

## 터널환경에서 18GHz 대역신호의 전파경로손실 예측 시뮬레이터 개발

안태기<sup>1</sup>, 김백현<sup>1</sup>, 남명우<sup>2\*</sup>, 이영석<sup>3</sup>, 정상국<sup>4</sup>, 오명관<sup>5</sup>  
<sup>1</sup>한국철도기술연구원, <sup>2</sup>해전대학 전자캐드과,  
<sup>3</sup>청운대학교 디지털방송공학과, <sup>4</sup>(주)씨아이테크, <sup>5</sup>해전대학 디지털서비스과

### Development of a Simulator for Radio Propagation Path Loss in Tunnel at 18GHz

An, Tae-Ki<sup>1</sup>, Kim, Back-Hyun<sup>1</sup>, MyungWoo, Nam<sup>2\*</sup>,  
Young-seock Lee<sup>3</sup>, Jeong, Sang-Guk<sup>4</sup> and Myung-Kwan Oh<sup>5</sup>  
<sup>1</sup>Korea Railroad Research Institute, <sup>2</sup>Dept of Electronic CAD, Hyejeon College,  
<sup>3</sup>Dept. of Digital Broadcasting and Electronics, Chungwoon University,  
<sup>4</sup>C&I Technologies, <sup>5</sup>Dept. of Digital Service, Hyejeon College

요 약 본 논문에서는 지하 터널환경에서 전파의 경로 손실 특성을 예측할 수 있는 시뮬레이터를 개발하였다. 전파의 경로를 정확히 분석하기 위하여 image theory 방법을 이용하였으며, 직선 터널 구간뿐만 아니라 곡선 터널 구간에 서도 전파 손실을 예측할 수 있도록 구현하였다. 시뮬레이터는 다양한 변수들을 입력받아 실시간으로 전파 경로를 도식화하여 결과를 보여줄 수 있으며, 송신부와 수신부의 위치를 변경하며 결과를 예측할 수도 있다. 개발된 시뮬레이터의 결과는 충훈 터널에서 실측한 전파 경로 손실 데이터와 비교 분석하여 타당성을 확인하였다.

**Abstract** In this paper, the radio propagation path loss prediction simulator in tunnel was developed. It used a image theory method for analysing precise radio propagation path. And it can predict radio propagation path loss in straight and curved tunnels. The simulator can plot realtime radio propagation paths using various parameters which was input by user. And it can simulate from changing transmitter and receiver positions. The predicted path loss of simulator was compared with the measurements in Chunhyun tunnel and confirmed the validity.

**Key Words** : Simulator, Path Loss, Tunnel, 18GHz

#### 1. 서론

최근 10년간 발생한 각종 지하철의 안전사고 이후로, 2003년 도시철도 시스템의 안전기준이 강화되었고 후속 조치가 이뤄지면서 승강장 영상 전송시스템의 도입이 추진되어 왔다. 그러나 관련 장치에 대한 규격이 마련되어 있지 않아 운영기관의 사정에 따라 상이한 규격의 장치가 도입되어왔다. 2007년도에 정보통신부가 지하철에서

사용할 수 있는 전용주파수를 고시함에 따라 18GHz의 주파수를 할당 받아 타 시스템과의 주파수 혼신문제 등의 걱정으로부터 벗어나게 되었다. 도시 철도는 경제적, 사회적인 문제들로 인하여 굴곡을 갖는 지하 터널을 통과하는 특성을 갖고 있다. 이와 같은 무선 환경은 일반 공중 채널을 이용한 무선 전송 모델과는 다른 경로 특성 및 채널 특성을 갖고 있다. 기존의 도시 철도 내 통신 방식은 아날로그 변조 누설 케이블을 이용한 방식으로서

본 연구는 국토해양부 도시철도표준화2단계연구개발사업의 연구비지원(07도시철도표준화A01)에 의해 수행되었습니다.

