



저작자표시-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.




변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#) 

工學博士 學位論文

이동 통신 대역 전파 모델
예측 방법론에 관한 연구

A Study on the Prediction Method
of Propagation Model in the Cellular Band



2011年 8月

韓國海洋大學校 大學院

電 波 工 學 科

朴 景 台

工學博士 學位論文

이동 통신 대역 전파 모델
예측 방법론에 관한 연구

A Study on the Prediction Method
of Propagation Model in the Cellular Band



2011年 8月

韓國海洋大學校 大學院

電 波 工 學 科

朴 景 台

本 論 文 을 朴 景 台 의
工 學 博 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함 .

委 員 長 : 金 基 文 (印)

委 員 : 元 榮 秀 (印)

委 員 : 金 宗 一 (印)

委 員 : 鄭 智 元 (印)

委 員 : 趙 炯 來 (印)

2011年 6月 24日

韓 國 海 洋 大 學 校 大 學 院

이동통신대역
전파모델
예측방법론에
관한
연구



2011年
8月

朴
景
台

목 차

Nomenclature	vi
Abstract	vii
제 1 장 서 론	1
제 2 장 이동 통신 대역의 전파 모델	7
2.1 전파 환경	7
2.2 전파 모델	15
2.2.1 자유 공간 전파 모델	16
2.2.2 직접파와 지면 반사파에 의한 모델	18
2.2.3 Okumura-Hata 전파 모델 외	21
2.2.4 실측된 도시별 전파 모델	29
제 3 장 경로 손실 측정 및 분석	34
3.1 측정 환경 및 장비	35
3.1.1 측정 장치의 설치	35
3.1.2 필드 측정 장치의 설정치	36
3.2 측정 결과 및 분석	39
제 4 장 전파 모델 예측 방법론	45
4.1 전파 모델 평가 지표	45

4.2 전과 모델 구간 분석 방법론	46
4.3 기존 전과 모델들을 이용한 구간 분석 방법론	51
4.4 구간 분석 방법론의 일반화	61
4.4.1 구간별 경로 손실 모델 특성 분석	61
4.4.2 구간 분석 방법론의 파라미터 산출	68
4.4.3 구간 분석 방법론을 통한 경로 손실 모델 일반화	83
4.5 구간 분석 방법론 적용 결과	85
제 5 장 결 론	89
참고 문헌	92
부록	100



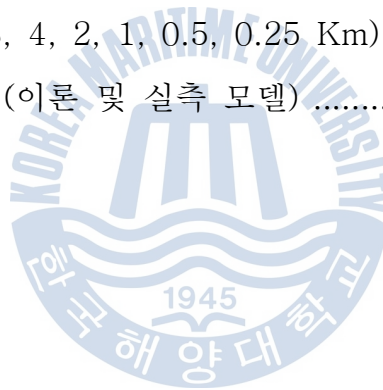
표 목 차

표 2-1	전파 모델의 표준 조건	29
표 3-1	이동 전화 기지국 초기 안테나 사양	37
표 3-2	측정 장치의 링크 버짓 사양	39
표 4-1	기존의 이론 및 실측 모델별 평균과 표준 편차	53
표 4-2	구간별 경로 손실 모델의 측정치와의 차이에 대한 표준 편차	67
표 4-3	구간별 1-Km 지점에서의 경로 손실(이론 모델)	69
표 4-4	구간별 경로 손실 경사(이론 모델)	71
표 4-5	구간별 전파 환경 상수(이론 모델)	73
표 4-6	특정 지점(12 Km)에서의 구간별 경로 손실 모델의 파라미터(이론 모델)	75
표 4-7	경로 손실 파라미터(실측 모델)	77
표 4-8	특정 지점(12 Km)에서의 구간별 경로 손실 모델의 파라미터(실측 모델)	79
표 4-9	경로 손실 파라미터(이론 및 실측 모델)	80
표 4-10	특정 지점(12 Km)에서의 구간별 경로 손실 모델의 파라미터(이론 및 실측 모델)	82
표 4-11	특정 지점(12 Km)에서의 구간별 경로 손실 모델의 파라미터 요약(이론 및 실측 모델)	84
표 4-12	구간 분석 전파 예측 모델 적용 후의 표준 편차	86

그 립 목 차

그림 2-1	전파 도달 경로	9
그림 2-2	직접파와 지면반사파 경로	19
그림 2-3	오쿠무라 모델의 자유공간 대비 추가 평균 경로 손실	22
그림 2-4	오쿠무라 모델의 다른 지형에 대한 교정치	23
그림 2-5	나이프-에지 회절 기하 모델	27
그림 2-6	나이프-에지 회절 손실	28
그림 2-7	세계 주요 도시에서 실측된 경로 손실 모델	31
그림 3-1	러시아 PNG 필드 측정 사이트	34
그림 3-2	필드 측정장치의 설치	36
그림 3-3	링크 버짓	38
그림 3-4	필드 측정 실험 결과	40
그림 3-5	필드 측정치와 일정 구간 평균치에서의 표준 편차	41
그림 3-6	필드 측정치의 평균치에서의 편차의 분포	42
그림 3-7	대수 정규 누적 분포와의 비교	43
그림 4-1	다른 경로 손실 지역	49
그림 4-2	경로 손실 특성(이론 및 실측 모델)	54
그림 4-3	수정된 경로 손실 특성(이론 및 실측 모델)	55
그림 4-4	경로 손실 표준 편차 및 최저 경로 손실 표준 편차 모델 특성(8 Km)	56
그림 4-5	최적 경로 손실 표준 편차 모델 특성(8 Km)	58
그림 4-6	경로 손실 표준 편차 및 최저 경로 손실 표준 편차 모델	

	특성(0.5 Km)	59
그림 4-7	최적 경로 손실 표준 편차 모델 특성(0.5 Km)	60
그림 4-8	구간별 경로 손실 모델 특성(이론 모델)	63
그림 4-9	구간별 경로 손실 모델 특성(실측 모델)	65
그림 4-10	구간별 경로 손실 모델 특성(이론 및 실측 모델)	67
그림 4-11	구간별 1-Km 지점에서의 경로 손실(이론 모델)	70
그림 4-12	구간별 경로 손실 경사(이론 및 실측 모델)	72
그림 4-13	구간별 경로 손실 환경 상수(이론 모델)	74
그림 4-14	구간별(8, 4, 2, 1, 0.5, 0.25 Km) 경로 손실 모델 파라미터(실측 모델)	78
그림 4-15	구간별(8, 4, 2, 1, 0.5, 0.25 Km) 경로 손실 모델 파라미터(이론 및 실측 모델)	81



Nomenclature

A	: 면적(Area)
B	: 대역폭(Bandwidth)
d	: 거리(Distance)
E	: 전기 세기(Electric Field Strength)
f	: 주파수(Frequency)
G	: 이득(Gain)
he	: 유효 안테나 높이(Effective Antenna Height)
hm	: 이동국 안테나 높이(Mobile Antenna Height)
ht	: 송신 안테나 높이(Transmitter Antenna Height)
hr	: 수신 안테나 높이(Receiver Antenna Height)
k	: 볼츠만 상수(Boltzman constant)
L	: 손실(Loss)
m	: 평균(Mean)
P	: 전력 밀도(Power Density)
T	: 절대 온도(Kalvin Temperature)
W	: 전력(Power)
Γ	: 반사 계수(Reflection Coefficient)
γ	: 경로 손실 계수(Path Loss Coefficient)
λ	: 파장(Wavelength)
σ	: 표준 편차(Standard Deviation)
ϕ	: 위상(Phase)

A Study on the Prediction Method of Propagation Model in the Cellular Band

Kyung-Tae Park

Dept. of Radio Communication Engineering,
Graduate School, Korea Maritime University

Supervisor : Prof. Hyung-Rae Cho

Abstract

In this doctoral dissertation, the researched topic is the partial propagation prediction methods. The prediction methods of propagation model in the cellular band are introduced in order to improve the inaccuracy of the macroscopic conventional propagation model. By use of the researched methods, a better prediction model can be extracted from the conventional propagation models. The main purpose of the new methods is to solve problems of the conventional propagation models and to improve the efficiency of the propagation model.

There are many area-to-area prediction models in the conventional methods. Because of the simplicity of two important parameters in the area-to-area propagation model which are the 1-Km path loss value and the path loss slope, the application area has been restricted. Another propagation model is the

point-to-point propagation model. In this model, it was considered the propagation environment such as the lay of the land, the positions and heights of buildings, the density of crowded cars, and the density of trees. But, the information for the propagation environment is so complicated that the new partial propagation methods are introduced.

The first researched topic is the partial propagation method by using the conventional and theoretical propagation models. The theoretical models are quite well formulated by the physical theory. The averages and standard deviations for the difference values of the field-measured values and the conventional model values are calculated. A best model for the measured value is chosen by the lowest calculated standard deviation.

To reduce the error between the measured value and the model value, the distance interval between the transmitter and receiver is divided to small one such as 8, 4, 2, 1, 0.5, 0.25 Km. For each 8 Km, the averages and standard deviations for the path loss were calculated, and then the best models are chosen for the 8 Km intervals. Likewise, by reducing the interval to 0.25 Km, the statistical information for the mean and standard deviation can be obtained. Also, the best model for each 0.25 Km interval can be obtained, too. After the above methods are applied, the standard deviation is considerably reduced by the newly suggested partial propagation models.

The second researched topic is the partial propagation method by the conventional real-measured major-city propagation models. The real-measured major-city models are so widely known models that the models were used as sample models by the partial propagation models. The application procedures are similar to the previous one. The interval is reduced from the entire

distance to 8 Km and finally 0.25 Km, and then the compared averages and standard deviations are obtained. As a result, the differences are also considerably reduced.

The researched partial propagation methods which are compared to the theoretical and real-measured major-city models show that the means and standard deviations are so considerably improved that the differences between the measurement values and the new models were decreased. The representative propagation model for each partial distance was decided according to the path loss slope of the conventional propagation model. This researched methods of the partial propagation prediction model enable us to decide the best describing propagation models for the measured area with advantages of quite reduced standard deviations.

For the generalized partial propagation method, the interval is divided to each 8 Km, 4 Km, 2 Km, 1 Km, 0.5 Km, or 0.25 Km. At each interval, the path loss parameters are extracted which are 1-Km path loss, path loss slope, and path loss environment constant. By use of the parameters, the path loss model is obtained as follows : $\overline{L}_k = \overline{L}_{0k} + \overline{\alpha}_k \log\left(\frac{d_n}{d_0}\right) + \overline{Q}_k$. Applying the partial path loss models and each three parameters to the entire distance, the path loss models for the un-measured area can be easily obtained with the minimum standard deviations.

제 1 장 서 론

오늘날, 사람은 일상 생활을 영위해나감에 있어서 항상 이동 통신을 이용하고 있다. 가정과 사무실에 있을 때나, 거리를 다닐 때, 지하철을 이용할 때에도 음성 통신뿐 아니라 데이터 통신을 통하여 원하는 상대와 언제라도 무선으로 의사소통 할 수 있는 이동 통신 환경이 마련된 것이다. 우리나라에서도, 지난 1990년대부터 이동 통신 시스템은 AMPS, GSM, CDMA, WiFi 등으로 이어지며 획기적인 발전을 이룩하여 오고 있다.

이동 통신 전화는 주파수 할당으로 인한 고비용의 사용료가 부과 되어 왔으나, 휴대 전화의 보편화로 인하여 비교적 저렴하게 많은 사람들이 사용하게 되었다. 이동 전화 시스템은 주로 기지국과 이동국으로 분류된다. 기지국을 설계할 때, 우선적으로 고려해야 할 사항은 얼마나 많은 고객들이 동시에 사용할 수 있도록 하는 것이다. 그 다음으로 고려해야 할 사항은, 기지국의 배치를 적절히 하여 통화 불능 지역을 줄이는 것이다. [1]~[5]. 3G 서비스, 와이파이 등의 새로운 데이터 서비스를 모든 사용자가 모든 지역에서 제공받도록 하기 위해서는, 고성능의 통신 장비 개발과 더불어 이동국에서의 수신 신호 세기 측정을 통한 기지국의 적절한 배치 방법(Cell Planning)이 무엇보다도 중요하다 [6]~[10].

이동 통신에 이용되는 전파는 기지국에서 출발하여 이동국에 직접 도달하거나, 굴곡진 지형, 빌딩, 주변 장애물, 차량 등으로부터 반사되어 이동국에 도달된다. 이동국이 움직이면 직접 도달되는 파와 장애물에 반사되어 도달하는 파가 바뀌게 되어, 이동국에서 수신되는 전파는 이동국

의 위치에 따라 크게 달라진다. 기지국에서 송신되어 이동국에 도달된 전파의 세기를 측정하는 작업은 기지국 설치 예정 지역에서 수행되어야 한다. 이동 통신 시스템의 통화 성능은 단말기에 도달하는 수신 신호의 세기에 의해 결정되는데, 기지국 안테나와 이동국 안테나 사이의 전파 채널 특성을 파악하는 것이 이동 전화 시스템 설계에 필수적이기 때문이다 [9]~[11].

따라서, 여러 가지 경로 손실 예측 모델들이 제시되어 왔으나 일반적으로 적용하기에는 부정확하여 [13]~[26], 제시된 전파 모델에 그 지역의 지형 및 기후 특성 등의 전파 환경을 반영하여 수정된 전파 모델을 설정하여 사용하는 실정이다.

일반적으로 수신 전계의 세기는 송수신 장치의 이격 거리에 비례하여 작아지는데, 송신 장치의 전송 전력이 먼 거리를 거치면서 방사 면적이 넓어지기 때문이다. 수식으로 계산된 자유 공간에서의 수신 전계 레벨은 이론치와 측정치가 비슷하지만, 산란파가 많은 이동 통신 전파 환경에서 측정치를 표현하려면 여러 개의 전파 모델이 요구되는 것이 일반적이다.

이동 통신 전파 환경에서는 직접파와 다수의 반사파가 수신기에 도달하여 서로 다른 크기와 위상을 가지는데, 여러 수신파들의 합은 정현파를 형성하게 되며, 수신기의 위치에 따라 수신 전계의 세기가 달라지게 된다.

복잡한 전파 환경에서 기지국과 이동국간의 거리에 따른 수신 전계 레벨, 즉 경로 손실을 예측하는 모델은 수십 가지가 존재할 정도로 많다. 이동 통신 대역의 경로 손실 모델에는 이론적인 모델과 실측된 도시 모델 등이 있으며, 이 모델들은 수 많은 현장에서의 측정을 통하여 얻어낸 통계적 측정치를 분석하여 설정된 신뢰도가 매우 높은 모델들이다

[28],[33].

이동 통신 대역의 전파 환경은 지형 구조와 빌딩 등의 대규모 인위적 환경과 이동국 주변의 여러 국지적인 반사체로 이루어져 있다. 기지국에서 단말기까지의 경로는 전파 환경의 영향으로 다중 경로가 형성된다. 단말기에서 수신되는 신호는 다중 경로의 영향으로 40 dB 정도의 변화를 일으킨다. 따라서, 기지국과 단말기 사이의 경로 손실 특성을 파악하려면 전파 환경에 대한 분석이 선행되어야 한다.

제안된 전파 모델의 성능에 대한 평가 지표는 측정치와 전파 모델과의 차이 값에 대한 평균과 표준 편차이다. 차이 값에 대한 평균과 표준 편차가 가장 작은 모델이 측정치를 가장 잘 표현한다고 할 수 있기 때문이다 [2]~[7].

자유 공간 전파 모델은 대표적인 이론 경로 손실 모델이다. 자유 공간 이론 모델은 장애물이 없는 무한 공간을 기준으로 계산된 것이기 때문에, 이상적인 전파 환경에서 전파의 경로 손실을 이해하는 모델로 적합하다. 그리고, 직접파 및 지면 반사파 모델은 기지국에서 이동국으로 직접 도달하는 전파와 지면에서 반사되어 도달하는 전파의 합성으로 이루어지는 경로 손실 모델이다. 이 모델은, 이동국의 수신 전계 레벨이 기지국과 이동국 거리의 네제곱에 반비례하여 급격히 줄어드는 현상을 적절히 표현한 경로 손실 모델로 평가받고 있다. 그 이외에도 에글리(Egli) 전파 모델, 오쿠무라(Okumura)-하타(Hata) 전파 모델 등 여러 가지가 있지만, 장애물이 존재하는 실제 전파 환경을 이론적인 모델 하나로 표현하는 데는 한계가 있다 [27]~[36].

또 다른 종류의 모델로는, 전 세계의 대도시 몇 군데에서 측정한 결과를 바탕으로 작성된 전파 모델이 있다. 이 모델을 실측 전파 모델이라고

하는데, 1 Km 지점에서의 수신 전력 레벨과 경로 손실 기울기를 이용한 것으로, 이론적인 모델과는 달리 실제 전파 환경을 반영한 모델이라 할 수 있다. 그러나, 특정 도시와 유사한 전파 환경의 도시는 존재하지 않을 뿐만 아니라, 같은 도시의 다른 지역에서도 전파 환경이 다르므로, 도시에서의 실측 모델은 주로 측정 대상 지역과의 비교용으로만 사용되고 있다 [15],[20],[33],[35],[38],[42].

기존의 전파 모델은 기지국과 이동국 사이의 전체 구간 거리에 대하여 하나의 수식으로 표현되는 간단한 모델이다. 자유 공간이나 가시 거리(Line of Sight) 내에서는 기존의 전파 모델이 경로 손실을 정확하게 표현하는 모델이 될 수 있으나, 지형 구조로 인한 실효 안테나 높이, 장애물로 인한 회절 현상, 빌딩 등 반사체들로 인한 다중 신호들을 포함한 수신 전계 레벨을 나타내기에는 너무 간단한 모델이라 할 수 있다.

본 연구에 적용된 측정 대상 지역은 기지국을 설치하기 위한 러시아 PNG 지역이며, 여러 개의 기지국을 설치하여 이동국에서 측정한 결과를 제시하였다. 측정 대상 지역의 환경을 기술하고, 사용된 장비를 소개하였으며, 측정된 결과를 몇 가지 그림으로 요약하였다. 측정 대상 지역에서 수신된 신호의 세기를 측정하여 계산된 경로 손실과 기존 모델들과의 차이를 계산하고, 기존 모델에 수정치를 추가하여 측정치와 비교하여 차이가 적은 구간별 경로 손실 모델을 제시하였다. 측정을 통해 새롭게 제시된 경로 손실 모델을 미 측정 지역의 경로 손실 모델로 이용하면, 미 측정 지역에 대한 수신 신호 레벨의 예측이 가능하다. 이와 같이, 현장에서 필드 테스트 결과를 토대로 설정된 경로 손실 모델을 이용하여, 기지국의 서비스 반경(Cell Coverage)을 정하게 된다 [37],[39],[40],[48].

기지국과 단말기 사이의 전파 환경은 지형 구조, 도로 정보, 빌딩 분포, 삼림 정보, 주변 산란체 등 여러 가지로 구성된다. 그래서 전파 환경 정보를 정밀하게 수집하여야 정확한 전파 모델의 구축이 가능하다. 하지만, 전파 모델을 설정하기 위하여, 방대한 양의 전파 환경 정보를 수집하는 것은 많은 에너지를 낭비하는 것이 될 확률이 높다 [15],[20],[25],[27].

여기서는, 복잡한 전파 환경 정보의 수집을 줄이고도 경로 손실을 설정할 수 있는 방법을 모색하였다. 실제 측정된 데이터를 기존의 이론 및 실측된 도시 모델들과 비교하여 가장 유사한 모델을 찾고, 전체 측정 거리에서 가장 유사한 모델을 찾아 내기 어려울 때에는, 측정된 전체 구간을 세부 구간으로 나누어, 각 세부 구간별로 측정값과 가장 유사한 기존의 모델을 찾아낸다. 세부 구간별 최적의 모델들을 모아서 전체 구간에 하나의 모델처럼 적용하면, 측정 데이터와 가장 유사한 구간별 경로 손실 모델이 될 것이다.

이러한 목적을 달성하기 위하여, 본 연구에서는 이동 통신 대역의 경로 손실 모델을 설정하는 방법론을 제시하였다. 그리고, 이 방법론의 타당성을 입증하기 위하여 기존의 모델들과 측정치를 비교한 결과를 분석하였다. 기존의 이론 모델에는 자유 공간 전파 모델, 직접파 및 지면 반사파 모델, 에글리 모델, 오쿠무라 모델, 하타 모델 등이 있으며, 기존의 실측된 도시 모델에는 세계의 대도시에서 측정된 동경, 뉴욕, 필라델피아, 뉴어크, 서울, 전주 모델 등이 있다 [1]~[8],[11]~[23].

두 종류의 기존 모델들을 이용하여 측정치를 표현하는 최적의 모델을 설정하였으며, 측정 구역을 세분화하여 각 구간별로 기존 모델들과의 차이를 구하고, 차이 값에 대한 평균과 표준 편차를 구하여 오차가 가장

적은 최적 모델을 해당 구간에 대한 대표 모델로 선정하였다.

본 연구 논문의 구성은 각각 다음과 같다. 제 2 장에서는 이동 통신 대역의 전파 모델에 대하여 알아보고, 제 3 장에서는 실험한 측정치를 분석하였으며, 제 4 장에서 전파 모델 예측 방법론을 적용하여 얻은 평가 지표를 통해 유용성을 입증하고 이를 일반화하였다.



제 2 장 이동 통신 대역의 전파 모델

2.1 전파 환경

이동 통신의 전파 환경은 주로 전파의 경로 손실에 직간접적인 영향을 준다. 기지국에서 송신된 전파는 주로 기지국과 이동국 사이의 거리의 수 제곱승에 반비례하여 크기가 작아지는 직접적인 영향을 받고, 이동국 주위의 지형 구조, 빌딩 분포, 차량 이동 등으로 인해 발생하는 다중 경로의 영향을 받는다. 여기서는 전파에 영향을 주는 요인들을 살펴 본다 [1]~[8].

이동 통신 대역의 전파는 대부분 공기 중을 통과하여 수신기에 전달된다. 하늘 방향으로 방사된 전파중의 일부는 지구의 공기층인 대류권에 의하여 반사되어 지표면으로 돌아온다. 지상파는 지표면 장애물을 거치면서 흡수, 반사, 굴절, 산란되어, 거리에 따라 급격히 감소하게 된다. 이동 통신 대역의 전파는 주로 직접 도달하는 파, 지표면 반사파, 장애물 회절파로 구성된다 [13].

자유 공간에서 전파는 전파원(Source)으로부터 모든 방향으로 균일하게 퍼져나간다. 수신 안테나의 유효 면적에 도달하는 전력은 송신 안테나에서 수신 안테나까지의 거리의 제곱에 반비례한다. 전달 매체로서 자유 공간이 되려면, 송신 안테나에서 출발한 신호가 지표면에서 반사되어 수신 안테나에 도달하는 경우가 없어야 하는데, 이러한 조건은 수신 안테나가 높은 지역에 위치하거나 탑과 같은 언덕에 위치하는 아주 특수한 경우가 아니면 발생하기 어렵다. 자유 공간에서의 전파 손실은 20 dB/dec

즉, 거리의 2 승에 반비례하여 수신 신호가 줄어든다.

수신 안테나에 도달하는 신호는 지표면에서 반사되어 도달하는 신호와 직접 도달하는 신호의 합으로 이루어지는데, 두 신호의 크기 및 위상차에 따라 합해진 신호의 크기가 결정된다. 위상차를 결정하는 것은 두 신호의 경로 길이 차이와 지표면의 반사 계수이다. 지표면과 입사파가 이루는 각도가 아주 작기 때문에, 입사파는 손실없이 거의 전반사되고 반사파의 위상 변이는 180도가 된다. 지면 반사파의 영향으로 단말기에서의 수신 신호는 크게 감쇠되며, 이 때 수신된 신호의 경로 손실 경사는 실험적으로 약 40 dB/dec가 된다 [1]~[3].

가시 거리를 벗어난 전파가 지표면을 넘어가면, 지표면에서 회절되기 때문에, 전파의 신호 세기가 상당히 줄어들게 된다 [50]. 대기의 밀도는 고도에 반비례하여 옅어지고, 전파의 입사각이 작아 질수록 전파가 많이 반사되므로, 대기권으로 방사된 전파의 일부는 전반사되어 다시 지표면으로 돌아오게 된다. 이러한 현상으로 전파는 지평선 너머의 먼 거리까지 도달하게 된다.

이동 통신 환경에서 전파의 수신 전력을 일반적인 식으로 표시하면,

$$Pr \propto d^{-\gamma} = c d^{-\gamma} \quad (2.1)$$

이 되며, 여기서 d 는 기지국과 이동국 사이의 거리이고, γ 는 지형 구조, 주파수, 계절, 자연 조건 등 전파 환경에 따라 2에서 5까지의 값을 가진다 [12]~[21],[23]~[26].

가시 거리 안의 이동 통신용 단말 수신기에 도달하는 신호에는 주로 직접 파와 지면 반사파가 있으며, 단말기 주변의 빌딩이나 지형 지물에 의한 반

사파들도 다수 존재한다. 그 외에도 지면파와 장애물로부터의 산란파들이 단말기에 도달되므로, 다수의 신호들이 합해져서 다중 경로 페이딩 신호가 된다. 페이딩 신호는 정지해 있는 단말기에는 비교적 일정한 크기가 수신된다. 그러나, 단말기가 움직이게 되면 반 파장 주기의 페이딩 신호가 안테나에 수신되며, 단말기가 점점 더 빨리 이동하면, 페이딩 신호가 안테나에 더 자주 교차하여 나타나게 된다.

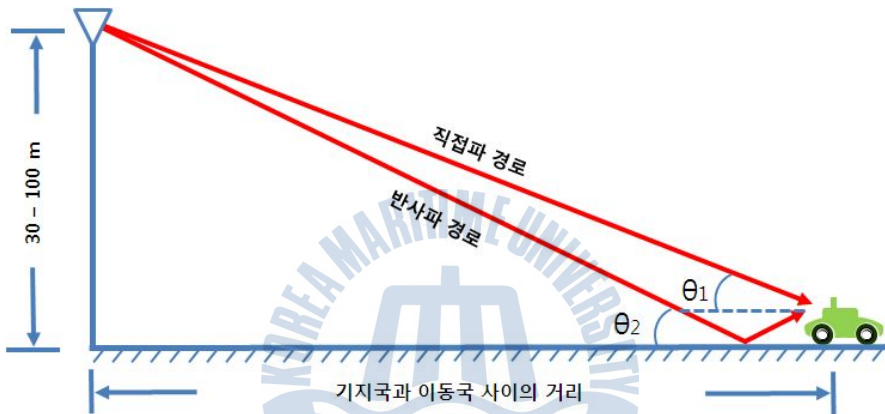


그림 2-1 전파 도달 경로

Fig 2-1 Propagation paths

보통의 경우에는, 기지국에서 송신된 전파는 주변 빌딩, 가로수, 차량 등 장애물의 반사로 인한 다중 경로를 거쳐, 지면에 위치한 이동국 수신 안테나에 도달된다. 다중 경로를 거치면서 시간차를 두고 도달한 신호들이 수신 안테나에서 합해져서 최종적인 신호가 된다. 합성된 전파는 수시로 위치에 따라 바뀌는데, 그 변동율은 동작 주파수와 수신 안테나의 이동 속도에 비례하여 결정된다. 이동국에서 측정된 수신 전력은 평균값으로부터 10 dB에서 -30 dB 사이의 값을 갖는데, 그 원인은 입사파와 반사파에 의해 생성된 정현파(Standing Wave) 현상 때문이다. 전파 공간에서 수신된 전계 세기는

반 파장마다 주기적인 최소값을 나타내게 된다. 결과적으로, 수신된 신호의 크기는 불규칙한 모양을 띠게 되는데, 이 현상을 페이딩(Fading)이라고 한다 [41],[43]. 이동국 수신 안테나의 이동 속도가 빨라지면, 페이딩이 심해지는 현상을 관찰할 수 있다.

