

UHF 대역 장거리 항공 통신 시험의 전파 손실 분석

장민수^{1*}, 김규환¹, 김재환¹, 이재문², 황찬호²
¹한화시스템, ²국방과학연구소

Analysis of UHF-Band Propagation Loss in Long-distance Air-to-Ground Communication Tests

Min-soo Chang^{1*}, Kyoo-hwan Kim¹, Jae-hwan Kim¹, Jae-moon Lee², Chan-ho Whang²
¹Satellite-Datalink Team Hanwha Systems, ²Agency for Defence Development

요약 본 논문에서는 지상 수신기와 항공기 탑재 송신기 간의 장거리 통신시험을 통해 UHF 대역의 전파 수신세기를 측정하고 그 결과를 분석하였다. 지상 수신기는 제주도 해발 1,100m 지점에 위치시키고 항공 탑재 송신기는 지상 수신기로부터 150km에서 220km 거리를 3.5km 이상의 고도로 비행하며 시험을 수행하였다. 이 경우 지상 수신기와 항공 송신기는 가시선(LOS ; Line of Sight)이 확보되는 환경이므로 자유공간손실(FSL ; Free Space Loss)을 토대로 결과를 예측하고 분석을 하는 경우가 일반적이다. 하지만 본 시험의 경우 지상 수신기와 항공 송신기 사이에 해수면이 존재하고, 장거리 통신 환경으로 인하여 반사면에 대한 입사각이 매우 작은 조건으로 직접 파의 자유공간손실 만으로는 정확한 예측 및 분석이 불가능하다. 따라서 주변에 장애물이 없고 두 안테나 사이 가시선이 확보되는 조건을 고려하여 평면 반사 모델과 구면 대지 반사 모델을 토대로 경로 손실을 예측하고 실제 시험결과와 비교하였다. 비교 결과, 구면 대지 반사모델에서 예측한 전파경로 손실 값과 실제 측정결과가 매우 유사한 특성을 보였다.

Abstract In this paper, we measured the propagation path loss by a ground to air flight communication test at UHF band and analyzed the results. The ground receiving terminal was located at 1,100m above sea level in Cheju Island and the airborne transmit terminal flew at an altitude of 3.5km from 150 to 220km from the ground terminal. In this case, the ground terminal and the airborne terminal are on the Line of Sight. Therefore loss in this communications environment can be predicted based on Free Space Loss. However, in this test, the sea level exists between two terminals, and due to the very small angle of incidence on the reflecting surface due to the long-range communication environment, it is not possible to accurately predict the loss of free space only. Therefore, considering that there are no surrounding obstacles and that a line of sight is secured between the end of two terminals, we applied a plane earth reflection model and a spherical earth reflection model to estimate the propagation path loss and compared with the actual test results. As a result of the comparison, the predicted propagation path loss by a spherical earth reflection model were quite similar to the actual test values.

Keywords : Aeronautical communications, Maritime communications, Propagation path loss, Spherical earth reflection model, UHF band

1. 서론

통신시스템 설계 시, 송신 출력 및 안테나 이득과 같

은 시스템 주요 사양을 결정하기 위하여, 고려해야할 중요한 항목 중 하나가 송/수신 간 전파 경로 손실이다. 지상 대 지상으로 통신하는 장비의 경우 Eglie 모델,

*Corresponding Author : Min-Soo Chang (Hanwha Systems Co.)

Tel: +82-10-9530-0182 email: ms79.chang@hanwha.com

Received April 24 2018

Revised (1st June 8, 2018, July 13, 2018)

Accepted August 3, 2018

Published August 31, 2018

Okumura 모델, Hata 모델 등이 있다. 이러한 모델들은 주파수 및 위치, 지형에 따라 이론적 혹은 경험적으로 손실을 예측하며, 두 가지를 복합적으로 이용하여 분석하기도 한다. [1][2][3]

지상 대 항공 간 통신하는 장비의 경우에는 LOS (Line of sight; 가시선) 상에 위치하는 경우가 대부분이므로 송/수신기 간의 직접 경로를 통한 직접파를 우선적으로 고려하여 전파 경로 손실을 예측한다. 그러나 LOS가 확보된다고 하여도 운용 조건이나 환경에 따라 산이나 빌딩과 같은 침점, 수분을 다량으로 함유하고 있는 대지면, 강이나 바다와 같은 수면으로 인한 반사파가 직접파에 영향을 주는 경우도 다수 존재한다. 특히 송/수신 경로 상 해수면이 존재할 경우 반사파의 영향이 더욱 커진다.