\*교신저자 : 남명우(mwnam@hj.ac.kr)

접수일 11년 02월 28일

수정일 11년 04월 06일

계재확정일 11년 04월 07일

실제로 케이블을 통해 통신 할 수 있는 거리가 짧아 다수의 중계기를 설치해야 하는 점과 동축 케이블이 높은 주파수 대역을 전송할 수 없는 단점을 갖고 있다. 또한 IEEE 802.11a 규격의 무선 랜을 사용하는 방식도 사용하였으나 2.4GHz 및 5.8GHz를 사용하는 IMS 대역은 주파수 혼용에 따른 데이터 전송 속도의 저하가 문제점으로 대두되었다. 이후 2007년도에 정보통신부의 지하철 전용 주파수 고시에 따라 높은 주파수가 가지는 전파의 직진성 및 감쇄로 인하여 골곡을 갖는 터널 내의 구조에 대한 무선 전파 특성에 관한 연구가 필요하게 되었다.

본 연구에서는 정보통신부의 전용주파수고시에 따라 18GHz 대역을 사용하는 도시 철도의 터널 내 무선 전파 특성을 모의 실험하여, 터널 내 무선 시스템 설치 시 활용할 수 있는 시뮬레이터의 개발을 목적으로 하고 있다. 개발된 시뮬레이터는 2차원 단면 구조를 사용하며 지하 터널 환경에 적용이 가능하도록 최적화하였다. 그리고 전파경로손실을 예측하여 활용할 수 있도록 전파 송신기와 수신기 위치를 변경하여 시뮬레이션 할 수 있도록 하였다. 또한 다양한 터널 길이와 터널의 곡률반경을 적용할 수 있도록 설계되었다. 시뮬레이션에 사용된 터널의 단면은 직사각형 구조로 한정하였으나 추후에는 곡면 형태까지 확장할 예정이다.

시뮬레이터의 성능을 평가하기 위하여 모의실험을 진행하였으며 층훈터널에서 측정된 데이터와 비교분석하였다. 또한 송신기와 수신기의 위치를 변경하며 경로 손실의 결과를 살펴보았다.

## 2. 시뮬레이션 수치해석

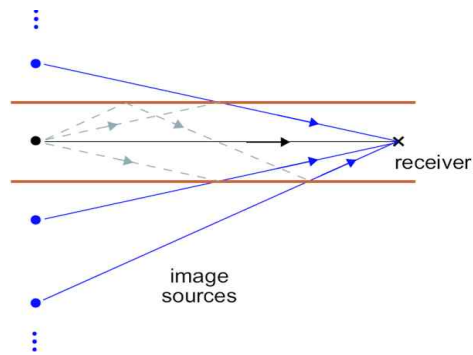
### 2.1 Ray tracing 방법

Ray tracing은 전자계 내에서 전파가 진행하는 경로를 추적하여 수신기에서 신호의 크기를 구하는 방법으로 송신기가 모든 방향으로 동일한 크기의 전파를 방사하는 ray tube로 이루어져 있다는 가정에서 시작한다[2]. 송신기를 떠난 신호는 손실과 위상 변화를 일으키며 거리와 주파수에 따라 신호에 변화가 발생하게 된다. 표 1은 실내에서 전파가 전송될 때 신호의 감쇄를 일으키는 손실 상수를 나타낸 것이다[1]. 손실 상수는 건물의 내부 구조와 건물의 내장재 등에 따라 값이 결정된다. 본 논문에서 사용한 ray tracing 기법은 image theory를 이용한 것으로 정확한 전파의 경로를 찾을 수 있으며, 원리는 그림 1과 같다. Image theory를 이용한 ray tracing은 간단한 계산으로 복잡하지 않은 구조물에서 매우 좋은 결과를 얻을 수

있는 에너지 측정기법으로, 송신부의 모든 ray를 계산하지 않고 수신기에 입사될 수 있는 ray들만을 예측하여 최종 에너지를 계산하는 방법이다.

