

# 무선 멀티미디어 서비스를 위한 해수면에서의 전파전파 특성에 관한 연구

정희원 최 동 유\*, 한 승 조\*

## A Study on the Wave Propagation Characteristics for the Wireless Multimedia Service over the Sea

Dong You Choi\* Seung Jo Han\*\* *Regular Members*

### 요 약

지금까지 무선 멀티미디어 서비스 이용자가 많은 육상 생활공간에서는 전파 특성을 정량적으로 예측하기 위한 많은 연구와 함께 전파 예측 모델이 제안 되었다. 그러나 육상과 물리적 계층 구조가 다른 해상에서의 이러한 노력은 부족하며, 일반적으로 자유공간 전파 예측 모델을 많이 활용하고 있는 실정이다.

따라서 본 논문에서는 해수면과 그 공간을 대상으로 1950 Mhz 대역 신호에 대한 전파 경로 손실을 실측하고, 그 결과를 자유공간에서의 전파 경로 손실 예측값과 비교·분석 하였다.

**Key Words** : CDMA, Wave propagation, Path loss, Prediction model

### ABSTRACT

A number of studies have been conducted to quantitatively predict the nature of propagation in inhabited areas on land having many wireless multimedia service users, resulting in a number propagation prediction models being proposed. However, since very few such studies have been conducted for the sea, which has a different physical layer structure from land, the propagation prediction model for free space has been commonly used. In this study, we measured the propagation path loss of a 1950Mhz band signal over the sea surface, and analyzed the results by comparing them with the path loss data of a propagation prediction model in free space.

### I. 서 론

21세기 고도 정보사회 실현을 위한 정보의 폭발적 증가와 사용자들의 다양한 멀티미디어 서비스에 대한 욕구가 증대됨에 따라 단순히 “듣고, 말하는” 미디어형 서비스에서 “보고, 즐기는” 기능을 더하여 멀티미디어형 서비스로 급속히 발전하고 있다. 보편적 서비스 기준에서 볼 때, 대도시와 주거 밀집지역

에 대한 무선 멀티미디어 서비스는 비교적 만족한 수준에 이르렀다. 그러나 이용자 분포가 낮아 경제성이 미흡한 원·근거리 해상에 대한 무선 멀티미디어 서비스 수준은 매우 낮다. 그러므로 해상에 대한 무선 멀티미디어 서비스는 대도시와 동일한 수준으로 향상되어야 할 것이다.

실제, 육상에서의 전파 특성을 정량적으로 예측하기 위한 연구와 함께 많은 전파 예측 모델이 개

※ 이 논문은 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2007-331-D00281).

\* 조선대학교 전자정보공과대학 정보통신공학과 (dychoi@chosun.ac.kr)

논문번호 : 08048-0721, 접수일자 : 2008년 7월 21일

발 되었으나, 해상에서의 이러한 노력은 부족한 실정이다. 따라서 무선 멀티미디어 서비스를 위한 원·근거리 서비스의 경영적자, 기지국 건설장소의 부재 그리고 위치 선정의 어려움 등이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법 중 하나는 해수면 전파 경로 손실을 정확히 예측하여 한 기지국 당 서비스 영역을 최적화함으로써 시설 투자비와 유지 보수비를 줄이는 것이다.

따라서, 본 논문에서는 해수면과 그 공간을 대상으로 1950 Mhz 대역 신호에 대한 전파 경로 손실을 실측하고, 그 결과를 해상에서 전파 경로 손실의 예측을 위해 많이 활용되어지고 있는 자유공간 전파 경로 손실 예측 모델<sup>[1]</sup>의 예측값과 비교·분석함으로써 그 실용성과 타당성을 검증하고자 한다.

