
지하공간에서의 전파 경로손실의 예측 및 측정

김영문* · 진용옥** · 강명구***

Prediction and Measurement of Propagation Path Loss in Underground Environments

Young-moon Kim* · Yong-ok Chin** · Myoung-ku Kang***

요 약

지하공간인 터널에 대하여 이론적인 전파 경로손실 예측과 측정을 수행하였다. 터널 내 전파 경로 손실을 보다 정교하게 해석하기 위하여 터널의 단면적이 직사각형이고 직선구조의 터널을 선택하였다. 혼합도파관 모델, ray tracing 모델을 이용하여 수신전력을 예측하였고, 측정시스템을 이용하여 송·수신기 사이의 거리에 따른 수신전력을 측정하였다. 주어진 터널 환경에서 터널 내 수신전력 측정값에 대한 회귀분석 값(0.0238dB/m)은 혼합도파관 EH_{1,2}모드의 감쇄 값(0.0246dB/m)과 가장 근사한 결과를 보였다. 터널 내 송·수신안테나 사이의 거리에 따른 수신 전력에 대한 Ray-tracing 모델 시뮬레이션 결과와 측정값은 거의 일치하였다. 터널 내 RMS 지연확산을 계산한 결과 송·수신안테나 사이의 거리가 증가할수록 RMS 지연확산 값은 증가하였고, 코히어런스 대역폭은 감소하였다.

ABSTRACT

This paper presents the propagation path loss in a tunnel which is a kinds of underground environments. To predict propagation path loss more accurately, we choose a straight tunnel with rectangular cross-section. The simulated receiver powers that are using a hybrid waveguide model and a Ray-Tracing method, are compared with the measured ones as a function of distance between TX and RX antennas in tunnel. The attenuation value of regression analysis for measured power in the tunnel is 0.0238dB/m which is similar to the one of the EH_{1,2} mode, 0.0246dB/m in hybrid waveguide model. By comparing simulation with measurement in tunnels, it has been shown that the measured values are approximate to the simulated results of ray-tracing model. In the analysis of wide-band channel characteristics of the tunnel, the more the distance between TX and RX antennas in tunnel increases, RMS delay spread increases and coherence bandwidth decreases.

키워드

Underground, Tunnel, Propagation, Reflection.

*경희대학교 전파공학과 박사과정,
접수일자 2003. 5. 21

**경희대학교 교수
***인천전문대학 정보통신과 교수

1. 서 론

지하공간은 도로터널, 지하철터널, 광산터널, 지하차도, 지하상가, 빌딩지하, 선박 등이 있다. 지하공간에서 사람들이 생활하는 시간이 점점 길어짐에 따라 지하공간에는 통신시스템, 방송시스템, 환기시스템, 자동화시스템 등의 설치가 지속적으로 증가되고 있으며, 특히 이동 중에 양질의 고속, 대용량의 멀티미디어 서비스를 제공받을 수 있도록 하는 전파통신에 대한 요구가 증가되고 있는 실정이다.

그러나 지하공간의 전파환경은 자유공간의 전파환경과 매우 다른 특성을 나타내고 있다. 지하공간을 구성하는 단면형태, 사용하는 재료의 매질, 두께, 기하학적 구조 등에 따라 전파특성이 달라지므로 지하공간에서의 전파경로손실 예측모델에는 여러 가지 변수를 고려할 수 있어야 한다^{[1],[2]}.

지하공간 중 차량이 많이 통행하는 터널의 경우 단면 형태는 직사각형, 아치형, 반원형 등으로 다양하며, 터널의 길이는 점점 길어지는 경향을 갖는다. 길이가 긴 터널은 구조상의 문제로 인하여 직선보다는 곡선구조로, 단면의 형태는 직사각형보다는 아치형이나 반원형의 터널로 건설한다^[3].

터널내부의 전파환경 해석에 대한 많은 연구에서는 터널의 단면을 직사각형으로 터널 길이를 직선으로 가정하여 수행하므로 실제 환경과 차이가 발생할 수 있다. 그러므로 보다 정확한 터널 내 전파환경 분석을 위해서는 이론적 해석환경과 유사한 구조에 대한 터널의 선택이 필요하다^{[4],[5]}.