[표 1] 건물 내의 일반적인 신호 감쇄 상수

Type	Building	Freq (MHz)	n	$\sigma$ (dB)
General	Retail Stores	914	2.2	8.7
	Grocery Store	914	1.8	5.2
	Office, hard partition	1500	3.0	7.0
	Office, soft partition	900	2.4	9.6
	Office, hard partition	1900	2.6	14.1
Factory LOS	Textile/chemical	1300	2.0	3.0
	Textile/chemical	4000	2.1	7.0
	Paper/cereals	1300	1.8	6.0
	Metalworking	1300	1.6	5.8
Factory NLOS	Textile/chemical	4000	7.1	9.7
	Metalworking	1300	3.3	6.8



[그림 1] Image Theory를 적용한 Ray Tracing 예

그림 1은 image theory를 사용한 예로서 전반사가 일어나는 도파관에서 신호의 진행방향을 가상의 송신부를 만들어서 구하고, 이를 이용해 수신단에 도달하는 ray를 얻어내는 방식이다. 이러한 방법은 수신부에 들어오는 정확한 ray들을 선별할 수 있기 때문에 계산량을 상당히 줄일 수 있으며, 정확한 수신 에너지를 계산할 수 있는 장점을 가진다. 본 연구에서는 image theory를 사용한 ray tracing 기법에 고유선(eigenray)해석을 적용하여 수신단에 도달하는 ray들을 계산하고 에너지를 산출하였다. 식 (1)은 고유선들의 진행경로를 구하는 수식으로 그림 2에서 보듯이  $W$ 는 소스에서 발생하는 선(ray)들과 경계 사이의 각을 나타내고  $n$ 은 양쪽 경계로부터의 반사 개수를 의미한다[3].

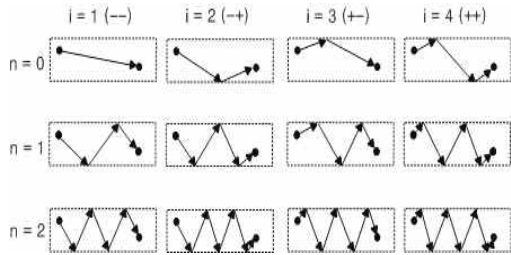
$$q_n^{(1)} = (x_{>} - x_{<}) \cos W + z \sin W + 2an \cos W, \quad (1)$$

$$W = \sin^{-1} \left( \frac{k_x}{k} \right),$$

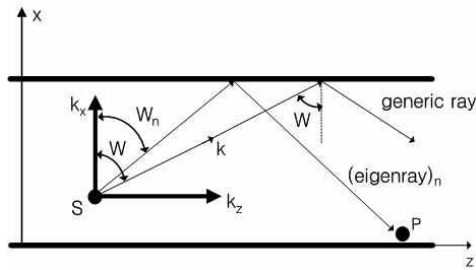
$$q_n^{(2)} = (x_{>} + x_{<}) \cos W + z \sin W + 2an \cos W,$$

$$q_n^{(3)} = -(x_{>} + x_{<}) \cos W + z \sin W + 2a(n+1) \cos W,$$

$$q_n^{(4)} = -(x_{>} - x_{<}) \cos W + z \sin W + 2a(n+1) \cos W$$



(a) 터널 내에서 진행되는 고유선 경로의 종류

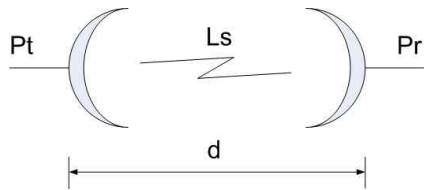


(b) 터널 내의 고유선 진행 경로

[그림 2] 터널 내의 고유선 해석

2.2 전파 경로 손실

일반적인 무선송수신 시스템의 경우 그림 3과 같은 구조를 갖는다. 송신측은 Pt의 출력으로 송신안테나를 통해 전파를 송출하며, 방사된 전파는 전파매질에 의한 손실을 갖고 수신안테나에 도착하게 된다. 이때, 손실되는 전파의 정도는 전파되는 공간의 매질과 주파수 그리고, 전파 거리 등에 따라 다르다.