## II. 해수면 전파 환경과 전파 경로

### 2.1 해수면 전파 환경 분석

식 (1)은 자유공간에서의 전파 예측 모델이다. 이 때, 자유공간이란, 송·수신점 사이의 전반 공간이 균질등방성으로 굴절, 회절, 반사, 산란 등의 현상을 일으키지 않고 파의 방산에 의한 감쇠만을 고려하면 되는 공간을 말한다. 이상적으로는 무한히 넓은 진공 공간에 등방성 안테나만이 존재하는 경우가 이에 해당된다.

$$P_{r(free)} = \frac{P_t}{(4\pi d/\lambda)^2} \quad [W] \quad (1)$$

여기서,

$d$  : 경로 길이[m]

$\lambda$  : 파장[m]

$P_t$  : 송신전력[W]

$P_{r(free)}$  : 자유공간에서의 수신전력[W]

한편, 전파가 해수면을 통하여 전파되는 경우 육상의 전파 모델과 다르다. 즉, 수면 반사파의 경우 주위에 장애물이 없기 때문에 전파의 세기가 강하며, 반사파 역시 표 1과 같이 전계강도가 크기 때문에 이동국의 총 수신전력은 직접파, 해수면 반사파, 지표 반사파의 합이 된다.

표 1. 반사면에 따른 반사 감쇄량<sup>[2]</sup>

(단위: dB)

반사면 종류 주파수[GHz]	수면	논	밭	도시, 숲, 산악
2	0	2	4	10
4 ~ 6	0	2	6	14
11 ~ 12	0	2	8	16

따라서 육상에서 전파될 때보다 다른 기지국과 이동국에 더욱 심한 간섭을 주기 때문에 특별한 관심과 배려가 필요하다. 해수면을 통한 수신전력은 식 (2)와 같다<sup>[3]</sup>.

$$P_{r(sea)} = \frac{P_t}{(4\pi d/\lambda)^2} \times |1 - e^{j\Delta\phi_1} - e^{j\Delta\phi_2}|^2 \quad [W] \quad (2)$$

여기서,

$\Delta\phi_1$  : 직접파와 지표 반사파간의 전파 경로차

$\Delta\phi_2$  : 직접파와 수면 반사파간의 전파 경로차

$P_{r(sea)}$  : 해상에서의 수신전력[W]

이 때, 식 (2)에서 두 반사파의 전파 경로차  $\Delta\phi_1$  와  $\Delta\phi_2$ 가 충분히 작아  $\Delta\phi_1$ 과  $\Delta\phi_2$ 에 극한값 0을 취하면 해수면에서의 전파 경로손실 예측 모델은 식 (3)과 같이 간략화 할 수 있으며, 식 (1)의 자유공간에서의 전파 예측 모델과 같다. 그러므로 실제 해상에서의 전파 경로손실을 예측하기 위하여 일반적으로 자유공간에서의 전파 예측 모델 식 (1)을 간단히 활용하고 있다<sup>[3]</sup>.

$$\begin{aligned} P_{r(sea)} &\approx \frac{P_t}{(4\pi d/\lambda)^2} |1 - j(\Delta\phi_1 + \Delta\phi_2)|^2 \\ &\approx \lim_{\Delta\phi_1, \Delta\phi_2 \rightarrow 0} \frac{P_t}{(4\pi d/\lambda)^2} [1 + (\Delta\phi_1 + \Delta\phi_2)^2] \\ &\approx \frac{P_t}{(4\pi d/\lambda)^2} \quad [W] \quad (3) \end{aligned}$$

즉, 일반적으로 도심환경에서의 전파 경로손실은 실험적으로 볼 때 환경에 따라 20~50 dB/dec 정도이며, 해상에서의 전파 경로손실은 약 20 dB/dec 정도를 적용하고 있다<sup>[4,6]</sup>.

### 2.2 해수면 전파 경로 분석

해상에서의 전파 경로 변화에 따른 전파전파 (wave propagation) 특성을 분석하기 위하여 수신전력 실측과 더불어 가장 중요한 문제는 실측된 약 140,000여 개의 매우 많은 GPS (Global Positioning System)의 UTM 좌표를 도(°) 분(') 초(")의 형태로 변환하고, 변환한 위치 정보로부터 송신국과 이동국간의 거리를 정확히 계산하는 것이다. 그러나 실측지역의 거리가 멀어 평면이 아닌 곡선이 되어지기 때문에 평면지도상에서 단순히 측적을 이용하여 거리를 계산하면 매우 큰 오차를 유발