본 연구는 단면이 직사각형이고 길이가 직선 구조인 평택터널에 대하여 혼합 도파관 모델과 ray tracing 기법을 이용한 이론적 해석과, 측정을 통하여 전파경로손실을 정량적으로 비교 분석하였고, 터널 내 광 대역 채널특성에 관한 정보를 제공하는 RMS 지연 확산(RMS delay spread)과 코히어런스 대역폭(coherence bandwidth)을 분석하였다^{[6],[7]}.

II. 직선터널 내 전파모델

2.1 터널 구조 및 측정시스템

평택터널은 그림 1과 같이 단면적이 폭14.7m, 높

이 6.15m인 직사각형이고, 터널길이가 360m인 직선 터널이다.

터널 내 수신전력 측정은 그림2와 같이 터널 벽면으로부터 7.35m떨어진 터널의 중앙에서 바닥으로부터 1m높이에 송신안테나와 수신안테나를 설치하고, 수신시스템을 터널중심선을 따라 안쪽으로 이동시키면서 측정하였다.

측정에 사용하는 주파수는 884MHz이다. 사용한 송·수신안테나는 패치 방향성 안테나(patch directional antenna)로 수직편파(vertical polarization)를 갖으며, 안테나의 방향성 이득은 5dB이다. 송신부의 신호발생기(Agilent Technologies E4436B)는 0dBm의 전력을 발산한다. 수신부는 Measuring Receiver 및 Spectrum Analyzer(Advantest R3132)로 구성되어 카터에 탑재하였다.

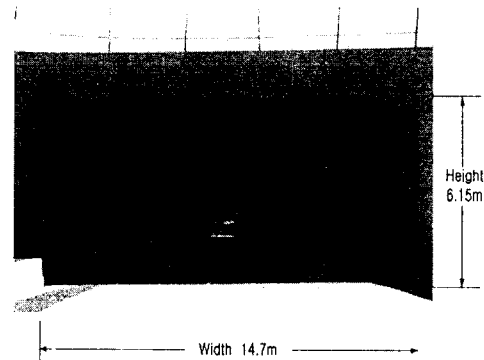


그림 1. 평택터널 터널 단면도

Fig. 1 Cross-sectional view of Pyungtaek tunnel

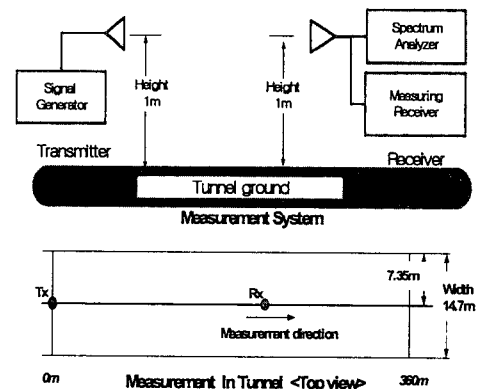


그림 2. 측정시스템 및 터널 내 수신전력 측정
Fig. 2 Measurement set-up diagram

2.2 혼합도파관 모델

터널은 단면적이 매우 큰 도파관으로 가정하여 전파경로 손실을 예측할 수 있다. 터널을 도파관으로 가정하면 터널의 단면적에 의해 결정되는 차단 주파수가 존재하게 되고, 차단주파수보다 높은 주파수는 여러 가지의 혼합 EH_{m,n}모드로 터널 안으로 전파할 수 있다. 터널에 대한 혼합도파관 모드의 해석은 터널이 직선이고 단면이 직사각형일 경우에 터널 내 감쇄 손실을 계산할 수 있게 한다^{[3]-[5]}.

터널건축 재료가 콘크리트인 매질에 대한 복소상대 유전율 ϵ_r^* 은 식(1)과 같이 매질의 상대유전율 ϵ_r' 과 도전율 σ 로 표시된다^{[4],[8]}.

$$\epsilon_r^* = \epsilon_r' - j \frac{\sigma}{\omega \epsilon_0} \quad (1)$$

여기에서 ϵ_0 는 자유공간의 유전율이며, ω 는 각속도이다.