[그림 3] 일반적인 무선송수신 시스템의 구성

자유공간 손실이란 전파의 에너지를 흡수 또는 산란하기도 하는 이상적인 공간인 자유공간 (free space)에서의 전파 방사 손실을 말한다. 모든 방향으로 동일한 에너지를 방사하는 이론적인 등방성(Isotropic) 안테나에 송신전력 Pt를 공급한다고 가정 하면, 안테나를 중심으로 한 구의 표면적이 거리에 따라 확장되는 것과 같이 전력밀도가 줄어들게 되는데, 거리 d에서 수신신호 전력 밀도는 식 (2)와 같다.

$$P_r = \frac{P_t}{4\pi d^2} \quad (2)$$

단, Pr은 송신출력, d는 송수신 안테나간의 거리를 의미한다. 이론적인 등방성 안테나는 공급된 송신전력을 안테나가 전 방향(안테나를 둘러싼 구 형태의 면적)에 똑같은 크기의 에너지를 복사하게 된다. 등방성 안테나일 경우 실효 개구면적은 λ²/4π이기 때문에 수신 안테나에 수신되는 전력은 식 (3)와 같다.

$$P_r = \frac{P_t}{4\pi d^2} \times \frac{\lambda^2}{4\pi} = \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \times P_t \quad (3)$$

여기서 송신전력에 대한 수신전력의 비가 자유 공간에서 발생한 손실로 정의 되며, 이것을 자유공간 손실(Ls)이라 하여 식 (4)과 같이 표기할 수 있다.

$$L_s = \frac{P_t}{P_r} = \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (4)$$

손실을 데시벨(dB)로 변형하면 Pt, Pr은 전력이므로 10log를 대입하여 다음과 같은 경로손실 (Ls [dB])을 얻을 수 있다.

$$L_s = 10 \log \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 = 20 \log \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right) \quad (5)$$

위 식 (5)에서 사용된 변수들을 살펴보면 전파의 파장과 거리로 이루어져 있으며 이를 GHz와 km 단위를 사용하여 정리하면 식 (6)와 같다[4,5].

$$L_s \text{ (dB)} = 92.45 + 20 \log f \text{ (GHz)} + 20 \log d \text{ (km)} \quad (6)$$

위 식을 거리와 주파수에 대한 경로 손실 변수로 시플

레이터 개발에 사용하였다. 그리고 표 2는 시뮬레이터의 개발에 사용된 지하철 전용 주파수의 특성을 정리한 것이다[6,7].

[표 2] 지하철 전용 주파수 특성

구 분	규 격
사용주파수	18.86 ~ 18.92GHz, 19.20 ~ 19.26GHz
대역폭	채널당 10MHz이내
변조방식	OFDM / QAM
출력	100mW(20dBm) 이하
수신 감도	-90dBm @ $10^{-6}$ BER
송수신 안테나이득	10dBi / 15dBi

### 2.3 곡선 터널 측정 방법

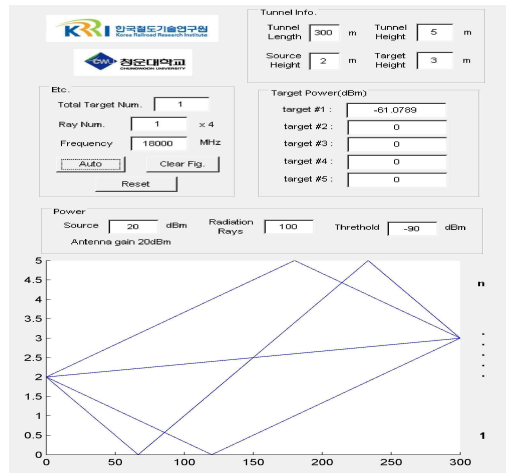
본 연구에서는 곡선 터널에서의 전파 경로를 시뮬레이션 하기 위해 곡선 구간에 여러 개의 수신점을 설정한 후 각각의 수신점에서 얻어진 에너지를 평균하여 사용하는 방법을 적용하였다. 즉, 송신기에서 발생한 ray들이 곡선이 시작되는 터널 입구에서 임의로 설정한 몇 개의 점들로 에너지가 모이게 되며, 각 점들에서는 다시 ray들이 발생하여 곡선이 끝나는 부분의 점들로 에너지가 모이게 하였다. 그리고 다시 곡선이 끝나는 부분에 설정된 각 점들에서 발생한 ray들이 최종적으로 수신단에 도착하게 되는 방법이다. 곡선이 시작되는 부분과 끝나는 부분에서의 수신점 개수는 파라미터로 시뮬레이션 실행시 입력할 수 있도록 설계하였으며, 다양한 변수를 대입하여 시뮬레이션을 수행하였다. 곡선터널의 경우 곡률 반경이 작을수록 경로손실이 급격히 발생하게 된다. 곡률반경에 따른 경로 손실을 적용하기 위하여 직선 터널의 값을 1로 설정하고 터널의 곡률이 작아질수록 경로손실 지수도 작아지도록 시뮬레이터를 설계하였다.