이동국 주변에 존재하는 여러 개의 국지적인 반사체에 의해 반사된 여러 개의 신호들이 합쳐져서 발생하는 불규칙한 현상을 순시(Short Term) 페이딩이라고 하는데, 순시 페이딩 신호에 대한 확률 분포는 레일리(Rayleigh) 분포를 따른다. 800 MHz 대역에서는 단말 수신기 근처에서 35 m, 즉 사용 전파 파장의 100 배 이내에 장애물이 존재할 경우에 한하여, 다중 경로로 인한 페이딩이 발생하는 것으로 알려져 있다 [1]~[8].

반면에, 순시 페이딩 현상에 비하여 아주 천천히 변동되는 구간 평균(Local Mean) 신호를 장시간(Long Term) 페이딩이라고 하며, 이는 주로 송수신 장치 주변의 지형 구조와 빌딩 등 대규모 인위적 환경에 의하여 생성된다. 구간 평균 신호의 확률 분포는 로그-노멀(Log Normal) 확률 분포와 유사하다고 실험을 통하여 확인되었다 [13].

순시 페이딩 신호를 거리에 대하여 평균하거나, 시간에 대하여 평균하면 구간 평균 신호를 구할 수 있다. 구간 평균 신호는 20 ~ 40 파장 정도의 거리를 이동하며 한 파장 당 1개 정도의 표본을 구하여 평균한 것이다 [1]~[12].

구간 평균 신호와 순시 페이딩 신호는 송수신기 사이의 거리가 멀어지면 크기가 줄어드는데, 거리에 따른 수신 신호 감쇠량은 경로 손실과 비례하게 된다. 레일리(Rayleigh) 페이딩에 대한 누적 분포 함수에 따르면, 기준치가 -100 dBm 일 때, 수신기에서 측정되는 전체 신호 중에서 약 1 % 정도가 평균 전력 레벨보다 20 dB 아래에 분포하며, 전체 신호의 25 % 정도가 평

균 전력 레벨보다 5 dB 아래에 분포하는 것으로 알려져 있다 [1] ~ [10].

다중 경로 페이딩에 대한 통계 모델로는 물리적인 현상을 이론적으로 계산한 통계 식과 실제로 측정된 데이터와 가장 유사하도록 만든 통계식, 두 가지 종류가 있다. 페이딩 현상을 표현한 통계 확률 모델에는 레일리(Rayleigh) 분포, 라이스(Rice) 분포, 웨이불(Weibull) 분포 등이 있다. 수신 신호가 레일리 확률 분포를 이루려면, 최소 5개 이상의 다중 경로 신호들이 합쳐져야 하고, 각 신호들의 크기 및 위상이 서로 독립적이어야 한다. 특히 각 신호의 위상은 $[0, 2\pi]$ 사이에서 균일해야 한다.

수신된 신호들 중에서 직접파가 존재하고, 비교적 약한 여러 개의 다중 경로 신호들이 직접파에 합성되면, 하나의 정현파와 유사한 상황이 되는데, 이 경우의 확률 분포는 라이스(Rice) 분포와 가장 가깝다. 웨이불 확률 분포는 간단히 기울기로 확률 모델을 표현하는 것으로, 각기 다른 기울기 값으로 레일리부터 나카가미(Nakagami), 지수(Exponential) 분포 등을 표현한다 [13].

미국 뉴욕의 영(Young)이라는 사람이 초당 20 개 내외의 샘플들(Samples)의 신호 세기를 측정하였는데, 측정한 데이터를 분석하여 페이딩 통계 특성을 계산하였다. 계산 결과에 의하면, 비교적 짧은 거리(300 미터 내외)에서 측정한 데이터는 평균값에서 6 ~ -15 dB 의 편차를 보이는 레일리 분포에 가장 유사하다는 것을 알 수 있다.

제이크(Jake) 및 리운딩크(Reundink)와 미국 뉴저지(New Jersey)의 루스타코(Rustako)는 기지국 근처에서 시간당 15 마일의 속도로 측정한 결과를 분석하였는데, 측정 결과가 레일리 분포를 따른다고 하였다 [51]~[53]. 일본의 오쿠무라(Okumura)는 동경의 도심 지역에서 스쿨 버스 타입의 자동차 지붕에 수신 안테나를 설치하고 시속 30 Km로 이동하면서 922 MHz

에서 수신 전계 레벨을 측정하였는데, 측정값은 평균에서 13 ~ -18 dB의 편차를 보이는 레일리 분포를 보인다는 것을 확인하였다 [49]. 이밖에도 텍사스(Texas) 일부 지역에서 측정한 셰퍼드(Shepherd) 역시, 다중 경로 페이딩은 레일리 확률 분포를 따른다고 하였다 [54]. 이러한 실험 결과를 보면, 도심이나 부도심과 같이 직접파가 존재하지 않는 전파 환경에서 다중 경로 신호들의 크기가 비슷하면, 측정 결과는 레일리 확률 분포와 가장 잘 일치하는 것을 알 수 있다.

단말기에서 수신되는 페이딩 신호의 특정 신호 레벨에서 발생하는 교차율은 $\bar{n}(R) = n_o n_R$ 로 주어지는데, n_R 은 기준 신호 레벨에 대한 상대적인 신호 레벨이 발생할 확률을 정규화 한 값이고, n_o 는 단말기 이동 속도 v 에 대하여,

$$n_o = \frac{\beta v}{\sqrt{2\pi}} \quad (2.2)$$

이다. 이동 통신용 단말기가 빠르게 이동하며 전파를 수신한다고 하면, 평균 수신 신호 레벨로부터 일정 값만큼 작은 레벨과 교차하는 횟수는 단말기 이동 속도에 비례하여 증가하게 된다.

기지국 송신 전파는 수신 단말기 주변의 장애물들에 의한 반사 현상 때문에 여러 개의 다중 경로가 존재하게 되는데, 경로의 길이 차이로 인하여 도달 시간의 차이가 생긴다. 만약, 기지국에서 임펄스를 전송하면 단말기에서는 여러 개의 지연된 임펄스가 수신되는데 이것을 지연 확산이라고 한다. 전파 환경이 시골인 지역에서는 0.2 uSec, 도심 지역에서는 3 uSec까지의 지연 확산이 발생한다 [1]~[3].

기지국 또는 단말기 안테나에 수신된 신호는 작기 때문에, 수신단에서 증폭이 되어야 한다. 이를 위하여 저잡음 증폭기를 사용하게 되는데, 증폭기 자체에서 생성된 잡음이 수신 신호의 잡음 레벨을 높이게 된다. 증폭기의 이득을 G , 출력단 잡음 전력을 N_o , 입력단 신호 대 잡음비를 P_s/N_i , 증폭기 부가 잡음을 N_a 라고 할 때, 출력 단에서의 신호 대 잡음비 P_o/N_o 는

$$\frac{P_o}{N_o} = \frac{GP_s}{GN_i + N_a} = \frac{P_s}{N_i + N_a/G} \quad (2.3)$$

가 되고, 잡음 지수 F 는

$$F = \frac{\text{입력단의 } S/N \text{비}}{\text{출력단의 } S/N \text{비}} = \frac{P_s/kTB}{P_o/N_o} \quad (2.4)$$

가 되며, 식(2.4)를 식(2.3)에 대입하여 정리하면,

$$F = \frac{P_s/kTB}{P_s/[N_i + (N_a/G)]} = \frac{N_i + (N_a/G)}{kTB} \quad (2.5)$$

가 된다. 잡음 지수는 열잡음(kTB)에 대한 외부 잡음과 증폭기 내부에서 생성된 잡음의 합인 $N_i + (N_a/G)$ 의 비로 계산된다. 잡음 지수는 수신기 내부의 잡음 레벨에 큰 영향을 주어서, 수신 할 수 있는 가장 작은 신호 레벨의 기준이 된다.

그리고, 잡음 레벨 산정의 기준이 되는 온도는 일반적으로 섭씨 17도 정도의 상온이고, 이를 켈빈 온도인 절대 온도로 변환하면 $290^{\circ} K$ 가 된다. 수신 신호의 통과 대역폭 30 kHz에 대한 상온에서의 열잡음 레벨 kTB (k 는 볼츠

만 상수)는 -129 dBm이다. 안테나와 수신기를 연결하는 케이블에서 신호의 손실이 발생하고, 수신단의 저잡음 증폭기 내부에서 잡음이 발생하여, 수신단에서 관측되는 잡음 레벨은 대략 -118 dBm이 된다.

850 MHz 대역의 인공 잡음은 고전력선 부근에서 사용하거나, 자동차 주변에서 이동 단말기를 사용하기 때문에 발생한다. 자동차 엔진에서 발생하는 점화 잡음은 차량의 교통량 밀도에 비례하여 커진다. 자동차수 100 대 정도이면 $5 \sim 10$ dB의, 1000 대 정도이면 20 dB 내외의 점화 잡음이 발생한다. 또한, 제곱 킬로미터 면적당 1,000 대의 자동차에서 발생하는 잡음과 시간당 길게 늘어선 1,000 대의 자동차에서 발생시키는 잡음의 크기가 비슷하다 [1],[3],[5]. 그 외에도, 기지국에서 $2 \sim 3$ dB, 단말기에서 $3 \sim 4$ dB의 복사 잡음이 외부로부터 유입된다. 그래서, 도심에서 관측되는 이동통신용 단말기의 잡음은 일반적으로 -110 dBm 내외인 것으로 알려져 있다.

800 MHz 초반의 주파수 대역에서 동작하는 TV 방송국용 송신기는 이동통신 주파수의 주변 대역에서 불요파를 발생시켜 간섭을 일으키게 되고, 간섭 신호는 TV 방송 송신기 주변에서 단말기의 통화 품질을 저하 시키는 요인으로 작용하기도 한다 [13].

공기 중의 습기 함유량에 비례하여 전파의 손실이 발생하고, 전파의 주파수가 높아질수록 빗물에 의한 전파의 감쇠가 많이 발생한다. 삼림은 전파 신호를 흡수, 반사, 회절하는 장애물로 작용하는데, 나무의 높이, 잎의 모양과 밀도, 계절, 습도 등에 따라 전파 손실에 상당한 영향을 준다. 숲속의 나무 높이에 의한 밀도 $d(f)$ 가 14 이하일 때는 $0.43d(f)$ dB, 14를 초과할 때는 $1.27d(f)$ dB의 전파 손실이 발생하며, 나뭇잎의 유무에 따라 $3 \sim 5$ dB의 손실이 추가된다 [55].

그리고, 전파의 진행 방향과 평행하게 놓인 거리는 진행하는 전파의 도파관과 같은 역할을 하게 되기 때문에, 측정된 전파의 세기는 직각 방향으로 가로막힌 거리에서 측정된 전파 세기 보다 10 ~ 20 dB 정도 크게 측정된다. 이런 효과는 가시 거리 상태의 기지국에서 두드러지게 나타난다. 그리고, 전파가 터널 구조에 진입하면 기본적으로 20 dB 이상의 손실이 추가로 발생된다. 터널 입구 300 m 지점에 송신기를 두고, 600 m 지점에 수신기를 설치하여 가시 경로에서 경로 손실을 측정해보면, 1 GHz 대역에서 10 dB 정도의 경로 손실이 추가로 발생한다 [1]~[8].

2.2 전파 모델

이동 통신 시스템은 뛰어난 성능의 부품을 활용함에도 불구하고, 무선 주파수라는 매체를 이용하기 때문에 전파 환경의 영향을 받을 수 밖에 없고, 수 많은 외부 환경 파라미터들로 이루어진 전파 환경은 이동 통신 시스템의 성능에 큰 영향을 준다. 전파 환경을 구성하는 수 많은 변수들은 이론적인 분석을 어렵게 하여, 정확한 전파 모델을 찾기가 쉽지 않다. 전파는 주파수가 증가할수록 파장이 줄어들어, 크기가 작은 장애물에 의해서도 쉽게 산란되어 예측이 어려워지기 때문이다.

전파는 언덕, 터널, 빌딩, 장애물, 차량 등의 장애물들 때문에, 다중 경로를 거치게 되어, 수신기에서 최대 40 dB의 페이딩이 관측된다. 그래서, 이동 통신이 원활히 수행되기 위해서는 경로 손실, 음영 지역, 다중 경로 페이딩에 대한 대책이 마련되어야 한다 [13]~[23].

여기서는, 이동 통신 대역의 전파 환경을 분석하기 위해 필요한 몇 가지 전파 모델의 특성을 알아보려 한다. 전파의 출발점이자 도착점인 안테나에 대

한 이해를 기본으로 하는 전파 모델은 이론 모델과 실측 모델로 크게 나뉜다.

이론 전파 모델은 일정한 조건에서 계산된 간단한 완성식으로, 복잡한 실제 전파 환경에 적용하기는 곤란하다. 대표적인 이론 모델에는 자유 공간 전파 모델과 직접파와 지면 반사파에 의한 전파 모델이 있다 [43]~[48]. 실측 모델은 복잡한 전파 환경을 반영하여, 필드에서의 측정(Field Test)을 통하여 구해진다. 실측 모델은 미 측정 지역에 대한 수신 신호 레벨을 비교적 정확하게 예측하는데 사용된다.

또한, 이렇게 구한 경로 손실 모델과 수신 신호 레벨의 분포에 대한 통계 자료를 활용하면, 기지국의 서비스 반경(Cell Coverage)을 결정할 수 있게 된다.

2.2.1 자유 공간 전파 모델

자유 공간 전파 모델은 송신 안테나와 수신 안테나 사이에 장애물이 없는 이상적인 공간에서 발생하는 경로 손실을 예측하는 기본적인 전파 모델이다. 이 모델은 송신 안테나와 수신 안테나 사이의 직접 경로에서 발생하는 경로 손실을 계산한 것이다.

안테나 이론에 의하면, 모든 방향으로 균일하게 전파를 방사하는 전력은 구(Sphere)의 반지름 d 에 대하여, $W = P_d 4 \pi d^2$ 가 된다. 이로부터 손실이 없는 자유 공간 전파 모델식을 다음과 같이 구할 수 있다. 송신 안테나로부터 거리 d 만큼 떨어진 지역에서의 전력 밀도(Power Density) P_d 는,

$$P_d = \frac{W}{4\pi d^2} \quad (2.6)$$

이 된다.

안테나의 방사 패턴은 수평(Azimuth) 방향과 수직(Elevation) 방향으로 구분되며, 등방성 안테나의 경우는 수평 방향에 대하여 동일하지만, 지향성 안테나는 한 방향으로 편중되어 방향성(Directivity)을 나타낸다. 방향성에 기초한 안테나 이득은 등방성 안테나 방사 전력에 대한 최대 방사 전력의 비로 나타난다.

$$G = \frac{\text{최대 방사 전력}}{\text{등방성 방사 전력}} \quad (2.7)$$

방사 전력에 노출된 등방성 안테나의 개구(Antenna Aperture) 면적을 A_i 라고 하면 A_i 는

$$A_i = \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad (2.8)$$

이 되고, 송신 전력 W_t 에 대하여 d 만큼 떨어진 지점에서 수신된 전력 W_r 는

$$W_r = A_i P_d = \frac{A_i W_t}{4\pi d^2} \quad (2.9)$$

이 되는데, 이로부터

$$\frac{W_r}{W_t} = \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (2.10)$$

를 얻을 수 있다. 무손실 등방성 안테나를 사용하고, 주파수를 MHz로, 거리를 Km로 하여 데시벨(dB)로 표현하면,

$$L = 20\log f + 20\log d + 32.44 \quad (2.11)$$

와 같이 된다. 그리고, 송신안테나 이득 G_t , 수신 안테나이득 G_r 이 존재할 경우에는,

$$L = -10\log G_t - 10\log G_r + 20\log f + 20\log d + 32.44 \quad (2.12)$$

이라는 일반식의 자유 공간 전파 모델을 구할 수 있다 [1]~[8],[19]~[23]. 자유 공간 모델은 다른 모델들의 경로 손실을 표현할 때, 가장 자주 인용되는 기준 모델로 사용되고 있다.

2.2.2 직접파와 지면 반사파에 의한 모델

이 모델은 이론적인 계산을 통해, 직접파와 지표면에서 반사된 전파를 합하여 구한 모델이다. 송신 신호가 수신 안테나에 도달되는 경우를 보면, 수신 전파는 직접 도달하는 파와 지표면에 반사되어 도달되는 파의 더해진 신호로 구해진다.

그림 2-2에서, 직접파와 지면 반사파는 모두 자유 공간 전파 모델을 따르고, 지면 반사파는 지표면에서 반사되므로 반사 계수 Γ 와 위상차 $\Delta\phi$ 의 영

향을 받는다. 직접파와 지면 반사파에 의한 경로 손실 식은

$$\frac{P_r}{P_t} = G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 |1 + \Gamma e^{j\Delta\phi}|^2 \quad (2.13)$$

이 된다. 여기서, d 는 송수신기간의 거리이고, G_t 는 송신기 안테나 이득이며, G_r 은 수신기 안테나 이득이다.

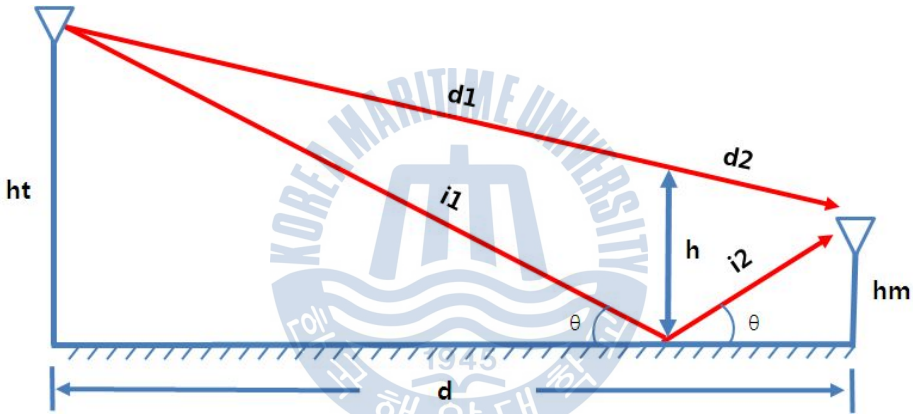


그림 2-2 직접파와 지면 반사파 경로

Fig 2-2 Direct and reflective propagation path

송신 안테나 높이가 h_t 이고, 수신 안테나 높이가 h_m 일 때, 직접파와 지면 반사파의 경로 차이로 인하여 발생하는 위상차는

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta d = \frac{2\pi}{\lambda} \left(\sqrt{d^2 + (h_t + h_m)^2} - \sqrt{d^2 + (h_t - h_m)^2} \right) \quad (2.14)$$

이 되며, $d \gg (h_t + h_m)$ 이 될 경우, 근사식 $(1+x)^{1/2} = 1 + \frac{x}{2}$ 으로부터,

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{2h_t h_m}{d} = \frac{4\pi}{\lambda} \frac{h_t h_m}{d} \quad (2.15)$$

가 되고, 지면 반사 각도 $\Delta\phi$ 가 아주 작은 경우에는 반사 계수 $\Gamma = -1$ 로 부터,

$$|1 + \Gamma e^{j\Delta\phi}|^2 = 2(1 - \cos \Delta\phi) = 4\sin^2 \frac{\Delta\phi}{2} = 4\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right)^2 = \Delta\phi^2 \quad (2.16)$$

이 되어 송수신 전력비는

$$\frac{P_r}{P_t} = G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 |1 + \Gamma e^{j\Delta\phi}|^2 = G_t G_r \left(\frac{h_t h_m}{d^2}\right)^2 \quad (2.17)$$

이 된다. 경로 손실 $L = P_t - P_r$ 을 데시벨로 표시하면,

$$L = -10\log G_t - 10\log G_r - 20\log(h_t h_r) + 40\log d \quad (2.18)$$

가 되는데, 이 식을 직접파와 지면 반사파에 의한 전파 모델이라 한다 [1]~[8],[38]~[42],[45]~[47]. 이 모델 또한, 다른 모델들과 비교하는 중요한 기준 모델이 되는데, 지형 구조, 빌딩 등 인공 구조물, 초목 밀도 등의 영향은 포함되지 않는 한계점이 있다.

2.2.3 Okumura-Hata 전파 모델 외

오쿠무라 모델은 동작 주파수 150 ~ 2000 MHz, 송수신 거리 1 ~ 100 Km, 송신 안테나 높이 30 ~ 1000 m 범위의 특정 지형에서 수신 신호 세기를 예측하기 위하여 제시 되었다. 일본 동경의 도심 지역에서 측정된 오쿠무라 경로 손실 식은

$$L = L_0 + A(f, d) - G_{area} - G(h_t) - G(h_r) \quad (2.19)$$

이다 [49]. 이 모델은 높이 차이가 20 m 정도 되는 평탄한 지형에서 측정된 데이터를 분석하여 만든 전파 모델이며, 자유 공간 경로 손실과 비교하여 추가되는 손실을 그래프로 표현한 것이다. 이 모델은 같은 조건의 자유 공간 전파 모델에서 발생하는 자유 공간 경로 손실(L_0)을 포함한다. 그림 2-3의 $A(f, d)$ 는 기지국 안테나 높이가 200m이고 수신 안테나 높이가 3 m일 때, 동경의 도심 지역에서 측정된 것으로 동작 주파수와 송수신 안테나 거리 d [Km]에 따른 자유 공간 대비 추가 경로 손실을 나타낸 값이다.

부도심과 농촌 지역에서 측정된 경로 손실과 앞에서 구한 도심 지역에서 측정된 경로 손실의 차이 값인 G_{area} [dB]를 그림 2-4에 나타내어, 다양한 지역의 경로 손실을 그래프로 구할 수 있도록 하고 있다. 기지국의 안테나 높이에 대한 교정치는

$$G(h_t) = 20 \log\left(\frac{h_t}{200}\right), \quad h_t > 30m \quad (2.20)$$

로 주어지는데 안테나의 높이가 2 배가 될 때 6 dB씩 증가한다. 단말기의 안테나 높이에 대한 교정값은 안테나의 높이가 2 배가 될 때, 경우에 따라 3 dB 또는 6 dB가 된다.

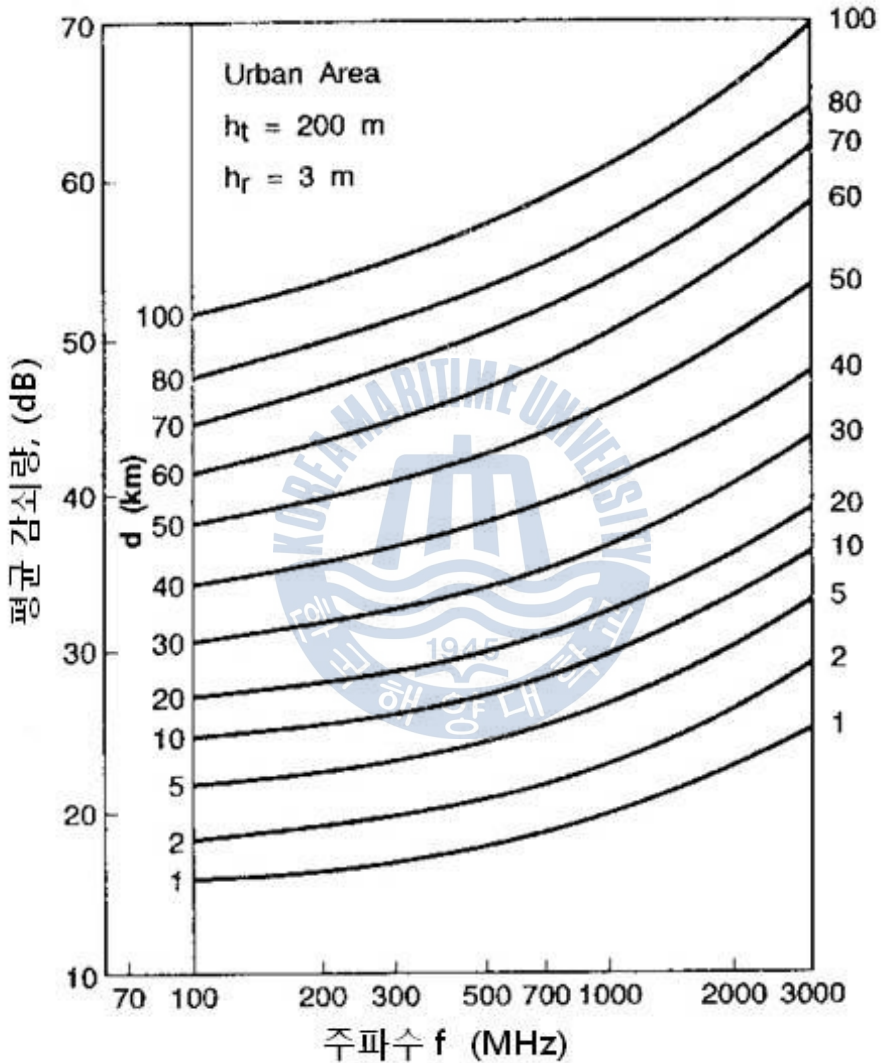


그림 2-3 오쿠무라 모델의 자유 공간 대비 추가 평균 경로 손실 [49]

Fig 2-3 Median attenuation relative to free space by Okumura [49]

$$G(h_r) = 10 \log\left(\frac{h_r}{3}\right), \quad h_r < 3\text{m} \quad (2.21)$$

$$G(h_r) = 20 \log\left(\frac{h_r}{3}\right), \quad 3\text{m} < h_r < 10\text{m}$$

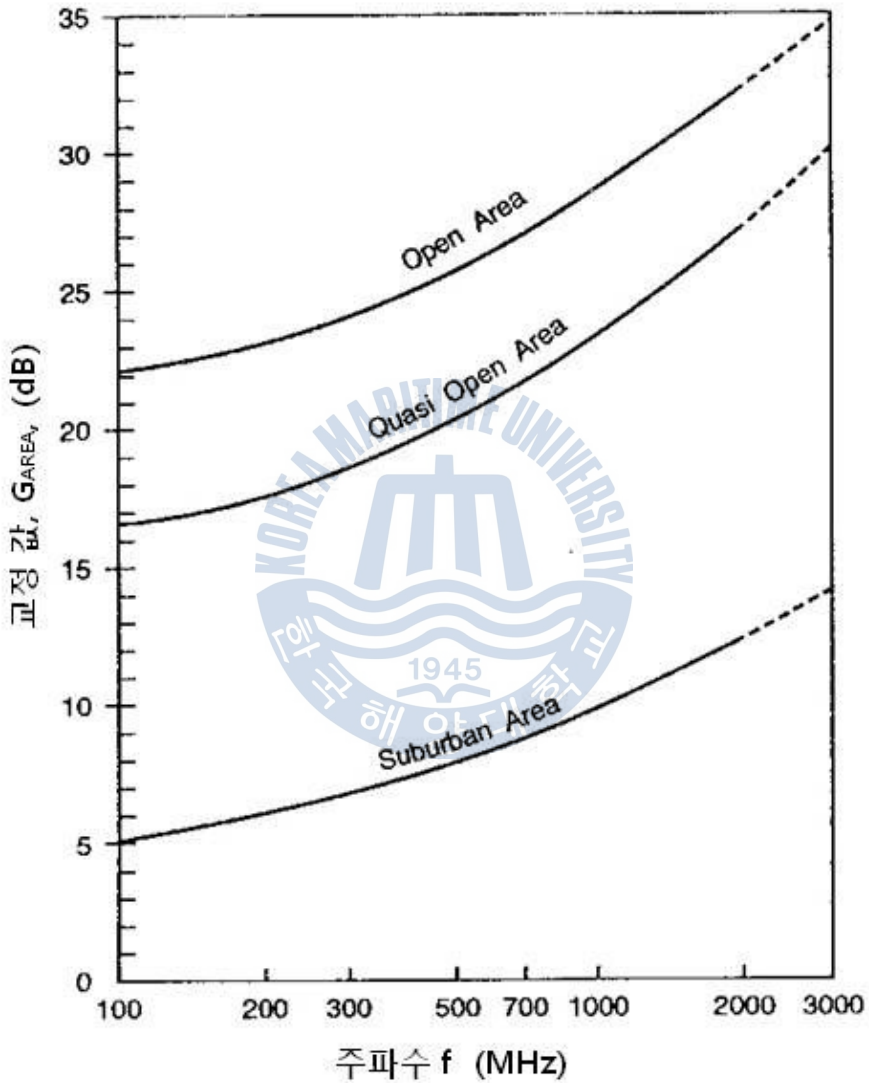


그림 2-4 오쿠무라 모델의 다른 지형에 대한 교정치 [49]

Fig 2-4 Correction factor for different types of terrain by Okumura [49]

오쿠무라의 경로 손실을 구하는 방식은 여러 개의 그래프를 이용해야 하기 때문에, 컴퓨터가 없던 시절에는 구하기가 쉽지 않았다. 오쿠무라가 측정하여 구한 그래프를 근사 수식(Formula)으로 정리한 것이 하타 전파 모델이다 [12].