따라서 본 논문에서 다루고 있는 항공-지상 간 통신 시험에서 송/수신 경로 위에 해수면이 존재하는 경우, 직접파뿐만 아니라 해수면에 의한 강한 반사파가 영향을 미치게 될 것으로 예측된다. 이 때 수신기로 수신된 전력은 직접파와 반사파 사이에 발생하는 간섭의 영향을 받게 되며, 두 신호 간의 위상차에 따라 수신세기가 증가하거나 감소하는 현상이 발생한다. [1][4][5]

앞에서 언급한 바와 같이 본 논문에서는 항공-지상 간 통신 시험을 다루고 있다. 특히 경로 상 해수면을 포함하고 있는 장거리 항공 통신 환경에서의 UHF 대역 전파 손실을 측정하고 분석하였다. 이를 위해 지상 수신기를 제주도의 해발고도 1.1km인 지점에 위치시키고, 송신기를 탑재한 항공기는 지상 수신기로부터 150km ~ 220km 거리의 내륙에서 3.5km 이상의 고도로 비행하며 경로 손실을 측정하였다. 이 경우에 지상 수신기와 항공기 사이에 바다가 존재하기 때문에 해수면에 의한 반사파가 영향을 줄 것으로 예상되었다. 경로 손실 예측에는 지상 수신기와 항공기 간 거리 및 고도, 안테나의 방사패턴 등을 고려하였으며 전파 손실 모델의 경우 구면 대지 반사모델을 적용하여 수신 전력을 예측하고 실측값과 비교 분석하였다.

2. 본론

2.1 전파환경 모델

2.1.1 자유공간 손실 모델

자유공간 손실 모델은 송/수신기 간 직접파를 예측하는 모델이다. 서론에서 언급한 바와 같이 장애물이나 반사면이 존재하는 상황에서 경로 손실을 정확하게 분석하기는 어려우나, 거리에 따른 전자파의 진행을 예측하는데에 기초적인 특성을 설명하고 분석할 수 있는 점에서 그 의미가 있다.

송/수신 안테나가 LOS 상에 존재한다고 가정할 때 수신된 전력 P_R 은 식 (1)과 같다. 이 때 P_T 는 송신된 전력을, G_T/G_R 은 각각 송신/수신 안테나의 이득을 의미한다.

$$\frac{P_R}{P_T} = G_T G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (1)$$

위 식에서 볼 수 있듯이 자유공간 내 전파 손실은 거리 d 의 제곱에 반비례한다. 식 (1)을 통하여 유도한 자유공간 손실 L_{FSL} (FSL; Free Space Loss)는 식 (2)와 같이 표현할 수 있다. [2][5][6]

$$L_{FSL} [dB] = 32.44 + 20 \log_{10} f_{MHz} + 20 \log_{10} d_{km} \quad (2)$$

2.1.2 평면 반사 모델

앞 절에서 언급한 바와 같이 자유공간 손실 모델은 현실적으로는 매우 드문 경우에만 사용이 가능한 모델이다. 실제 전자파의 진행 경로 근처에 대부분 장애물이 존재하거나, 반사파의 크기가 작은 입사각으로 인하여 직접파에 영향을 줄 만큼 크게 형성되는 경우가 대부분이다. 이러한 반사파에 의한 입력 전파 세기를 예측하기 위하여 평면 반사 모델을 먼저 살펴보도록 하겠다.

평면 반사 모델은 Fig.1에서 보는 바와 같이 대지면이 평면이라고 가정하여 반사파를 계산하고 이를 직접파와 결합하여 입사파의 전력 세기를 예측하는 모델이다. 이 때 수신 전력은 직접파와 간접파의 합으로 예측하며, 두 안테나의 거리 d 가 안테나의 높이 h_1, h_2 에 비해 월등하게 클 경우 식 (3)과 같이 근사화 할 수 있다. [3][7]

$$|E| = 2|E_d| \sin \left(\frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d} \right) \quad (3)$$

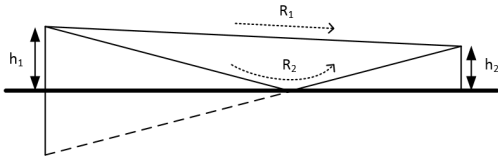


Fig. 1. Propagation over a plane earth

2.1.3 구면 대지 반사 모델

앞 절에서 살펴본 평면 반사 모델의 경우 실제 지구의 형태가 구형이기 때문에 두 안테나 사이의 거리가 멀어질 경우 심각한 오차를 발생시킬 수 있다. 따라서 수십 km 이상의 장거리 통신 시 전파를 예측 시 한계가 있을 수 있다.

본 절에서는 장거리 통신 환경에서 경로 상 해수면을 포함하는 항공-지상 간 통신 환경과 같이, 장애물의 영향이 거의 없고 반사파만 존재하는 경우에 대한 분석을 위하여 구면 대지 반사 모델을 살펴보려고 한다.

