

장거리 해상 통신 환경에서의 UHF 대역 전파 손실 측정

Measurement of UHF-Band Propagation Loss for the Long Range Maritime Communication Environment

김 균 회 · 탁 윤 도 · 신 석 현

Kyun-Hoi Kim · Youn-Do Tak · Seok-Hyun Shin

요 약

본 논문에서는 지상-항공기간 통신 시험을 통해 장거리 해상 통신 환경에서의 전파 손실을 측정하고 이를 구면 대지 반사 모델을 통한 예측값과 비교하였다. 전파 손실 측정을 위한 항공기 통신 시험은 서해상에서 실시 되었으며, 비행 전 구간에 걸쳐 항공기에 장착된 수신기의 수신 신호 세기를 측정하였다. 이때 통신 시험이 수행 된 비행 경로 중 반사파의 반사점 인근에 섬이 존재하여 이로 인한 반사파가 수신 신호 간섭을 줄 것으로 예상 되었다. 따라서 섬에 의한 반사파까지 고려한 구면 대지 반사 모델에 반사 계수, 발산 계수 및 송수신기의 안테나 패턴을 적용하여 예측한 전파 경로 손실과 항공기 이용해 측정한 전파 손실을 비교하였다. 비교 결과, 섬에 의한 반사파를 고려한 구면 대지 반사 모델로 전파 손실을 정확하게 예측할 수 있음을 확인하였다.

Abstract

In this paper, we present the newly developed propagation loss model of a long range maritime communication channel, measured by a ground to air flight test, and discuss its validity compared with the predictive value based on the spherical earth reflection model. To measure the propagation loss, actual flight test was performed in the Yellow Sea and the measurement of receiving signal strength was made for overall test range. As far as the test condition is concerned, it is expected that the receiving signal strength must be interfered with the reflected wave by an island existing around the reflection point. Therefore we introduce some modifications on the conventional spherical earth reflection model by including the effect due to the reflected wave from the island. And then, we compare the path loss measured by flight test with that one analyzed by the spherical earth reflection model accounting for reflected wave of the island. As a result of the comparison, it is verified to predict the path loss accurately by the spherical earth reflection model including the effect due to the reflected wave from an island for a long range ground to air communication.

Key words : Propagation Loss Measurement, Maritime Communication, Spherical Earth Reflection Model

I. 서 론

전파 손실의 예측은 무선 통신 시스템 설계시 가장 우선적으로 수행되어야 하는 작업으로서, 이를 통해 무선 통신 링크의 통신 가능 거리 산출 및 송수신기의 중요 사양 결정 등이 가능하게 된다. 전파

손실은 실제 통신 환경 하에서 전자파가 전파될 수 있는 모든 조건들을 고려하여 계산할 경우 정확한 예측이 가능하지만, 실제로 전자파는 수많은 경로를 통해 송신기에서 수신기까지 전파되므로 이를 모두 고려하여 전파 손실을 예측하는 것은 거의 불가능하다고 할 수 있다^[1]. 하지만 해상 통신 환경에

국방과학연구소(Agency for Defense Development)

· 논문 번호 : 20060418-042

· 수정완료일자 : 2006년 5월 18일

서는 다양한 전자파의 전파 경로 중에서 해면 반사로 인한 경로가 수신 신호 세기에 상대적으로 가장 큰 영향을 미치게 되므로, 일반적인 경우 송수신기 간의 직접 경로를 통한 직접파와 해면 반사파만을 고려하여 통신 채널 환경을 모델링하고 전파 경로 손실을 예측하게 된다^{[2],[3]}.

전파 손실의 예측을 위해서는 반사면의 전파 특성과 거칠기 등을 고려한 반사 계수를 구한 뒤 송수신 안테나의 패턴을 고려하여 반사파의 세기를 구하게 된다^[4]. 뿐만 아니라 정확도를 높이기 위해, 해상 통신 환경에서 이루어지는 장거리 통신의 경우에는 지구의 곡률에 의한 해면 반사파의 전계 강도 변화를 고려하고, 고도에 따른 대기 굴절률 변화를 등가 지구 반경 계수로 보상해 주게 된다^{[5],[6]}. 그러나 해상 통신 환경에서 통신 구간 내에 존재하는 섬과 같은 장애물에 의한 반사파도 전파 경로 손실 예측에 있어서 영향을 주게 된다. 앞에서 제시한 일반적인 해상 전파 환경에 대한 연구들은 장애물이 존재하지 않은 경우의 반사파만을 고려하였으나, 장거리 통신 환경 하에서의 정확한 예측을 위해서는 해면 반사파와 더불어 섬에 의한 반사파를 고려한 분석이 필요하다고 할 수 있다. 특히 이번 항공기 통신 시험에서와 같이 100 km 이상의 장거리 통신 상태에서 해면 반사파의 반사 지점 부근에 섬들이 존재하는 경우, 두 반사파의 입사각이 매우 작고, 거리차가 거의 발생하지 않기 때문에 장애물에 의한 반사파를 고려해야 정확한 분석이 가능하다.