오쿠무라의 측정 결과 그래프와 구분 안 될 정도로 수식으로 잘 표현된 하타 모델은, 대표적인 경로 손실 모델로 널리 사용되고 있다. 데시벨(dB)로 표현된 도심 지역에서의 하타 경로 손실 모델은 식(2.22)와 같으며, 적용 주파수 범위는 150 MHz ~ 1500 MHz이며, 송신 안테나의 높이는 30 m ~ 300 m이고, 측정 거리는 1 Km ~ 20 Km이다 [11]~[13],[19]~[22].

$$L_P = 69.55 + 26.16 \log(f) - 13.82 \log(h_t) - A(h_r) + (44.9 - 6.55 \log h_t) \log d \quad (2.22)$$

여기서, 수신 안테나 높이에 대한 교정치는 중소 도시에서 $A(h_r) = (1.1 \log f - 0.7)h_r - (1.56 \log f - 0.8)$ 이 되고, 대도시에서 주파수가 200MHz 이하 일 때, $A(h_r) = 8.29 \log^2(1.54h_r) - 1.1$ 이 되며, 400 MHz 이상일 때, $A(h_r) = 3.2 \log^2(11.75h_r) - 4.97$ 이 된다. 이로부터, 중소 도시 모델의 수신 안테나 높이에 대한 교정치가 대도시 모델보다 큰 것을 알 수 있다.

부도심 지역에서의 하타 경로 손실 모델은 ,

$$L_{PS} = L_P - \{2 \log(f/28)\}^2 - 5.4 \quad (2.23)$$

이 되며, 개활 지역에서의 하타 경로 손실 모델은,

$$L_{PO} = L_P - 4.78 \{\log(f)\}^2 + 18.33 \log(f) - 40.94 \quad (2.24)$$

이 된다. 하타 모델은 기지국의 위치 선정을 위하여 오쿠무라의 측정 결과 그래프를 수식화 한 것으로, 일본 동경의 도심 지역에서 측정한 데이터로부터 유도되었기 때문에, 다른 지역에서 사용하려면 그 지역의 전파 환경 정보를 반영해야 하는 한계점이 있다 [12]. 그리고, 오쿠무라-하타 전파 모델에 비해서는 사용 빈도가 적지만, 발표된 전파 모델 몇 가지를 살펴본다 [1]~[8],[13]~[18].

먼저, 에글리 전파 모델은 직접파 및 지면 반사파 모델에 측정을 통한 지형 구조의 영향을 포함시켜 구한 전파 모델이다. 송신 안테나 높이가 h_t 이고, 송수신 안테나간의 거리가 d [Km]이며, 수신 안테나 높이가 1.5 m일 때, 데시벨(dB)로 계산된 에글리 전파 모델의 평균 경로 손실은

$$L = 139.1 - 20 \log h_t + 40 \log d \quad (2.25)$$

이다. 이 전파 모델은 안테나 높이, 편파 방향 등의 파라미터를 고려하여 90 ~ 1000 MHz 대역에서 60 Km 거리까지의 경로 손실을 나타내는데, 적용 주파수가 넓어서 정확도가 떨어지는 단점이 있다. 에글리 전파 모델에 사용된 경로 손실 경사는 지면 반사파 전파 모델의 네제공 경로 손실 경사와 같은 값을 적용하고 있다.

블룸퀴스트-라텔 전파 모델은 자유 공간 손실 모델(L_o), 지면 반사파 모델(L_p), 나이프-에지 모델(L_k)을 이용하여 식(2.26)과 같이 계산한 모델이다. 이 모델의 적용 주파수 범위는 30 ~ 900 MHz이고, 적용 거리는 5 ~ 22 Km이다. 이론적인 고찰대신 통계적인 방법으로 계산된 블룸퀴스트-라

텔의 경로 손실 식은

$$L = L_0 + \max(L_p, L_k) = L_0 + \sqrt{L_p^2 + L_k^2} \quad (2.26)$$

와 같다.

롱리-라이스 전파 모델은 컴퓨터 프로그램을 이용하여 계산되는 모델이다. 송수신 안테나 거리가 1 Km 이상이고, 사용 주파수가 20 MHz 이상이며, 안테나의 높이가 0.5 m 이상일 때 이 모델의 적용이 가능하다. 이 모델은 자유 공간 손실을 기본으로 하고, 송수신 안테나 거리, 사용 주파수, 송수신 안테나 높이, 전파 편파, 지표면 전도율, 지표면 유전율, 그리고 지표면 굴곡도 등에 대한 파라미터들을 활용하여 계산된다.

이브라임-파슨 모델은 영국 런던 지역에서 측정한 데이터와 지면 반사파 모델을 이용하여 구한 것이다. 이 실험 모델은 측정한 데이터에 맞는 수식을 유추하여 만들어졌으며, 지면 반사파 모델에 지형과 관련된 복잡한 요소를 반영하여 구한 전파 모델이다.

그리고, 장애물로 인하여 가시 거리가 확보되지 아니할 때 적용되는 대표적인 회절 손실 모델로는 나이프-에지 회절 손실 모델이 있다 [1]~[3],[5],[13],[29]. 도심에 위치한 송신 안테나에서 방사된 전파는 대규모 빌딩 숲, 차량, 삼림 등의 장애물에 의해 차단되는 경우가 대부분인데, 이렇게 차단된 신호는 그림 2-5와 같은 경로의 회절 신호로 수신 안테나에 도달하게 된다. 송신 전계 세기를 E_0 라 하면, 수신 안테나에 회절되어 수신된 전계의 세기 E 는

$$E = E_0 F e^{j\Delta\phi} \quad (2.27)$$

이 된다. 회절 계수 F와 가상 직접파와 회절파 사이의 위상차 $\Delta\phi$ 는

$$F = \frac{S(x) + 0.5}{\sqrt{2} \sin(\Delta\phi + \pi/4)} \quad (2.28)$$

$$\Delta\phi = \tan^{-1} \left[\frac{S(x) + 0.5}{C(x) + 0.5} \right] - \frac{\pi}{4}$$

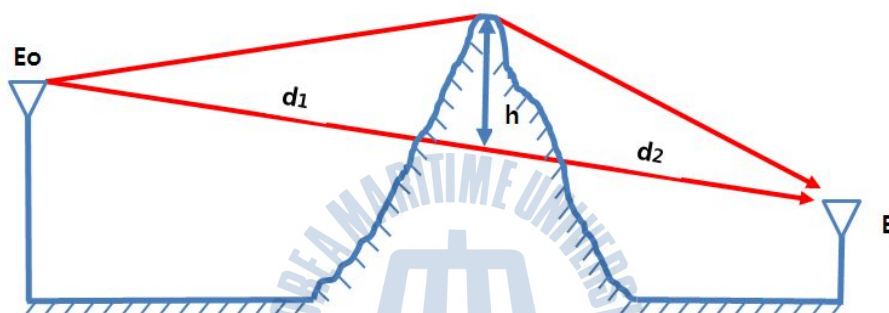


그림 2-5 나이프-에지 회절 기하 모델

Fig 2-5 Knife Edge diffraction geometry

이고,

$$S(x) = \int_0^x \sin\left(\frac{\pi}{2}u^2\right)du \quad (2.29)$$

$$C(x) = \int_0^x \cos\left(\frac{\pi}{2}u^2\right)du$$

에서의 기하 계수 x 는

$$x = -h \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2} \right)} \quad (2.30)$$

로 주어진다. 이로부터, 회절에 의한 손실은

$$L = 10 \log \left| \frac{E}{E_0} \right|^2 = 20 \log F \quad (2.31)$$

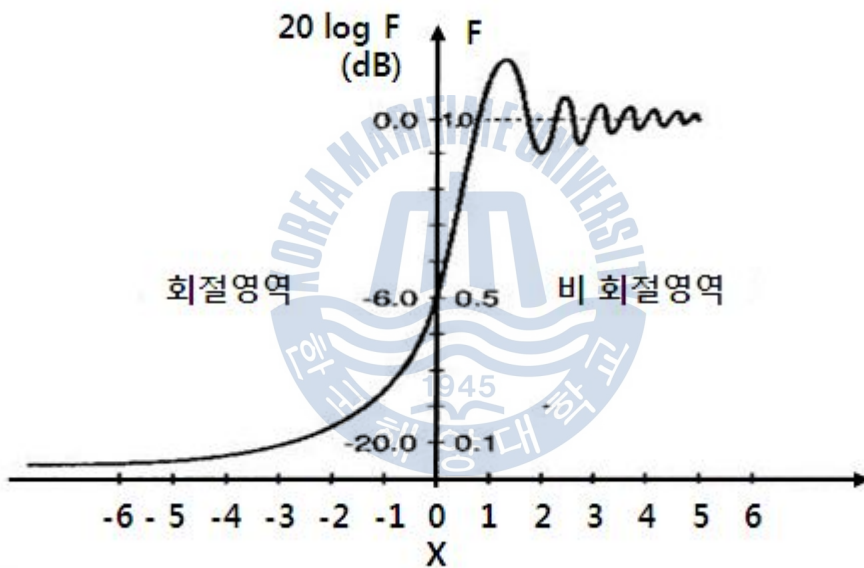


그림 2-6 나이프-에지 회절 손실 [1],[5],[13]

Fig 2-6 Knife Edge diffraction loss [1],[5],[13]

이 되는데, 위 회절 손실을 그림 2-6에 나타내었다 [1],[13]. 이로부터, 이동 통신 대역에서 $d_1 = 10 \text{ Km}$, $d_2 = 1 \text{ Km}$, $h = 30 \text{ m}$ 인 경우의 회절 영역에서는 기하 계수 x 가 -2.8 이 되고, 회절 계수 F 가 0.1 이 되어 회절로 인하

여 20 dB의 추가 손실이 발생하는 것을 알 수 있다.

2.2.4 실측된 도시별 전파 모델

실측 전파 모델이란 뉴욕, 동경, 서울, 필라델피아 등 대 도시 몇군데에서 측정된 결과를 이용하여 구축된 전파 모델이다. 이 전파 모델은 표 2-1과 같이 모든 도시에서 송수신 장치의 표준 조건을 동일하게 설정하여, 측정한 결과를 분석하여 만들어졌다. 측정 조건이 다를 시에는 보정 인수를 적용하여 전파 모델을 구하게 된다 [1],[3],[5],[13]~[18],[32]~[35].

표 2-1 전파 모델의 표준 조건

Table 2-1 Standard condition of the propagation model

표준 조건		보정 인수
기지국		
전송 전력	$P_t = 10 \text{ W}(40 \text{ dBm})$	$a_1 = 10\log(P_t' / 10)$
안테나 높이	$h_t = 30 \text{ m}$	$a_2 = 20 \log(h_t' / h_t)$
안테나 이득	$G_t = 3 \text{ dB/dipole}$	$a_3 = G_t' - 6$
단말기		
안테나 높이	$h_m = 3 \text{ m}$	$a_4 = 10 \log(h_m' / h_m)$
안테나 이득	$G_m = 0 \text{ dB/dipole}$	$a_5 = G_m'$

특정 도시를 대표하는 경로 손실 모델은 내부의 측정 지역에 따라 여러 가지가 있을 수 있다. 그러나, 한 도시의 여러 지역에서 측정된 자료에 대한

평균치를 이용하여 전파 모델을 설정함으로써, 그 도시의 미 측정 지역에 대한 대표 모델로 사용할 수 있다. 실측된 도시 전파 모델은 1 Km (혹은 1 마일) 지점에서의 수신 전력 레벨과 경로 손실 기울기라는 두 가지 파라미터로 표시된다 [1]~[6],[13]~[18].

1 Km 지점과 10 Km 지점에서 여러 개의 측정 데이터를 수집하고, 각각의 평균치를 계산하여 그래프에 표시한 후 직선으로 연결하면, 1 Km 지점에서의 수신 전력과 경로 손실 기울기라는 두 가지 파라미터를 얻을 수 있다. 안테나 실효 높이와 안테나 이득을 적용하게 되면, 실측 모델은 더욱 정확한 전파 모델이 될 수 있다. 이렇게 구해진 실측 모델은 도시 전파 환경이 비슷한 지역에 그대로 적용될 수 있다.

실측 모델들의 1 Km 지점에서의 수신 전계 레벨과 경로 손실 경사가 서로 다른 이유는 다음과 같이 설명될 수 있다. 기지국 근처에 빌딩들이 군집해 있고 멀리 떨어진 지역이 개활지 일 경우에는, 1-Km 지점에서의 수신 전계 레벨이 아주 낮으며 경로 손실 경사는 완만하게 나타난다. 반대로, 기지국의 근처에는 장애물이 없다가 거리가 멀어지면서 장애물이 많아지는 도심 외곽에 위치하면, 1-Km 지점에서의 전계 레벨은 아주 높지만 경로 손실 경사는 급격해진다. 기지국 주변의 빌딩 등의 장애물들이 거리가 멀어짐에 따라 균일하게 분포되어 있으면, 장애물 밀도에 따라 1-Km 지점에서의 전계 세기가 결정되며 경로 손실 경사는 40 dB/dec가 된다.

그리고, 장애물이 없는 지점 간 모델의 안테나 고도 이득에 대하여 살펴 보도록 한다. 기지국과 이동 통신 단말기 사이의 지형 구조에 따라 기지국 안테나의 실효 높이는 달라진다.

기지국과 단말기 안테나의 물리적인 고도는 각각 고정되어 변하지 않지만, 움직이는 단말기와 기지국 사이의 지형에 따라 기지국 안테나의 고도는

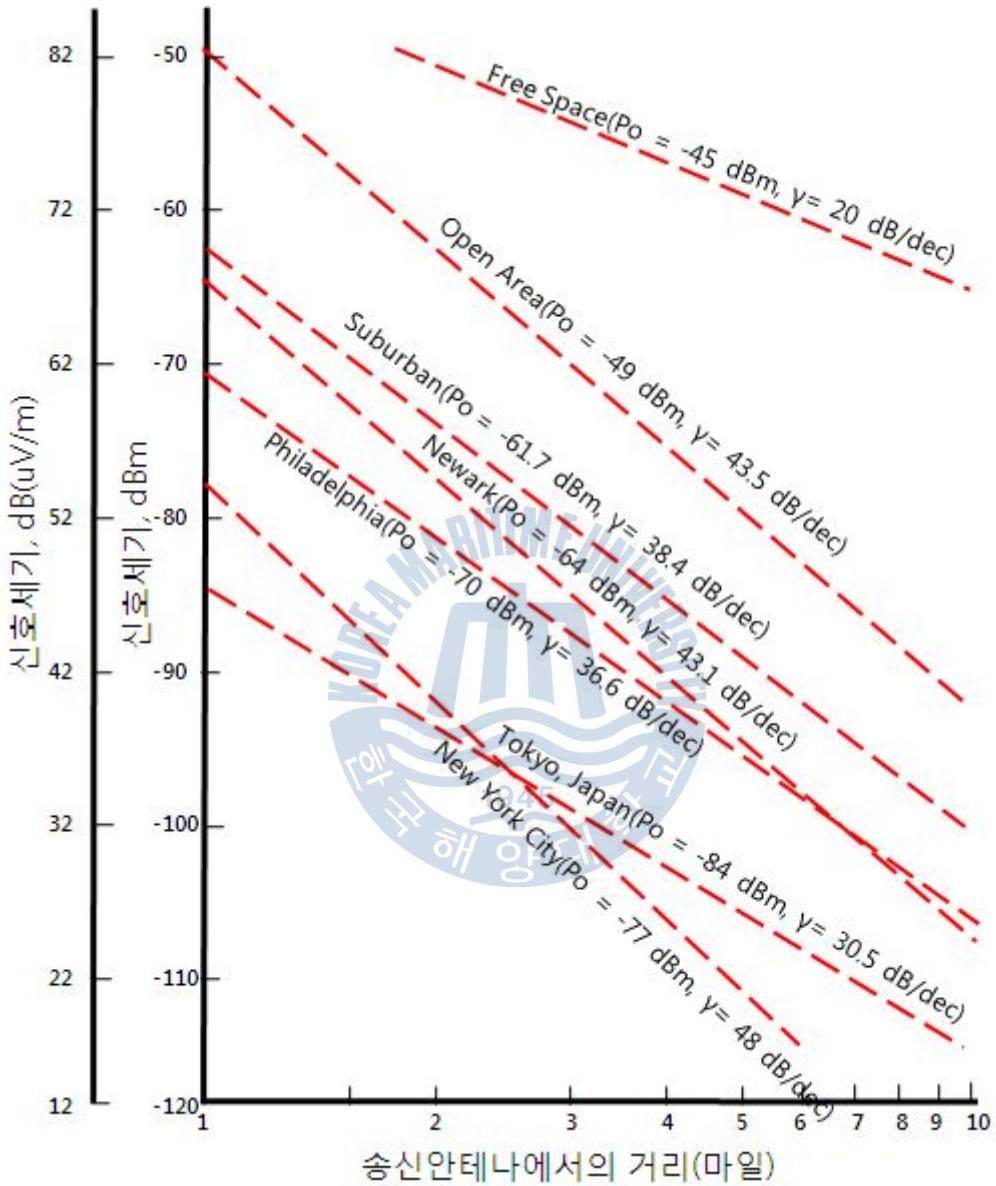


그림 2-7 세계 주요 도시에서 실측된 경로 손실 모델 [1],[13]

Fig 2-7 Propagation path loss models in major-cities [1],[13]

상대적으로 변동된다 [1],[13],[32]~[35]. 따라서, 움직이는 단말기 위치에서 계산된 기지국 안테나의 고도 이득이 전파 모델에 적용되어야 한다.

송신 안테나에서 수신 안테나로의 직접파와 지면 반사파를 그리고, 지면 반사파의 반사점을 찾는다. 반사점과 단말기 안테나가 이루는 각도만큼 반사점에서 반대쪽 송신 안테나와 지면과의 가상 지면을 그린 다음, 가상 지면에서 기지국 송신 안테나까지의 실효 높이를 계산한다. 기지국 안테나의 실제 높이 h_1 에 대한 기지국 안테나의 실효 높이 h_e 에 대하여, 안테나의 고도 이득은 $\Delta G = 20 \log \frac{h_e}{h_1}$ 으로 계산된다. 여기서 알 수 있듯이, 이동 단말기가 도로를 따라 여러 위치로 움직이면, 각 위치에서의 안테나의 고도 이득은 이동 단말기의 위치에 따라 변하게 된다.

송신 기지국과 수신 단말기의 지형 고도 차이에 의한 안테나의 고도 이득을 고려하지 않고 계산된 경로 손실은 8 dB 정도의 표준 편차를 나타내지만, 안테나의 고도 이득을 포함하여 계산된 경로 손실의 표준 편차는 2 ~ 3 dB 정도로 상당히 줄어든다 [1]~[6].

수신 단말기가 굴곡진 지형을 이동할 때, 송신 안테나의 실제 높이 h_1 과 송신 안테나 유효 높이 h_e 에 의해 발생하는 안테나의 고도 이득의 예를 보도록 하자. 수신 단말기가 시간의 흐름에 따라 굴곡진 지형인 A, B, C, D 지점을 이동하게 되면, 각 지점에서의 송신 안테나의 유효 높이 h_{eA} , h_{eB} , h_{eC} , h_{eD} 가 각각 다르게 나타나고, 유효 높이로 인한 안테나의 고도 이득

$$\Delta G_A = 20 \log \frac{h_{eA}}{h_1}, \quad \Delta G_B = 20 \log \frac{h_{eB}}{h_1}, \quad \Delta G_C = 20 \log \frac{h_{eC}}{h_1}, \quad \Delta G_D = 20 \log \frac{h_{eD}}{h_1} \quad \text{이}$$

각각 발생하게 된다. 영역간 경로 손실 모델에 안테나의 고도 이득을 반영하게 되면, 지점간 경로 손실 모델을 쉽게 구할 수 있게 된다 [1]~[8],[13]~[22]. 따라서, 수신 단말기가 이동하는 실제 지형 정보를

안테나의 고도 이득으로 반영한 지점간 경로 손실 모델은 영역간 경로 손실 모델보다 정확하다.



제 3 장 경로 손실 측정 및 분석

이동 전화 시스템은 이동 교환국 및 기지국으로 구성되어 셀룰라 서비스를 수행한다. 기지국은 교환국과 유선으로, 이동국과는 무선으로 연결하는 기능을 수행하는데, 각 서비스 영역의 중심에 위치하여 이동 단말들을 통제하고 기지국에 할당된 무선 자원을 관리한다.

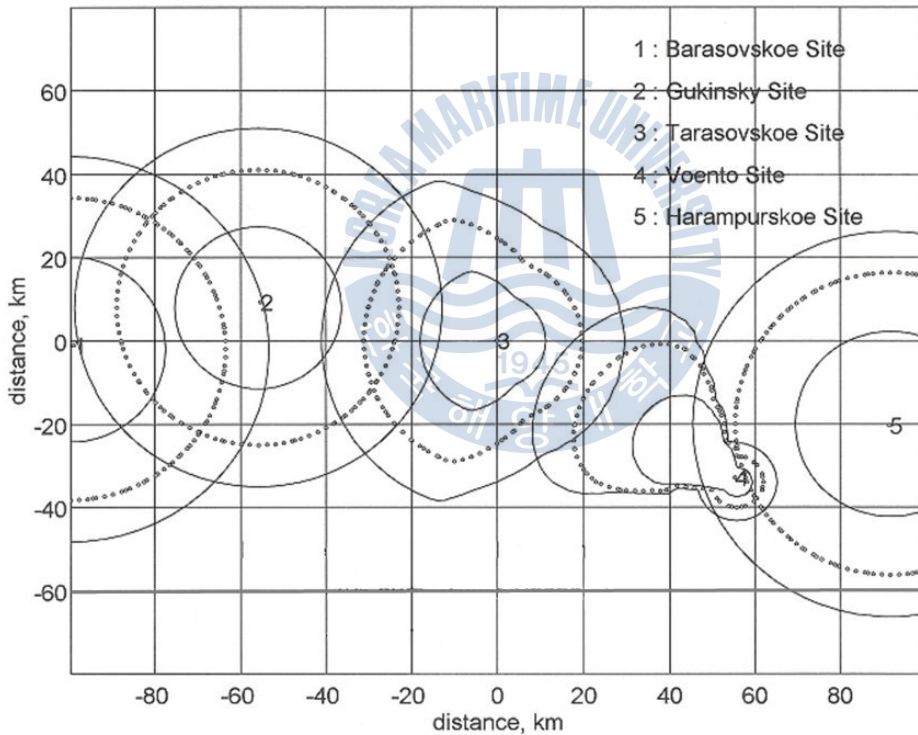


그림 3-1 러시아 PNG 필드 측정 사이트

Fig 3-1 Field test sites at the PNG Russia

이동 전화 서비스의 통화 품질은 통화 음성의 질, 통화율 및 서비스

영역의 범위 등에 의해 결정된다. 특히 서비스 반경을 결정하는 것은 통화 지역에서 수신된 신호의 세기이며, 그 신호 세기는 현장에서 필드 테스트를 거쳐야 측정된다. 즉, 측정된 수신된 신호의 세기를 분석하여 경로 손실 모델을 계산하고, 이를 바탕으로 서비스 반경을 설정한다.

본 연구 논문에 적용된 측정 지역은 러시아 PNG 지역으로, 카자흐스탄에서 북쪽으로 1,500 Km 정도에 위치해 있다. 측정 목적은 이 지역 내 다섯 개의 도시를 연결하는 간선 도로에서 이동 전화 서비스가 가능하도록 기지국의 위치를 선정하는 것이다. 각 도시의 주변은 주로 농촌 지형으로 이루어져 있고 낮은 초목이 산재되어 있는 지역으로, 그림 3-1과 같이 각 도시의 중심에 위치한 건물의 옥상에 테스트용 기지국을 세우고 이동하는 단말기에서 수신 신호 세기(RSSI)를 측정하였다. 여기서 이동 전화 기지국 시스템의 필드 테스트 실험 결과를 분석하여 경로 손실을 계산하였다.

3.1 측정 환경 및 장비

3.1.1 측정 장치의 설치

현장에서 필드 테스트를 수행하기 위하여, 전파를 송신하는 기지국 장비와 이동하면서 수신 신호를 측정하는 차량용 수신 장치를 그림 3-2와 같이 설치하여 운용하였다. 측정에 사용한 주파수는 허가 범위내 이동통신 대역인 800 ~ 900 MHz 중 일부이다. 필드 테스트용 기지국의 위치는 GPS 장치를 사용하여 위도, 경도를 파악하여 이동국과의 거리를 구하는 데 이용하였으며, 각 기지국에 사용된 안테나는 무지향성 안테나(Omni Antenna)와 60 도 지향성 안테나 두 종류인데, 표 3-1과 같이

배치하였다.