구면 대지 반사 모델은 Fig.2에서 보는 바와 같이 두 안테나가 LOS 상에 위치하고, 주변 장애물이 없이 반사면만 존재하는 모델이다. 구면 대지 반사 모델에서 수신 안테나에 수신되는 전력은 가시선 경로로 수신되는 전력과 지면 반사파를 통하여 전달받는 경로의 전력 합으로 표현된다. [7]

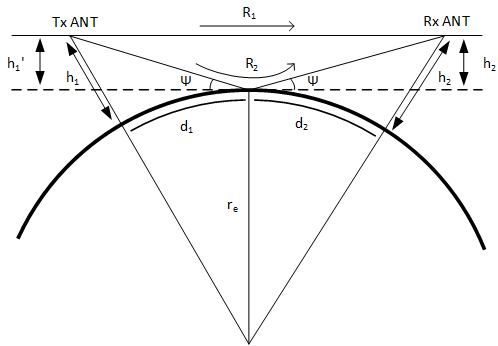

 Fig. 2. Two mutually visible antennas located above a smooth, spheric Earth of effective radius r_e

Fig.2에서 지면에서의 두 안테나 높이를 각각 h_1 , h_2 이라고 할 때 반사 지점의 지구 곡면 접선과 각 안테나와의 수직거리인 h_1' 과 h_2' , 반사파의 입사각 ψ , 각 안테나와 반사지점 사이 거리 d_1 , d_2 는 식 (4) ~ 식 (9)와

같이 근사화 할 수 있다. [6]

$$h_1' = h_1 - \frac{d_1^2}{2r_e}, \quad h_2' = h_2 - \frac{d_2^2}{2r_e} \quad (4)$$

$$\psi = \frac{h_1'}{d_1} = \frac{h_2'}{d_2} \quad (5)$$

$$d_1 \simeq \frac{d}{2} + p \cos\left(\frac{\Phi + \pi}{3}\right) \quad (6)$$

$$d_2 = d - d_1 \quad (7)$$

$$p = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{r_e(h_1 + h_2) + \frac{d^2}{4}} \quad (8)$$

$$\Phi = \cos^{-1}\left[\frac{2a_e(h_1 - h_2)d}{p^3}\right], \quad (h_1 \leq h_2) \quad (9)$$

두 안테나 가시선 전파의 수신 전계 세기를 E_d 라고 할 때, 반사파를 포함한 전파의 수신 전계 세기 E 는 식 (10)과 같다. [3][7]

$$E = E_d(1 + D\rho e^{-j\Delta\phi}) \\ = E_d[1 + D|\rho|e^{-j(\Delta\phi - \theta)}] \quad (10)$$

$$\Delta\phi \simeq \frac{4\pi h_1' h_2'}{d}, \quad (d \gg h_1', h_2') \quad (11)$$

이 때 ρ 는 반사 지점의 반사계수, D 는 반사파의 발산계수이며 각각 2.1.2.1절과 2.1.2.2절에서 살펴보도록 하겠다.

2.1.3.1 반사계수

구면 대지 반사 모델의 해석을 위하여 가장 우선적으로 살펴봐야 할 것이 반사계수 ρ 이다. 지면 반사파의 크기와 위상은 반사계수에 의존하며, 지면의 특정 지점에서의 반사파는 수평 편파와 수직 편파로 나누어질 수 있

다. 실제 지표면에서의 반사는 완벽한 도체 및 유전체 반사와 같지 않으며, 이러한 이유로 수평편파 반사계수 ρ_h 와 수직편파 반사계수 ρ_v 는 식 (12) ~ 식 (14)와 같이 복소수 형태로 표현된다. 이러한 반사계수는 반사지점 지표면의 상대유전율 ϵ_r 과 전도율 σ , 송신 전파의 각속도 ω 에 따라 변하게 된다. [4][7]

$$\rho_h = \frac{\sin \psi - \sqrt{(\epsilon_r - jx) - \cos^2 \psi}}{\sin \psi + \sqrt{(\epsilon_r - jx) - \cos^2 \psi}} \quad (12)$$

$$\rho_v = \frac{(\epsilon_r - jx) \sin \psi - \sqrt{(\epsilon_r - jx) - \cos^2 \psi}}{(\epsilon_r - jx) \sin \psi + \sqrt{(\epsilon_r - jx) - \cos^2 \psi}} \quad (13)$$

$$x = \frac{\sigma}{\omega \epsilon_0} = \frac{18 \times 10^9 \sigma}{f_{Hz}} \quad (14)$$

여기에서 매우 작은 입사각 ψ 에 대하여, 주파수 대역과 지면 조건에 상관없이, 수평 편파 반사계수 ρ_h 로 인한 반사파는 입사파에 대비하여 동일한 크기와 180°의 위상차를 지닌다. 이를 식으로 간략화하면 식 (15)와 같다.

$$\rho_h = |\rho_h| e^{j\theta} = 1 e^{j\pi} = -1 \quad (15)$$

하지만 입사각 ψ 가 커지면 $|\rho_h|$ 와 θ 가 변하게 되며, 특히 주파수가 증가할 때와 지표면의 전도율이 작아질 때 그 변화가 급격하게 일어난다. Fig.2는 이러한 특성을 나타낸다. [5][7]