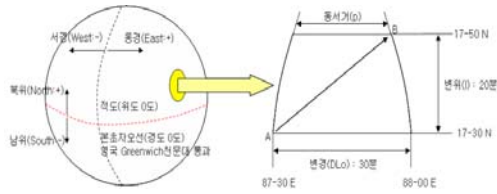


그림 1. 지구의 기하학적 모형

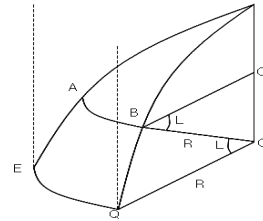


그림 2. 점장도 (mercator projection)

표 2. 동경 변화에 따른 지점간 거리 차의 예

	북위	동경	동경 변화 폭	거리 차 (해리)	거리 차 (미터)
A지점	00-00.0 N	087-00.0 E	1° E	60.0	111,120.0
B지점	00-00.0 N	088-00.0 E			
C지점	10-00.0 N	087-00.0 E	1° E	59.1	109,431.8
D지점	10-00.0 N	088-00.0 E			
E지점	20-00.0 N	087-00.0 E	1° E	56.4	104,418.6
F지점	20-00.0 N	088-00.0 E			
G지점	30-00.0 N	087-00.0 E	1° E	52.0	96,232.7
H지점	30-00.0 N	088-00.0 E			

하게 된다. 뿐만 아니라, 그림 1과 같이 지구의 모형이 원형이 아니기 때문에 실측지역이 동경과 서경, 북위와 남위 중 어디에 위치하느냐에 따라 UTM 좌표의 변화 폭이 같더라도 거리 차는 서로 매우 다르다. 동경 변화에 따른 거리 차의 예는 표 2와 같다.

따라서 정확한 송·수신국간의 거리를 구하기 위하여 최근 국제 수로국에서 해도에 공통적으로 널리 활용되고 있는 점장위도항법 (mercator sailing) [7-8]을 이용하였다. 이와 같이 지도상에서 단순히 측적을 이용하지 않고 점장위도항법을 이용해야 하는 이유와 특징은 다음과 같다.

항정선 (rhumb line)은 모든 자오선 (meridian)과 같은 각으로 만나므로 이것을 표현하기 위해서는 자오선을 평행한 직선으로 표현해야 한다. 그런데 자오선을 평행선으로 나타내면 자오선 사이의 거등권 (parallel of latitude)의 호의 길이는 실제보다 늘어나며 그 비율은 위도가 높을수록 더욱 심하다.

이 때, 항정선이란 선박이 그리는 항적 (航跡)을 의미하며, 자오선이란 양극 (북극, 남극)을 지나서 모든 대권을 의미한다. 또한 거등권이란 적등에 평행한 소권 (small circle)이며, 소권이란 중심으로 지나지 않는 평면으로 잘라서 생긴원을 의미한다.

$$\frac{AB}{EQ} = \frac{BC}{QO} = \frac{BC}{R} = \sec L \quad (4)$$

$$EQ = AB(\sec L) \quad (5)$$

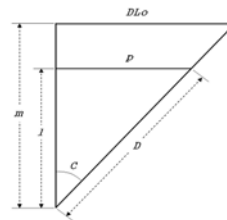
점장위도항법은 점장도의 구성이론으로 만들어진 항법으로서 자오선, 항정선 및 위도의 거등권으로 형성된 구면 삼각형을 평면 삼각형으로 나타낼 수 있으므로 항해가 가능한 해역에서는 두 지점의 거리를 평면 삼각형으로 쉽게 변환하여 계산하는데 이용할 수 있다.

$$DLo = m(\tan C) \quad (6)$$

$$l = D(\cos C) \quad (7)$$

$$D = l(\sec C) \quad (8)$$

$$m = 7915.7 \log(\tan(\pi/4 + l/2)) - 22.3(\sin l) \quad (9)$$



1: 변위 DLo: 변경 m: 점장변위 p: 동서거리  
C: 침로 D: 항정(두 위치사이의 거리)

그림 3. 점장위도항법

### Ⅲ. 해수면에서의 전파 경로 손실 측정 및 분석

#### 3.1 해수면 전파 경로 손실 측정

해수면에서 송신 신호에 대한 수신전력은 중남미 지역에 위치한 섬 주변의 바닷가에서 실측되었다.