기지국에서 단말기로의 전파 수신 신호 세기(RSSI)와 단말기에서 기지국으로의 수신 신호 세기(RSSI)를 스펙트럼 분석(Spectrum Analyzer) 장비를 이용하여 각각 측정하였다. 기지국 수신기에서 측정한 값과 단말 수신기에서 측정한 값을 따로 저장하였으나, 각 정보의 시간이 GPS로 인하여 동기화 되게 하여서, 순방향 데이터와 역방향 데이터를 구분할 수 있게 하였다.

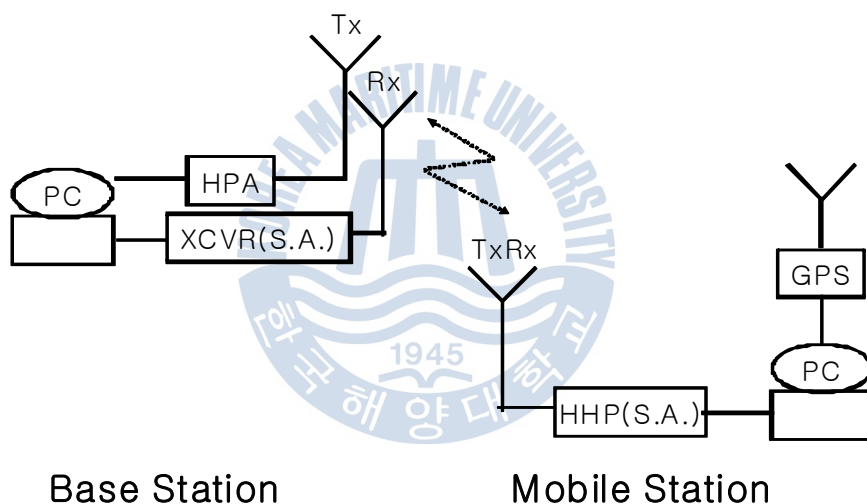


그림 3-2 필드 측정 장치의 설치

Fig 3-2 Configuration of the Field Test Measurement System

3.1.2. 필드 측정 장치의 설정치

각각의 순방향 및 역방향 링크에서 사용된 기지국 장비와 단말 장비의

초기 설정 항목들은

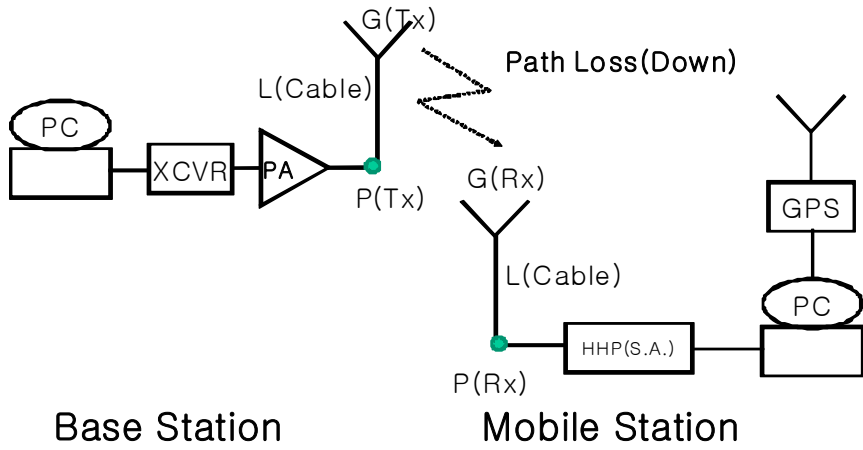
- 송수신 신호 레벨(dBm, W)
- 안테나 이득(dBi, dBd)
- 안테나 케이블 손실(dB)
- 수신기의 잡음 지수(dB), 선형 증폭 구간(dBm)
- 수신기 통과대역에 대한 기저 잡음 레벨(dBm)
- LNA의 이득(dB), 1 dB 증폭 포화점(dB)

표 3-1 이동 전화 기지국 초기 안테나 사양

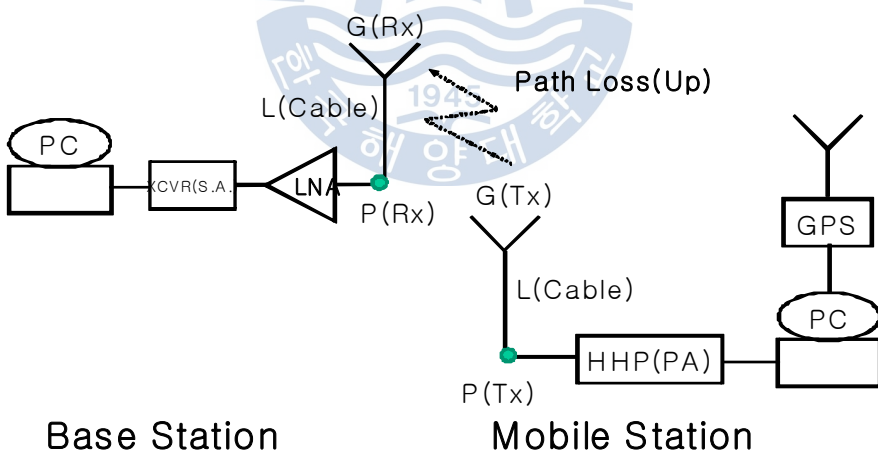
Table 3-1 Initial antenna configuration of the base station

번호	기지국	셀 형태
1	Barasovskoe	전방향
2	Gukinsky	전방향
3	Tarasovskoe	전방향
4	Voento	60도 지향성
5	Harampurskoe	전방향

등이며, 그림 3-2의 측정 장치 구성도에서 사용된 기지국 장치의 안테나 이득, 기지국 장치의 안테나 케이블 손실, 수신 증폭기 이득과 이동용 차량의 안테나 이득, 안테나 케이블 손실 등의 파라미터 값을 표 3-2에 표시하였다.



(a) 순방향 링크 버짓



(b) 역방향 링크 버짓

그림 3-3 링크 버짓

Fig 3-3 Link Budget

표 3-2 측정 장치의 링크 버짓 사양

Table 3-2 Link Budget of the measurement system

기지국	안테나 이득(dBd)	옴니(Omni)	8
		60도 지향성	12
	안테나 케이블 손실(dB)		8 ~ 20
	수신단 LNA 이득(dB)		12
	수신단 LNA의 잡음지수(dB)		2
이동국	안테나 이득(dBd)		3
	안테나 케이블 손실(dB)		3 ~ 6

여기서, 수신기의 통과 대역에 대한 잡음 전력(Noise Floor)은 섭씨 17 도, 통과대역 30 kHz에서 계산된 값에 부가 잡음치를 더하여 구한 값이 사용되었다.

3.2 측정 결과 및 분석

각 송수신 장치의 사양과 표 3-2의 링크 버짓 설정치로부터, 기지국과 단말기의 안테나들 사이의 경로 손실을 식(3.1)과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \text{Path.Loss. (경로 손실)} = & \\
 & P(\text{송신전력}) - L(\text{송신케이블손실}) + G(\text{송신안테나이득}) \\
 & - \{P(\text{수신전력}) - G(\text{수신안테나이득}) + L(\text{수신케이블손실})\} \quad (3.1)
 \end{aligned}$$

Path L



그림 3-4. 필드 측정 실험 결과

Fig 3-4 Field Test Measurement Data

그림 3-3의 장치에서 측정된 수신 신호 세기로부터, 송수신기 사이의 거리에 대한 경로 손실을 계산하여 그래프로 그려보면, 그림 3-4와 같다. 단말기는 기지국으로부터 1 마일 떨어진 지점에서 출발하여 36 Km

170

160

150

떨어진 지점까지 이동하였고, 1 마일 부근에서 측정된 경로 손실은 100 dB, 36 Km 지점에서 측정된 경로 손실은 170 dB가 됨을 알 수 있다.

Path Loss Meas



30

20

그림 3-5. 필드 측정치와 일정 구간 평균치에서의 표준 편차

Fig 3-5 Standard Deviation between measurement data and mean of the measurement data

그림 3-3으로부터, 송수신기 사이의 이격 거리가 같다 하더라도 경로 손실이 달라지는 불규칙한 현상을 볼 수 있는데, 이는 측정 위치가 여러 곳이고, 각 위치마다 전파 환경이 다르기 때문이다.

Distribution of Pa

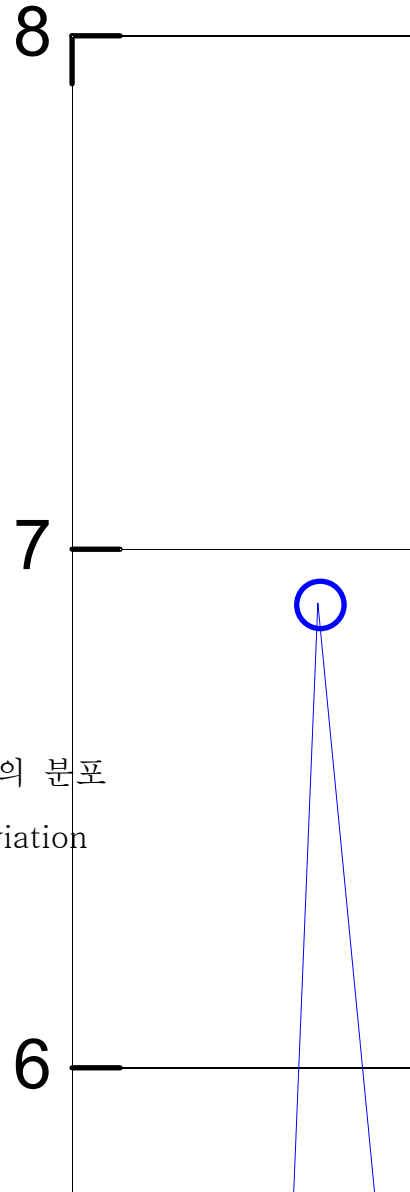
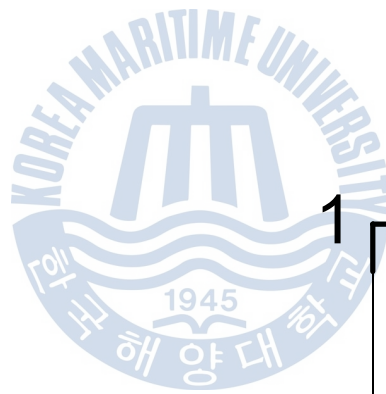


그림 3-6. 필드 측정치의 평균치에서의 편차의 분포

Fig 3-6 Distribution of the standard deviation

그림 3-4에 나타난 경로 손실 측정치의 흩어진 정도를 파악하기 위하여, 표준 편차를 구하여 그림 3-5에 나타내었다. 이를 위하여, 40 과장 정도의 범위에서 측정치의 구간 평균을 구하고, 측정치와 구간 평균의 차이를 알면, 그 차이 값에 대한 데이터로부터 경로 손실의 표준 편차를 구할 수 있게 된다.



0.9

그림 3-7. 대수-정규 누적 분포와의 비교

Fig 3-7 Comparison by the Log-Normal CDF

그림 3-5에서 구한 경로 손실 표준 편차를 1 Km 간격으로 평균하여 구한 값을 그림 3-6에 표시하였다. 그림 3-6으로부터, 경로 손실의 표준 편차가 2 dB에서 7 dB까지 다양하게 분포되어 있음을 알 수 있다. 그림 3-6에서 구한 값들과 3, 4, 5 dB의 대수 정규(Log-Normal) 누적 확률 분포를 같이 표시한 그림 3-7에서는 측정치가 대수 정규 확률 분포를 따름을 확인 할 수 있고, 편차는 전체적으로 3 ~ 5 dB(대표값 4 dB)임을 알 수 있다.



제 4 장 전파 모델 예측 방법론

이동 통신 환경에서, 전파 경로는 이동국의 위치 변동에 따라 변할 뿐 아니라, 같은 위치라 하더라도 신호의 세기가 시간에 따라 변동된다. 전파의 경로 손실은 거리, 주파수, 안테나 높이, 지형 구조, 인공 장애물 위치, 계절에 따른 삼림 손실 등에 따라 달라지므로, 이동 통신 신호의 경로 손실 모델을 설정하기란 쉽지 않다. 따라서, 정확한 경로 손실 모델을 설정하려면, 경로 손실 측정값과 여러 가지 전파 환경 정보들을 적용하여야 한다.

전파 환경 정보들을 수집하려면, 방대한 인력과 많은 시간이 필요할 뿐 아니라, 이런 기반 정보들은 정기적으로 업데이트가 이루어져야 정보로서의 의미를 유지할 수 있다. 그래서, 본 논문에서는 기존의 모델들을 이용하여, 측정된 데이터를 세부적인 구간별로 분석함으로써, 경로 손실 모델을 더욱 정확하게 설정하는 방법을 연구하였다.

4.1 전파 모델 평가 지표

수신 신호에 대한 경로 손실 모델은 실제 현상을 얼마나 더 정밀하게 표현하느냐 하는 것이 중요하다. 성능 지표란 경로 손실 특성과 관련된 전파 모델의 성능을 나타내는 단일 척도를 말한다.

유용한 성능 지표 중의 하나로 평균값(Mean Value) 기준이 있는데, 관측값 $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 의 평균값을 m 이라 하면 다음과 같이 표시된다.

$$\bar{m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4.1)$$

평균에는 산술 평균, 기하 평균 등 많은 종류가 있으나, 일반적으로 산술 평균을 가리키는 경우가 많으며, 가중 평균과 대비하여 단순 평균이라고 한다 [4].

다른 유용한 성능 지표로는 표준 편차(Standard Deviation)가 있다. 관측값 $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 의 평균값을 m 이라 하면, 표준 편차 σ 는 다음 식으로 주어진다.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (m - x_k)^2} \quad (4.2)$$

표준 편차가 0일 때는 관측값 전체가 같은 값이고, 표준 편차가 클수록 관측값 중에는 평균에서 떨어진 값들이 많이 존재한다. 따라서 표준 편차는 관측값의 흩어진 정도를 나타낸다 [7].

4.2 전파 모델 구간 분석 방법론

앞에서 보았듯이, 전파 모델에는 자유 공간 모델 등 여러 가지 경로 손실 모델들이 있으나, 직접파 및 지면 반사파 모델이 수신 전력 레벨을 예측하는데 가장 적절하다고 판단하였다. 이 모델에 필드에서 측정된 결과와 전파 환경 정보를 반영하게 되면, 더욱 정확한 경로 손실 모델이 될 것이다. 그래서, 직접파 및 지면 반사파 모델을 기본 모델로 하고, 이 모델에 전파 환경 요소를 반영한 요소를 추가하여 본 논문의 구간 분석법의 모델로 제안하고자 한다. 직접파 및 지면 반사파 모델은

$$\frac{P_r}{P_t} = G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 |1 + \Gamma e^{j\Delta\phi}|^2 = G_t G_r \left(\frac{h_t h_m}{d^2} \right)^2 \quad (4.3)$$

이었다. 직접파 및 지면 반사파 모델에 경로 손실 경사도, 단말기 안테나 높이, 주파수 특성의 영향을 반영하기 위하여,

$$\frac{P_r}{P_t} = K G_t G_r \left(\frac{h_t^2 h_m^x}{d^\alpha f^y} \right) \quad (4.4)$$

와 같은 전파 모델을 구간 분석법의 모델로 제안한다. 여기서, α 는 경로 손실 경사를 나타내며, 지형의 특성에 따라 2 ~ 5 사이의 값이 된다. 오키무라 실험식으로부터 알 수 있듯이, 안테나 높이가 3 m 이하일 때 수신 안테나 높이가 2 배가 되면 안테나 높이 이득이 3 dB가 되어 x 는 1의 값이 되고, 안테나 높이가 3 m ~ 10 m 사이의 값일 때에는 안테나 높이가 2 배가 되면 안테나 높이 이득이 6 dB가 되어 x 는 2의 값이 된다. 직접파 및 지면 반사파 모델에 주파수에 대한 정보를 반영하기 위하여, 오키무라-하타 전파 모델의 측정 결과를 본 모델에 적용하였다. 주파수 의존 계수 y 는 450 MHz 이하의 농촌 및 부도심 지역에서는 2의 값을 가지고, 450 MHz 이상의 도심 지역에서는 3의 값을 가진다 [12].

전파 환경이 변경되면 제안된 모델 식(4.4)의 비례 상수 α , x , y 에 각각 다른 값이 적용되어야 한다. 서로 다른 환경 i 와 j 에 대하여, 각각의 송수신 전력의 비를 보면,

$$\frac{P_{ri}}{P_{ti}} = K G_{ti} G_{ri} \left(\frac{h_{ti}^2 h_{mi}^x}{d_i^\alpha f_i^y} \right), \quad \frac{P_{rj}}{P_{tj}} = K G_{tj} G_{rj} \left(\frac{h_{tj}^2 h_{mj}^x}{d_j^\alpha f_j^y} \right) \quad (4.5)$$

이 되고, 이로부터 각각의 수신 전력을 나누어 정리하면,

$$\frac{P_{rj}}{P_{ri}} = \left(\frac{d_j}{d_i}\right)^{-\alpha} \cdot \frac{P_{tj}G_{tj}G_{tj}}{P_{ti}G_{ti}G_{ti}} \left(\frac{h_{tj}}{h_{ti}}\right)^2 \left(\frac{h_{mj}}{h_{mi}}\right)^x \left(\frac{f_j}{f_i}\right)^{-y} \quad (4.6)$$

가 된다. 이식에서 송신 전력, 안테나 이득, 안테나 높이, 사용 주파수가 같은 경우에는,

$$\frac{P_{rj}}{P_{ri}} = \left(\frac{d_j}{d_i}\right)^{-\alpha} \quad (4.7)$$

처럼 된다. 거리에 따른 수신 전력의 비례 상수는 α 가 되며, 이 값을 경로 손실 경사 계수라고 한다 [1]~[6],[11],[12],[17],[19],[28],[30],[33],[39],[43],[45],[47].

그림 4-1에서처럼 이동 단말기가 다른 경로 손실 경사 지역을 지나갈 때의 수신 전력비 P_{rn} / P_{r0} 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{P_{rn}}{P_{r0}} &= \frac{P_{rn}}{P_{rn-1}} \cdot \frac{P_{rn-1}}{P_{rn-2}} \cdot \frac{P_{rn-2}}{P_{rn-3}} \cdots \frac{P_{r1}}{P_{r0}} \quad (4.8) \\ &= \left(\frac{d_n}{d_{n-1}}\right)^{-\alpha n} \left(\frac{d_{n-1}}{d_{n-2}}\right)^{-\alpha n-1} \left(\frac{d_{n-2}}{d_{n-3}}\right)^{-\alpha n-2} \cdots \left(\frac{d_1}{d_0}\right)^{-\alpha 1} \\ &= \prod_{i=1}^n \left(\frac{d_i}{d_{i-1}}\right)^{-\alpha i} \end{aligned}$$

이를 간단히 표현하면,

$$\frac{P_{rn}}{P_{r0}} = \prod_{i=1}^n \left(\frac{d_i}{d_{i-1}} \right)^{-\alpha_i} \quad (4.9)$$

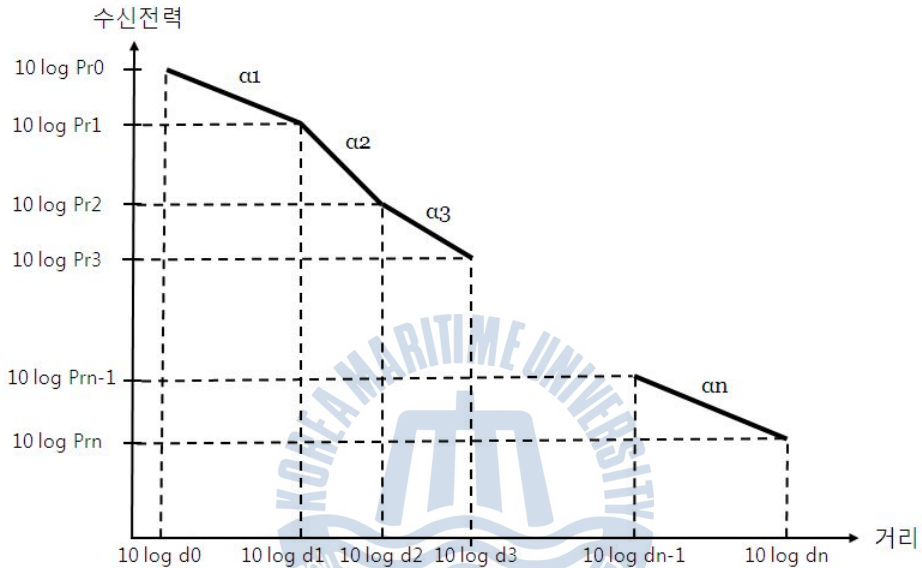


그림 4-1 다른 경로 손실 지역

Fig 4-1 Areas with different path losses

이 되고, 위에서 구한 일반식(4.9)에서 k 번째 구간에 대한 경로 손실 경사를 분리하여 표현하면,

$$\frac{P_{rn}}{P_{r0}} = \left(\frac{d_n}{d_0} \right)^{-\alpha_k} \left(\frac{d_0}{d_n} \right)^{-\alpha_k} \prod_{i=1}^n \left(\frac{d_i}{d_{i-1}} \right)^{-\alpha_i} = \left(\frac{d_n}{d_0} \right)^{-\alpha_k} Q_k \quad (4.10)$$

$$\text{여기서, } Q_k = \left(\frac{d_0}{d_n}\right)^{-\alpha k} \prod_{i=1}^n \left(\frac{d_i}{d_{i-1}}\right)^{-\alpha i}$$

이 된다 [1]~[7],[11]~[20],[22]. 그리고, 식(4.10)을 P_{rn} 에 대하여 전개하면,

$$P_{rn} = P_{r0} \left(\frac{d_n}{d_0}\right)^{-\alpha k} Q_k \quad (4.11)$$

이 되는데, 1 Km 지점에서의 수신 레벨 P_{r0} 는 같은 지점의 경로 손실 L_0 와 비례하고, 최종 지점에서의 수신레벨 P_{rn} 은 그 지점에서의 경로 손실 L_n 과 비례하며, 수신 전체 세기가 감소할 때 경로 손실은 증가하므로, 식(4.11)는 아래와 같이 적을 수 있다.

$$L_n = L_0 \left(\frac{d_n}{d_0}\right)^{\alpha k} Q_k \quad (4.12)$$

그런데, 식(4.12)는 전체 구간에 적용되는 식으로, 일부 구간인 k 번째 구간에만 한정하여 적용할 수 있다. k 번째 구간에만 한정된 1 Km 지점에서의 경로 손실은 k 번째 구간에서의 경로 손실 경사를 연장하여 1 Km 지점에서의 경로 손실을 역으로 계산한 값 $\overline{L_{0k}}$ 로 대체할 수 있고, k 번째 구간에서의 경로 손실을 유발한 환경을 나타내는 상수 $\overline{Q_k}$ 를 적용할 수 있다. 이러한 사항을 반영하여 위 식(4.12)를 데시벨로 다시 표시하면,

$$\overline{L}_k = \overline{L}_{0k} + \overline{\alpha}_k \log\left(\frac{d_n}{d_0}\right) + \overline{Q}_k \quad (4.13)$$

이 되는데, 이 식에서 k 번째 구간에 대한 중요한 세 가지 파라미터를 다음과 같이 추출할 수 있다.

\overline{L}_{0k} : 1 Km 지점에서의 경로 손실 (dB)

$\overline{\alpha}_k$: 경로 손실 경사 (dB / dec)

\overline{Q}_k : 경로 손실 환경 상수

특히, 전파 환경 상수 \overline{Q}_k 는 k 번째 구간에 대한 굴곡진 지형, 빌딩, 주변 장애물, 차량 등 전파 환경을 반영하는 파라미터로 새로이 추가 되었다. \overline{L}_{0k} 는 k 번째 구간에 대한 1 Km 지점에서의 경로 손실 파라미터이고, 경로 손실 경사 $\overline{\alpha}_k$ 는 k 번째 구간의 경로 손실 경사를 표현하는 파라미터이다. 전체 구간을 여러 개의 세부 구간으로 나누고, 각 세부 구간에 대한 1 Km 지점에서의 경로 손실값 \overline{L}_{0k} , 경로 손실 경사 $\overline{\alpha}_k$, 그리고 전파 환경 상수 \overline{Q}_k 를 구할 수 있다. 이렇게 구한 구간별 \overline{L}_{0k} , $\overline{\alpha}_k$, \overline{Q}_k 파라미터들은 해당 구간을 가장 잘 표현하는 전파 모델 파라미터가 된다. 식(4.13)과 세 가지 파라미터들을 전파 모델 예측 방법론에 적용하였다.

4.3 기존 전파 모델들을 이용한 구간 분석 방법론

실험을 통해 측정된 데이터 전체를 하나의 전파 모델로 표현하기는 어렵

다. 그래서, 전체 구간을 여러 개의 세부 구간으로 나누고, 각 세부 구간에 대한 대표 모델을 각각 선정하여 종합하는 것이 구간 분석법이다. 본 논문에 사용된 기존의 이론적인 전파 모델의 종류는 다음과 같다.

- 1) 자유 공간 손실 모델
- 2) 직접파와 지면 반사파 모델
- 3) 에글리 모델
- 4) 오쿠무라-하타 도심 모델
- 5) 오쿠무라-하타 부도심 모델
- 6) 오쿠무라-하타 농촌 모델

그리고, 세계의 대도시 몇 군데에서, 표준 조건에 따라 구해진 전파 모델을 실측 도시 모델이라 하는데, 비슷한 전파 환경의 도시에서는 이러한 실측 도시 모델 적용이 가능하다. 실측 도시 모델은 동경, 뉴욕, 서울, 필라델피아, 뉴욕, 전주 모델 등이 있다.

이론 모델 6 가지와 실험 모델 6 가지를, 3장에서 측정 데이터와 같이 나타내면 그림 4-2과 같다. 그림 4-2의 측정된 데이터는 기지국과 이동국 사이의 거리가 멀어짐에 따라 전체 구간에 걸쳐 넓게 분포되어 있다는 것을 알 수 있다. 이로부터, 측정 데이터에 대한 분석이 상당히 난해하고, 전파 모델을 설정하기 어렵다는 것을 짐작할 수 있다. 일단, 분석을 위한 시작으로, 전 구간에 대한 측정값과 기존 전파 모델들의 차이에 대한 평균값(Mean)과 표준 편차(Standard Deviation)를 구해서 표 4-1에 나타내었다.

표 4-1을 보면, 이론 모델과의 비교에서는 측정값과 하타 부도심 모델의 차이에 대한 평균이 최저 값을 나타내고 있으며, 측정값과 지면파 모델, 측

정값과 에글리 모델의 차이에 대한 표준 편차가 최저를 나타내고 있다.