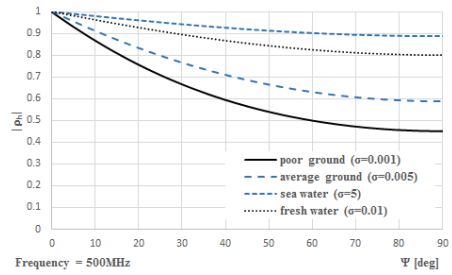
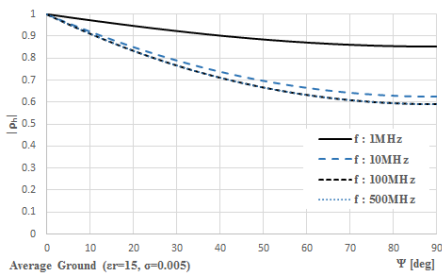


Fig. 2. Magnitude of the reflection coefficients for the ground as a function of incidence angle ψ

2.1.3.2 발산계수

구면 대지 반사 모델에서의 반사파는 Fig.3에서 보이는 바와 같이 지구 곡면에 의하여 발산하는 특성을 가지고 있다.

이러한 특성을 수치화 한 것이 발산계수이며, 발산계수 D 는 반사파의 전계 세기와 구면 대지 반사파의 전계 세기의 비로 정의된다. 이를 근사화한 식은 식 (16)과 같다. [7]

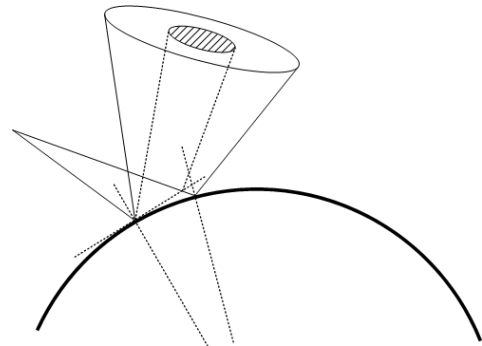


Fig. 3. Divergence of reflected rays from a spherical surface

$$D \approx \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2d_1 d_2}{r_e (h_1' + h_2')}}}} \quad (16)$$

2.1.3.3 전파지수

2.1.2절 식 (9)에서 반사파를 포함한 수신세기 E 는 식 (17) ~ (18)과 같이 대체될 수 있다.

$$E = E_d (1 + D \rho e^{-j\Delta\phi}) = E_d F \quad (17)$$

$$F = 1 + D \rho e^{-j\Delta\phi} \quad (18)$$

이 때 F 는 전파지수이며 가시선의 전개 세기와 수신된 총 전개 세기의 비로 정의된다. [3][7]

2.2 항공 통신 시험

2.2.1 항공 시험 개요

Fig.5에 본 논문에서 분석한 항공-지상 간 통신 시험의 항공기 이동 위치 및 지상 수신기 위치를 표시하였다. 항공기는 지상 수신기로부터 150km 지점과 220km 지점을 왕복하는 경로 상에서 시험하였고, 시험 시 항공기 운행 고도는 3.5 ~ 3.8km이다. R_Point 220, R_Point 150은 비행 고도 3.5km 조건에서 반사지점을 표시한 것으로 본 논문의 항공 통신 시험에서 반사지점은 모두 주변 장애물이 없는 바다에서 형성됨을 알 수 있다. Fig.4는 비행 고도 3.5km 조건에서의 항공-지상 간 가시선 확보 여부를 확인한 결과를 나타낸다.

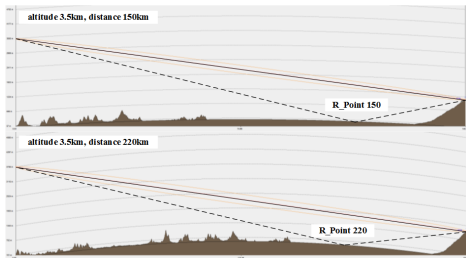


Fig. 4. LOS and reflection path of the air-to-ground communication

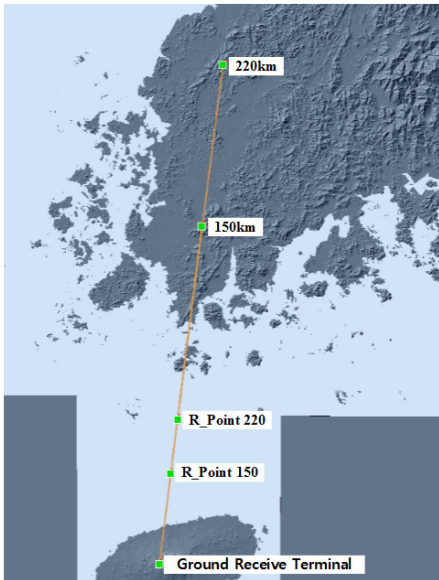


Fig. 5. Test range of the air-to-ground communication

본 논문의 항공-지상 간 통신 시험 환경을 살펴볼 때, 항공 송신기와 지상 수신기 사이 가시선이 확보되어 있고 반사지점 주변에 장애물 등이 없는 것으로 확인되었다. 이는 2.1.2절에서 살펴본 구면 대지 반사 모델과 매우 유사한 환경임을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 구면 대지 반사 모델을 적용하여 시험 결과에 대한 분석을 진행하였다.