터널 내에서 여러 가지의 EH_{m,n} 모드는 터널단면(폭 a, 높이b)과 부등식의 관계를 갖는다.^[4]

$$\frac{m\lambda}{4a} \ll 1 \quad \text{and} \quad \frac{n\lambda}{4b} \ll 1 \quad (2)$$

식(2)의 부등식을 만족하는 경우 전파상수는 다음 식(3)과 같이 표현할 수 있다^{[1],[4]}.

$$\gamma_g = \alpha_g + j\beta_g \quad (3)$$

여기에서 α_g 는 감쇄상수이고, β_g 는 위상정수이다.

식(3)에서 α_g 는 터널에 대하여 전파경로손실을 예측할 때 사용하는 항으로, 수직편파를 이용하는 혼합도파관 모드(EH_{m,n})에 복소유전율 식(1)과 터널 단면적(폭(a)×높이(b))을 적용하여 식(4)과 같이 계산할 수 있다^{[3]-[5]}.

$$\alpha_g = 8.686 \left(\frac{(m\lambda)^2}{2a^3} \operatorname{Re} \left\{ \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r^* - 1}} \right\} + \frac{(n\lambda)^2}{2b^3} \operatorname{Re} \left\{ \frac{\epsilon_r^*}{\sqrt{\epsilon_r^* - 1}} \right\} \right) \quad (\text{dB/m}) \quad (4)$$

여기에서 $\operatorname{Re}(\cdot)$ 은 실수 값을 나타낸다. 그리고

$$\beta_g = \frac{2\pi}{\lambda} \left| 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{m\lambda}{4a} \right)^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{n\lambda}{4b} \right)^2 \right| \quad (5)$$

이다.

2.3 Ray-Tracing 모델

그림 1에서와 같이 터널내부에 어떤 장애물도 없는 매우 이상적인 환경에서 터널 내의 송신안테나에서 발사한 전파는 수신안테나에 그림 3과 같이 직접파, 터널벽면 반사파, 천장 및 바닥 면에서의 반사파 등의 합인 형태로 수신되는 것으로 가정할 수 있다^{[2],[8]-[10]}.

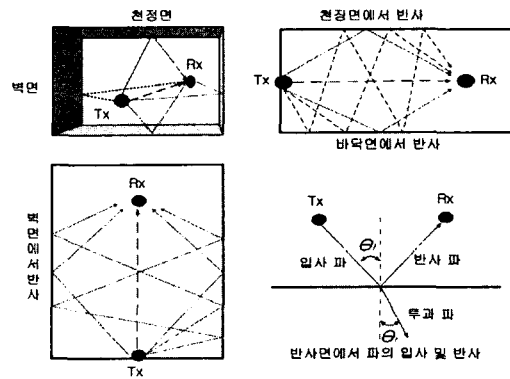


그림 3. 송신안테나에서 수신안테나로의 전파경로
Fig. 3 Propagation path from transmitter antenna to receiver antenna

그림 3에서와 같이 터널 내에서 송신안테나와 수신안테나 사이의 거리 R_0 만큼 떨어진 지점에서의 측정되는 수신전력 P_r 은 직접파, 터널 전경 및 바닥 면에서 i 번 반사한 수직 반사파, 터널 벽면에서 i 번 반사하는 수평 반사파 등 3가지 필드(fields)의 합인 형태로 식(6)와 같이 나타낼 수 있다^{[8],[9]}.

$$P_r = P_t \left(\frac{\lambda_0}{4\pi} \right)^2 \cdot \left(\left| \frac{G_d e^{-jkR_0}}{R_0} + \sum_{i=1}^n \frac{G_{vi}(\Gamma_{vi})^i e^{-jkR_{vi}}}{R_{vi}} + \sum_{i=1}^n \frac{G_{hi}(\Gamma_{hi})^i e^{-jkR_{hi}}}{R_{hi}} \right|^2 \right) \quad (W) \quad (6)$$

여기에서 P_t 는 송신전력이며, λ_0 는 자유공간에서의 파장(m)이다. 식(6)에서 우변의 절대치 항 내에서 첫 번째 항은 직접파에 의한 수신 전력이며, 두 번째

항은 천장-바다 면에서의 수직반사파에 의한 반사전력을, 세 번째 항은 터널 벽면에서의 수평반사파에 의한 반사전력을 나타낸다. G_d, G_{vi}, G_{hi} 는 직접파, i 번째 수직 및 수평반사파에서의 송·수신안테나 이득의 기하평균을 나타내는 것이고^[9], $\Gamma_{vi}, \Gamma_{hi}, R_{vi}, R_{hi}$ 는 i 번째 파에서 수직 및 수평반사파에서의 반사계수 및 송·수신안테나 사이의 경로 길이(m)를 나타낸다^{[8],[11]}. 식(6)의 각 변수에 대한 상세한 사항은 참고문헌[9]에 제시되어 있다^[9].