본 논문은 장거리 해상 통신 환경에서의 UHF 대역 전파 손실을 측정하고자 하였다. 이를 위해 서해상에서 항공기를 이용한 통신 시험을 수행하여 거리에 따른 수신 신호 세기를 측정하였으며, 이를 섬을 고려한 장거리 해상 전파 모델로부터 예측된 수신 신호 세기와 비교하였다. 수신 신호 세기 예측에는 구면 대지 반사 모델의 반사 계수 및 발산 계수, 송수신 안테나의 패턴이 고려되었을 뿐만 아니라 섬에 의한 반사파의 영향까지 포함되었으며, 실측값과 예측값을 비교한 결과 설정된 구면 대지 반사 모델로 장거리 해상 통신 환경에서의 정확한 전파 손실을 예측할 수 있음을 확인하였다.

II. 장거리 해상 통신 환경에서 UHF 대역 전자파 전파 모델

2-1 장거리 해상 통신 환경에서의 반사 모델 설정

2-1-1 구면 대지 반사 모델

통신 경로 상에 장애물이 거의 존재하지 않는 일반적인 해상 통신 환경의 경우, 송신기와 수신 기간의 전파 경로는 직접 경로와 해수면을 통한 반사 경로로 구성된다. 이때 근거리에서 이루어지는 통신의 경우 해수면이 평면이라 가정하고 반사 모델을 설정하면 되지만, 장거리 통신의 경우 지구 곡률을 고려한 구형 지구 표면을 고려하여 구면 대지 반사 모델을 사용하게 된다. 그림 1은 근거리 해상 전파 환경 해석을 위해 사용되는 평면 대지 반사 모델을 보여준다.

이때 수신 안테나에는 직접 경로를 통한 직접파와 해수면 반사 경로를 통한 반사파가 동시에 도달하게 되는데, 직접파와 간섭파 간에는 위상 및 진폭의 차이가 발생하게 되므로 상호 간섭이 발생하게 된다. 두 신호간의 상호 간섭이 일어나면 이때의 위상차에 따라 신호 세기가 증가 또는 감소하는 현상이 발생하게 되며, 파장이 짧거나 안테나의 고도가 높아질수록 이와 같은 간섭 현상이 심해지게 된다.

2-1-2 장거리 해상 통신 환경에서의 반사 계수

간섭 현상의 해석을 위해서는 반사 계수의 분석이 필요로 하게 되는데, 반사 계수 ρ 는 반사면의 상태를 고려하여 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 ρ_0 는 프레넬 반사 계수이고, ρ_s 는 산란 손실 계수이다.

$$\rho = \rho_0 \rho_s \quad (1)$$

프레넬 반사 계수 ρ_0 는 수직 편파와 수평 편파에

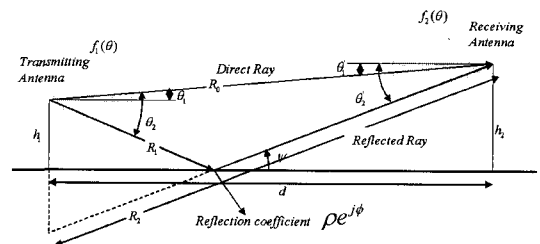


그림 1. 근거리 해상 통신 환경의 평면 대지 반사 모델
Fig. 1. Flat earth reflection model of short-range maritime propagation environment.

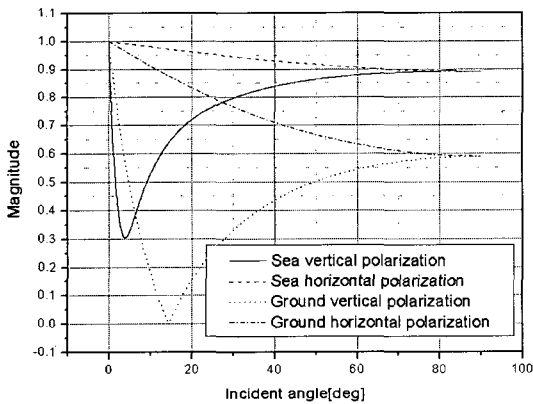
따라 각각 아래의 식 (2)로 표현된다.

$$\rho_0(\text{vertical}) = \rho_{ve}^{j\phi_v} = \frac{\sin \phi - \sqrt{\epsilon_c - \cos^2 \phi}}{\sin \phi + \sqrt{\epsilon_c - \cos^2 \phi}} \quad (2-1)$$

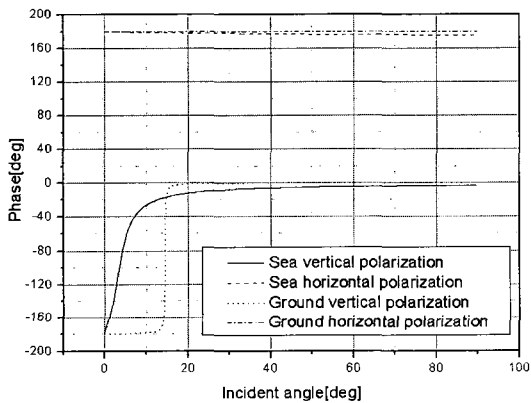
$$\rho_0(\text{horizontal}) = \rho_{He}^{j\phi_H} = \frac{\epsilon_c \sin \phi - \sqrt{\epsilon_c - \cos^2 \phi}}{\epsilon_c \sin \phi + \sqrt{\epsilon_c - \cos^2 \phi}} \quad (2-2)$$

이때 복소 유전 상수 ϵ_c 는 상대 유전율 ϵ_r , 전도도 σ 및 파장 λ 에 대하여 $\epsilon_c = \epsilon_r - j \cdot 60 \sigma \cdot \lambda$ 로 정의된다.