2.2.2 항공 시험 결과

2.2.2.1 UHF 대역 전파 환경 측정 결과

본격적인 항공-지상 간 통신 시험에 앞서 시험 결과에 영향을 줄 수 있는 외부 전파 환경을 측정하였다. 측정은 지상 수신기 지점에서 이루어졌으며 결과는 Fig.6과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 상대적으로 전개 세기가 큰 CW(Continuous Wave) 신호 다수와 특정 주파수 대역 내의 변조신호가 관찰이 되었다. 시험을 진행하는 주파수 대역 내에서도 시간적으로 변화하는 신호가 감지되었으며, 따라서 시험 결과 분석 시 외부 신호로 인한 주파수 간섭 영향에 대해서도 함께 고려하였다.

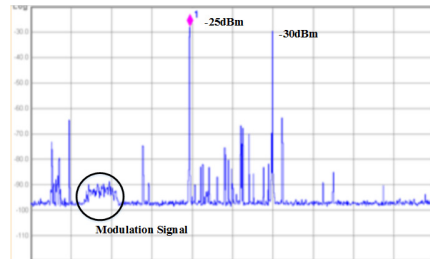


Fig. 6. Result of measurement unwanted spectrum for UHF band at near by ground terminal

2.2.2.2 수신 신호 세기 측정 결과

Fig.7 ~ Fig.9는 항공-지상 간 통신 시험에서 측정된 수신 신호 세기를 거리에 따라 나타낸 그래프이다. 주파수는 UHF 밴드이며 송/수신 케이블 손실 합은 약 1.5dB이다. 송신 안테나 이득은 0dBi, 수신 안테나 이득은 6dBi이며 송신기 안테나 포트 기준 송신 출력은 40dBm으로 설정하였다. 그림에서 보는 바와 같이 거리가 증가함에 따라 전체적인 수신 신호 세기가 감소하는 경향을 알 수 있다. 또한 거리에 따라 주기적으로 감소와 증가가 반복되는 특정 패턴을 발견할 수 있다. 일부 구간에서는 외부 간섭 신호로 인하여 신호 세기가 급격하여 변화되는 부분이 확인되었다. 이는 특정 지역에 외부 간섭 신호

가 있는 것이 아니라, 2.2.2.1절에서 관측된, 시간에 따라 변화하는 외부 간섭 신호로 인한 영향으로 추측할 수 있다.

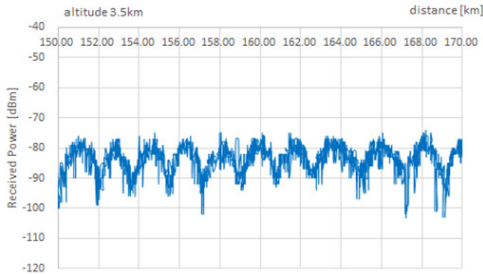


Fig. 7. Received power strength of Test#1 by distance (distance : 150~170km, altitude of flight : 3.5km)

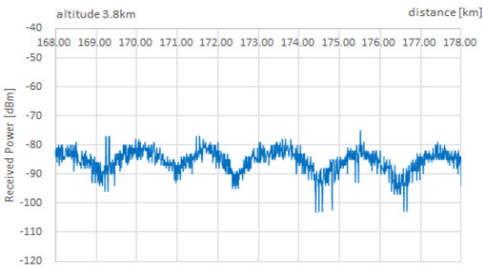


Fig. 8. Received power strength of Test#2 by distance (distance : 168~178km, altitude of flight : 3.8km)

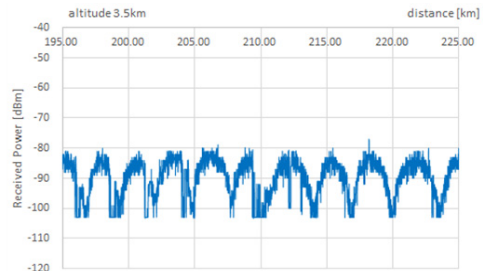


Fig. 9. Received power strength of Test#3 by distance (distance : 195~225km, altitude of flight : 3.5km)

2.2.3 항공 시험 결과 분석

2.2.3.1 안테나 이득 산출

본 논문의 항공-지상 간 통신 시험에서 사용된 송신기와 수신기 안테나는 모두 UHF 대역 무지향성 안테나이며 안테나 방사 패턴은 Fig.10과 같다.