표 3은 실측 지역의 위치정보이며, 표 4는 실측했던 주요 파라미터이다.

표 3. 실측 지역의 위치정보

	위도	경도
Test Site	17-55-9.7	(-)87-57-40.6
UTM 좌표	1981526.786	398186.5393

표 4. 실측 파라미터

송신 전력	케이블 손실	송신 안테나 이득	송신 안테나 높이	수신 안테나 높이
20W (43dBm)	2dB	6dB	22m (안테나 높이 2m + 건물 높이 20m)	2.5m

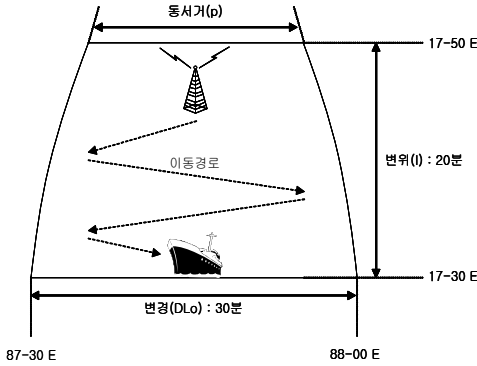


그림 4. 이동 수신국의 이동경로

송신 신호는 중남미 내에서 사용되고 있는 기존 기지국의 철탑에 설치한 signal generator를 이용하여 발생하였다. 송신국으로부터 송신되는 신호 레벨은 Agilent사의 HP RF Coverage Measurement System을 이용하여 실시간으로 처리하였으며, 수신 신호의 신뢰성 확보를 위하여 한 지역에서 최소 20여회 이상의 신호를 수집하여 이를 분석하였다. 해수면을 통한 전파 경로 손실을 측정하기 위하여 이동국의 이동 수단은 약 40 ~ 60 km/h 속도로 이동하는 보트를 이용하였다. 또한, 위치 정보는 수신 장비에 포함되어 있는 GPS와 점장위도항법을 활용하였다.

### 3.2 해수면 전파 경로 손실 분석

그림 5에 나타난 실측 데이터는 약 140,000여개의 전체 실측 데이터를 이동국의 위도 또는 경도

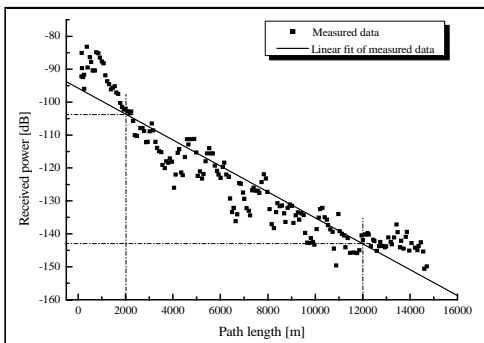


그림 5. 거리에 따른 전파 경로 손실 실측값

위치가 0.001° 변하는 동안 측정 된 수 십~수 백개의 데이터를 평균한 값이다.

그림 5의 결과, 해수면에서의 전파 경로 손실은 약 40 dB/dec로써 자유공간 전파 경로 손실 20 dB/dec에 비하여 약 20 dB/dec 이상 크게 나타났다.

그림 6은 실측 데이터를 이용하여 거리에 따른 전파 경로 손실과 회귀 분석한 결과를 나타내었다. 또한, 해상에서 전파 경로 손실 예측을 위해 자주 활용되고 있는 자유공간 전파 경로 손실 예측 모델의 예측값으로써 식 (1)을 이용하여 계산한 결과이다.

그림 6과 그림 7의 결과, 약 2200 m까지는 해수면 전파 경로 손실의 실측값이 자유공간 전파 경로 손실 예측값보다 작게 나타났으나, 약 2200 m 이상부터는 예측값보다 크게 나타났다. 그리고 전파 경로 길이가 증가함에 따라 예측값에 비하여 실측한 전파 경로 손실값이 크게 증가하였다. 이 때, 약 2200 m까지 실측값이 예측값보다 작게 나타난 원인은 주위의 장애물이 없고 전파의 세기 강할 뿐만 아니라 반사파 또한 전계 강도가 크기 때문인 것으로 판단된다.