2.4 RMS 지연확산

다중경로에 따른 수신전파의 지연확산은 시간영역에서 원하는 신호의 퍼짐을 나타내는 물리적인 파라미터로서 신호의 열화 원인이 된다. 터널 내의 광대역 채널특성에 관한 정보를 제공하는 RMS 지연확산(RMS delay spread)은 디지털 신호 전송에서 심벌간 간섭(ISI, Inter Symbol Interference)에 대한 잠재적인 척도이다^{[6],[7]}. 이동통신에서 다중 반사파의 상존으로 인하여 송신된 신호는 수신측에 각각 다른 전파경로를 거쳐서 도달된다. 각 파의 전달경로의 길이가 서로 다르기 때문에 신호의 도착시간 또한 다르게 된다. 송신 부에서 임펄스 신호를 송신했을 때 N 개의 전파경로에 대한 수신신호는 다음과 같다^{[7],[8],[14]}.

$$p(t) = \sum_{i=1}^N p_i \delta(t - \tau_i) \quad (7)$$

$$p_i = P_i \left(\frac{\lambda}{4\pi} \right)^2 \left| G_i \Gamma_i \frac{e^{-jkr_i}}{r_i} \right|^2 \quad (8)$$

$$\tau_i = \frac{r_i}{c} \quad (9)$$

여기서 p_i 는 경로 i 에 의한 수신신호의 크기이며, τ_i 는 전파경로에 의한 지연시간이고, $\delta(t - \tau_i)$ 는 $t = \tau_i$ 에서 임펄스를 나타내는 임펄스 함수(impulse function)이다. c 는 광속도이다.

각 경로로부터의 수신전력의 크기를 고려하여 각 전파 경로의 지연시간들이 평균지연시간에 대해 얼마나 떨어져 있는지 그 산포도를 보여주는 RMS 지연확산은 식(10)과 같다^{[7],[8],[14]}.

$$\tau_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \tau_i^2 p_i}{\sum_{i=1}^N p_i} - \left(\frac{\sum_{i=1}^N \tau_i p_i}{\sum_{i=1}^N p_i} \right)^2} \quad (10)$$

지연확산을 계산하면 이는 송신전력과는 무관하며, 송수신 안테나의 위치와 이득 패턴, 모델의 기하학적 구조, 매질의 전기적 특성, 전파경로의 수, 그리고 주파수에 의하여 결정되는 양이다.

RMS 지연확산 τ_{rms} 의 역은 채널의 코히어런스 대역폭(coherence bandwidth)의 평가 기준이 된다. 코히어런스 대역폭보다 주파수 분리가 큰 두 정현파 성분은 채널에서 다르게 취급된다. 특히 채널의 코히어런스 대역폭이 정보신호의 대역폭과 비교하여 작은 이동 무선채널을 통해 신호가 전송될 때, 수신되는 신호는 채널에 의해 심하게 왜곡된다. 이러한 경우 채널은 주파수 선택적(frequency selective)이라고 한다. 반면에 코히어런스 대역폭이 정보 대역폭보다 클 경우, 이 채널은 주파수 선택적이지 않다(frequency non-selective)라고 한다^{[6],[8]}.

포락선 코릴레이션(envelope correlation) 이 0.5일 경우 코히어런스 대역폭(WCB)은 식(11)과 같다^[8].

$$W_{CB} = \frac{1}{2\pi \tau_{rms}} \quad (11)$$

III. 터널 내 전파경로손실 예측 및 측정

측정은 그림 2와 같이 터널의 중앙에서 길이방향으로 이동하면서 1m간격으로 측정하였다. 송·수신안테나는 수직편파를 사용하였다. 측정당시에는 차량이 다니지 않는 상태였으며, 터널내부에 전파를 방해하는 장애물이 없는 매우 이상적인 환경인 빈 터널로 이론적 해석환경과 매우 유사하다.