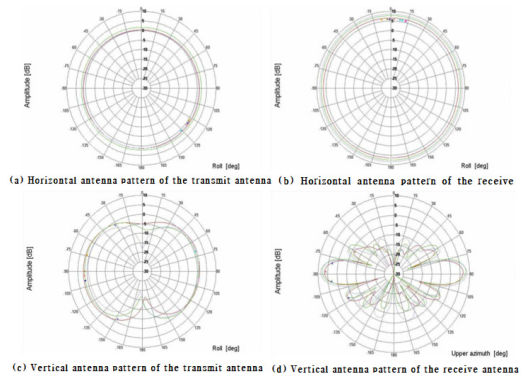


Fig. 10. (a) Horizontal antenna pattern of the transmit antenna, (b) Horizontal antenna pattern of the receive antenna, (c) Vertical antenna pattern of the transmit antenna, (d) Vertical antenna pattern of the receive antenna

지상 수신 안테나가 해수면 기준 약 1km 고도 지점에 위치하고 비행고도 3.5km와 3.8km일 때의 조건에 대하여 지상 및 탑재 안테나가 서로 지향하는 방위각의 변화는 약 0.1°, 고각의 변화는 0.4° 이내이다. 이 때 송/수신 안테나의 이득은 거리에 따라 방위각 방향 변화량은 약 0.1dB 이내이며, 고각 방향 변화량은 약 0.3dB 이내로 극히 적음을 확인하였다. 따라서 본 논문에서는 거리에 따른 안테나 이득의 변화가 없다고 가정하고 안테나 이득을 최댓값으로 고정하여 계산하였다.

2.2.3.2 거리에 따른 발산계수 및 전과지수

Fig.11은 식 (16)로부터 계산된 거리에 따른 발산계수 크기에 대한 그래프이다. 비행고도 3.5km와 3.8km 조건이며, 등가 지구 반지름 r_e 는 8,479km로 설정하였다. 그 결과 그림에서 보는 바와 같이 거리 50 ~ 300km 구간에 대해 발산계수의 크기는 1에 근접한 값에서 거리가 증가함에 따라 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 비행고도 3.5km와 3.8km 사이의 발산계수 크기 차는 크지 않은 것도 확인할 수 있다.

Fig.12는 본 논문의 항공-지상 간 통신 시험 환경에서 거리에 따른 입사각을 나타낸 그래프이다. 그림에서 볼 수 있듯이 시험 구간 150 ~ 220km 사이 입사각은 0.7 ~ 1.4°로 매우 작음을 확인할 수 있다. Fig.12로부터 얻은 입사각과 식 (18)을 이용하여 계산된 거리에 따른 전과지수 크기의 그래프는 Fig.13과 같다. 2.2.1절에서 살펴본 바와 같이 반사지점이 해수면이기 때문에 반사계수

ρ 를 산출하기 위한 상대유전율 및 대지 전도도는 sea water ($\epsilon_r = 81, \sigma = 5$) 조건으로 적용하였다. 발산계수와 마찬가지로 비행고도 3.5km와 3.8km 조건에서 값을 산출하였고, 전파지수 역시 고도에 따른 차이는 크지 않음을 확인할 수 있다. 거리에 따른 전파지수 크기 진폭은 발산계수 크기와 비례하여 거리가 증가함에 따라 감소하며, 고점 간 간격은 거리가 증가함에 따라 거리 간격이 증가함을 알 수 있다.

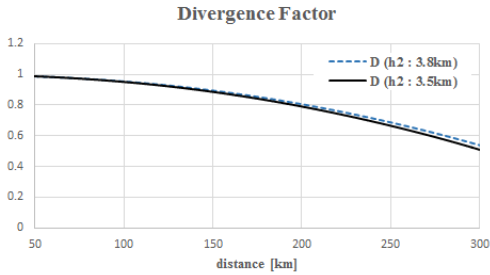


Fig. 11. Magnitude of divergence factor D by distance

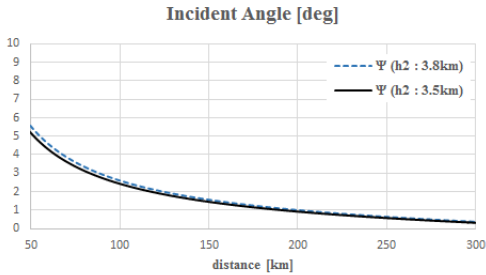


Fig. 12. Incident angle ψ by distance

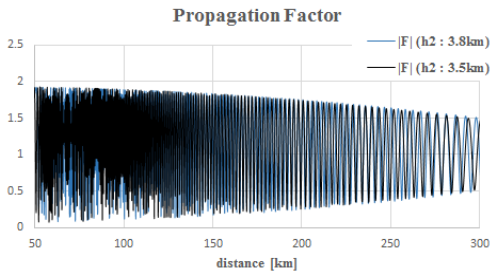


Fig. 13. Magnitude of propagation factor F by distance

2.2.3.3 거리에 따른 수신 전력 예측

앞 절에서 살펴본 발산계수 및 전파지수를 활용하여 거리에 따라 예상되는 수신 전력의 크기를 Fig.14에 표

현하였다. 수신 안테나는 해수면 기준 고도 약 1km에 존재하는 것으로 계산하였으며 주파수는 UHF 대역에서 살펴보았다. 그 결과 Fig.14에서 보는 바와 같이 수신 전력 고점의 변화는 자유공간 손실로 인한 전력 감소와 동일하게 거리가 증가함에 따라 그 크기가 감소하였다. 또한 전파지수 크기 변화와 같이 거리가 증가하면서 수신 전력 크기가 주기적으로 상승, 하강하는 특정 패턴을 살펴볼 수 있다. 특히 거리가 멀어질수록 상승, 하강하는 거리 간격이 넓어짐을 알 수 있다.