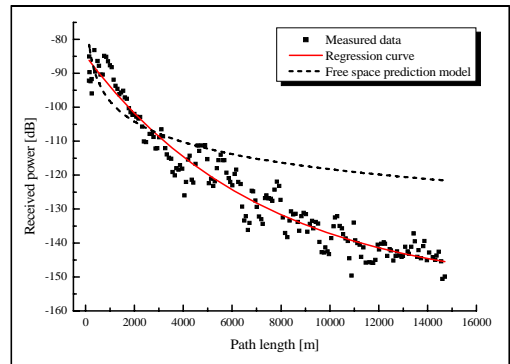


그림 6. 거리에 따른 전파 경로 손실 비교

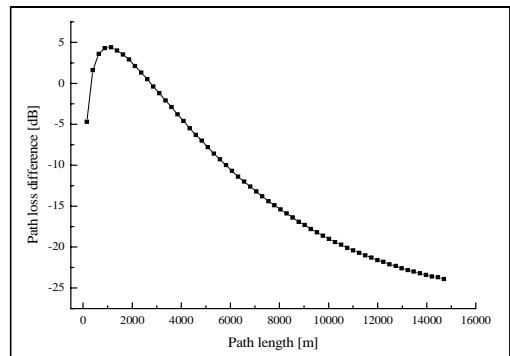


그림 7. 거리에 따른 예측값과 실측값의 오차

표 5. 거리에 따른 예측값과 실측값의 오차

직진경로 [m]	오차범위 [dB]	최소 오차 [dB]	최대 오차 [dB]
0 ~ 2000	-10.7 ~ +11.6	0.7	+11.6
2001 ~ 4000	-10.6 ~ +2.3	0.1	-10.6
4001 ~ 6000	-15.6 ~ +0.8	0.2	-15.6
6001 ~ 8000	-21.5 ~ -4.4	4.4	-21.5
8001 ~ 10000	-25.1 ~ -13.9	13.9	-25.1
10001 ~ 12000	-30.6 ~ -13.6	13.6	-30.6
12001 ~ 14000	-24.9 ~ -16.4	16.4	-24.9
14001 ~ 14700	-29.1 ~ -21.2	21.2	-29.1

표 6. 거리에 따른 예측값과 실측값의 표준편차

직진경로 [m]	실측값		예측모델	
	변화값	표준편차	변화값	표준편차
0 ~ 2000	19.2	5.5	22.8	7.3
2001 ~ 4000	17.3	5.3	5.6	1.7
4001 ~ 6000	12.0	4.3	3.2	1.0
6001 ~ 8000	17.8	4.8	2.5	0.7
8001 ~ 10000	12.6	4.2	1.8	0.6
10001 ~ 12000	17.5	4.9	1.5	0.5
12001 ~ 14000	8.0	2.0	1.3	0.4
14001 ~ 14700	8.0	3.1	0.4	0.1

표 5, 표 6은 자유공간 전파 경로 손실 예측값에 대한 실측값의 오차와 표준편차이다.

표 5의 결과, 전파 경로가 증가함에 따라 예측값에 대한 실측값의 최소 오차와 최대 오차가 더욱 증가함을 알 수 있다.

표 6의 결과, 예측모델의 경우 전파 경로가 증가함에 따라 직진경로별 변화값과 표준편차가 거의 0에 수렴하며 크게 줄어들음을 확인할 수 있으나, 실측값의 경우 전파 경로가 증가함에 따라 변화값과 표준편차가 줄어들긴 하지만 예측값에 비해 여전히 큰 변화와 편차를 보이고 있음을 확인할 수 있다.

이상의 결과, 현재 해상의 전파 경로 손실값을 예측하는데 널리 활용되고 있는 자유공간 전파 경로 손실 예측 모델을 해상에 그대로 적용하기는 어려울 것으로 판단된다.

#### IV. 결론

일반적으로 해상에서의 전파 경로 손실은 자유공간 전파 경로 손실 예측 모델을 활용하고 있다. 따라서 본 논문에서는 해수면과 그 공간을 대상으로 1950 MHz 대역 신호에 대한 전파 경로 손실을 실측하고, 그 결과를 자유공간 전파 경로 손실 예측값과 비교하였다. 비교한 주요 결과는 다음과 같다.