## 3. 시뮬레이션 결과 및 분석

시뮬레이터는 matlab을 사용하여 개발하였으며, 직선 구간용과 곡선 구간용으로 구분하였다. 각각의 시뮬레이터 모두 터널 길이, 터널 높이, 송신기와 수신기 높이, 사용 주파수, 송신 파워 등을 변수로 입력 할 수 있도록 설계하였으며 특히 모든 송신 안테나의 이득은 실제로 용하는 안테나의 이득을 고려하여 20dBm로 설정하였다.

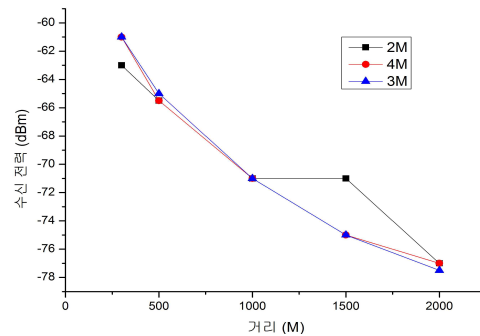
### 3.1 직선 터널 구간

그림 4는 직선구간의 송수신단 수신 전력에 대한 시뮬레이션의 예로서 거리와 높이에 따른 변수를 Tunnel Length는 300m, Source Height는 2m로 시뮬레이션 한 결과이다.



[그림 4] 직선구간에 대한 시뮬레이터 사용 예

직선구간에서 시뮬레이션의 설정변경 및 수행과정은 터널 길이가 300m, 500m, 1000m, 1500m, 2000m에서 터널 높이중 수신기의 높이를 2m, 3m, 4m에 설치한 것으로 설정하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 그 결과는 그림 5와 같다.

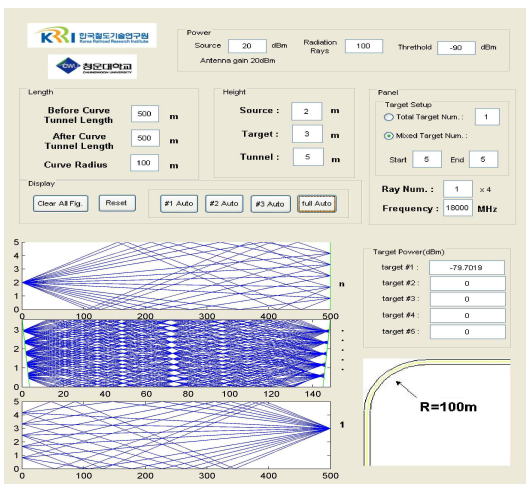


[그림 5] 직선구간에 대한 시뮬레이션 결과

그림 5을 보면 송수신단의 높이에 따른 수신 전력 값은 큰 차이가 없는 것을 알 수 있으며, 송수신단 간의 거리를 200m에서 2000m까지 변화시킨 결과 -61dBm에서 -78dBm까지 -17dBm 정도의 전력 손실이 발생하는 것을 관측할 수 있었다.