표 4-1 기존의 이론 및 실측 모델별 평균과 표준 편차

Table 4-1 Means and standard deviations for the conventional theoretical and real-measured models

모델		평균	표준 편차
이론	자유 공간 손실 모델	27.6	11.6
	지면파 모델	20.7	7.1
	에글리 모델	-7.9	7.1
	하타 도심 모델	-14	8.1
	하타 부도심 모델	-4.2	8.1
	하타 농촌 모델	14.2	8.1
실측	동경	-1.1	8.8
	뉴욕	-9.3	6.7
	서울	-6.9	7.5
	뉴어크	7.8	6.8
	전주	5.6	8.2
	필라델피아	7.3	7.5

실측 도시 모델과의 비교에서는 측정값과 동경 모델의 차이에 대한 평균이 최저이고, 뉴욕과 뉴어크 모델의 차이에 대한 표준 편차가 최저의 값을 보이고 있다. 전체적으로 평가 했을 때, 측정값과 동경 모델의 차이에 대한

평균이 최저이고, 측정값과 뉴욕 모델의 표준 편차가 최저이므로, 측정 지역의 경로 손실 그래프는 동경과 뉴욕 모델에 가장 가까운 궤적이 됨을 알 수 있다.

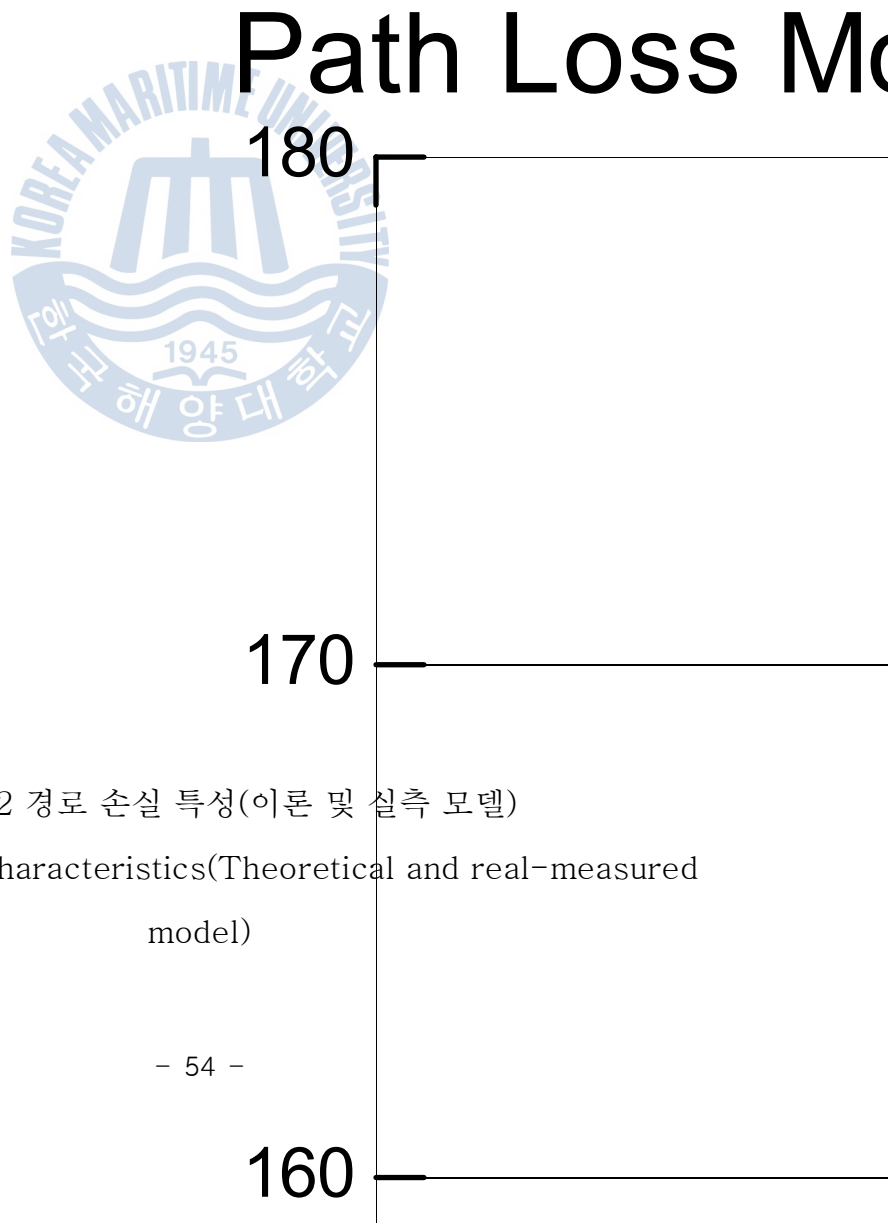


그림 4-2 경로 손실 특성(이론 및 실측 모델)

Fig 4-2 Path loss characteristics(Theoretical and real-measured model)

이를 그래프로 확인하고 전체 구간에서 측정값을 대표하는 모델을 찾기 위하여, 측정값과 이론 및 실측 모델들의 차이에 대한 평균값만큼 보정하기

Path Loss Mo



그림 4-3 수정된 경로 손실 특성(이론 및 실측 모델)

Fig 4-3 Modified path loss characteristics(Theoretical and real-measured Model)

위한 방법으로, 기존의 이론 및 실측 모델들을 측정값에 맞도록 이동하여

표시한 결과를 그림 4-3에 나타내었다.



그림 4-4 경로 손실 표준 편차 및 최저 경로 손실 표준 편차 모델 특성(8 Km)

Fig 4-4 The standard deviation and the lowest standard deviation model characteristics for the path loss(8 Km)

이 그림을 보면, 전체 구간에 대하여 측정값과 가장 근접한 이론 모델은 에글리 모델과 지면 반사파 모델이며, 측정값과 가장 근접한 실측 모델은 뉴욕 모델과 뉴어크 모델이다.

이를 통하여 알 수 있듯이, 기존 모델들과 측정치의 차이에 대한 평균은 보정하기 용이하지만, 그 차이에 대한 표준 편차는 보정하기 어려움을 알 수 있다. 그래서, 측정값을 보다 잘 표현하는 방법은 측정값과의 표준편차가 가장 작은 전파 모델을 선택하는 것이라 할 수 있겠다.

다음으로, 전체 구간의 25 %에 해당하는 8 Km 구간 간격으로 나누어 총 4 개의 구간에서, 각각의 구간별로 측정값과 기존의 이론 및 실측 모델들의 표준 편차를 구하여, 각 구간별로 표준 편차가 가장 작은 기존의 이론 및 실측 모델을 선정하여 그림 4-4에 나타내었다.

이로부터, 첫 번째 2 Km ~ 10 Km 구간에서 측정값과 12개의 이론 및 실측 모델들의 표준편차는 7.3 dB ~ 8.1 dB의 범위에 분포되어 있으며, 그 중에서 최저 표준 편차를 나타내는 모델은 동경 모델임을 알 수 있다.

두 번째 10 Km ~ 18 Km 구간에서는 뉴욕 모델이, 세 번째 18 Km ~ 24 Km 구간에서는 자유 공간 모델이, 네 번째 24 ~ 32 Km 구간에서는 뉴욕 모델이 최저 표준 편차를 나타내고 있다. 또한, 첫 번째 구간에서 네 번째 구간으로 멀어질수록, 최저 표준 편차는 7.5, 6.4, 4.7, 3.6 dB로 점차 작아지고 있다.

8 Km 구간별로 선정된 4 개의 대표 모델에 대하여 측정값과의 차이에 대한 평균값과 표준 편차를 그림 4-5에서 구해보면 0 dB, 6.1 dB가 된다. 이로부터, 표 4-1의 전체 구간에서 구한 값들 중에서 최저 표준 편차인 뉴욕 모델의 6.7dB 에 비해 0.6 dB가 향상되었음을 알 수 있다.



그림 4-5 최적 경로 손실 표준 편차 모델 특성(8 Km)

Fig 4-5 The best fit model characteristics for path loss (8 Km)

다음으로는, 전체 구간을 8 Km의 1/16에 해당하는 0.5 Km 구간으로 아주 세밀하게 나누어서, 0.5 Km 구간별로 표준 편차가 가장 작은 대표 모델을 0.5 Km 구간별로 선정하여 그림 4-6에 나타내었다.

0.5 Km 구간의 갯수는 총 60 개이며, 52 개의 구간에서 최저 표준 편차를 나타내는 모델은 뉴욕 실측 모델과 자유 공간 이론 모델이고 뉴어크 모델,

하타 모델, 에글리 모델이 나머지 8 개 구간을 차지하고 있음을 알 수 있다. 또한, 최저 표준 편차는 2 Km 부근의 8 dB에서 32 Km 부근의 2 dB로 점차 작아지고 있다.

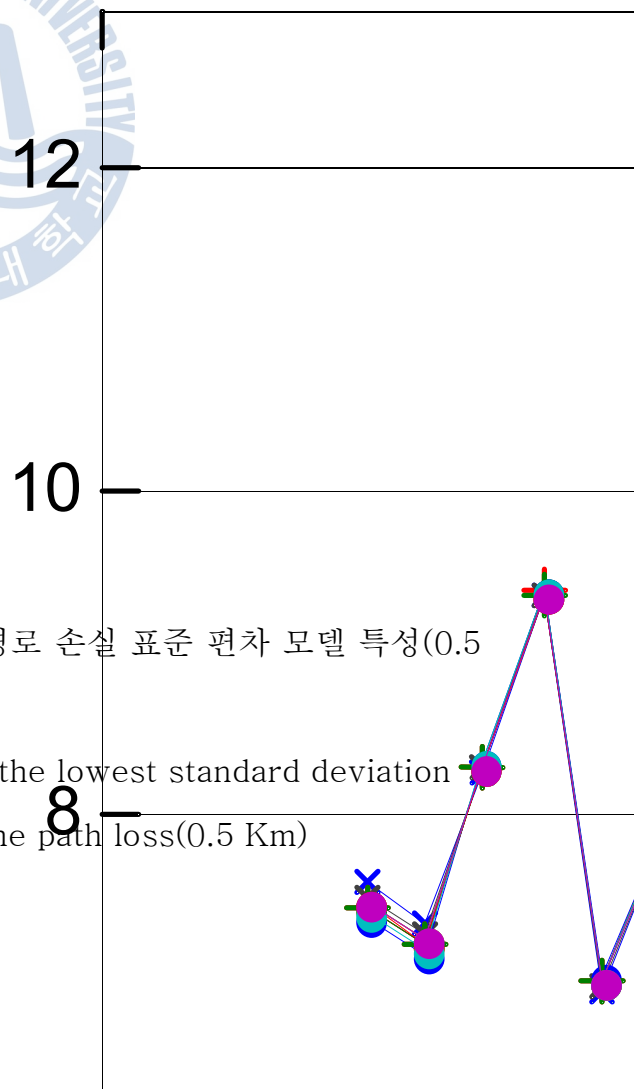
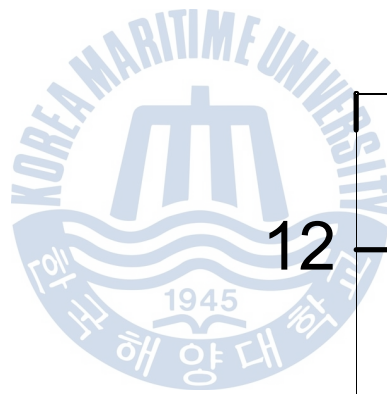


그림 4-6 경로 손실 표준 편차 및 최저 경로 손실 표준 편차 모델 특성(0.5 Km)

Fig 4-6 The standard deviation and the lowest standard deviation model characteristics for the path loss(0.5 Km)

Deviation, dB



그림 4-7 최적 경로 손실 표준 편차 모델 특성(0.5 Km)

Fig 4-7 The best fit model characteristics for path loss (0.5 Km)

0.5 Km 구간별 최저 표준 편차를 보이는 대표 모델들과 측정값의 차이에 대한 평균값과 표준 편차를 그림 4-7에서 구해보면, 0 dB, 5.3 dB가 된다. 이는 표 4-1의 전체 구간에서 구한 표준 편차들 중에서 최저인 뉴욕 모델의 6.7 dB에 비해 1.4 dB가 향상되었음을 알 수 있다. 또한, 0.5 Km 구간에

서 구한, 측정치와 60 개의 대표 모델들의 최종 표준편차 5.3 dB는 8 Km 구간별 표준편차 6.1 dB에 비해서도 0.8 dB가 향상된 값이다.

4.4 구간 분석 방법론의 일반화

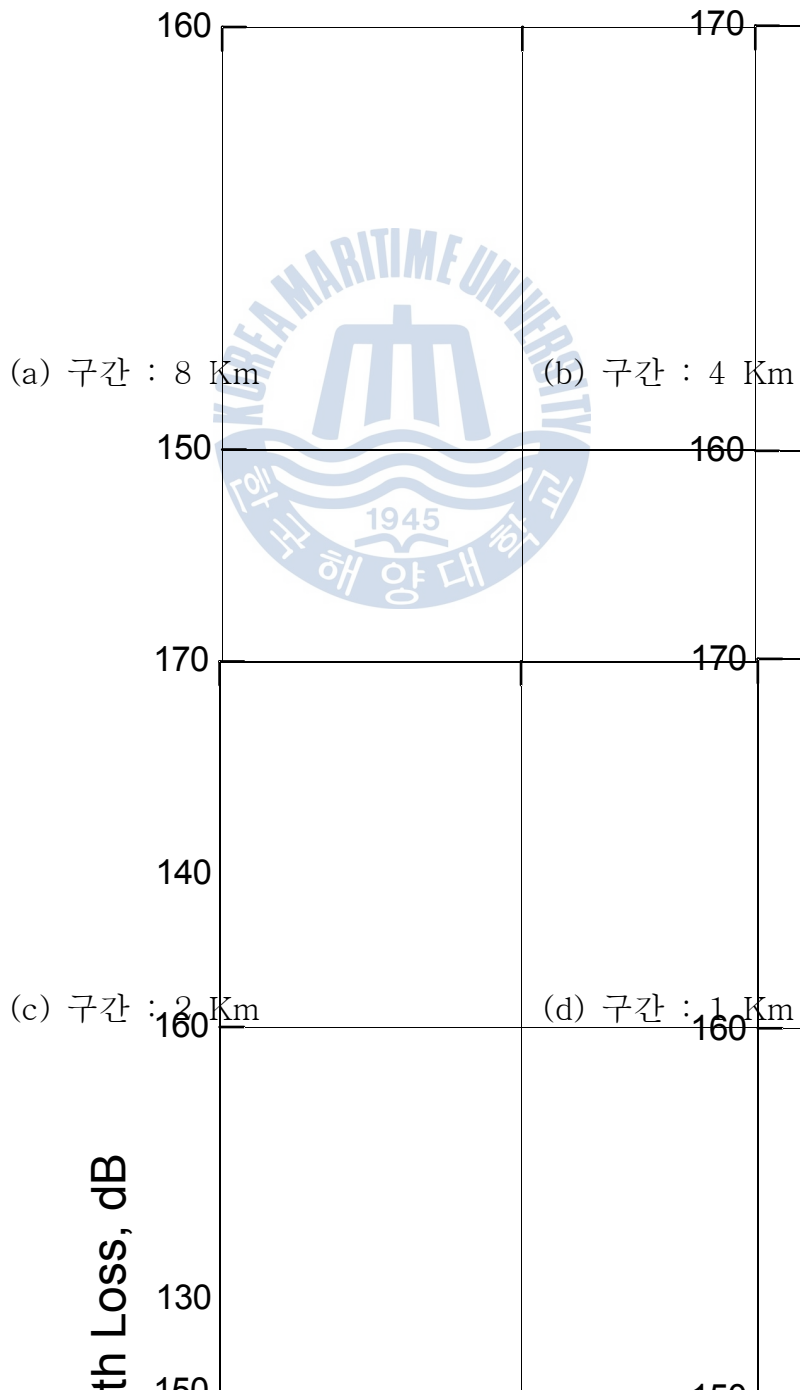
4.4.1 구간별 경로 손실 모델 특성 분석

기존의 이론 모델 6 가지, 기존의 실측 모델 6 가지, 그리고 이론과 실측 모델 12 가지를 각각 측정치에 순차적으로 구간 분석법을 적용하여 구간별 경로 손실 모델을 구하였다.

먼저, 기존의 이론 모델에 구간 분석법을 적용하여 보도록 한다. 지금까지는 측정된 경로 손실 값을 전체 구간, 8 Km, 0.5 Km 구간으로 각각 나누어 성능 지표인 표준 편차의 값을 살펴 보았다. 이번에는 전체 구간을 각각 8 Km, 4 Km, 2 Km, 1 Km, 0.5 Km, 0.25 Km로 세밀하게 나누어, 기존의 이론 모델 중에서 측정치와 가장 작은 표준 편차를 보이는 모델을 4.3 장에서와 같이 선정하여, 선정된 대표 모델들을 그림 4-8에 나타내었다. 즉, 전체 구간을 8 Km 씩 4 개, 4 Km 씩 8 개, 2 Km 씩 16 개, 1 Km 씩 32 개, 0.5 Km 씩 64 개, 0.25 Km 씩 128 개로 각각 나누었다.

기존의 이론 모델과 비교한 그림 4-8(a)에서, 8 Km 씩 4개 구간으로 표시된 최저 표준 편차 모델은 앞 장에서 설명한 바와 같이, 하타 모델(제 1 구간 : 2 ~ 10 Km), 에글리 모델(제 2 구간 : 10 ~ 18 Km), 자유 공간 모델(제 3 구간 : 18 ~ 26 Km), 에글리 모델(제 4 구간 : 26 ~ 34 Km)이 되며, 측정 데이터와의 차이에 대한 표준 편차는 6.17 dB가 되었다. 그림 4-8(b)에서는, 4 Km 씩 8개 구간에서 최저의 표준 편차를 보이는 이론 모델들을 선정하였다. 제 1, 4, 6 구간에서 자유 공간 모델이, 제 2, 3, 5, 7, 8 구간에

서 에글리 모델이 대표 모델이 되었으며, 측정값과의 표준 편차는 6.05 dB가 되었다.



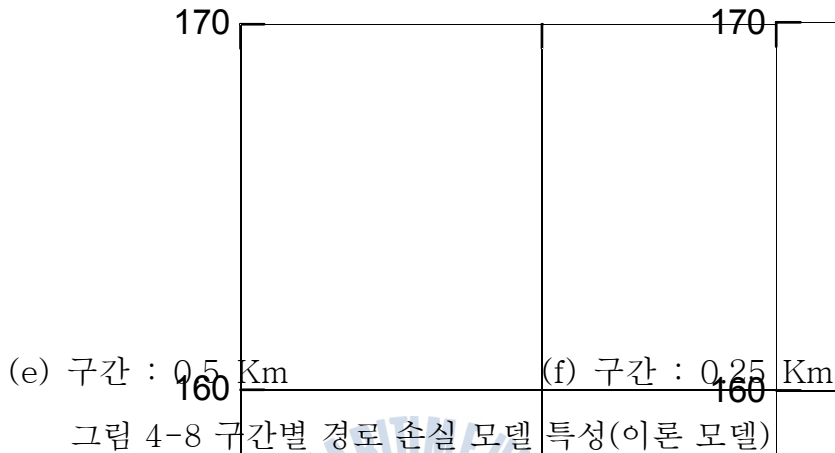


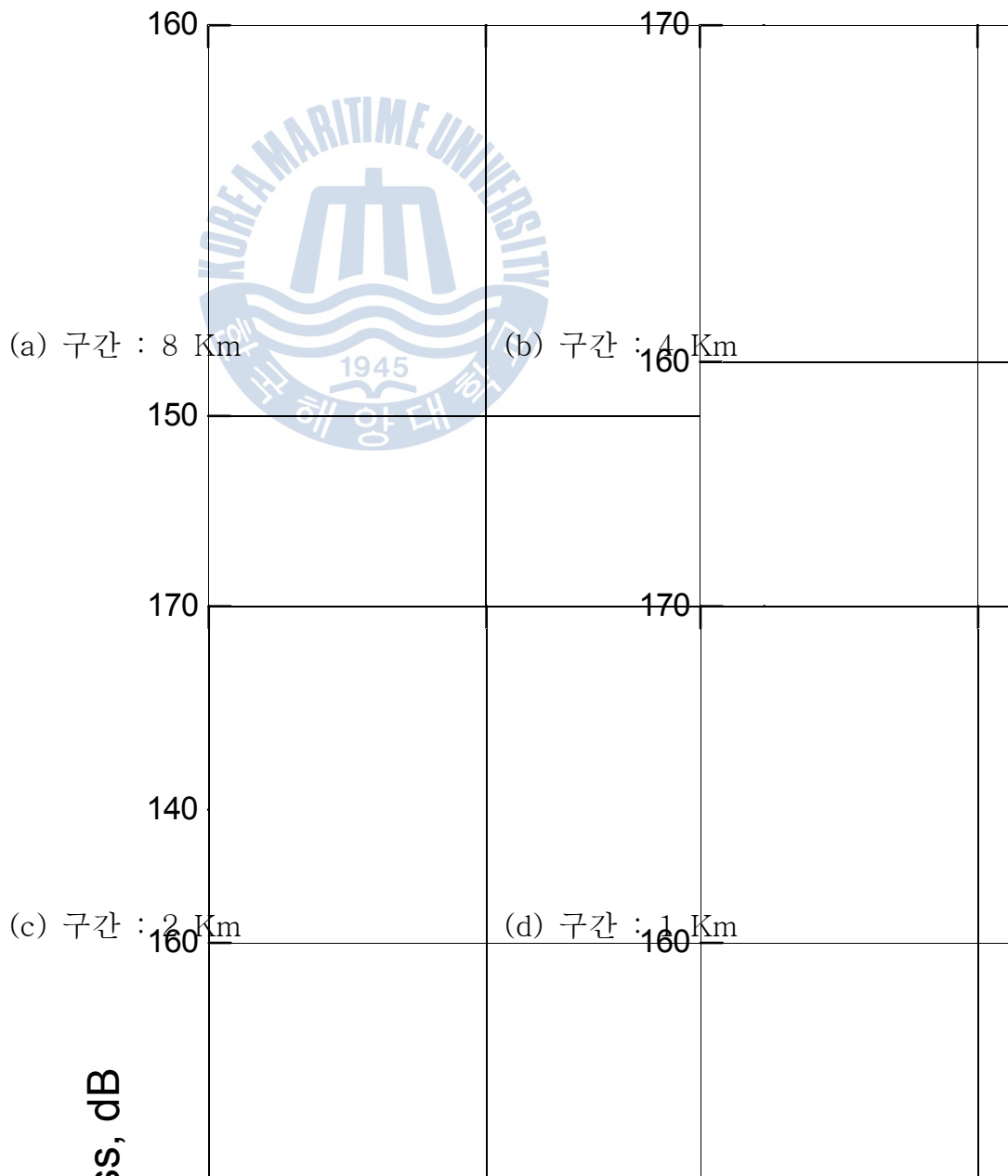
Fig 4-8 The partial model characteristics for path loss(Theoretical model)

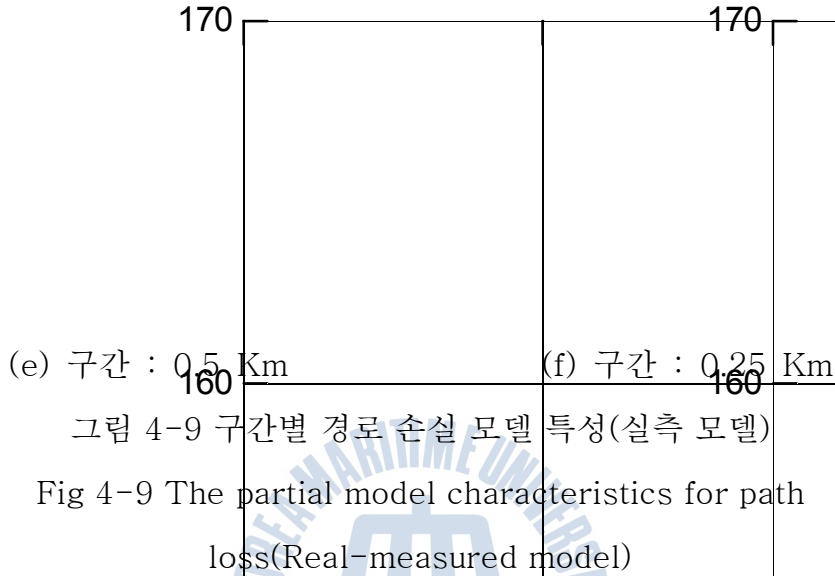
이런 방법으로 구간을 2 Km, 1 Km, 0.5 Km, 0.25 Km로 줄이면서, 최저의 표준 편차를 갖는 이론 모델을 각 구간 별로 선정하여 그림 4-8(e) ~ (f)에 나타내었다. 그림 4-8로부터, 구간 간격이 8 Km에서 0.25 Km로 좁아질 때, 측정값과의 표준 편차가 6.17 dB (8 Km), 6.05 dB (4 Km), 5.62 dB (2 Km), 5.44 dB (1 Km), 5.32 dB (0.5 Km), 5.21 dB (0.25 Km)로 점점 줄어들고 있다는 것을 알 수 있다.

유사한 방식으로, 실측 모델 6 가지를 이용하여 구한 구간별 대표 경로 손실 모델들을 그림 4-9에 나타내었다. 기존의 실측 모델과 비교한 그림 4-9(a)를 보면, 0.5 Km 씩 4개 구간에서 최저의 표준 편차를 갖는 대표 모델은 앞 장과 같이, 동경 모델(제 1 구간 : 2 ~ 10 Km), 동경 모델(제 2 구간 : 10 ~ 18 Km), 동경 모델(제 3 구간 : 18 ~ 26 Km), 동경 모델(제 4 구간 :

26 ~ 34 Km)이 되며, 측정 데이터와의 차이에 대한 표준 편차는 6.12 dB가 되었다.