터널 내 전파경로 손실을 예측하고 측정하기 위하여 사용한 변수 값들은 표1과 같다.

표 1. 터널 내 전파경로손실 예측 및 측정 변수
Table. 1 Parameters of prediction and measurement for propagation path loss in tunnel

| 구분 | 값 |
|-----------------|---------------|
| 송신 안테나(Patch)이득 | 5dBi |
| 수신 안테나(Patch)이득 | 5dBi |
| 송신 전력 | 0dBm |
| 터널매질의 복소상대 유전율 | 7.0-j0.85 |
| 벽면 도전율 | 0.0239 S/m |
| 터널 단면적 | 14.7m × 6.15m |
| 사용 주파수 | 884MHz |
| 파의 반사회수(i) | 25회 |

3.1 혼합도파관 모델 값과 측정값

터널을 혼합도파관으로 가정하여 해석한 전파경로 손실을 예측하는 식(4)에 표1의 복소상대유전율, 터널 단면적, 사용주파수를 적용하여 계산한 감쇄량(dB/m)은 표2와 같다. 감쇄손실이 가장 작은 혼합도파관 모드는 EH_{1,1}이다^{[3]-[5]}.

표 2. 혼합도파관 모드별 감쇄(dB/m)
Table 2. Attenuation verse EH_{m,n} mode(dB/m)

| 구분 | n=1 | n=2 | n=3 | n=4 |
|-----|--------|--------|--------|--------|
| m=1 | 0.0062 | 0.0246 | 0.0554 | 0.0984 |
| m=2 | 0.0064 | 0.0248 | 0.0555 | 0.0985 |
| m=3 | 0.0067 | 0.0251 | 0.0559 | 0.0989 |
| m=4 | 0.0072 | 0.0256 | 0.0563 | 0.0993 |

터널 내 측정값 전체에 대한 회귀 분석결과 80m에서 break point가 발생함을 알 수 있다. 송신안테나로부터 거리가 80m지점까지는 자유공간의 전파 특성을 가지며, 수신전력이 급격하게 감쇄하였고, 측정값을 회귀 분석한 감쇄기울기는 0.4365dB/m이다. 거리가 80m이후에서는 완만하게 감쇄하며 혼합도파관 모드의 감쇄손실과 유사한 특성을 갖는다[12]. 80m지점부터 터널 끝까지의 측정값에 대한 회귀 분석한 결과 감쇄 기울기는 0.0238dB/m 이다.

측정값을 회귀 분석한 감쇄손실은 혼합도파관 모델

의 EH_{1,1} 모드의 감쇄손실보다는 크고, 측정값에 대한 회귀분석 값과 유사한 혼합도파관모드인 EH_{1,2} 모드를 터널 내 송신안테나와 수신안테나 사이의 거리에 따른 그래프로 나타내면 그림 4와 같다.

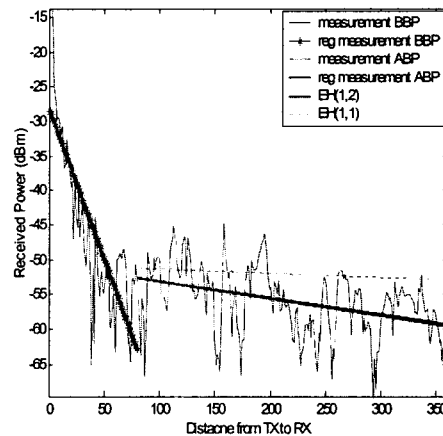


그림 4. 터널 내 송·수신안테나 사이의 거리에 따른 혼합도파관모드 감쇄손실 및 측정값에 대한 회귀분석

Fig.4. Attenuation of hybrid waveguide mode and regression analysis of measurements between TX and RX in tunnels

3.2 Ray-Tracing 모델 값과 측정값

Ray tracing 기법을 이용한 전파 모델에서는 ray의 수가 많을수록 경로 손실 예측의 정확도가 높은 것으로 많은 연구에서 밝히고 있다. 그리고 각 ray의 반사회수와 반사경로 수는 시뮬레이션에 소요되는 경제적 계산 시간과 수신 전력이 임계 값 이하가 되는 값을 고려하여 산정하고 있다^{[12]-[14]}.