식 (2)로부터 입사각에 따른 해면과 육지의 UHF



(a)



(b)

그림 2. (a) 입사각 ϕ 에 따른 프레넬 반사 계수 ρ_0 의 크기, (b) 입사각 ϕ 에 따른 프레넬 반사 계수 ρ_0 의 위상

Fig. 2. (a) Magnitude of fresnel reflection coefficient ρ_0 versus the incident angle ϕ , (b) Phase of fresnel reflection coefficient ρ_0 versus the incident angle ϕ .

대역 프레넬 반사 계수를 구하면 그림 2와 같다. 이때 해면의 상대 유전율 및 전도도는 각각 80, 4.3이고, 육지의 상대 유전율 및 전도도는 각각 15, 0.005이다.

그림 2에서 입사각이 매우 작을 경우, 육지 지형에서의 반사 계수와 해상 지형에서의 반사 계수는 수직 편파 및 수평 편파 모두 거의 동일하게 큰 값을 가짐을 알 수 있다. 따라서 근거리 해상 통신 환경에서 전파 손실을 예측할 때 일반적으로 해면 반사파가 전파 손실에 주요 요인이 되지만, 장거리 해상 통신 환경과 같이 해수면뿐만 아니라 섬 등의 장애물에 대한 전파와의 입사각이 매우 작아지는 동시에 장애물이 해면 반사파의 반사 지점 근처에 존재하는 경우, 두 반사파 사이의 거리차가 거의 발생하지 않으므로 이로 인한 반사도 고려해야 한다.

식 (1)에서의 산란 손실 계수 ρ_s 는 전파의 입사각과 반사면의 거칠기에 의한 반사 계수의 변화를 표현한 것으로서, 육지의 경우 식물에 의한 반사파의 감쇄를 고려해야 하는데, 일반적인 경우 0.3 ~ 0.03 사이의 값을 갖는다^[4].

2-2 섬을 고려한 구면 대지 반사 모델

앞에서 살펴본 바와 같이 장거리 해상 통신 환경에서 해수면 이외에 섬과 같은 장애물이 반사 지점 근처에 존재하는 경우 이로 인한 반사파도 고려하여 모델을 설정해야 한다. 따라서 장애물이 없는 근거리 해상 통신 환경 분석시 사용되는 구면 반사 모델을 수정하여 그림 3과 같이 수신기의 수신 신호를 직접파, 해면 반사파 및 섬 반사파의 합으로 표현한다.

그림 3은 장거리 해상 전파 환경의 해석을 위해

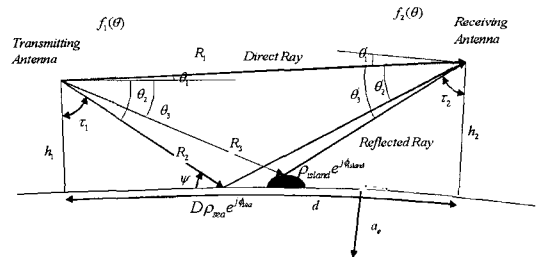


그림 3. 장거리 해상 통신 환경의 구면 대지 반사 모델
Fig. 3. Spherical earth reflection model of long-range maritime propagation environment.

$$\begin{aligned}
 |E_{tot}| &= E_{dir} + E_{sea} + E_{island} \\
 &= \left| f_1(\theta_1)f_2(\theta_1) \frac{e^{-jk_0 R_1}}{4\pi R_1} \left[1 + \frac{R_1}{R_2} D\rho_{sea} e^{j\phi_{sea}} \frac{f_1(\theta_2)f_2(\theta_2)}{f_1(\theta_1)f_2(\theta_1)} e^{-jk_0(R_2-R_1)} \right] \right. \\
 &\quad \left. + \frac{R_1}{R_3} \rho_{island} e^{j\phi_{island}} \frac{f_1(\theta_3)f_2(\theta_3)}{f_1(\theta_1)f_2(\theta_1)} e^{-jk_0(R_3-R_1)} \right| \\
 &= \left| f_1(\theta_1)f_2(\theta_1) \frac{e^{-jk_0 R_1}}{4\pi R_1} \right| F
 \end{aligned} \tag{3}$$

사용된 구면 대지 반사 모델을 보여준다. 여기서 a_e 는 고도에 따른 대기 굴절율의 변화가 일정한 표준 대기에서의 등가 지구 반경을 의미한다. $f_1(\theta)$ 이 송신 안테나 패턴이고 $f_2(\theta)$ 가 수신 안테나 패턴일 때, 거리 d 에서의 수신 전계 강도는 식 (3)과 같이 직접 파, 해면 반사파 및 섬 반사파의 합으로 표현된다.

2-2-1 전파 지수

식 (3)에서 F 는 전파 지수로서, 자유 공간에서의 수신 전계 강도와 실제 수신 전계 강도의 비를 나타낸다. 송신기와 수신기의 거리가 상당히 멀어졌을 때, 각 경로별 송수신 안테나의 이득이 서로 비슷하므로 $f_1(\theta_1) \approx f_2(\theta_2) \approx f_3(\theta_3)$, $f_1(\theta_1) \approx f_2(\theta_2) \approx f_3(\theta_3)$ 라 할 수 있다. 또한 $R_1 \approx R_2 \approx R_3$ 이므로, 장거리에서 F 는 식 (4)와 같이 간단하게 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 F &= \left| 1 + D\rho_{sea} e^{j\phi_{sea} - jk_0(R_2-R_1)} \right. \\
 &\quad \left. + \rho_{island} e^{j\phi_{island} - jk_0(R_3-R_1)} \right|
 \end{aligned} \tag{4}$$

여기서 D 는 발산 계수, $\rho_{sea} e^{j\phi_{sea}}$ 는 해면 반사 계수, $\rho_{island} e^{j\phi_{island}}$ 는 섬 반사 계수, k_0 는 파수이다.