### 3.2 곡선 터널 구간

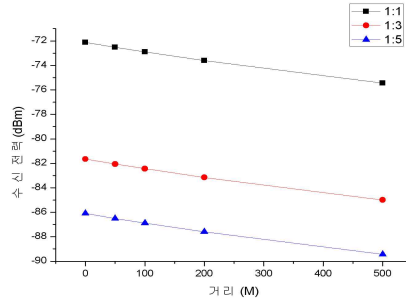
곡선 선로에 대한 시뮬레이션은 송신전파가 터널의 곡선 선로에 진입하기 500m전에서 곡선의 곡률 반경이 100m, 200m 및 400m인 선로에 실험을 적용하였다. 그리고 송신 및 수신단이 곡선 선로에 들어가는 순간은 수신 단에서 높이에 따라 수신되는 전력을 모두 수집하고 각 수신되는 전력에 따른 곡선 선로에서의 수신률을 알아보기 위하여 1:1,3,5 및 3:1,3,5, 5:1,3,5의 비율로 수신기를 설치한다는 가정을 하고 실험을 실시하였다. 또한 곡선 선로를 빠져 나온 직선 구간에서의 수신율을 실험하기 위하여 곡선 선로를 빠져나온 순간을 기점으로 하여 100m, 200m 및 500m에서 수신 단의 수신 전력을 구하였다. 그림 6은 곡선구간의 송수신단 수신 전력에 대한 시뮬레이터의 사용 예이다.



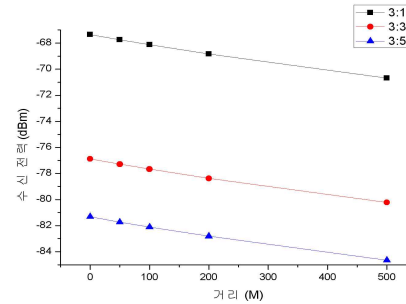
[그림 6] 곡선구간에 대한 시뮬레이터 사용 예

곡률 반경 400m에서의 송신 전력에 대한 수신 전력의 실험 결과는 그림 7과 같다. 수신기의 전력이 경로 손실을 제외하고 모두 전달되는 1:1 및 3:1 또는 5:1에서는 우수한 성능을 나타내나, 터널내의 전파가 모든 진행 방향으로 전송되는 경우를 가정한 1:3, 1:5와 같은 경우에는 수신 전력의 큰 감쇄가 발생하는 것을 알 수 있다. 최초 터널에 진입하기 전 500m 거리의 송신 전력을 기준으로 터널을 빠져나간 직후는 수신기의 비율에 따라 약 -65dBm에서 -79dBm 정도의 전력 감쇄가 발생하고 터널로부터 거리가 멀어짐에 따라 50m에서 500m까지 약 -4dBm의 전력 손실이 발생하는 것으로 나타났다. 따라서 거리에 따른 수신 전력은 터널의 곡률 반경과 관련 없이 모두 지수 함수적으로 감소하는 것을 알 수 있으며 터널의 곡면에서 반사된 전파는 터널내 이동하는 수신 안테

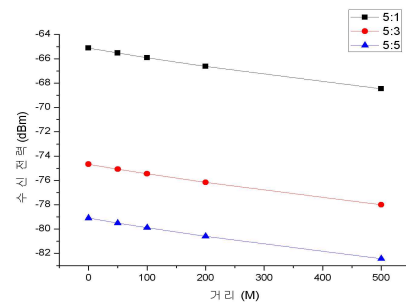
나에 모두 수신된다고 가정하는 경우에 높은 수신 전력을 나타내었다.



(a) 송수신단비(1 : 1, 3, 5)



(b) 송수신단비(3 : 1, 3, 5)

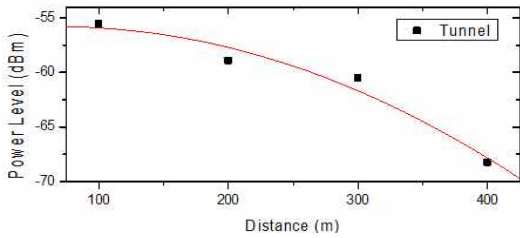


(c) 송수신단비(5 : 1, 3, 5)

