게 될 환경을 고려하였을 때, 두 안테나의 설치 고도가 낮을 경우에는 평면 및 곡률지구모델과 차이가 많이 나지 않지만 안테나 설

치고도 차가 클 경우에는 곡률지구모델이 실측데이터와 유사한 결과를 보이는 것을 알 수 있었다. 그리고 실제 운용환경에서 육상통제소의 안테나 설치고도가 높을수록 통신에 유리하지만 특정구간의 페이딩으로 인한 손실이 증가하게 되므로 이 구간의 페이딩을 감소시키는 것이 매우 중요하여 공간 다이버시티 등의 안테나 기술을 통해 페이딩 감소 방안을 시뮬레이션해 보았다. 향후 보다 다양한 다이버시티 기법을 적용하여 two-ray 전파모델에서의 페이딩 극복 방안에 대한 연구를 지속적으로 수행할 필요가 있겠다.

## References

- [1] D. W. Jang, et. al., "Unmanned Robot Communication & Network System Roadmap," Agency for Defense Development, pp. 53-66, 2013.
- [2] K. H. Kim, Y. D. Tak and S. H. Shin, "Measurement of UHF-Band Propagation Loss for the Long Range Maritime Communication Environment," Journal of Electromagnetic Engineering and Science, Vol. 17, No. 5, pp. 490-499, 2006
- [3] K. J. Ryu and C. G. Park, "Prediction Model of Propagation Path Loss of the Free Space in the Sea," Journal of the Acoustical Society of Korea, Vol. 22, No. 7, pp. 579-584, 2003.
- [4] Robert E0. Collin, "Antennas and Radiowave Propagation," McGraw-Hill, 1985.
- [5] R. M. Schmalenberger, M. G. Edrich, "Channel Modelling for Wideband Data Communication in a Maritime Mobile Environment," IEEE/AFCEA, pp. 150-154, May, 2000.
- [6] Bassem R. Mahafza, "Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB," Chapman & Hall/CRC, 2000.
- [7] Y. J. Lee, I. S. Kim and J. R. Park, "A study on Estimation and Factors of VHF Data Link Range," Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 13, No. 3, pp. 413-420, 2010.
- [8] J. E. Kye, "Trends and Acquisition Strategies on Defense Unmanned Robot Core Technology," Electronics and Telecommunications Trend, Vol. 29, No. 3, pp. 118-130, 2014.