- 해수면에서의 전파 경로 손실은 실측값의 경우 약 40 dB/dec로써 일반적으로 알려진 20 dB/dec에 비하여 약 20 dB/dec 이상 크게 나타났다.
- 전파 경로가 증가함에 따라 예측값에 대한 실측값의 최소 오차와 최대 오차는 더욱 증가하였다.
- 전파 경로가 증가함에 따라 실측값과 예측값 모두 변화값과 표준편차가 줄어들었으나 예측값에 비해 상대적으로 실측값의 변화량과 표준편차가 크게 나타남으로써 자유공간 전파 경로 손실 예측 모델을 해상에 그대로 적용하기는 어려울 것으로 판단된다.

본 논문에서의 실측 및 분석 결과는 기지국 최적 위치 선정과 커버리지를 결정하는데 시간과 비용을 절감하는 중요한 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

향후 연구 계획으로는 다양한 주파수 대역에 대해 해수면 전파 경로 손실을 실측함으로써 해상 전파 예측 모델을 개발하고자 한다.

#### 참고 문헌

- [1] Dr. Kamilo Feher, *Wireless Digital Communications: Modulation & Spread Spectrum Applications*, Prentice Hall Inc., pp.66-69, 1995.
- [2] 이강영, 이동통신과 마이크로파 통신의 실무와 이론, *기다리*, p.97, 2000.
- [3] 정만연, 김기선, 변승우, 이문수, 강문구, 조병록, 김철성, 김영민, 이창훈, 셀룰러 이동통신 방식 설계, *노스그라프프레스*, pp.158-164, 1996.
- [4] Tapan K. Sarkar, Zhong Ji, Kyungjung Kim, Abdellatif Medouri and Magdalena Salazar-Palma, "A Survey of Various Propagation Models for Mobile Communication," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation Magazine*, Vol.45, No.3, pp.51-82, June 2003.
- [5] T. Okumura, E. Ohmori, and K. Fukuda, "Field Strength and its Variability in VHF and UHF Land Mobile Service," *Review Electrical Communication Laboratory*, Vol.16, pp.825-873, 1968.
- [6] Dea-sick Choi, Jin-man Kim, Kyung-Jae Kim, "An Analysis of Radio Propagation Path Loss

in the Sea," *KEES proceeding*, Vol.10, No1, pp.255-258, November 2000.

- [7] Seung-min Wee, Si-hwa Kim and Il-dong Chang, "On the Implementation of Route Planning Algorithms on the Electronic Chart system," *Journal of Korea Institute of Navigation*, Vol.24, No.3, pp.167-176, 2000.
- [8] Weon-jae Yang, Seung-hwan Jun and Gei-kak Park, "Development of GPS simulation Tool Kit for personal computer," *Journal of Korea Institute of Navigation*, Vol.24, No.4 pp.219-226. 2000.

**최 동 유 (Dong You Choi)**

정회원



1999년 2월 조선대학교 전자공학과 (공학사)  
 2001년 2월 조선대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)  
 2004년 8월 조선대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)  
 2004년 9월~2005년 6월 에너지 자원신기술연구소 전임연구원

2006년 3월~2007년 2월 청주대학교 이공대학 전자정보공학부 전임강사

2007년 3월~현재 조선대학교 전자정보공과대학 정보통신공학부 전임강사

<관심분야> 전파전파, 이동통신, 통신 및 회로시스템

**한 승 조 (Seung Jo Han)**

정회원



1980년 2월 조선대학교 전자공학과 (공학사)

1982년 2월 조선대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)

1994년 2월 충북대학교 대학원 전자계산학과 (공학박사)

1986년 6월~1987년 3월 뉴올리언즈대학 객원교수

1995년 2월~1996년 1월 텍사스대학 객원교수

2000년 12월~2002년 3월 버클리대학 객원교수

1984년 3월~현재 조선대학교 정보통신공학과 교수

<관심분야> 통신보안시스템설계, S/W 불법복제 방지 시스템, ASIC 설계