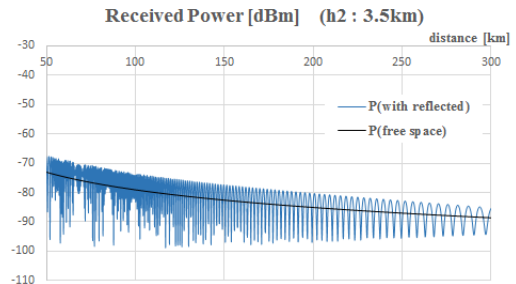


Fig. 14. Analysed result for the magnitude of received power by distance

2.2.3.4 수신 신호 세기 분석

본 논문에서는 항공 시험 결과 분석을 위하여 항공 송신기 및 지상 수신기의 고도, 좌표 등을 활용하였다. 또한 송신기와 수신기 사이에 가시선이 확보되고 반사지점이 주변 장애물이 없는 점을 고려하여 구면 대지 반사 모델을 가정하여 분석을 진행하였다. 또한 구면 대지 반사 모델의 적합성을 살펴보기 위하여 자유공간손실 모델과 평면 반사 모델의 예측 결과와 함께 분석하였다. 앞 절에서 살펴본 바와 같이 반사지점이 해수면인 특성을 고려하여 반사계수, 발산계수, 전파지수 등을 산출하였다.

앞 절에서의 분석 결과와 실제 항공 시험의 실측치를 Fig.15 ~ 17에 비교하였다. 시험 전 예측한 바와 같이 자유공간 손실 모델의 예측 수신 전력 세기(P_{FS})와는 큰 차이를 보임을 알 수 있다. 평면 반사 모델 예측 수신 세기(P_{FE})와 구면 대지 반사 모델 예측 수신 세기(P_{SE})의 경우 거리에 따른 수신 전력 세기 패턴은 유사하나 그 크기 및 간격에 대해서는 미세한 차이가 있음을 알 수 있다. 이 예측 결과와 실제 측정 결과를 비교해보면 평면 반사 모델(P_{FE})에 비해 구면 대지 반사 모델(P_{SE})이 매우 유사함을 알 수 있다.

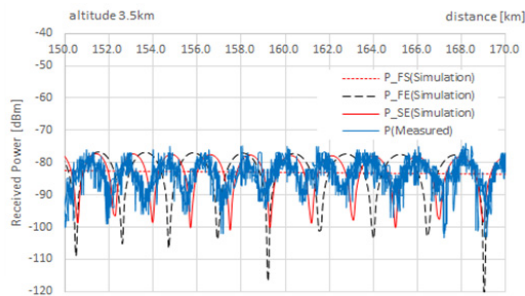


Fig. 15. Comparison of the simulation and measured results (Test#1, distance : 150~170km, altitude of flight : 3.5km)

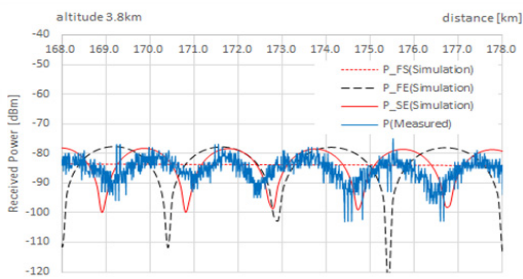


Fig. 16. Comparison of the simulation and measured results (Test#2, distance : 168~178km, altitude of flight : 3.8km)

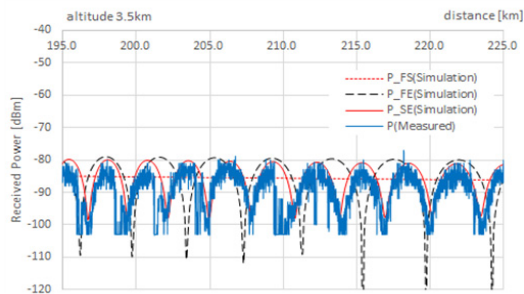


Fig. 17. Comparison of the simulation and measured results (Test#3, distance : 195~225km, altitude of flight : 3.5km)

하지만 일부 구간 분석 값과 실측치 상 차이가 미세하게 존재함을 볼 수 있다. 이는 외부 전파 간섭 및 외부 환경 요인에 의한 왜곡 등에 의한 영향으로 예측된다. 그럼에도 불구하고 전반적으로 거리에 따른 수신 전력 크기 및 거리에 따라 변화하는 추세가 상당 부분 유사함을 확인할 수 있다. 따라서 UHF 대역 항공-지상 간 장거리 통신의 전파 손실 분석을 위하여 구면 대지 반사 모델을 활용하는 것이 유의미하다는 것을 확인할 수 있었다.