본 터널 전파모델에서 ray의 수는 그림 3과 같이 터널 내 반사면에서 i 번째까지 반사한 파들을 합하여 수신안테나에서 수렴하는 값을 기준으로 산정 하였다. 884MHz주파수에서 반사회수 1에서 25까지의 반사파에 대한 수신 전력을 시뮬레이션한 결과 반사회수가 10 번째부터는 수렴하였다^[14].

식(6)을 사용하여 터널 내 송·수신안테나 사이의 거리에 따른 수신전력을 시뮬레이션한 결과와 측정값을 동시에 도시하면 그림 5와 같다.

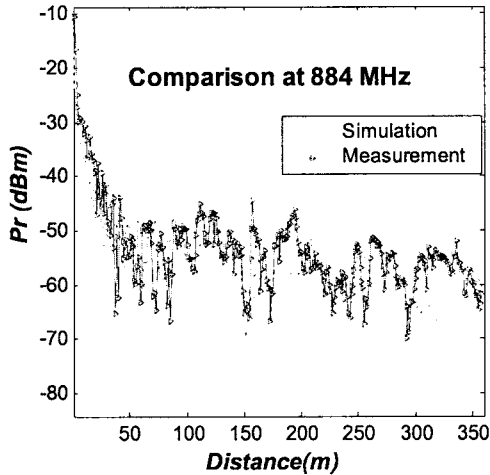


그림 5. 터널 내 수신전력 시뮬레이션 결과 및 측정값 비교

Fig. 5 Comparison between simulation results and measurement of received power in tunnel

그림 5에서 보는 바와 같이 송신안테나와 수신안테나 사이의 간격이 짧은 구간인 80m까지는 시뮬레이션 결과와 측정값에서 급격하게 손실이 발생하였고, 80m 이후에서부터 터널 끝 지점까지 수신전력 평균값이 -52dBm에서 -59dBm으로 7dB 감소하였다. 반사파의 영향으로 인한 멀티패스 페이딩의 폭이 10 ~ 20dB를 유지하였다.

3.3 RMS 지연확산 분석

송신안테나로부터 수신안테나 사이의 거리가 100m, 200m, 300m 떨어진 지점에서의 RMS 지연확산 식(10)에 대한 시뮬레이션 결과는 그림 6과 같다.

터널 내에서 송·수신안테나 사이의 거리에 대한 RMS 지연확산은 그림 6으로부터 100m에서 5.32ns, 200m에서 5.35ns, 300m에서 9.88ns 이다.

코히어런스 대역폭 식(11)은 각 거리별로 29.99MHz, 29.74MHz, 16.10MHz이었다. 송·수신안테나 사이의 거리가 증가할수록 RMS 지연확산 값의 증가에 반비례하여 코히어런스 대역폭은 감소하는 것을 알 수 있다.

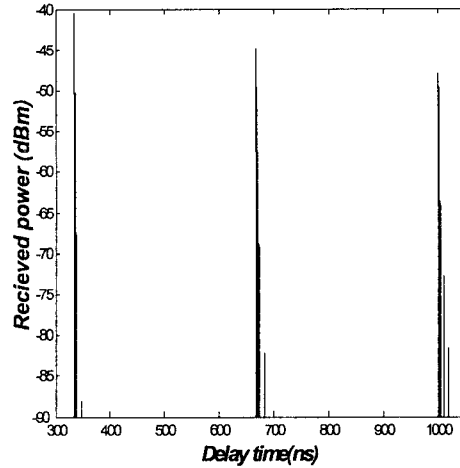


그림 6. 터널 내 RMS 지연확산 시뮬레이션
Fig. 6 Simulation of RMS delay spread at 884MHz in tunnels

IV. 결 론

지하공간인 터널에 대하여 전파경로손실 특성을 분석하기 위하여 혼합도파관 모델, ray tracing 모델을 이용하여 이론적으로 수신전력을 예측하였고, 모델 환경과 유사한 터널에 대하여 측정된 값을 회귀 분석하여 비교하였다.

주어진 터널 환경(표.1)에서 터널 내 수신전력 측정값에 대한 회귀분석값(0.0238dB/m)은, 터널 내로 전파하는 여러 가지 혼합도파관 모드별 감쇄 값(표.2) 중 EH_{1,2}모드의 감쇄 값(0.0246dB/m)과 가장 근사한 결과를 보였다.