구간 간격이 8 Km에서 0.25 Km로 좁아 질 때, 측정값과의 표준 편차가 6.12 dB (8 Km), 6.03 dB (4 Km), 5.62 dB (2 Km), 5.44 dB (1 Km),

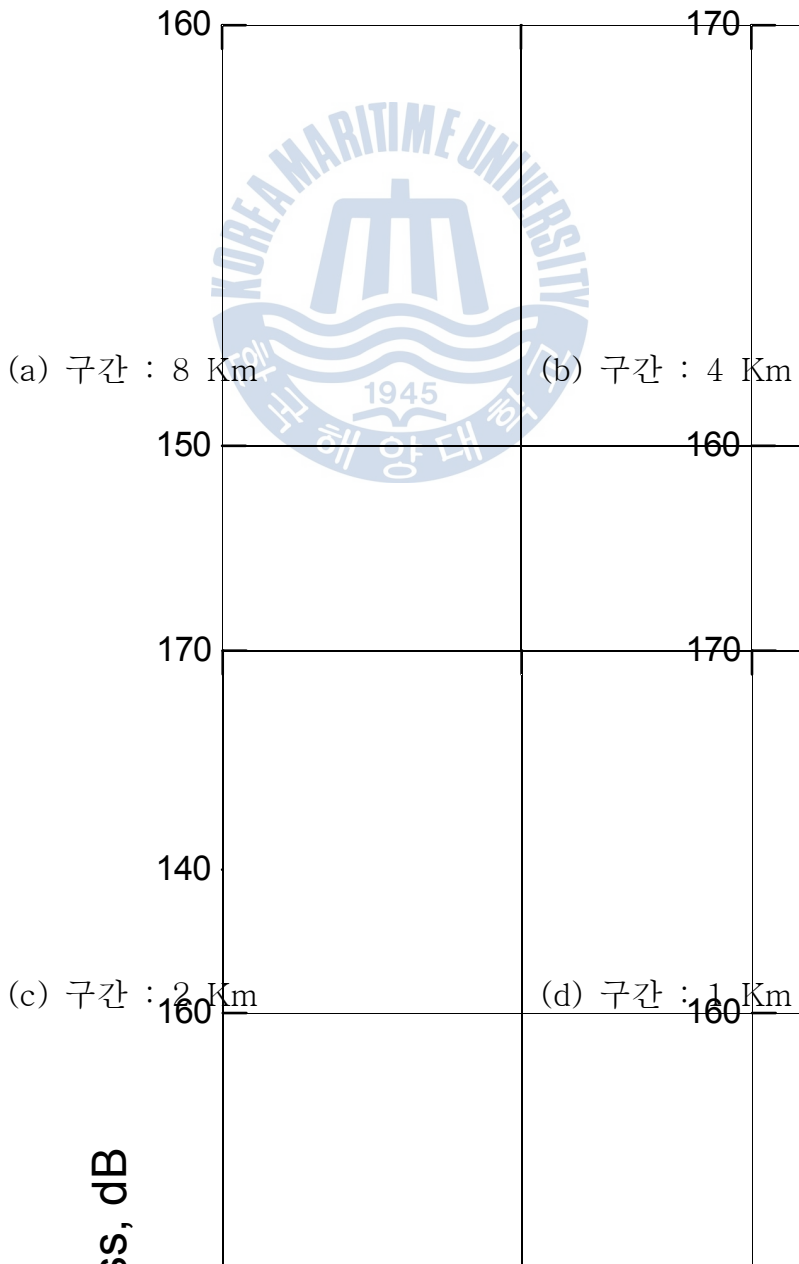




5.32 dB (0.5 Km), 5.21 dB (0.25 Km)로 줄어 들고 있음을 알 수 있다. 그러나, 앞에서 구한 이론 모델의 표준 편차와 비교해 보면 150의 비슷하다고 할 수 있다.

이론 모델과 실측 모델을 합친 전체 12개 모델을 적용하여 구한 구간별 경로 손실 모델들을 그림 4-10에 나타내었다. 8 Km 씩 4개 구간에서 대표 모델을 구하여 그린 그림 4-10(a)에서, 최저의 표준 편차를 나타내는 대표 모델은 각 구간별로 동경 모델(제 1 구간 : 2 ~ 10 Km), 뉴욕 모델(제 2 구간 : 10 ~ 18 Km), 자유 공간 모델(제 3 구간 : 18 ~ 26 Km), 뉴욕 모델(제 4 구간 : 26 ~ 34 Km)이었다. 요약하면, 이론 모델은 1개의 구간에서, 실측 모델은 3 개의 구간에서 최저의 표준 편차를 나타내었고, 측정 데이터와의 차이에 대한 표준 편차는 6.10 dB가 되었다.

구간 간격이 8 Km에서 0.25 Km 로 좁아 질 때, 선정된 대표 모델들과 측정값의 표준 편차가 6.10 dB (8 Km), 6.01 dB (4 Km), 5.60 dB (2 Km), 5.43 dB (1 Km), 5.32 dB (0.5 Km), 5.21 dB (0.25 Km)로 점점 줄어들었다.



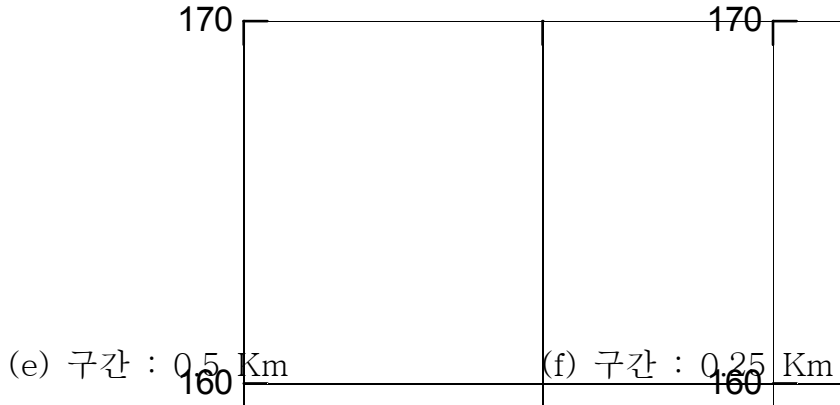


그림 4-10 구간별 경로 손실 모델 특성(이론 및 실측 모델)

Fig 4-10 The partial model characteristics for path loss(Theoretical and real-measured model)

표 4-2 구간별 경로 손실 모델의 측정치와의 차이에 대한 표준 편차

Table 4-2 Standard Deviations between the partial path loss model and the measurement value

구간 간격	8 Km	4 Km	2 Km	1 Km	0.5 Km	0.25 Km
이론 모델	6.17	6.05	5.62	5.44	5.32	5.21
실측 모델	6.12	6.03	5.62	5.44	5.32	5.21
이론 및 실측 모델	6.10	6.01	5.60	5.43	5.32	5.21

Path Loss, dB

Path Loss, dB

이론 모델 6개, 실측 모델 6개, 이론 및 실측 모델 12개를 각각 이용하여 측정치와의 차이에 대한 표준 편차를 정리해보면 표 4-2와 같이 된다.

표 4-2를 보면, 이론 모델 보다 실측 모델이, 실측 모델 보다 이론 및 실측 모델의 표준편차가 조금씩 작은 값을 나타내고, 이는 선정된 구간별 모델들이 측정치와 점점 가까져 간다는 것을 의미한다. 구간 간격이 8 Km 일 때 표준 편차는 6.10 dB가 되고, 구간 간격이 0.25 Km일 때 표준 편차는 5.21 dB가 되어, 0.89 dB의 개선 효과가 있었다. 이로부터, 구간 간격을 잘게 나누어 구간 분석법을 적용하게 되면, 측정치에 가까운 경로 손실 모델을 구할 수 있다는 것을 의미한다.

4.4.2 구간 분석 방법론의 파라미터 산출

앞의 4.2절에서 구한 k 번째 구간에서 구간 분석법을 적용한 경로 손실 모델의 일반식을 다시 써 보면,

$$\overline{L}_k = \overline{L}_{0k} + \overline{\alpha}_k \log\left(\frac{d_n}{d_0}\right) + \overline{Q}_k \quad (4.14)$$

이 되며, 세 가지 파라미터는

\overline{L}_{0k} : 1 Km 지점에서의 경로 손실 (dB)

$\overline{\alpha}_k$: 경로 손실 경사 (dB / dec)

\overline{Q}_k : 경로 손실 환경 상수

이다.

표 4-3 구간별 1-Km 지점에서의 경로 손실 (이론 모델)

Table 4-3 The partial path loss at 1-Km distance(Theoretical model)

구간 간격	거 리	8 Km	4 KM	2 Km	1 Km	0.5 Km	구간 간격	거 리	8 Km	4 KM	2 Km	1 Km	0.5 Km
1 Km 지점에 서의 경로손 실값	2	97	105	96	95	94	1 Km 지점에 서의 경로손 실값	18	127	102	126	103	104
		97	105	96	95	95			127	102	126	103	128
	3	97	105	96	96	106		19	127	102	126	107	124
		97	105	96	96	108			127	102	126	107	99
	4	97	105	105	94	105		20	127	102	129	129	104
		97	105	105	94	108			127	102	129	129	129
	5	97	105	105	87	101		21	127	102	129	128	130
		97	105	105	87	87			127	102	129	128	107
	6	97	91	91	92	106		22	127	127	128	109	126
		97	91	91	92	93			127	127	128	109	128
	7	97	91	91	109	110		23	127	127	128	128	101
		97	91	91	109	90			127	127	128	128	128
	8	97	91	91	90	108		24	127	127	126	126	127
		97	91	91	90	90			127	127	126	126	98
	9	97	91	91	93	92		25	127	127	126	125	97
		97	91	91	93	99			127	127	126	125	125
	10	101	100	94	111	113		26	98	96	96	96	95
		101	100	94	111	110			98	96	96	96	125
	11	101	100	94	96	92		27	98	96	96	96	95
		101	100	94	96	100			98	96	96	96	126
	12	101	100	128	107	105		28	98	96	127	97	98
		101	100	128	107	108			98	96	127	97	97
	13	101	100	128	127	128		29	98	96	127	127	98
		101	100	128	127	125			98	96	127	127	126
	14	101	126	102	102	101		30	98	101	101	99	98
		101	126	102	102	126			98	101	101	99	100
	15	101	126	102	127	104		31	98	101	101	103	103
		101	126	102	127	126			98	101	101	103	133
	16	101	126	101	125	101		32	98	101	132	102	102
		101	126	101	125	126			98	101	132	102	
	17	101	126	101	101	101		33	98	101	132		
		101	126	101	101	100			98	101	132		

- 4 Km
- ◆ 2 Km
- ✱ 1 Km
- 0.5 Km



150

140

130

그림 4-11 구간별 1-Km 지점에서의 경로 손실 (이론 모델)

Fig 4-11 The partial path loss characteristics at 1-Km distance(Theoretical model)

그리고, 앞 4.4.1절에서 구한 8 Km, 4 Km, 2 Km, 1 Km, 0.5 Km, 0.25 Km 구간별 이론 모델에 대한 1 Km 지점에서의 경로 손실, \overline{L}_{0k} 에

대한 데이터를 정리하여 표 4-3에 나타내었으며, 표 4-3을 보기 쉽게 그림 4-11에 나타내었다.

표 4-4 구간별 경로 손실 경사(이론 모델)

Table 4-4 The partial path loss slope(Theoretical model)

구간 간격	거 리	8	4	2	1	0.5	구간 간격	거 리	8	4	2	1	0.5
		Km	KM	Km	Km	Km			Km	Km	KM	Km	Km
경로 손실 경사 (dB/ dec)	2	34	20	40	40	40	경로 손실 경사 (dB/ dec)	18	20	40	20	40	40
		34	20	40	40	40			20	40	20	40	20
	3	34	20	40	40	20		19	20	40	20	34	20
		34	20	40	40	20			20	40	20	34	40
	4	34	20	20	40	20		20	20	40	20	20	40
		34	20	20	40	20			20	40	20	20	20
	5	34	20	20	40	20		21	20	40	20	20	20
		34	20	20	40	40			20	40	20	20	34
	6	34	40	40	40	20		22	20	20	20	34	20
		34	40	40	40	40			20	20	20	34	20
	7	34	40	40	20	20		23	20	20	20	20	40
		34	40	40	20	40			20	20	20	20	20
	8	34	40	40	40	20		24	20	20	20	20	20
		34	40	40	40	40			20	20	20	20	40
	9	34	40	40	40	40		25	20	20	20	20	40
		34	40	40	40	34			20	20	20	20	20
	10	40	40	40	20	20		26	40	40	40	40	40
		40	40	40	20	20			40	40	40	40	20
	11	40	40	40	40	40		27	40	40	40	40	40
		40	40	40	40	40			40	40	40	40	20
	12	40	40	20	40	40		28	40	40	20	40	40
		40	40	20	40	40			40	40	20	40	40
	13	40	40	20	20	20		29	40	40	20	20	40
		40	40	20	20	20			40	40	20	20	20
	14	40	20	40	40	40		30	40	40	40	40	40
		40	20	40	40	20			40	40	40	40	40
	15	40	20	40	20	40		31	40	40	40	40	40
		40	20	40	20	20			40	40	40	40	20
	16	40	20	40	20	40		32	40	40	20	40	40
		40	20	40	20	20			40	40	20	40	
	17	40	20	40	40	40		33	40	40	20		
		40	20	40	40	40			40	40	20		

- 4 Km
- ◆ 2 Km
- ✱ 1 Km
- 0.5 Km

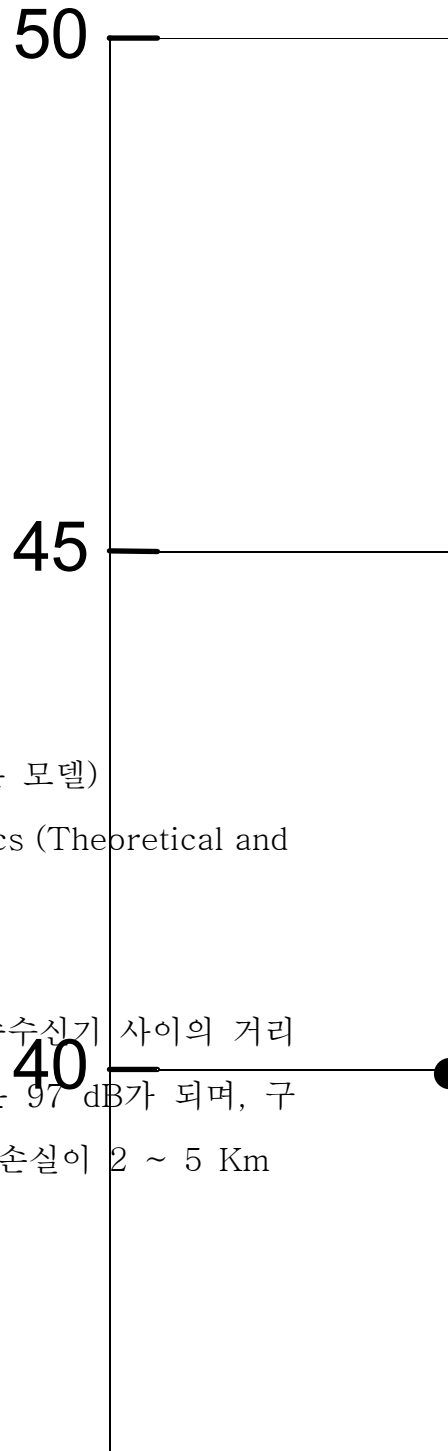


그림 4-12 구간별 경로 손실 경사 (이론 모델)

Fig 4-12 The partial path loss slope characteristics (Theoretical and real-measured model)

표 4-3에 의하면, 구간 간격 8 Km의 경우에는 송수신기 사이의 거리가 2 ~ 9 Km일 때, 1 Km 지점에서의 경로 손실은 97 dB가 되며, 구간 간격 4 Km의 경우에는, 1 Km 지점에서의 경로 손실이 2 ~ 5 Km

표 4-5 구간별 전파 환경 상수(이론 모델)

Table 4-5 The partial path loss environment constant(Theoretical model)

구간 간격	거 리	8	4	2	1	0.5	구간 간격	거 리	8	4	2	1	0.5
		Km	KM	Km	Km	Km			Km	KM	Km	Km	Km
전파 환경 상수	2	HO	FS	EG	EG	EG	전파 환경 상수	18	FS	EG	FS	EG	EG
		HO	FS	EG	EG	EG			FS	EG	FS	EG	FS
	3	HO	FS	EG	EG	FS		19	FS	EG	FS	HS	FS
		HO	FS	EG	EG	FS			FS	EG	FS	HS	EG
	4	HO	FS	FS	EG	FS		20	FS	EG	FS	FS	EG
		HO	FS	FS	EG	FS			FS	EG	FS	FS	FS
	5	HO	FS	FS	PE	FS		21	FS	EG	FS	FS	FS
		HO	FS	FS	PE	PE			FS	EG	FS	FS	HS
	6	HO	EG	EG	EG	FS		22	FS	FS	FS	HS	FS
		HO	EG	EG	EG	EG			FS	FS	FS	HS	FS
	7	HO	EG	EG	FS	FS		23	FS	FS	FS	FS	EG
		HO	EG	EG	FS	PE			FS	FS	FS	FS	FS
	8	HO	EG	PE	PE	FS		24	FS	FS	FS	FS	FS
		HO	EG	PE	PE	PE			FS	FS	FS	FS	EG
	9	HO	EG	PE	EG	EG		25	FS	FS	FS	FS	EG
		HO	EG	PE	EG	HS			FS	FS	FS	FS	FS
	10	EG	EG	EG	FS	FS		26	EG	EG	EG	EG	EG
		EG	EG	EG	FS	FS			EG	EG	EG	EG	FS
	11	EG	EG	EG	EG	EG		27	EG	EG	EG	EG	EG
		EG	EG	EG	EG	EG			EG	EG	EG	EG	FS
	12	EG	EG	FS	EG	EG		28	EG	EG	FS	EG	EG
		EG	EG	FS	EG	EG			EG	EG	FS	EG	EG
	13	EG	EG	FS	FS	FS		29	EG	EG	FS	FS	EG
		EG	EG	FS	FS	FS			EG	EG	FS	FS	FS
	14	EG	FS	EG	EG	EG		30	EG	EG	EG	EG	EG
		EG	FS	EG	EG	FS			EG	EG	EG	EG	EG
	15	EG	FS	EG	FS	EG		31	EG	EG	EG	EG	EG
		EG	FS	EG	FS	FS			EG	EG	EG	EG	FS
	16	EG	FS	EG	FS	EG		32	EG	EG	FS	EG	EG
		EG	FS	EG	FS	FS			EG	EG	FS	EG	
	17	EG	FS	EG	EG	EG		33	EG	EG	FS		
		EG	FS	EG	EG	EG			EG	EG	FS		

(FS : 자유 공간 모델, PE : 지면 반사파 모델, EG : 에글리 모델, HU : 하타 도심, HS : 하타 부도심, HO : 하타 농촌 모델)

- 4 Km
- ◆ 2 Km
- ✱ 1 Km
- 0.5 Km

-ATA Open



7

6

그림 4-13 구간별 경로 손실 환경 상수(이론 모델)

Fig 4-13 The partial characteristics for path loss environment constant (Theoretical Model)

구간에서는 105 dB, 6 ~ 9 Km 구간에서는 91 dB가 된다.

그림 4-11의 4 Km 구간 간격 그래프에서 알 수 있듯이, 1 Km 지점에서 경로 손실은 제 1 구간(2 ~ 6 Km : 중심값 4 Km)에서 105 dB, 제 2 구간(6 ~ 10 Km : 중심값 8 Km)에서 91 dB, 제 3 구간

-ATA Sub-Urban

5

(10 ~ 14 Km : 중심값 12 Km)에서 100 dB, 제 4 구간(14 ~ 18 Km : 중심값 16 Km)에서 126 dB, 제 5 구간(18 ~ 22 Km : 중심값 20 Km)에서 102 dB가 된다.

제 6 구간(22 ~ 26 Km : 중심값 24 Km)에서는 127 dB, 제 7 구간(26 ~ 30 Km : 중심값 28 Km)에서 96 dB, 제 8 구간(30 ~ 34 Km : 중심값 32 Km)에서 101 dB가 되는데, 이를 8 개의 좌표 (4,105), (8,91), (12,100), (16,126), (20,102), (24,127), (28,96), (32,101)로 그림 4-11에 표시하였다.

표 4-6 특정 지점(12 Km)에서의 구간별 경로 손실 모델의 파라미터(이론 모델)

Table 4-6 The partial path loss parameters at the distance of 12 Km(Theoretical model)

구간 간격	8 Km	4 Km	2 Km	1 Km	0.5 Km
구간, Km	10-18	10~14	12.0~14.0	12.0~13.0	12.0~12.5
1 Km 지점에서의 경로 손실	101	100	128	107	105
경로손실 경사	40	40	20	40	40
전파 환경 상수	에글리	에글리	자유공간	에글리	에글리

마찬가지로, 4.4.1절에서 구한 8 Km, 4 Km, 2 Km, 1 Km, 0.5 Km, 0.25 Km 각각의 구간을 대표하는 이론 모델의 경로 손실 경사 (dB /

dec), $\overline{\alpha}_k$ 에 대한 데이터를 표 4-4에 정리하였으며, 표 4-4을 보기 쉽게 그림 4-12에 나타내었다.

또한, 4.4.1절에서 구한 8 Km, 4 Km, 2 Km, 1 Km, 0.5 Km, 0.25 Km 각각의 구간을 대표하는 이론 모델의 k 번째 구간에 대한 경로 손실 환경 상수, \overline{Q}_k 에 대한 데이터를 정리하여 표 4-5에 나타내었으며, 표 4-5를 보기 쉽게 그림 4-13에 나타내었다.

세 가지의 표 4-3, 4-4, 4-5와 세 가지 그림 4-11, 4-12, 4-13을 이용하여, 그림 4-14(a)의 특정 구간, 예를 들어 12 Km 지점 근처에서의 경로 손실 모델을 8 Km, 4 Km, 2 Km, 1 Km, 0.5 Km, 0.25 Km 구간별로 설정할 수 있다. 그림 4-11와 표 4-3에서 1 Km 지점에서의 경로 손실을, 그림 4-12와 표 4-4에서 경로손실 경사를, 그림 4-13와 표 4-5에서 전파 환경 상수를 정리하여 표 4-6에 나타내었다. 표 4-6로부터, 12.0 ~ 13.0 Km 구간(1 Km 구간 간격)에서는 1 Km 지점에서의 경로 손실이 107 dB, 경로 손실 경사가 40 dB/dec, 전파 환경 상수가 에글리 이론 모델이 됨을 알 수 있다.

그리고 이번에는, 앞 4.4.1절에서 구한 8 Km, 4 Km, 2 Km, 1 Km, 0.5 Km, 0.25 Km 구간별 최저 표준 편차의 대표 실측 모델로부터, k 번째 구간의 1 Km 지점에서의 경로 손실 \overline{L}_{0k} , 경로 손실 경사 (dB / dec) $\overline{\alpha}_k$, 경로 손실 환경 상수 \overline{Q}_k 에 대한 데이터를 정리하여 표 4-7와 그림 4-14에 나타내었다. 표 4-7과 그림 4-14을 이용하면, 이론 모델과 같은 구간인 12 Km 지점 근처에서의 구간별 대표 실측 모델을 구할 수 있다. 그림 4-14과 표 4-7로부터 1 Km 지점에서의 경로 손실, 경로손실 경사, 전파 환경 상수를 각각 추출하여 표 4-8에 나타내었다.

표 4-7 경로 손실 파라미터(실측 모델)

Table 4-7 The path loss parameters(Real-measured model)

구 간 간 격	거 리	거리 (Km)					구 간 간 격	거리 (Km)					구 간 간 격	거리 (Km)				
		8	4	2	1	0.5		8	4	2	1	0.5		8	4	2	1	0.5
1 Km 지 점 에 서 의 경 로 손 실 값	2	99	99	92	91	91	경 로 손 실 경 사 (dB / dec)	31	31	48	48	48	전 파 환 경 상 수	TK	TK	NW	NW	NW
		99	99	92	91	92		31	31	48	48	48		TK	TK	NW	NW	NW
	3	99	99	92	95	100		31	31	48	43	31		TK	TK	NW	NK	TK
		99	99	92	95	102		31	31	48	43	30		TK	TK	NW	NK	TK
	4	99	99	98	89	99		31	31	30	48	30		TK	TK	TK	NW	TK
		99	99	98	89	101		31	31	30	48	31		TK	TK	TK	NW	TK
	5	99	99	98	85	92		31	31	30	43	33		TK	TK	TK	NK	JJ
		99	99	98	85	81		31	31	30	43	48		TK	TK	TK	NK	NW
	6	99	94	89	85	97		31	37	43	48	31		TK	PD	NK	NW	TK
		99	94	89	85	87		31	37	43	48	48		TK	PD	NK	NW	NW
	7	99	94	89	100	101		31	37	43	30	30		TK	PD	NK	TK	TK
		99	94	89	100	83		31	37	43	30	48		TK	PD	NK	TK	NW
	8	99	94	83	82	98		31	37	48	48	31		TK	PD	NW	NW	TK
		99	94	83	82	82		31	37	48	48	48		TK	PD	NW	NW	NW
	9	99	94	83	85	85		31	37	48	48	48		TK	PD	NW	NW	NW
		99	94	83	85	100		31	37	48	48	33		TK	PD	NW	NW	JJ
	10	92	91	85	101	102		48	48	48	30	30		NW	NW	NW	TK	TK
		92	91	85	101	99		48	48	48	30	31		NW	NW	NW	TK	TK
	11	92	91	85	88	84		48	48	48	48	48		NW	NW	NW	NW	NW
		92	91	85	88	92		48	48	48	48	48		NW	NW	NW	NW	NW
	12	92	91	116	98	97		48	48	30	48	48		NW	NW	TK	NW	NW
		92	91	116	98	99		48	48	30	48	48		NW	NW	TK	NW	NW
	13	92	91	116	115	116		48	48	30	30	20		NW	NW	TK	TK	TK
		92	91	116	115	113		48	48	30	30	31		NW	NW	TK	TK	TK
	14	92	113	93	93	92		48	30	48	48	48		NW	TK	NW	NW	NW
		92	113	93	93	114		48	30	48	48	31		NW	TK	NW	NW	TK
	15	92	113	93	114	95		48	30	48	31	48		NW	TK	NW	TK	NW
		92	113	93	114	113		48	30	48	31	31		NW	TK	NW	TK	TK
	16	92	113	104	112	91		48	30	37	31	48		NW	TK	SO	TK	NW
		92	113	104	112	113		48	30	37	31	31		NW	TK	SO	TK	TK
	17	92	113	104	91	91		48	30	37	48	48		NW	TK	SO	NW	NW
		92	113	104	91	90		48	30	37	48	48		NW	TK	SO	NW	NW

(TK : 동경 모델, NW : 뉴욕 모델, SO : 서울 모델, PD : 필라델피아 모델, NK : 뉴
어크 모델, JJ : 전주 모델)

Path Loss Measurement Result

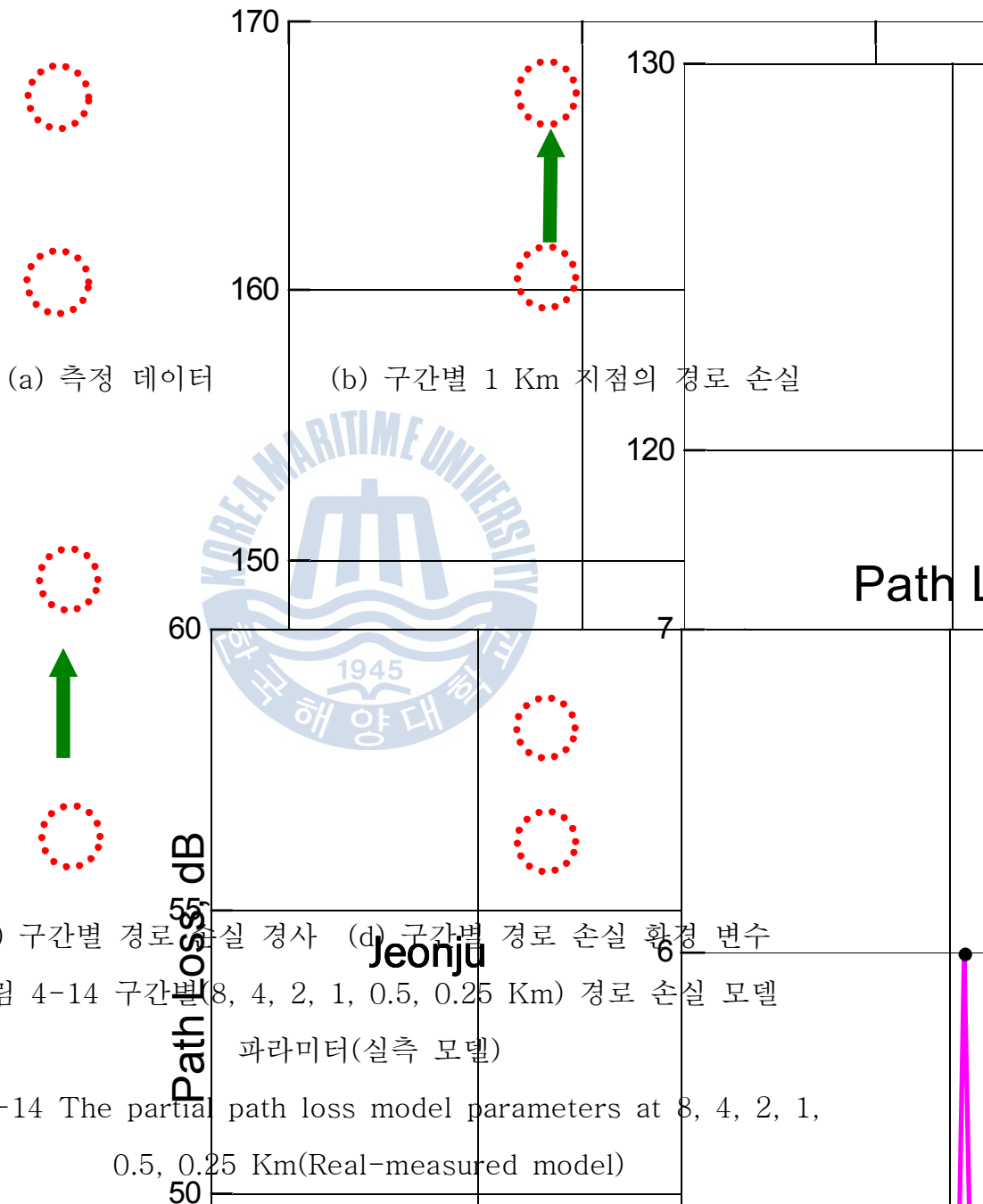


그림 4-14 구간별 (8, 4, 2, 1, 0.5, 0.25 Km) 경로 손실 모델 파라미터(실측 모델)

Fig 4-14 The partial path loss model parameters at 8, 4, 2, 1, 0.5, 0.25 Km(Real-measured model)

표 4-8 특정 지점(12 Km)에서의 구간별 경로 손실 모델의 파라미터(실측 모델)

Table 4-8 The partial path loss parameters at the distance of 12 Km(Real-measured model)

구간 간격	8 Km	4 Km	2 Km	1 Km	0.5 Km
구간, Km	10-18	10~14	12.0~14.0	12.0~13.0	12.0~12.5
1 Km 지점에서의 경로 손실	92	91	116	98	97
경로손실 경사	48	48	30	48	48
전파 환경 상수	뉴욕	뉴욕	동경	뉴욕	뉴욕

표 4-8로 부터, 12.0 ~ 13.0 Km구간(1Km 구간 간격)에 대한 1 Km 지점에서의 경로 손실은 98 dB, 경로 손실 경사는 48 dB/dec, 전파 환경 상수는 뉴욕 모델로 설정할 수 있다.