3. 결론

본 논문에서는 UHF대역 장거리 항공 통신 환경의 전파 경로 손실을 예측하고 실제 비행시험을 통해 측정된 경로 손실 값과 비교 분석 하였다. 지상 수신기는 제주도 해발 1,100m 지점에 위치시키고 항공 탑재 송신기는 지상 수신기로부터 150km에서 220km 거리를 3.5km 이상의 고도로 비행하며 시험을 수행하였다. 지상 수신기와 항공기 탑재 송신기 간 장거리 통신에 있어서, 경로 상 가시선이 확보되고 반사지점이 주변 장애물이 없는 점을 고려하여 구면 대지 반사 모델을 가정하였다. 해당 모델을 이용하여 전파 경로 손실을 예측하고 실제 측정 결과를 분석을 진행하였다. 자유공간 손실 모델이나 평면 반사 모델에 비하여 구면 대지 반사모델의 예측 값과 실제 측정치는 매우 유사한 결과를 얻을 수 있었으며 이를 통해 장거리 항공 통신의 경우 구면 대지 반사 모델을 적용한 경로 손실 예측이 적절함을 확인하였다. 향후 유사 시험에 대한 결과 값을 분석하거나 예측함에 있어 본 논문의 전파 모델 분석이 도움이 될 것으로 기대한다.

References

- [1] John S. Seybold, Introduction to RF Propagation, John Wiley & Sons, Ltd., p.1-36, p.134-161, 2005.
- [2] Saleh Faruque, Radio Frequency Propagation Made Easy, Springer International Publishing Switzerland, p.19-47, 2015.
- [3] Robert E. Colling, ANTENNAS AND RADIOWAVE PROPAGATION, McGraw-Hill Book Company, p.339-451, 1985.
- [4] Hamish Meikle, Modern Radar Systems, Artech House INC., p.169-181, 2001.
- [5] SIMON R. SAUNDERS, ALEJANDRO ARAGON-ZAVALA, ANTENNAS AND PROPAGATION FOR WIRELESS COMMUNICATION SYSTEMS, 2nd Edition, John Wiley & Sons, Ltd., p.37-59, p.89-103, 2007.
- [6] I. S. Han, J. H. Sohn, M. S. Park, "A study on analysis model for real radio spectrum data correlation in High-Mountain Area", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.17, No.5 pp.697-708, 2016.
DOI: <https://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.5.697>
- [7] J. D. Parsons, The Mobile Radio Propagation Channel 2nd Edition, p.15-68, 2000.

장 민 수(Min-Soo Chang)

[정회원]



- 2005년 7월 : 한양대학교 전자전기 컴퓨터공학부 (공학사)
- 2005년 7월 ~ 2016년 3월 : 삼성 전자 책임연구원
- 2016년 4월 ~ 현재 : 한화시스템 전문연구원

<관심분야>
정보통신, 전파공학

이 재 문(Jae-Moon Lee)

[정회원]

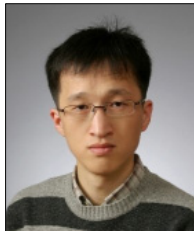


- 2000년 2월 : 한양대학교 전기전자 공학부 (공학사)
- 2002년 2월 : 한양대학교 전기전자 공학부 (공학석사)
- 2016년 8월 : 아주대학교 컴퓨터공학부 (공학박사)
- 2002년 2월 ~ 현재 : 국방과학연구소 선임연구원

<관심분야>
무선통신네트워크, 무인기데이터링크

김 규 환(Kyo-Hwan Kim)

[정회원]



- 1998년 2월 : 광운대학교 전자공학과 (전자공학사)
- 2000년 2월 : 광운대학교 전자공학과 (전자공학석사)
- 2008년 4월 ~ 현재 : 한화시스템 전문연구원

<관심분야>
초고주파회로, RF시스템

황 찬 호(Chan-Ho Whang)

[정회원]



- 2013년 8월 : 한국해양대학교 전과 공학과 (전과공학사)
- 2015년 8월 : 한국해양대학교 전과 공학과 (전과공학석사)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 국방과학연구소 연구원

<관심분야>
디지털 통신, 신호처리

김 재 환(Jae-hwan Kim)

[정회원]



- 1998년 2월 : 아주대학교 전기전자 공학부 (공학사)
- 2014년 9월 : 성균관대학교 전자전기 공학과 (공학석사)
- 1998년 1월 ~ 2000년 2월 : 삼성 전자 연구원
- 2000년 2월 ~ 현재 : 한화시스템 수석연구원

<관심분야>
무선통신 시스템