Ray-tracing 기법을 이용한 터널 내 송·수신안테나 사이의 거리에 따른 수신 전력을 시뮬레이션 결과와 측정값은 거의 일치하였다.

터널 내 RMS지연확산을 계산한 결과 송·수신안테나 사이의 거리가 증가할수록 RMS 지연확산 값은 증가하였고, 코히어런스 대역폭은 감소하였다.

참고 문헌

- [1] David M. Pozar, "Microwave Engineering," Second Edition, JOHN WILEY & SONS, INC. 1998.
- [2] D. Didascalou. "Ray-optical wave propagation

modeling in arbitrarily shaped tunnels." Ph. D. dissertation, Universitat Karlsruhe, Germany. 2000.

[3] Martin Nilsson, Jesper Slettenmark and Claes Beckman, "Waves propagation in curved tunnels," IEEE Trans. Veh. Technol., pp. 1876-1897, 1998.

[4] Ph. Mariage, M. Lienard, and P. Degauque, "Theoretical and experimental approach of the propagation of high frequency waves in road tunnels," IEEE Trans. Antennas and Propagat., vol.42, no.1, pp. 75-81, Jan. 1994.

[5] 김경재, 윤영중, 박한규, "터널에서의 전파경로 손실 분석", 한국통신학회 논문지, 제20권, 제6호, pp. 1723-1729, 1995.6

[6] J. D. Parsons, "Mobile Radio Propagation Channel," Second Edition, JOHN WILEY & SONS, INC. 2001, pp. 18-31.

[7] Bernard Sklar "Digital Communications," Prentice Hall PTR, 2001 pp. 960-961.

[8] Fernando Marti Pallares, Francisco J. Ponce Juan, "Analysis of path loss and delay spread at 900MHz and 2.1GHz while entering tunnels," IEEE Trans. Veh. Technol., vol.50, no3, pp. 767-776, May. 2001.

[9] 김영문, 정민석, 진용옥, 이범섭, "곡선터널 내에서 전파특성 분석", 한국전자파학회 논문지, 제13권, 제10호, pp. 1017-1024, 2002, 12

[10] Y. P. Zhang, Y. Hwang, and R. G. Kouyoumjian, "Ray-optical prediction of radio-wave propagation characteristics in tunnel environments - part 2: Analysis and measurement," IEEE Trans. Antennas and Propagat., vol.46, NO.9 pp. 1337-1345, 1998.

[11] Robert E. Collin, "Antennas and Radiowave Propagation," McGraw-Hill, Inc, 1985 pp. 345-346.

[12] Y. P. Zhang, G. X. Zheng, and J.H.Zheng, "Radio propagation at 900MHz in underground coal mines," IEEE Trans. Antennas and Propagat., vol.49, NO.5 pp. 757-762, May. 2001.

[13] Mohammad Haeri Kermari, and Mahmouod, "A ray-tracing method for predicting delay spread in tunnel environments," IEEE Trans. ICPWC'2000,

pp. 538-542, May. 2000.

[14] 정백호, 김체영, 김한호, "마이크로셀 설계를 위한 도심지 교차로의 수신전력과 지연확산 예측", 전자공학회논문지, 제33권, A편, 제11호, pp. 2224-2233, 1996.11.

저자 소개



김영문(Young-moon Kim)

1992년 2월: 금오공과대학 전자공학(공학사)

1996년 8월: 경희대학교 정보통신공학과(공학석사)

2000년 3월~현재 : 경희대학교 전파공학과 박사과정
※주관심분야 : 전파전파 및 ITS



진용옥(Yong-ok Chin)

1968년 2월 : 연세대학교 전기공학과(공학사)

1975년 2월 : 연세대학교 전자공학(공학석사)

1981년 2월 : 연세대학교(전자 공학박사)
1979년 1월~현재 : 경희대학교 전파공학과 교수
※주관심분야 : 정보통신공학 및 시스템공학



강명구(Myeong-Ku Kang)

1970년 2월 : 광운대학교 무선통신학과 (공학사)

1981년 2월 : 건국대학교 전자공학(공학석사)

2001년 2월 : 경희대학교(전파공학박사)
2003년 현재 : 인천전문대학 정보통신과 교수
※주관심분야 : 전파방송시스템/멀티미디어통신