2-2-2 발산 계수

발산 계수 D 는 평면 대지 반사파의 전계 강도와 구면 대지 반사파의 전계 강도의 비로 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다^{[5],[7]}.

식 (5)에서 θ 는 송신기와 수신기가 거리 d 만큼 떨어져 있을 때 지구 중심각이다.

2-2-3 반사 계수

$$D = \frac{a_e(R_1 + R_2)\sqrt{\sin\phi\cos\phi}}{\sqrt{[(a_e + h_2)R_1\cos\tau_2 + (a_e + h_1)R_2\cos\tau_1](a_e + h_1)(a_e + h_2)\sin\theta}} \tag{5}$$

반사 계수는 식 (1)과 같이 프레넬 반사 계수 ρ_0 와 산란 손실 계수 ρ_s 의 곱으로 표현된다. 산란 손실 계수 ρ_s 는 전자파의 입사각과 해면의 거칠기에 의한 반사 계수의 변화를 표현한 것으로서 식 (6)과 같다^[8].

$$\rho_s = \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{4\pi\sigma_h}{\lambda}\sin\phi\right)^2\right] \tag{6}$$

여기서 σ_h 는 반사면 굴곡의 표준 편차이며, 식 (6)에서 알 수 있는 바와 같이 동일한 입사각 ϕ 에 대하여 산란 손실 계수 ρ_s 는 반사면 굴곡의 표준 편차 σ_h 에 따라 변화하게 된다.

III. 해상 항공 통신 시험을 통한 UHF 대역 전자파 전파 특성 측정

3-1 해상 항공 통신 시험의 개요

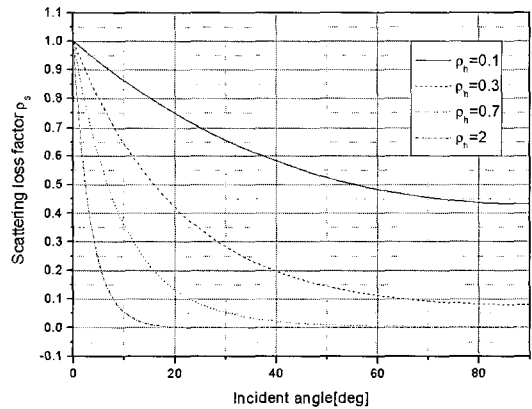


그림 4. 반사면 굴곡의 표준 편차 σ_h 에 따른 산란 손실 계수 ρ_s 의 크기

Fig. 4. Scattering loss factor ρ_s versus the standard deviation of the surface roughness σ_h .

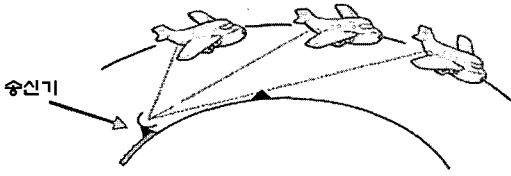


그림 5. 해상 항공 통신 시험의 구성
Fig. 5. Test configuration of the maritime ground-to-air communication.

그림 5는 장거리 해상 통신 환경에서 UHF 대역의 전파 손실을 측정하기 위해 수행한 해상 통신 시험을 표현한 그림이다. 통신 시험은 크게 송신기와 항공기에 탑재된 수신기로 구성되는데, 송신기는 해수면으로부터 일정 고도 위에 설치되어 200 W(53 dBm) 크기의 UHF 대역 신호를 송신하며 수신기가 탑재된 항공기는 전파 가시선이 확보되는 최대 거리까지의 거리를 일정 속도와 고도로 직선 비행하였다. 전파 경로 손실의 측정과 앞에서 제시한 구면 대지 반사 모델과의 비교를 위해 항공기가 비행하는 전 비행 구간 동안 탑재된 수신기에서 발생하는 수신 신호 세기를 기록하였다.

그림 6에서 항공기의 진행 경로 상에 섬이 존재하는 것을 알 수 있는데, 최대 높이가 해발 270 m 정도이고 송신기로부터 약 50 km 거리에 위치하고

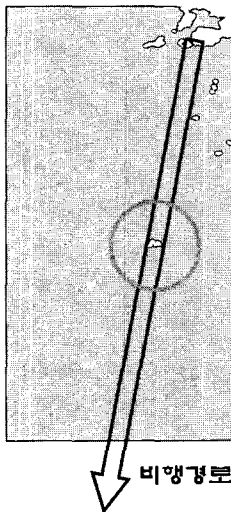


그림 6. 해상 항공 통신 실험의 수행 구간
Fig. 6. Test range of the maritime ground-to-air communication.