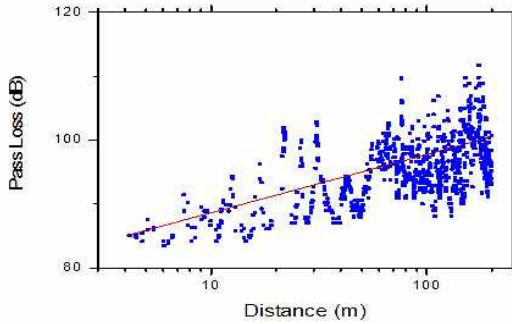
[그림 7] 곡선구간(R400)의 거리별 수신 전력

### 3.3 시뮬레이터 평가

시뮬레이터의 예측결과를 검증하기 위하여 안양시 충훈터널에서 수행한 18GHz 전파 특성 측정 결과를 이용하였다. 측정을 진행한 터널은 편도 2차선 터널로 총 900m구간이며, 직선 200m거리에서 LOS가 보장된다[7]. 그림 8의 (a)는 충훈터널에서 측정된 실측 수신 파워레벨이다. 터널에서는 반사파의 영향으로 수신 세기의 측정이 불안정한 특성을 보여 주었는데, 대체적으로 자유공간 손실에서와는 달리 지수적인 감소가 아닌 직선적인 특성도 내포하고 있는 것으로 관측되었다.



(a) 터널에서의 신호세기 측정치



(b) 터널에서의 경로 손실

[그림 8] 층훈터널에서의 신호 측정

터널 구간에 대한 손실 지수는 자유공간의 경로손실 지수 보다 상당히 낮은 경로손실이 발생하였다. 측정된 경로 손실 지수는 1.62이었으며, 표준편차는 4.34로 측정되었다. 그림 8의 (a)는 시뮬레이션 결과인 그림 7과 유사한 결과를 보였다. 특히, 송수신단 비를 3:1로 설정했을 때 오차가 약 5dB정도 발생하여 가장 유사한 결과를 보였으며, 이로부터 시뮬레이터의 타당성을 확보할 수 있었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 터널 내 무선 전송 경로를 분석할 수 있는 2차원 시뮬레이터 프로그램을 구현하였다. 구현된 시뮬레이터는 각각 직선 구간 및 곡선 구간에서의 무선 통신을 위한 전파 경로를 해석할 수 있으며 송신 전력에 대한 수신 전력의 비율을 dB로 나타낼 수 있도록 하였다. 또한 수신단으로부터 송신단에 이르기 까지 전파의 경로를 파라미터에 따라 시각적으로 관찰 할 수 있는 그래픽 분석 도구를 포함하고 있다.

시뮬레이터를 구현하기 위하여 2차원 Maxwell 방정식으로 부터 유도되는 전파 전송 방정식에서 터널의 높이를 초기 조건으로 갖는 고유선 분석을 사용하였다. 분석된

고유선들은 수신단에서 출발한 전파가 특정 거리 및 높이에 위치한 수신단에 수집될 수 있는 경로들의 해로서 GHz 대역에서 자유 공간 손실의 지배를 받도록 구성하였다. 구성된 고유해들은 image theory를 이용한 ray tracing method를 통하여 그래픽으로 구현하였다.

구현된 시뮬레이터는 송수신단 간 거리, 송수신기의 위치, 사용 캐리어 주파수, 곡률 반경, 고유선의 개수 등을 파라미터로 하여 파라미터의 변화에 따른 터널 내 전파 특성을 모의 실험 할 수 있도록 하였다. 특히 곡선 터널의 해석에서는 곡선 터널을 통과하는 전파들의 전송선로에 대하여 송신단 및 수신단의 비를 다르게 표현하여 수신단이 송신 전력의 대부분을 수신하는 경우 또는 일부분만을 수신하는 경우로 나누어 모의 실험을 실행할 수 있도록 하여 다양한 터널 내 변화된 환경을 반영할 수 있도록 하였다.