이번에는, 기존의 이론 모델과 실측 모델을 통합하여 12 개 모델들로 4.4.1절에서 구한 8 Km, 4 Km, 2 Km, 1 Km, 0.5 Km, 0.25 Km 구간 별 대표 모델들의 k 번째 구간에 대한, 1 Km 지점에서의 경로 손실 $\overline{L_{0k}}$, 경로 손실 경사 (dB / dec) $\overline{\alpha_k}$, 경로 손실 환경 상수 $\overline{Q_k}$ 에 대한 데이터를 정리하여 표 4-9와 그림 4-15에 나타내었다.

표 4-9와 그림 4-15를 이용하면, 이전과 같은 구간인 12 Km 지점 근처에서의 구간별 대표 모델을 설정할 수 있다. 그림 4-15와 표 4-9로부터, 1 Km 지점에서의 경로 손실, 경로손실 경사, 전파 환경 상수를

표 4-9 경로 손실 파라미터(이론 및 실측 모델)

Table 4-9 The path loss parameters(Theoretical and real-measured model)

구 간 간 격	거 리	구 간 간 격					구 간 간 격	구 간 간 격					구 간 간 격	구 간 간 격				
		8 Km	4 KM	2 Km	1 Km	0.5 Km		8 Km	4 KM	2 Km	1 Km	0.5 Km		8 Km	4 KM	2 Km	1 Km	0.5 Km
1 Km 지 점 에 서 의 경 로 손 실 값	2	99	105	92	91	91	경 로 손 실 경 사 (dB / dec)	31	20	48	48	48	전 파 환 경 상 수	TK	FS	NW	NW	NW
		99	105	92	91	92		31	20	48	48	48		TK	FS	NW	NW	NW
	3	99	105	92	95	106		31	20	48	43	20		TK	FS	NW	NK	FS
		99	105	92	95	108		31	20	48	43	20		TK	FS	NW	NK	FS
	4	99	105	105	89	105		31	20	20	48	20		TK	FS	FS	NW	FS
		99	105	105	89	108		31	20	20	48	20		TK	FS	FS	NW	FS
	5	99	105	105	85	101		31	20	20	43	20		TK	FS	FS	NK	FS
		99	105	105	85	81		31	20	20	43	48		TK	FS	FS	NK	NW
	6	99	91	89	85	106		31	40	43	48	20		TK	EG	NK	NW	FS
		99	91	89	85	87		31	40	43	48	48		TK	EG	NK	NW	NW
	7	99	91	89	109	110		31	40	43	20	20		TK	EG	NK	FS	FS
		99	91	89	109	83		31	40	43	20	48		TK	EG	NK	FS	NW
	8	99	91	83	82	108		31	40	48	48	20		TK	EG	NW	NW	FS
		99	91	83	82	82		31	40	48	48	48		TK	EG	NW	NW	NW
	9	99	91	83	85	85		31	40	48	48	48		TK	EG	NW	NW	NW
		99	91	83	85	90		31	40	48	48	43		TK	EG	NW	NW	NK
	10	92	91	85	111	113		48	48	48	20	20		NW	NW	NW	FS	FS
		92	91	85	111	110		48	48	48	20	20		NW	NW	NW	FS	FS
	11	92	91	85	88	84		48	48	48	48	48		NW	NW	NW	NW	NW
		92	91	85	88	92		48	48	48	48	48		NW	NW	NW	NW	NW
	12	92	91	128	98	97		48	48	20	48	48		NW	NW	FS	NW	NW
		92	91	128	98	99		48	48	20	48	48		NW	NW	FS	NW	NW
	13	92	91	128	127	128		48	48	20	20	20		NW	NW	FS	FS	FS
		92	91	128	127	125		48	48	20	20	20		NW	NW	FS	FS	FS
	14	92	126	93	93	92		48	20	48	48	48		NW	FS	NW	NW	NW
		92	126	93	93	126		48	20	48	48	20		NW	FS	NW	NW	FS
	15	92	126	93	127	95		48	20	48	20	48		NW	FS	NW	FS	NW
		92	126	93	127	126		48	20	48	20	20		NW	FS	NW	FS	FS
	16	92	126	97	112	91		48	20	43	31	48		NW	FS	NK	TK	NW
		92	126	97	112	126		48	20	43	31	20		NW	FS	NK	TK	FS
	17	92	126	97	91	91		48	20	43	48	48		NW	FS	NK	NW	NW
		92	126	97	91	90		48	20	43	48	48		NW	FS	NK	NW	NW

(FS : 자유 공간 모델, PE : 지면 반사파 모델, EG : 에글리 모델, HU : 하타 도심, HS : 하타 부도심, HO : 하타 농촌 모델, TK : 동경 모델, NW : 뉴욕 모델, SO : 서울 모델, PD : 필라델피아 모델, NK : 뉴어크 모델, JJ : 전주 모델)

Path Loss Measurement Result

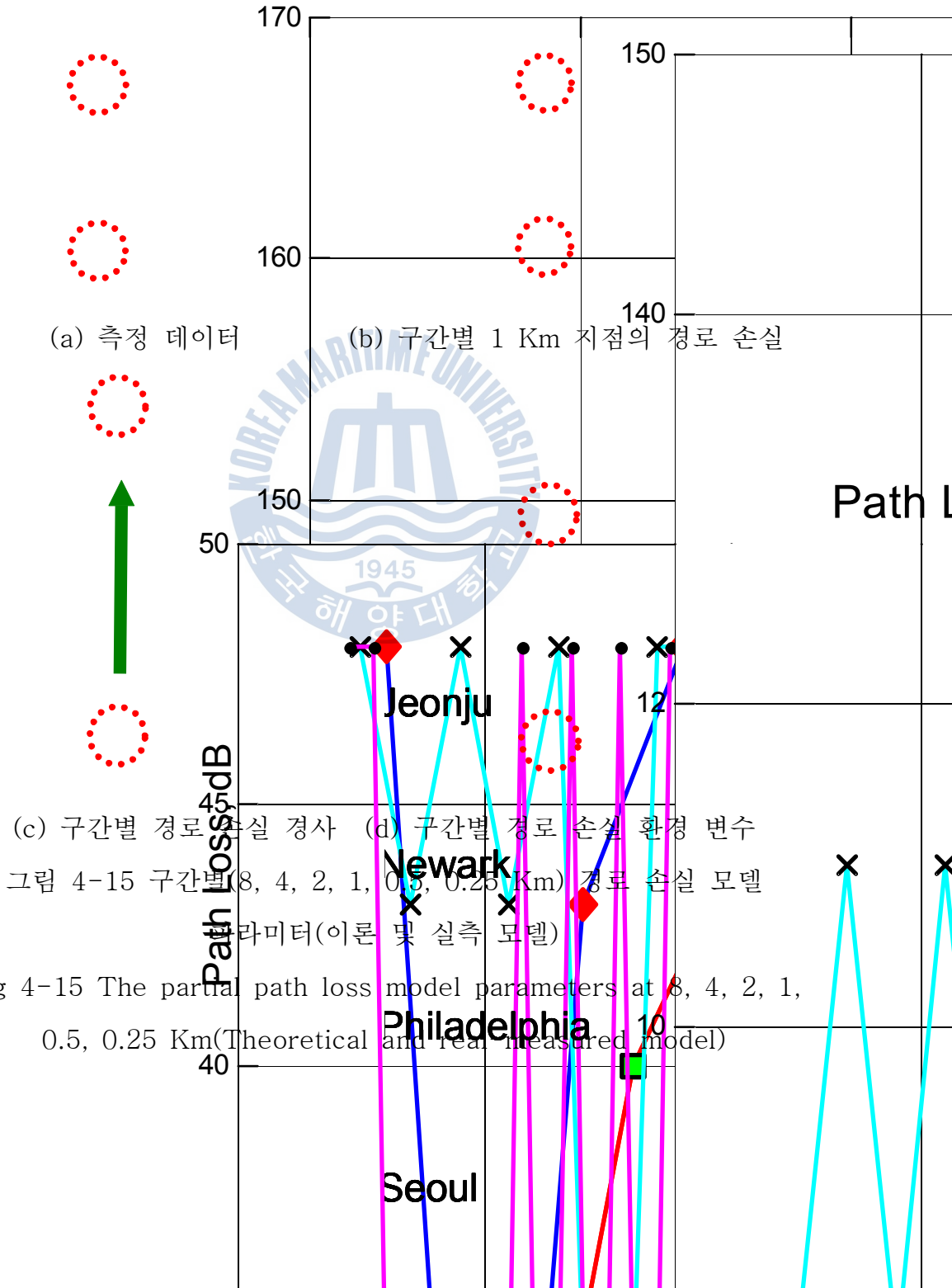


Fig 4-15 The partial path loss model parameters at 8, 4, 2, 1, 0.5, 0.25 Km (Theoretical and real measured model)

정리하여 표 4-10에 나타내었다.

표 4-10을 보면, 12.0 ~ 13.0 Km구간(1Km 구간 간격)에서는 1 Km 지점에서의 경로 손실은 98 dB, 경로 손실 경사는 48 dB/dec, 전파 환경 상수는 뉴욕 실측 모델로 설정할 수 있음을 알 수 있다.

이론 모델, 실측 모델, 이론 및 실측 모델에 대한 표 4-6, 표 4-8, 표 4-10을 정리하여 하나의 표로 나타내면, 표 4-11이 된다.

표 4-11에 의하면, 12.0 ~ 13.0 Km 구간에 대한 경로 손실 모델은

- 이론 모델의 경우, $L_t = 107 + 40 \log d$, (에글리 모델)
 - 실측 모델의 경우, $L_r = 98 + 48 \log d$, (뉴욕 모델)
 - 이론 및 실측 모델의 경우, $L_{tr} = 98 + 48 \log d$, (뉴욕 모델)
- (4.15)

표 4-10 특정 지점(12 Km)에서의 구간별 경로 손실 모델의 파라미터(이론 및 실측 모델)

Table 4-10 The partial path loss parameters at the distance of 12 Km(Theoretical and real-measured model)

구간 간격	8 Km	4 Km	2 Km	1 Km	0.5 Km
구간, Km	10-18	10~14	12.0~14.0	12.0~13.0	12.0~12.5
1 Km 지점에서의 경로 손실	92	91	128	98	97
경로손실 경사	48	48	20	48	48
전파 환경 상수	뉴욕	뉴욕	자유공간	뉴욕	뉴욕

이 됨을 알 수 있으며, 전파 환경은 에글리 이론 모델과 뉴욕 실측 모델을 따르고 있음을 알 수 있다. 이를 통해 알 수 있듯이, 구간 분석법을 이용하여 전파 모델을 설정하는 것이 측정치를 가장 잘 표현하는 방법이라고 할 수 있다. 이러한 방식으로 전체 구간을 세부 구간으로 잘게 나누어 구간 분석법을 적용하면, 측정치와의 표준 편차가 가장 작은 경로 손실 모델을 구간별로 구할 수 있게 된다.

4.4.3 구간 분석 방법론을 통한 경로 손실 모델 일반화

요약해 보면, 앞의 4.4.2절에서 k 번째 구간에 대한 구간 분석법을 적용한 경로 손실 모델의 일반식

$$\overline{L}_k = \overline{L}_{0k} + \overline{\alpha}_k \log\left(\frac{d_n}{d_0}\right) + \overline{Q}_k \quad (4.16)$$

을 소개 하였으며, 이 식에서 중요한 세 가지 파라미터는

\overline{L}_{0k} : 1 Km 지점에서의 경로 손실 (dB)

$\overline{\alpha}_k$: 경로 손실 경사 (dB / dec)

\overline{Q}_k : 경로 손실 환경 상수

와 같다.

4.4.1절에서, 구간 간격을 8 Km에서 4 Km, 2 Km, 1 Km, 0.5 Km, 0.25 Km로 줄이면서 구한 측정치와 구간별 대표 모델들의 차이에 대한

표준 편차(표 4-2)를 보면, 구간 간격이 0.25 Km로 가장 작을 때 구한 대표 모델들이 측정치를 가장 잘 표현하고 있음을 알 수 있다.

표 4-11 특정 지점(12 Km)에서의 구간별 경로 손실 모델의 파라미터 요약 (이론 및 실측 모델)

Table 4-11 Summary for the partial path loss parameters at the distance of 12 Km(Theoretical and real-measured model)

구간 간격		8 Km	4 Km	2 Km	1 Km	0.5 Km
구간, Km		10-18	10~14	12.0~14.0	12.0~13.0	12.0~12.5
1 Km 지점에서의 경로 손실	이론	101	100	128	107	105
	실측	92	91	116	98	97
	이론+ 실측	92	91	128	98	97
경로손실 경사	이론	40	40	20	40	40
	실측	48	48	30	48	48
	이론+ 실측	48	48	20	48	48
전파 환경 상수	이론	에글리	에글리	자유공간	에글리	에글리
	실측	뉴욕	뉴욕	동경	뉴욕	뉴욕
	이론+ 실측	뉴욕	뉴욕	자유공간	뉴욕	뉴욕

4.4.2절에서, 8 Km, 4 Km, 2 Km, 1 Km, 0.5 Km, 0.25 Km 구간별로 세 가지 파라미터들(1 Km-지점에서의 경로 손실, 경로 손실 경사, 전파 환경 상수)을 표 4-3에서 표 4-10에서 구하였다. 특정 지점(12 Km)의 경로

손실 모델은 구간별로 구간 분석법을 적용하여 구한 대표 모델들의 세 가지 파라미터들을 요약한 표 4-11로부터, 식(4.16)과 같이 설정할 수 있었다.

적용 구간인 특정 지점을 2 Km에서 측정 최대 거리(35 Km)까지 넓혀서 구간 분석법을 적용하면, 일반화된 경로 손실 모델을 각각 구할 수 있다. 측정치로부터 추출한 세 가지 파라미터들을 이용하여 구간 분석법을 적용하여 구한 경로 손실 모델이 측정치와의 표준 편차를 최소화 하면서, 미 측정 지역에 대한 전파 모델을 설정하는 방법이라고 할 수 있다.

4.5 구간 분석 방법론 적용 결과

기존의 이론 모델과 실측 모델을 측정치와 비교하여 차이 값에 대한 표준 편차를 구간별로 구하여 표 4-12에 표시하였다. 전체 구간을 8 Km씩 나누어, 각 구간 별로 가장 근접한 이론 모델을 구간 별로 각각 1개씩 선정하였으며, 측정된 경로 손실과의 차이 값에 대한 표준 편차의 평균을 구하였다. 다음 단계로, 구간을 4 Km, 2 Km, 1 Km, 0.5 Km, 0.25 Km로 세분화하여 각 세부 구간별로 기존 모델들과 측정치의 차이 값에 대한 표준 편차를 구하였다.

측정치와 기존 모델들의 표준 편차를 전체 구간 32 Km에 대하여 계산하면, 최소 6.7 dB의 값이 되었다. 다음으로, 측정지역의 구간을 8 Km로 나누어서, 각 구간 별로 측정치와 가장 유사한 전파 모델을 선정하여 측정치와의 차이에 대한 표준 편차를 구해보면, 6.1 dB가 되었다.

표 4-12 구간 분석 전파 예측 모델 적용 후의 표준 편차

Table 4-12 Standard deviation by the partial propagation prediction model

모델		구간	8 Km	4 Km	2 Km	1 Km	0.5 Km	0.25 Km
		전구간						
이론 모델	자유 공간손실 모델	11.6	6.17	6.05	5.62	5.44	5.32	5.21
	지면파 모델	7.1						
	Egli 모델	7.1						
	하타 도심 모델	8.1						
	하타 부도심 모델	8.1						
	하타 농촌 모델	8.1						
실측 모델	동경	8.8	6.12	6.03	5.62	5.44	5.32	5.21
	뉴욕	6.7						
	서울	7.5						
	뉴어크	6.8						
	전주	8.2						
	필라델피아	7.5						
이론 및 실측 모델			6.10	6.01	5.60	5.43	5.32	5.21

따라서, 전체 구간에 대한 표준 편차보다 0.6 dB를 향상 시킨 결과를 얻을 수 있었다.

분석 구간 간격을 0.25 Km로 더욱 세분화 하여 구한 측정치와의 차이 값에 대한 표준 편차가 5.2 dB가 되어, 전체 구간에서 구한 표준 편차에 비하여 최소 1.5 dB 나아졌음을 알 수 있다.

표 4-12로부터, 구간 간격을 8 Km에서 4 Km, 2 Km, 1 Km, 0.5 Km, 0.25 Km로 줄이면서 구한 측정치와 구간별 대표 모델의 차이에 대한 표준 편차를 보면, 구간이 0.25 Km로 가장 작을 때 표준 편차가 최소가 되어 측정치를 가장 잘 표현하고 있음을 알 수 있다. 이로부터, 구간 분석 방법론이 측정치와의 표준 편차를 최소화하는 전파 모델을 설정하는 방법임을 알 수 있다.

구간 간격 8 Km, 4 Km, 2 Km, 1 Km, 0.5 Km, 0.25 Km에서의 구간 분석법의 세 가지 파라미터인, 1-Km 지점에서의 경로 손실 \overline{L}_{0k} , 경로 손실 경사 $\overline{\alpha}_k$, 경로 손실 환경 상수 \overline{Q}_k 에 대한 정보를 표 4-3 ~ 표 4-10의 형태로 추출할 수 있었다.

이러한 파라미터 값들을 이용하여 특정 구간(예를 들어 12.0 ~ 13.0 Km)의 구간 분석 경로 손실 모델을 설정할 수 있는데, 이론 및 실측 모델을 적용할 경우 $L = 98 + 48 \log d$ (뉴욕 모델)으로 설정할 수 있고, 이로부터, 1 Km 지점에서의 경로 손실 값은 98 dB가 되고, 경로 손실 경사는 40 dB/dec이 되며, 전파 환경 상수는 뉴욕 모델이 됨을 알 수 있었다.

특정 구간을 최대 거리인 35 Km까지 확대하여 구간 분석 방법론을 세부 구간마다 적용하면, 세 가지 파라미터(1-Km 지점에서의 경로 손실 \overline{L}_{0k} , 경로 손실 경사 $\overline{\alpha}_k$, 경로 손실 환경 상수 \overline{Q}_k)를 구할 수 있고, 여

러 개의 구간별 경로 손실 모델 $\overline{L}_k = \overline{L}_{0k} + \overline{\alpha}_k \log\left(\frac{d_n}{d_0}\right) + \overline{Q}_k$ 을 구하여 종합하면 전체 구간을 표현하는 경로 손실 모델이 된다. 미 측정 지역에

서의 경로 손실 모델을 구하기 위해서 구간 분석 방법론을 적용하게 되면, 측정치와의 표준 편차가 최소인 경로 손실 전파 모델을 설정할 수 있게 된다.



제 5 장 결 론

본 논문에서는 거시적인 경로 손실 모델이 지니고 있는 문제점을 개선하기 위하여 구간 분석법을 적용한 전파 모델 예측 방법을 제시하였다. 제안한 구간 분석법을 이용한 전파 모델 예측 방법은 기존의 이론 및 실측 전파 모델을 구간별로 적용하는 방법으로, 보다 정확한 경로 손실 모델을 설정하는 연구이다. 제안 방법을 통하여 영역간 전파 모델에서는 구하기 어려운 문제점을 보완하고, 구간 분석 모델과 측정치의 표준 편차를 줄이기 위한 연구를 진행하였다.

측정 구간에 대한 전파 모델 파라미터가 근거리 지점에서의 경로 손실과 경로 손실 경사도라는 두 가지 파라미터로 정의되는 영역간 전파 모델은 실제 경로 손실 현상과는 오차가 커서 적용하기 어렵다. 반면에, 영역간 전파 모델을 기본으로 하고 지형 정보, 빌딩 등 장애물 위치 및 크기, 나무 밀도 등의 전파 환경을 고려한 지점간 전파 모델은 정확한 결과를 얻을 수 있으나, 전파 환경 변수를 반영하기 곤란하다. 따라서, 본 논문에서는 영역 간 전파 모델의 부정확성을 보완하고, 지점 간 전파 모델의 전파 환경 변수 적용을 줄이는 구간 분석법을 제시하였다.

첫 번째 제안한 방법은 기존의 이론 전파 모델을 이용한 구간별 전파 모델 예측 방법론이다. 이 방법에서 사용한 기존의 이론 전파 모델은 물리적인 이론으로 정립되어 널리 이용되기 때문에, 본 논문에서 제안한 구간별 분석법에 적용 하였다. 측정치와 기존 이론 모델들과의 차이에 대한 평균과 표준 편차를 구한 다음, 차이 평균만큼 보정한 기존 이론 모델 중에서 최저의 표준 편차를 갖는 모델을 측정 지역에 대한 최적의

모델로 설정한다. 전 구간에서 하나의 식으로 설정된 모델은 오차가 많기 때문에 구간을 8 Km로 나누어 측정값과 기존 이론 모델들의 차이에 대한 평균과 표준 편차를 구하여, 해당 구간에서 가장 작은 표준 편차를 나타내는 모델을 각 구간에 대한 대표 모델로 선택하였다.

구간 간격을 4 Km, 2 Km, 1 Km, 0.5 Km, 0.25 Km로 줄여가며 측정값과 기존 이론 모델들과의 차이에 대한 평균과 표준 편차를 구하여 해당 구간에 대한 대표 경로 손실 모델을 선택하는 방법을 사용하였다. 전 구간에서 8 Km, 4 Km, 2 Km, 1 Km, 0.5 Km, 0.25 Km로 구간 간격을 줄이면서 측정된 경로 손실과 기존 이론 모델과의 평균과 표준 편차를 구하여 비교해 본 결과, 제안한 방법을 적용하면 측정치와의 표준 편차가 6.17 ~ 5.21 dB로 줄어들어 들을 알 수 있었다.

두 번째 제안한 방법은 기존의 실측된 도시 전파 모델을 이용한 구간별 전파 모델 예측 방법론이다. 이 방법에서 사용한 기존의 실측 모델은 세계의 대도시 몇 군데에서 측정된 모델로 비교용으로 널리 이용되기 때문에, 본 논문에서 제안한 구간 분석법에 적용 하였다. 이 방법 또한 앞의 기존의 이론 전파 모델 방법과 동일하게, 전 구간에서 8 Km, 4 Km, 2 Km, 1 Km, 0.5 Km, 0.25 Km로 간격을 줄이면서 측정치와 기존 실측된 도시 모델과의 평균과 표준 편차를 구하여 최저의 표준 편차를 나타내는 모델을 해당 구간에 대한 대표 모델로 설정하였다. 그 결과, 첫 번째 방법처럼 측정치와의 표준 편차가 6.12 ~ 5.21 dB의 분포를 보이는 구간별 대표 모델을 설정할 수 있었다.

위와 같이, 필드 측정을 통한 실험 결과를 기존의 이론 및 실측 모델들과 비교하여 구간 분석법을 적용하여 본 결과, 전체 구간에서 0.25 Km까지 구간 간격을 줄이면서 구한 구간별 대표 모델과 측정치의 표준

편차가 두 경우 모두 5.2 dB까지 점점 줄어들었다. 이 방법을 적용하게 되면, 지점간 전파 모델에서의 전파 환경을 별도로 조사하지 않고도 측정치와의 표준 편차가 5.2 dB까지 줄어든 전파 모델을 설정할 수 있다. 본 논문에서 제안한 구간 분석법을 러시아의 5개 도시 지역에서 측정한 데이터에 적용하게 되면, 측정치와의 표준 편차가 1.5 dB 개선된 구간별 전파 모델의 설정이 가능한 결과를 얻었다.