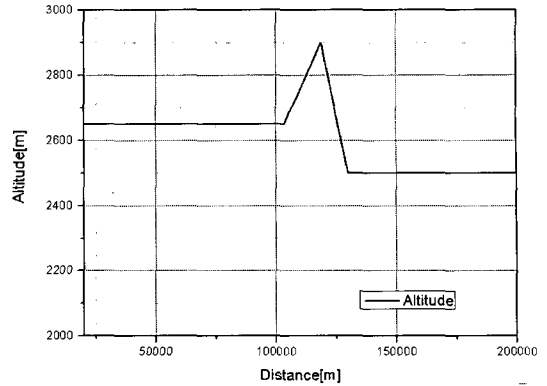


그림 7. 항공기의 고도 변화
Fig. 7. Altitude variation of the airplane.

있다. 이 섬은 다른 장애물과 달리 송신기와 수신기의 직선 경로 상에 존재하고, 해면 반사파의 반사 지점 부근에 위치하고 있어 장거리 통신 상태에서 두 반사파의 거리 차가 거의 발생하지 않는다. 따라서 본 논문에서는 구면 대지 반사 모델 적용시 영향을 주는 반사물로 고려하였다.

3-2 통신시험 수행 결과

3-2-1 항공기의 고도 변화

그림 7은 항공기가 비행하는 동안 고도 변화의 평균값을 그린 그림이다. 일정한 고도를 유지하려는 가정과는 달리 실제 수신기가 장착된 항공기는 거리 110 km와 130 km 사이에서 한 차례의 고도 상승과 하강이 있었음을 알 수 있다.

3-2-2 수신 신호 세기 측정 결과

그림 8은 서해에서 실시한 지상-항공기 간 통신 시험에서 거리에 따른 수신 신호 세기를 기록한 그래프로써, 거리가 멀어질수록 수신 신호의 세기가 감쇄하고 페이딩 효과가 커지는 것을 알 수 있다.

앞에서 제시한 바와 같이 통신 경로 상에 약 50 km 지점에 섬이 위치하게 되는데, 측정 결과를 살펴보면 60 km를 전후로 하여 페이딩에 의한 신호 세기의 변화가 커짐을 알 수 있다. 특히 140 km 부근에서는 20 dB 이상 수신 신호 세기가 감쇄하였다. 그리고 110 km에서 130 km 사이에 그래프 패턴이

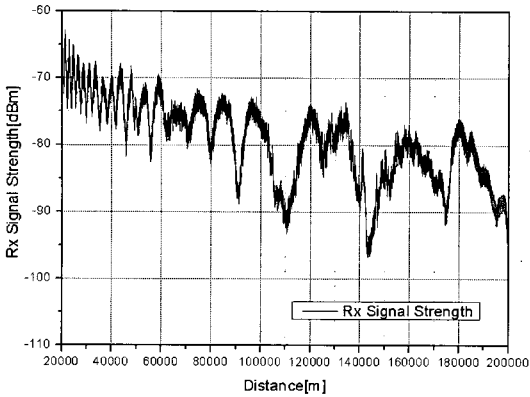


그림 8. 수신 신호 세기 측정값
Fig. 8. Measured value of the received signal strength.

불연속적으로 바뀌는 것을 확인할 수 있는데, 그림 7로부터 이 구간에서 항공기의 고도 변화가 발생하였음을 알 수 있다. 따라서 항공 통신에서 전파 손실은 항공기의 고도에 많은 영향을 받음을 알 수 있다.

3-3 해상 항공 통신 시험의 전파 손실 분석 및 구면 대지 반사 모델과의 비교

3-3-1 송수신 안테나의 패턴

시험에 사용된 송신 안테나는 그림 9에 제시된 평판 안테나로서 10 dBi의 이득을 가지며 원형 편파를 생성해낸다. 송신 안테나는 그림 10에서 보는 바와 같이 40도의 반치각을 가지는데, 항공기가 송신

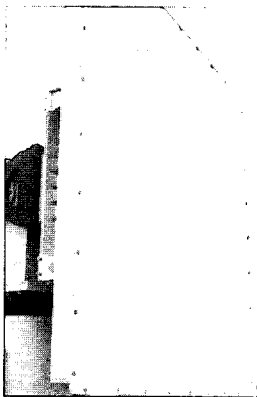


그림 9. UHF 송신 안테나
Fig. 9. UHF transmitting antenna.

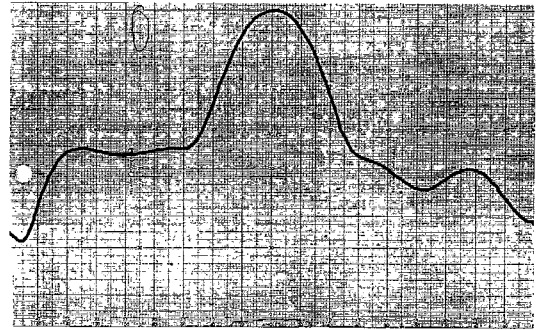


그림 10. UHF 송신 안테나의 측정 패턴
Fig. 10. Measured radiation pattern of the UHF transmitting antenna.

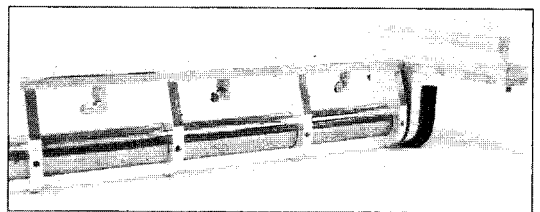


그림 11. UHF 수신 안테나
Fig. 11. UHF receiving antenna.