구현된 시뮬레이터의 모의실험 결과를 층훈터널에서 실측한 전파 경로 손실 데이터와 비교 분석하여 시뮬레이터의 타당성을 확보하였다.

#### 참고문헌

- [1] Jackie Leung, "Hybrid Waveguide Theory -Based Modeling of Indoor Wireless Propagation", Graduate Department of Electrical and Computer Engineering, University of Toronto, 2009
- [2] 김도윤, 조한신, 육종관, 박한규, "ray-launching 법을 이용한 2.6ghz대역의 터널내 경로손실 특성 분석", 한국전파학회 종합학술발표회 논문집 vol. 13, no.1, pp.33-36, 11월, 2003
- [3] Leopold B. Felsen, Funda Akleman, Levent Sevgi, "Wave Propagation Inside A Two-Dimensional Perfectly Conducting Parallel-Plate Waveguide: Hybrid Ray-Mode Techniques and their Visualizations", IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol.46, No.6, December 2004
- [4] 조한신(Han-shin Jo), 김도윤(Do-youn Kim), 육종관(Jong-gwan Yook), "지하철 터널 환경에서 2.65Ghz 대역신호의 경로손실 특성," 한국통신학회논문지 제31권 제10A호, pp. 929-1044, 2006.10.
- [5] 김경재, 윤영중, 박한규, "터널에서의 전파경로손실 분석," 한국통신학회논문지 제20권 6호, pp. 1467-1747, 1995.
- [6] 정상국, 안태기, 김백현, 남명우, 이영석, 오명관, "18GHz 지하철 무선영상 전송시스템 개발", 한국산학기술학회논문지 제11권 제6호, pp.2196-2201, 2010



[7] 정상국, 최갑봉, 안태기, 김백현, 박종철, 양동석, “18GHz 차지상간 양방향 영상전송시스템의 도로및 터널 구간에서 경로손실 특성”, 대한전기학회, 춘계학술대회

안 태 기(Tae-Ki An)

[정회원]



- 1993년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
- 1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학석사)
- 2008년 2월 : 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과(박사수료)
- 1996년 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 (선임연구원)

<관심 분야>

멀티미디어 통신, 영상분석, 인공지능

김 백 현(Baek-Hyun Kim)

[정회원]



- 1994년 2월 : 인하대학교 전자공학과 (공학사)
- 1996년 2월 : 인하대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2003년 2월 : 인하대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2003년 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 열차제어통신연구실(선임연구원)

<관심 분야>

이동통신, 멀티미디어통신, 철도통신, 열차제어

남 명 우(MyungWoo Nam)

[정회원]



- 1992년 2월 : 서울시립대학교 제어측정공학과(공학사)
- 1994년 2월 : 서울시립대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 2001년 8월 : 서울시립대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
- 2003년 3월 ~ 현재 : 해전대학 전자캐드과(교수)

<관심 분야>

신호처리, 회로설계, 마이크로프로세서

이 영 석(Young-Seock Lee)

[정회원]



- 1993년 2월 : 서울시립대학교 전자공학과(공학사)
- 1995년 2월 : 서울시립대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 1998년 8월 : 서울시립대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 청운대학교 디지털방송공학과(교수)

<관심 분야>

임베디드 시스템, SoC, 의용전자시스템

정 상 국(Sang-Guk Jeong)

[정회원]



- 1996년 2월 : 서울시립대학교 전자공학과(공학사)
- 1998년 2월 : 서울시립대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2002년 2월 : 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학과(공학박사)
- 2000년 ~ 현재 : (주)씨아이테크연구소(책임연구원)

<관심 분야>

멀티미디어 통신, 철도통신

오 명 관(Myung-Kwan Oh)

[중심회원]



- 1993년 2월 : 충북대학교 대학원 컴퓨터공학과 (석사)
- 2002년 8월 : 충북대학교 대학원 컴퓨터공학과 (박사)
- 1993년 ~ 1999년 : 고려정보테크(주) 정보통신연구소 연구원
- 1999년 3월 ~ 현재 : 해전대학 디지털서비스과 부교수

<관심 분야>

영상처리, IT 서비스 등