다음으로, 구간 분석 방법론을 일반화하기 위하여, 구간 간격을 8 Km, 4 Km, 2 Km, 1 Km, 0.5 Km, 0.25 Km로 나누고, 각 구간별로 구간 분석 방법론의 세 가지 파라미터인, 1-Km 지점에서의 경로 손실 \overline{L}_{0k} , 경로 손실 경사 $\overline{\alpha}_k$, 경로 손실 환경 상수 \overline{Q}_k 에 대한 값을 구하여 표와 그림으로 나타낼 수 있었으며, 세 가지 파라미터 값들을 구간별로 구하게 되면, 구간 분석법을 적용한 $\overline{L}_k = \overline{L}_{0k} + \overline{\alpha}_k \log\left(\frac{d_n}{d_0}\right) + \overline{Q}_k$ 의 전파 모델을 설정할 수 있게 된다. 구간 분석 방법론을 세부 구간들을 합친 전 구간에 대하여 적용하게 되면, 미 측정 지역에서도 최소의 표준 편차를 가지는 경로 손실 모델을 설정할 수 있어서 상당히 유용한 도구임을 확인하였다.

향후 연구 방향으로는, 구간별 전파 모델 방법론을 더욱 세분화하여 측정치로부터 전파 환경 파라미터를 역으로 유추하는 방법을 개발, 제시하는 것이다. 전파 환경별 수신 전파 패턴을 정리 요약함으로써 현실적인 전파 환경을 분석할 수 있는 도구를 만들고, 이를 이용하면 전파 환경을 보다 손쉽게 다룰 수 있을 것으로 생각된다.

참고 문헌

- [1] William C. Y. Lee, "Mobile Cellular Telecommunications", McGraw-Hill Book Co., 1995.
- [2] 박경태 외 3, "기초 통신 공학", 삼보출판사, 2001.
- [3] 이상근, 방효창, "CDMA 무선기술", 세화출판사, 2000.
- [4] Popoulis, "Probability, Random Variables, and Stochastic Processes", McGraw Hill Book Co., 1991.
- [5] Garry C. Hess, "Land-Mobile Radio System Engineering", Artech House, 1993.
- [6] Michel Daoud Yacob, "Foundations of Mobile Radio Engineering", CRC Press, 1993.
- [7] John G. Proakis, Masoud Salehi, "Contemporary Communication Systems Using MATLAB", Brooks/Colle, 1999.
- [8] Nick Pothecary, "Feedforward Linear Power Amplifiers", Artech House, 1999.
- [9] 박경태, "UHF 대역 3-dB 커플러(Coupler)를 이용한 가변 감쇄기 (Attenuator)에 대한 연구", 한국신호처리시스템학회 논문지, 제2권 제2호, pp. 68-74, Apr. 2001.
- [10] 박경태, "ATM 통화로망에서의 다중호 배치방법에 대한 연구", 한국신호처리시스템학회 논문지, 제5권 제1호, pp. 73-78, Jan. 2004.
- [11] 박경태 외 2, "이동 통신 대역의 경로 손실 모델 설정에 관한 연구", 한국전자과학회논문지, 제13권 제7호, pp. 726-731, Aug. 2002.

- [12] Masaharu Hata, "Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services", IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. VT-29, No. 3, pp. 317-325, Aug. 1980.
- [13] IEEE Vehicular Technology Society Committee on Radio Propagation, "Coverage Prediction for Mobile Radio System Operating in the 800/900 MHz Frequency Range", IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. VT-37, No. 1, pp. 3-72, Feb. 1988.
- [14] F. Ikegami, S. Yoshida, T. Takeuchi, and M. Umehira, "Propagation factors controlling mean field strength on urban streets", IEEE Trans. Antennas Propagations, vol. AP-32, pp. 822-829, 1984.
- [15] S. Kozono and K. Watanabe, "Influence of environmental buildings on UHF land mobile radio propagation", IEEE Trans. Commun., vol. COM-25, pp 1133-1143, 1977.
- [16] J. F. Aurand and R. E. Post, "A comparison of prediction methods for 800 MHz mobile radio propagation", IEEE Trans. VT. Technol., vol. VT-34, pp. 149-153, 1985.
- [17] G. Delisle, J. P. Lefevre, M. Lecours, and J. Y. Chouinard, "Propagation loss prediction : A comparative study with application to the mobile radio channel", IEEE Trans. VT. Technol., vol. VT-33, pp. 86-96, 1985.
- [18] D. S. Paunovic, Z. D. Stojanovic, and I. S. Stojanovic, "Choice of a suitable method for the prediction for the field strength in planning land mobile radio systems", IEEE Trans. VT. Technol., vol. VT-33, pp. 259-265, 1986.

- [19] Nazar. Elfadhil, M. A. Salam, A. Al-Lawati, O. Al-Qasmi, M. Al-Gheithi and Z. Nadir, "Modification of an Open Area Okumura-Hata Propagation Model Suitable For Oman", TENCON 2005 IEEE Region 10, 2005.
- [20] W. A. Shinttu, B. G. Bajoga, F. Anwar, and M. J. E. Salami, "Prediction of Received Power and Propagation Path Loss in Open/Rural Environments using modified Free-Space Loss and Hata Models", 2008 IEEE International RF and Microwave Conference Proceedings, pp. 126-130, Kuala Lumpur, Malaysia, Dec. 24 2008.
- [21] M. Yang, and W. Shi, "Linear Least Square Method of Propagation Model Tuning for 3G Radio Network Planning", Fourth International Conference on Natural Computation ICNC, Jinan, pp. 150-154, 18-20 Oct. 2008.
- [22] B. S. L. Castro, I. R. Gomes, F. C. J. Robeiro, and G. P. S. Cavalcante, "COSTA231-Hata and SUI Models Performance Using a LMS Tuning Algorithm on 5.8 GHz in Amazon Region Cities", Antennas and Propagation, 2010 Proceedings of the Fourth European Conference, 2010.
- [23] Arturas Medeisis, and Algimantas Kajackas, "On the Use of the Universal Okumura-Hata Propagation Prediction Model in Rural Areas", Vehicular Technology Conference Proceedings, 2000-Spring Tokyo, pp. 1825-1818, 2000.
- [24] A. Medeisis, and A. Kajackas, "Adaptation of the universal propagation prediction models to address the specific propagation

- conditions and the needs of spectrum managers", Antennas & Propagation (AP 2000), Millenium Conference on, 9-14, Davos, in press, April 2000.
- [25] S. Farque, "Propagation prediction based on environmental classification and fuzzy logic approximation", Communications, 1996(ICC'96), IEEE International Conference on, Vol. 1 pp. 272-276, 23-27 1996.
- [26] N. A. Mansour, "RF predictions and Modeling For Micro Cells and PCS Cell Design", Universal Personal Communications, pp. 1745-1749, 1994.
- [27] 조한신, 육종관, "마이크로 셀룰라 환경에서의 차세대 이동 통신을 위한 전파전파 특성", 한국전자과학회논문지, 제17권, 5호, pp. 430-439, May. 2006.
- [28] Yasuhiro Oda, Koichi Tsunekawa, and Masaharu Hata, "Advanced LOS path-loss model in micro-cellular mobile communications", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 49, no. 6, pp. 2121-2125, Nov. 2000.
- [29] Vinko Erceg, A. J. Rustako, and Jr. R. S. Roman, "Diffraction around corners and its effects on the microcell coverage area in urban and suburban environments at 900 MHz, 2 GHz, and 6 GHz", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 43, no. 3, pp. 762-766, Aug. 1994.
- [30] 김송민, "밀리미터파 대역에서 전파 경로 손실 예측 모델", 전자공학회논문지 제42권 TE 제2호, pp. 23-28, Jun. 2005.
- [31] Hironari Masui, Takehiko Kobayashi, and Masami Akaike,

- "Microwave Path-Loss Modeling in Urban Line-of-Sight Environments", IEEE Journal on selected areas in communications, Vol.20, No.6, pp. 410-418, Aug. 2002.
- [32] 정남호, 백정기, 김준철, 황정환, 한동필, "전파 환경에 따른 밀리미터파 대역 경로 손실 측정 및 분석", 한국전자과학회논문지, 제11권 제3호, pp. 410-418, Apr. 2000.
- [33] 송기홍, 정인명, 김종호, 양기곤, "서울 및 대전지역에서의 전계강도와 경로 손실 분석", 한국전자과학회논문지, 제4권 제2호, pp. 4-10, Jun. 1993.
- [34] Mahdi Orooji and Bahma Abolhassani, "New Method for Estimation of Mobile Location Based on Signal Attenuation and Hata Model Signal Prediction", Proceedings of the 2005 IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference, pp. 6025-6028, Sep. 2005.
- [35] 이상수, 이동진, 최학진, 김준철, 박원진, "국내지형환경에서의 IMT-2000 주파수 경로 손실 측정 및 고찰", 전자공학회지, 제39권, 12호, pp. 547-552, Dec. 2002.
- [36] K. K. Kelly, "Flat Suburban Area Propagation at 820MHz", IEEE Trans. Veh. Tech., vol. VT-27 no. 4, pp. 198-204, Nov. 1978.
- [37] A. L. Davidson and W. J. Turney, "Mobile Antenna Gain in the Multipath Environment at 900MHz", IEEE Trans. Veh. Tech., vol. VT-26 no. 4, pp. 345-348, Nov. 1977.
- [38] 송기홍, "8 GHz 대역에서의 마이크로셀용 전파전파 예측 모델 개발", 한국전자과학회논문지, 제17권 제12호, pp. 1212-1223, Dec. 2006.

- [39] Gary D. Ott, and A Piltkins, "Urban Pathloss Characteristics at 820 MHz", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. VT-27, No.4, pp. 189-197, Aug. 1978.
- [40] Kenneth K. Kelly II, "Flat Suburban Propagation at 820 MHz", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. VT-27, No.4, pp. 198-204, Nov. 1978.
- [41] Horam Walfisch and Henry L. Bertoni, "A Theoretical Model of UHF Propagation in Urban Environments", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. VT-36, No.12, pp. 1788-1796, Dec. 1988.
- [42] A. P. Barsis, "Determination of service area for VHF/UHF land mobile and broadcast operations over irregular terrain", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-22, pp. 21-29, 1973.
- [43] 송만중, 이회성, 홍성욱, 홍문식, 김홍수, "890MHz 실내 이동통신의 경로 손실 예측모델", 대한전자공학회 학술발표회 논문집, pp. 42-46, 1994.
- [44] 최명선, 김도윤, 조한신, 문철, 육종관, 박한규, "지하철 터널환경에서 2.65 GHz 대역신호의 전파전파 특성", 한국전자과학기술논문지, 제16권, 제5호, pp. 541-548, 2005.
- [45] Minseok Jeong, and Bomson Lee, "Comparison between Path-Loss Models for Wireless Telecommunication System Design", Antennas and Propagation Society International Symposium, pp. 186-189, 2001.
- [46] Howard H. Xia, Henry L. Bertoni, Leandro R. Maciel, Andrew Linsay-Stewart, Robert Rowe, and Limond Grindstaff, "Radio

- Propagation Measurements and Modelling For Line-of-sight Microcellular Systems", Vehicular Technology Conference, Vol. 1, pp. 349-354, 1992.
- [47] Hironari Masui, Masanori Ishii, Kozo Sakawa, Hiroyuki Shimizu, Takehiro Kobayashi, and Masami Akaike, "Microwave Path-Loss Characteristics in Urban and NLOS Environments", Vehicular Technology Conference, pp. 349-354, VTC 2001 Spring, IEEE VTS 53rd, 2001.
- [48] Szu-Wei Wang and Irving Wang, "Effects of Soft Handoff, Frequency Reuse and Non-Ideal Antenna Sectorization on CDMA System Capacity", Vehicular Technology Conference, pp. 850-854, IEEE 43rd, 1993.
- [49] Y. Okumura et al., "Field Strength and its variability in UHF and VHF land-mobile radio service", Rev. Elec. Commun. Lab., vol. 16, pp. 825-873, 1968.
- [50] R. P. Eckert, "Modern methods for calculating ground-wave field strength over a smooth sphere earth", FCC/OET R86-1, pp. 825-873, Feb. 1986.
- [51] W. R. Young, Jr., "Comparison of mobile radio transmission at 150, 450, 900, and 3700 Mc", Bell Systet. Tech. J., vol. 31, p. 1068, Nov. 1952.
- [52] W. P. Jakes, and D. O. Reudink, "Comparison of mobile radio transmission at UHF and X band", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-16, no. 1, pp. 10-16, Oct. 1967.

- [53] A. J. Rustako, Jr., "Evaluation of a mobile radio multiple channel diversity receiver using prediction combining", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-16, no. 1, pp. 46-57, Oct. 1967.
- [54] N. H. Shepherd, "Radio wave loss deviation and shadow loss at 900 MHz", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-26, no. 4, pp. 309-313, Nov. 1977.
- [55] W. J. Vogel and J. Goldhirsh, "Tree Attenuation at 869MHz derived form remotely piloted aircraft measurement", IEEE Trans. Antennas Propagation vol. AP-34, pp. 1460-1464, 1986.



[부록] 기존 전파 모델들을 이용한 구간 분석 방법론 계산 프로그램

```
clear;

load RUSSIApl.mat

figure(1);
Xb=Xa; Yb=-Ya;
plot(Xb,Yb, '.');
title('Path Loss Measurement Results for Tx Ant. Height = 50m, Rx. Ant. Height = 3m
and Isotropic Antenna ','FontSize',16);
xlabel('Distance, Km','FontSize',14); ylabel('Path Loss, dB','FontSize',14); hold on
grid on

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%Cosnstant
fc = 850e6; c = 3e8; lamda = c/fc; f=fc;
f_MHz=fc/1e6; % MHz

%d_Km = 1:0.5:36; % distance in Km
d_Km = Xb;
d = d_Km*1000; % distance in m

%Input Parametrs
Gt = 1; % unit : times
Gr = 1; % unit : times
ht = 50; Ght = 10 * log10(ht/30);% unit : m
hr = 3; Ghr = 10 * log10(hr/3);% unit : m

Pt = 40; %40 dBm, Tx Power

L_GtGr = -10*log10(Gt) - 10*log10(Gr); % Antenna Gain

Ladd = Pt + L_GtGr - Ght - Ghr;

%Calculation : Free Space L_FS

L = 20 * log10(f_MHz) + 20 * log10(d_Km) + 32.44; % f : MHz, d : Km
```

```

L_FS = L + L_GtGr;

%Calculation : Plane Earth L_PE

L = -20 * log10(ht*hr) + 40 * log10(d); % d : m, ht,hr : m

L_PE = L + L_GtGr;

%Calculation : Egli Method L_EGLI

L = 139.1 - 20*log10(ht) + 40 *log10(d_Km); % d : Km, ht : m

L_EGLI = L + L_GtGr;

%Calculation : HATA Method L_HATA
%f : MHz, d : Km, ht, hr : m

A_hr_lg = 3.2*(log10(11.75*hr))^2 - 4.97; % Urban Large
A_hr_ms = (1.1*log10(f_MHz)-0.7)*hr - (1.56*log10(f_MHz) - 0.8); % Urban Medium Small
A_hr = A_hr_ms;

L = 68.55 + 26.16 * log10(f_MHz) - 13.82 * log10(ht) - A_hr ...
+ ( 44.9 - 6.55*log10(ht) ) * log10(d_Km);
L = L + L_GtGr;

L_HATA_U = L; % Urban

L_HATA_S = L - 2*(log10(f_MHz/28))^2 - 5.4; % Sub-Urban

L_HATA_O = L - 4.78*(log10(f_MHz))^2 + 18.33*log10(f_MHz) - 40.94; % Open

%Calculation : Tokyo
Po = -84; gamma = 30.5; L = - 1*Po + gamma * log10(d_Km/1.6); %
L_TK = L + Ladd;

%Calculation : NewYork
Po = -77; gamma = 48; L = - 1*Po + gamma * log10(d_Km/1.6); %
L_NW = L + Ladd;

```

```

%Calculation : Seoul
Po = -84; gamma = 37.2; L = - 1*Po + gamma * log10(d_Km/1.6);           %
L_SO = L + Ladd;

%Calculation : Philadelphia
Po = -70; gamma = 36.8; L = - 1*Po + gamma * log10(d_Km/1.6);           %
L_PD = L + Ladd;

%Calculation : Newark
Po = -64; gamma = 43.1; L = - 1*Po + gamma * log10(d_Km/1.6);           %
L_NK = L + Ladd;

%Calculation : Jeonju
Po = -75; gamma = 33; L = - 1*Po + gamma * log10(d_Km/1.6);           %
L_JJ = L + Ladd;

%Calculation : Mean - Error Method

% Plot
plot(d_Km,L_FS,'x',d_Km,L_PE,'.',d_Km,L_EGLI,'+',d_Km,L_HATA_U,'.',d_Km,L_HATA_S,'.',
',d_Km,L_HATA_O','.',d_Km,L_TK,'x',d_Km,L_NW,'.',d_Km,L_SO,'+',d_Km,L_PD,'.',d_Km,L_
NK','.',d_Km,L_JJ,'.')
hold on grid on

legend('Free Space','Plane Earth','Egli','HATA Urban','HATA Sub-Urban','HATA
Open','Tokyo','NewYork','Seoul','Philadelphia','Newark','Jeonju','Location','SouthE
ast');

title('Path Loss Models for Tx Ant. Height = 50m, Rx. Ant. Height = 3m and Isotropic
Antenna ','FontSize',16);

xlabel('Distance, Km','FontSize',14); ylabel('Path Loss, dB','FontSize',14);

text(max(d_Km)+0.5,max(L_FS),'Free Space','FontSize',12);
text(max(d_Km)+0.5,max(L_PE)-0.5,'Plane Earth','FontSize',12);
text(max(d_Km)+0.5,max(L_EGLI)+0.5,'Egli','FontSize',12);
text(max(d_Km)+0.5,max(L_HATA_U),'HATA Urban','FontSize',12);
text(max(d_Km)+0.5,max(L_HATA_S),'HATA SubUrban','FontSize',12);
text(max(d_Km)+0.5,max(L_HATA_O),'HATA Open','FontSize',12);
text(21,145,'Measured Data','FontSize',14);
text(max(d_Km)+0.5,max(L_TK),'Tokyo','FontSize',12);
text(max(d_Km)+0.5,max(L_NW),'NewYork','FontSize',12);

```

```

text(max(d_Km)+0.5,max(L_SO), 'Seoul', 'FontSize', 12);
text(max(d_Km)+0.5,max(L_PD)-1.5, 'Philadelphia', 'FontSize', 12);
text(max(d_Km)+0.5,max(L_NK), 'Newark', 'FontSize', 12);
text(max(d_Km)+0.5,max(L_JJ), 'Jeonju', 'FontSize', 12);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%% Mean and STD Calculation : Partial %%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
min_k = floor(min(Xb))+1; max_k = 32; stepK=1/4; % stepK : 1/n 구간 분할 상수

for k=min_k:stepK:max_k
    i = find( k < Xb & Xb < k+stepK );
    M_FS((k-min_k)/stepK+1) = mean(Yb(i)-L_FS(i)); STD_FS((k-min_k)/stepK+1) =
std(Yb(i)-L_FS(i));
    M_PE((k-min_k)/stepK+1) = mean(Yb(i)-L_PE(i)); STD_PE((k-min_k)/stepK+1) =
std(Yb(i)-L_PE(i));
    M_EGLI((k-min_k)/stepK+1) = mean(Yb(i)-L_EGLI(i)); STD_EGLI((k-min_k)/stepK+1) =
std(Yb(i)-L_EGLI(i));
    M_HATA_U((k-min_k)/stepK+1) = mean(Yb(i)-L_HATA_U(i));
STD_HATA_U((k-min_k)/stepK+1) = std(Yb(i)-L_HATA_U(i));
    M_HATA_S((k-min_k)/stepK+1) = mean(Yb(i)-L_HATA_S(i));
STD_HATA_S((k-min_k)/stepK+1) = std(Yb(i)-L_HATA_S(i));
    M_HATA_O((k-min_k)/stepK+1) = mean(Yb(i)-L_HATA_O(i));
STD_HATA_O((k-min_k)/stepK+1) = std(Yb(i)-L_HATA_O(i));
    M_TK((k-min_k)/stepK+1) = mean(Yb(i)-L_TK(i)); STD_TK((k-min_k)/stepK+1) =
std(Yb(i)-L_TK(i));
    M_NW((k-min_k)/stepK+1) = mean(Yb(i)-L_NW(i)); STD_NW((k-min_k)/stepK+1) =
std(Yb(i)-L_NW(i));
    M_SO((k-min_k)/stepK+1) = mean(Yb(i)-L_SO(i)); STD_SO((k-min_k)/stepK+1) =
std(Yb(i)-L_SO(i));
    M_PD((k-min_k)/stepK+1) = mean(Yb(i)-L_PD(i)); STD_PD((k-min_k)/stepK+1) =
std(Yb(i)-L_PD(i));
    M_NK((k-min_k)/stepK+1) = mean(Yb(i)-L_NK(i)); STD_NK((k-min_k)/stepK+1) =
std(Yb(i)-L_NK(i));
    M_JJ((k-min_k)/stepK+1) = mean(Yb(i)-L_JJ(i)); STD_JJ((k-min_k)/stepK+1) =
std(Yb(i)-L_JJ(i));
end
M_ALL = [M_FS;M_PE;M_EGLI;M_HATA_U;M_HATA_S;M_HATA_O;M_TK;M_NW;M_SO;M_PD;M_NK;M_JJ];

```

```

STD_ALL =
[STD_FS;STD_PE;STD_EGLI;STD_HATA_U;STD_HATA_S;STD_HATA_O;STD_TK;STD_NW;STD_SO;STD_P
D;STD_NK;STD_JJ];
[STD_MIN,STD_I]=min(STD_ALL);
[m1,n1]=size(STD_ALL); M_STD_MIN = [];

STD_ALL = floor(STD_ALL.*1000)/1000; STD_MIN = floor(STD_MIN.*1000)/1000;
for kkk = 1:1:n1
    MIN_VAL = STD_MIN(kkk);
    i = find( MIN_VAL >= STD_ALL(:,kkk) );
    i2 = find( min(abs(M_ALL(i,kkk))) == abs(M_ALL(:,kkk)) );
    STD_I(kkk) = i2;
end

for kk=1:1:n1
    M_STD_MIN = [M_STD_MIN; M_ALL(STD_I(kk),kk)];
end

M_STD_MIN = M_STD_MIN'; X_DOM = min_k:stepK:max_k; KIND_MODEL = STD_I;

figure(3); subplot(2,1,1);
k2 = X_DOM + stepK/2;
plot(k2,STD_FS,'x-',k2,STD_PE,'.-',k2,STD_EGLI,'+-',k2,STD_HATA_U,'.-',k2,STD_HATA_
S,'.-',k2,STD_HATA_O,'.-',k2,STD_TK,'x-',k2,STD_NW,'.-',k2,STD_SO,'+-',k2,STD_PD,'.
-',k2,STD_NK,'.-',k2,STD_JJ,'.-')
grid on hold on axis([0 35 0 13]);

legend('Free Space','Plane Earth','Egli','HATA Urban','HATA Sub-Urban','HATA
Open','Tokyo','NewYork','Seoul','Philadelphia','Newark','Jeonju','Location','NorthE
ast')
title('Standard Deviation of Path Loss Models','FontSize',16);
xlabel('Distance, Km','FontSize',14); ylabel('Standard Deviation, dB','FontSize',14)

figure(3); subplot(2,1,2);
stairs(X_DOM,KIND_MODEL,'--rs','LineWidth',2,'MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor
','g','MarkerSize',6);
grid on hold on

```

감사의 글

그 동안 학업을 진행해 오는 동안, 첨단 기술을 배우고, 진리를 고민하며, 생각을 정리해온 이 모든 과정이, 앞으로 닥칠 어려움을 헤쳐 나갈 능력을 배양하는 소중한 시간이었다고 생각합니다. 그동안 부지불식(不知不識)간에 도움을 주신 모든 분들께 감사드리고, 하시는 모든 일들이 이루어지기를 기원(祈願)합니다.

본 논문이 완성되기까지, 바쁘신 가운데서도 부족한 저를 믿고 지도해 주신 조형래 지도 교수님과 심사를 통해 많은 가르침을 주신 김기문 교수님을 비롯한 정지원 교수님, 경남대학교 원영수 박사님, 관동대학교 김종일 교수님께 감사드립니다. 대학원 수업을 통해서 많은 가르침을 주신 전파공학과 여러 교수님들께 고마움의 인사를 드립니다. 그리고, 학업을 중단하지 않고 계속 이어갈 수 있도록 행정적인 지원을 아끼지 않고 배려해주신 대학원 행정실의 직원분들께도 감사의 마음을 전합니다.

그동안 학위를 할 수 있도록 많은 도움을 주신 제 직장인 마산대학(교)의 이학진 총장님, 조선전자통신학부의 선배 교수님들, 그리고 가장 큰 마음의 도움이 되었던 든든한 제자들인 우리 과의 학생들에게 감사의 마음을 드립니다.

논문을 작성하면서, 지난 직장이었던 서울 송파구 가락동의 삼성전자(주) 이동통신개발실과, 부산의 한진정보통신(주) 영남사업소의 직장 동료 선후배님들과 같이 해왔던 일들이 제겐 큰 지적 재산이었었구나 하는 생각을 저절로 들게 하였습니다. 옛 직장의 여러분들의 성공을 빌며, 지면을 빌어 다시

한번 감사의 마음을 전합니다.

힘든 세월 내색하지 아니하고 당당하게 세상에 맞서서 강인한 삶을 몸소 보여주신 부모님과 처부모님, 그리고 친지 여러분들에게도 따뜻한 응원과 진심어린 감사의 마음을 전합니다.

진작 해야 할 공부를 늦게나마 마무리하고 있는 아빠를 보며 자신의 공부를 꾸준히 해나가고 있는 지현과 지원에게 애뜻한 관심과 사랑을 보내며, 가족을 위해 아낌없는 헌신과 희생으로 물심양면 도와준 사랑하는 아내에게 이 논문과 영광을 드립니다.

2011년 6월

박경태 드림



저 자 약 력

성 명 : 박 경 태(朴 景 台)


생년월일 : 1967년 8월 18일

본 적 : 울산광역시 울주군 청량면 개곡리 588

주 소 : 경남 창원시 성산구 상남동 45-1 성원APT 311-1505

E-mail : ktpark@masan.ac.kr

《 학 력 》

- 
1983. 3 ~ 1986. 2 부산고등학교 졸업
1986. 3 ~ 1990. 2 KAIST 전기및전자과(B.S.)
1990. 3 ~ 1992. 2 KAIST 전기및전자과(M.S.)
2002. 3 ~ 2011. 8 한국해양대학교 전파공학과(Ph.D.)

《 경 력 》

1992. 3 ~ 1995.11 삼성그룹 삼성전자(주) 정보통신부문
1996. 2 ~ 1999. 2 한진그룹 한진정보통신(주) 영남사업소
1999. 3 ~ 현 재 마산대학(교) 조선전자통신학부 부교수