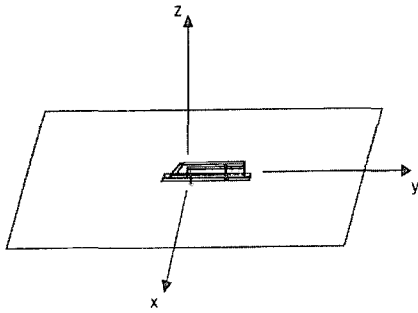
기를 기준으로 남쪽 방향으로 직선 비행하였으므로 전 시험 구간 동안 송신 안테나의 반치각 범위 내에 존재하게 된다. 그러므로 전파 손실 분석시 거리에 따른 송신 안테나의 패턴 변화는 고려되지 않았다.

수신 안테나는 UHF 대역의 역-F 안테나로서 그림 11과 같이 항공기의 끝단에 장착되었다.

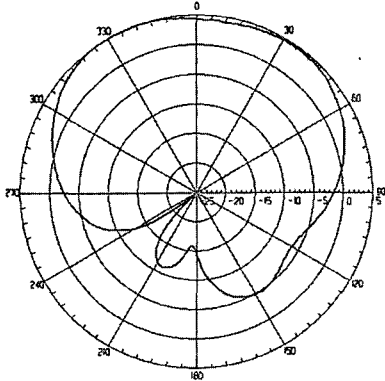
이때 수신 안테나가 장착된 항공기는 그림 6에서 보는 바와 같이 송신 지점을 기준으로 원거리를 향해 직선 비행하였으므로, 수신 안테나의 경우 그림 12(a)의 yz 평면상 방사 패턴만을 고려하게 된다. 또한 항공기가 비행시 수평을 유지하였으므로 그림 12(b)와 12(c)에서 보는 바와 같이 수직 편파만 수신 안테나에서 수신하게 된다^[11].

3-3-2 거리에 따른 반사 계수 분석

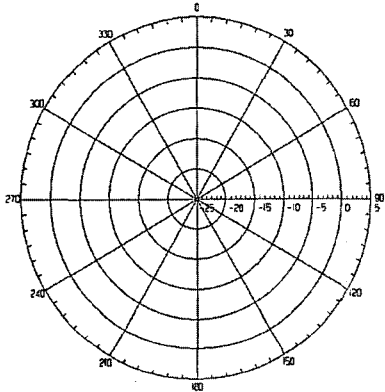
그림 13은 항공기 통신 시험 시 실측된 항공기의 위치 벡터로부터 비행 거리에 따른 해면 반사파의 해수면 입사각을 계산한 그래프이다. 그래프에서 알 수 있듯이 100 km 이상 비행하였을 때 해면 반



(a)



(b)



(c)

그림 12. (a) 역-F 안테나 해석에 사용된 좌표계, (b) yz 평면에서 역-F 안테나의 수직 편파 방사 패턴, (c) yz 평면에서 역-F 안테나의 수평 편파 방사 패턴

Fig. 12. (a) Coordinate system of the inverted-F antenna., (b) Vertical antenna pattern of the inverted-F antenna in the yz plane., (c) Horizontal antenna pattern of the inverted-F antenna in the yz plane.

사파의 반사면 입사각이 1.5° 이하의 작은 값을 가지게 됨을 알 수 있다.

식 (6)에서 알 수 있는 바와 같이, 산란 손실 계수는 반사면 굴곡의 표준 편차 σ_h 가 클수록 작아지고 전자파의 입사각이 작아질수록 커지는 것을 알 수 있다. 반사면 굴곡의 표준 편차 σ_h 는 유의 파고 H 와 $H=4\sigma_h$ 의 관계가 성립되므로, 시험 당일의 유의 파고 1.5 m로부터 σ_h 는 0.375 m를 고정하여 적용하였다^{[9],[10]}.

따라서 그림 13에서 보여진 비행 거리에 따른 입사각의 변화 및 시험 당일의 유의 파고로부터 식 (2-1)과 식 (6)을 통해 수직 편파 프레넬 반사 계수 및 산란 손실 계수를 산출하면, 식 (1)의 관계 식에

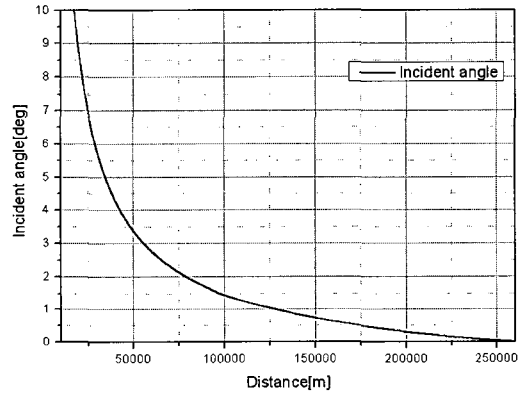


그림 13. 거리에 따른 입사각의 크기
Fig. 13. Magnitude of incident angle ϕ versus the distance.

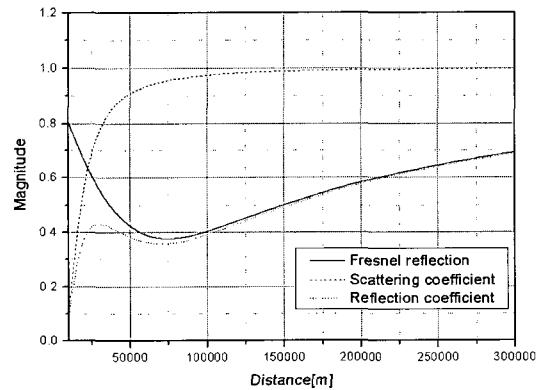


그림 14. 거리에 따른 반사 계수의 크기
Fig. 14. Magnitude of reflection coefficient versus the distance.

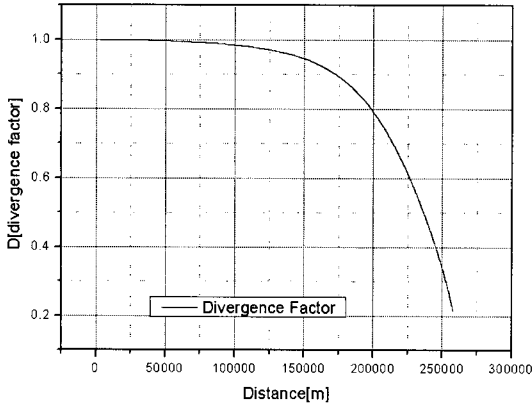


그림 15. 거리에 따른 발산 계수
Fig. 15. Divergence coefficient versus the distance.

따라 그림 14와 같이 평면 대지 모델을 기준으로 한 해면 반사파의 반사 계수를 구할 수 있다.

3-3-3 비행 거리에 따른 발산 계수 분석

발산 계수는 구면 대지 반사파의 전계 강도와 평면대지 반사파의 전계 강도의 비를 의미하는 것으로 앞에서 제시한 식 (5)로부터 구할 수 있다. 그림 15는 송신기가 해발 84 m에 위치하고 항공기가 고도 3 km를 유지하며 비행하는 상황에서 비행 거리에 따른 발산 계수의 변화를 분석한 것으로, 50 km부터 발산 계수가 서서히 감소하여 250 km 근방에서 급격하게 감소함을 알 수 있다.

3-3-4 비행 거리에 따른 전파지수 분석

그림 16은 항공기의 비행 거리에 따른 반사 계수의 변화 및 발산 계수 변화가 모두 고려되었을 때의 전파지수를 계산한 결과이다. 계산된 전파지수로부터 식 (3)과 (4)의 관계식을 통해 비행 거리에 따른 수신 신호의 세기를 예측할 수 있다. 그림 16에서 보여주는 전파지수는 구면 대지 반사 모델을 적용할 때의 전파지수를 보여주는 것으로, 직접파와 해면 반사파만이 고려된 경우와 추가적으로 섬에 의한 반사파까지 고려되었을 때의 전파지수의 차이를 보여준다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 70 km 이상 원거리의 비행 구간에서 섬을 고려한 경우와 섬이 고려되지 않았을 때의 전파지수의 차이가 존재함을 알 수 있는데, 섬이 고려된 경우 3-

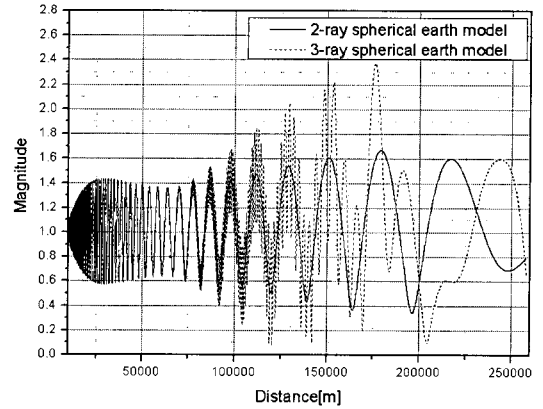


그림 16. 거리에 따른 전파지수
Fig. 16. Propagation factor versus the distance.

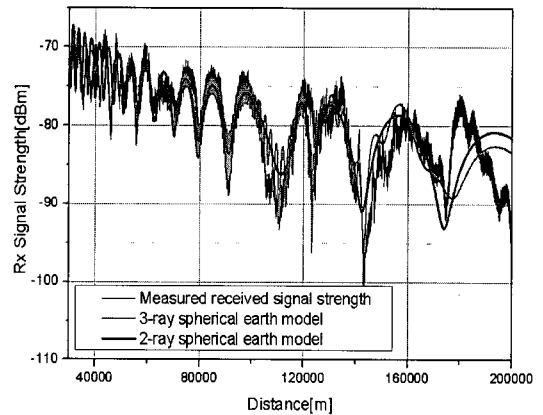


그림 17. 측정된 수신 신호 세기와 예측한 수신 신호 세기 비교
Fig. 17. Comparison of the measured result and analysed result.

ray 전파 모델을 설정하였을 때 전파지수의 변화의 크기가 커지고 주기도 빨라짐을 알 수 있다.

3-3-5 구면 대지 반사 모델링을 통한 수신 신호 세기 분석

구면 대지 반사 모델을 통해 전파 손실을 분석하기 위해서는, 먼저 반사파가 반사면에 입사되는 각도 및 직접파와 반사파의 경로차 등을 정확하게 계산해야 된다. 이를 위해서 본 논문에서 항공 통신 시험이 이루어진 조건 하에서의 등가 지구 반지름을 8,479 km로 설정한 후, 등가 지구원을 가정하였을 때 안테나 및 섬의 위치 좌표를 설정하여 항공

기의 좌표 변화에 따른 비행 고도 변화 및 수신 신호 세기의 변화를 예측하였다. 구면 대지 반사 모델 적용시 앞에서 제시한 바와 같이 통신 경로 상에 존재하는 섬을 고려하여 수신기에 도달되는 전자파가 직접파, 해면 반사파와 섬에 의한 반사파가 존재하는 것으로 설정하여 계산하였다. 이때 섬의 반사면 굴곡의 표준 편차 σ_h 는 1 m로 가정하였다.

그림 17은 식 (3) 및 송수신기 사이의 통신 링크 분석을 통하여 예측한 수신 신호 세기와 비행 시험을 통해 측정된 수신 신호 세기와 비교한 그래프이다. 그림 17의 결과로부터, 항공기를 이용한 장거리 지상-항공기 간 해상 통신 환경을 섬에 의한 반사파를 고려한 구면 대지 반사 모델로 정확하게 예측할 수 있음을 알 수 있다. 또한 그림 17에서 알 수 있는 바와 같이, 섬이 고려된 3-ray 전파 모델의 경우 섬이 고려되지 않은 경우와 비교하였을 때 원거리 비행구간에서의 수신 신호 세기의 변화를 보다 정확하게 표현할 수 있음을 확인하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 서해상에서 실시한 장거리 지상-항공기 통신 환경을 구면 대지 반사 모델로 구성하여 전파 경로 손실을 예측하고, 실제 측정된 수신 신호 세기와 비교 분석하였다. 일반적으로 해상 전파 경로 손실을 분석하는 연구에서는 직접파와 해면 반사파만을 고려한 경우가 대부분이나, 반사면에 대한 입사각이 매우 작아지는 장거리 해상 환경에서는 해수면 이외에 해수면 반사 지점 부근의 장애물에 의한 반사파 역시 고려되어야 한다.

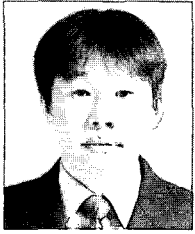
이번에 수행된 해상 통신 시험은 항공기에 탑재된 수신기에서 발생하는 수신 신호 세기로부터 100 km가 넘는 장거리 해상 통신 환경에서의 전파 손실 특성을 측정하기 위해 실시되었다. 특히 이번 통신 시험의 경우 장거리 해상 환경에서 이루어지는 시험이며 송신기로부터 약 50 km 정도 떨어진 위치에 영향을 줄 수 있는 섬이 존재하는 것으로 판단되어, 기존의 구면 대지 반사 모델에 해수면 상의 장애물에 의한 영향을 고려한 모델을 새로이 설정하여 실측값과 비교하였다. 설정된 모델을 통한 수신 신호

세기 예측을 위해서 항공기의 실제 비행 고도 및 송수신 안테나의 패턴들이 고려하여 수직 편파를 기준으로 분석하였으며, 이러한 요소들을 모두 고려하여 수신 신호 세기 예측값을 계산한 결과 실측값과 매우 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 이를 통해 장거리 해상 통신 환경에서의 전파 환경이 섬을 고려한 3-ray 전파 모델을 통해 분석 가능함을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] 서정욱, 정규석, "이동통신공학", 대한전자공학회, 2001년.
- [2] Robert E.O. Collin, *Antennas and Radiowave Propagation*, McGraw-Hill, 1985.
- [3] R. M. Schmalenberger, M. G. Edrich, "Channel modelling for wideband data communication in a maritime mobile environment", *IEEE/AFCEA*, pp. 150-154, May 2000.
- [4] David K. Barton, *Modern Radar System Analysis*, Artech House, 1988.
- [5] C. Balanis, R. Hartenstein, and D. Decarlo, "Multipath interference for in-flight antenna measurements", *IEEE Trans.*, vol. 32, Jan. 1984.
- [6] A. Nejat Ince, H. Paul Williams, "Design studies for reliable long-range ground-to-air communication", *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, vol. 15, Oct. 1967.
- [7] D. E. Kerr, *Propagation of Short Radio Waves. MIT Radiation Laboratory Series*, McGraw-Hill, pp. 396-444, 1951.
- [8] Theodore S. Rappaport, *Wireless Communications Principles and Practice*, Prentice-Hall, 2002.
- [9] John An, "Empirical analyses on maritime radio propagation", *VTC*, vol. 1, pp. 176-180, May 2004.
- [10] <http://marine.kma.go.kr>.
- [11] 박동철, 김태현, 서창용, 안경표, "원격측정 시스템의 통신링크 기법 연구", 국방과학연구소, 2004년.

김 균 회



2000년 2월: 충북대학교 정보통신 공학과 (공학사)
2002년 2월: 충북대학교 전파공학과 (공학석사)
2002년 1월~현재: 국방과학연구소 연구원
[주 관심분야] 무선이동통신, 전파

전파

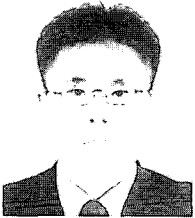
신 석 현



1990년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)
1992년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학석사)
1992년 3월~현재: 국방과학연구소 선임연구원
2003년 3월~현재: 충남대학교 전

파공학과 박사과정
[주 관심분야] 초고주파 필터, 전파전파

탁 윤 도



1999년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)
2001년 8월: 고려대학교 전파공학과 (공학석사)
2001년 7월~현재: 국방과학연구소 연구원
[주 관심분야] 초고주파회로 설계

및 해석, 전파전파