터널에서의 전파경로손실 시뮬레이터 개발

남명우*
*혜전대학 전자캐드과
e-mail:mwnam@hj.ac.kr

Development of a Simulator for Radio Propagation Path Loss in a Tunnel

MyungWoo Nam*
*Dept of Electronic CAD, Hyejeon College

요 약

본 논문에서는 터널환경에서 전파의 경로 손실 특성을 예측할 수 있도록 시뮬레이터를 개발하였다. 전파의 경로를 정확히 분석하기 위하여 image theory 방법을 이용하였으며, 직선 터널 구간뿐만 아니라 곡선 터널 구간에서도 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 시뮬레이터를 다양한 직석터널과 곡선터널에 적용하여 결과를 비교 분석하였다.

1. 서론

본 논문에서는 지하철 및 지하 터널에서 전파의 경로 손실과 전파경로를 예측할 수 있는 시뮬레이터를 개발하였다. 시뮬레이터는 image theory 방법을 이용하여 개발하였으며, 직선 및 곡선 터널에서 적용 가능하다. 최근 도시 철도는 대부분이 경제적, 사회적인 문제들로 인하여 굴곡을 갖는 지하 터널을 통과하는 특성을 갖고 있으며, 이로 인해 무선 환경은 일반 공중 채널을 이용한 무선 전송 모델과는 다른 경로 특성 및 채널 특성을 갖고 있다. 개발된 시뮬레이터는 이러한 지하 터널 환경에 적용이 가능하며, 전파 경로 손실을 예측할 수 있도록 송신기와 수신기 위치를 변경하며 시뮬레이션 할 수 있다. 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 다양한 모의실험을 진행하였으며, 송신기와 수신기의 위치를 변경하며 경로 손실의 결과를 살펴보았다.

2. Image Theory 방법

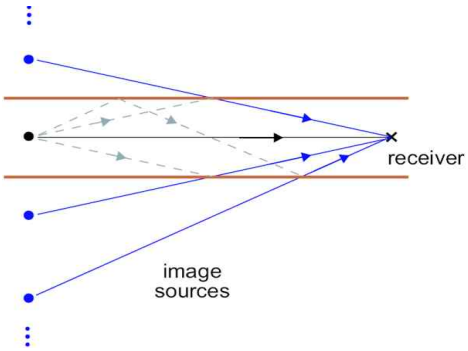
Ray tracing은 전자계 내에서 전파가 진행하는 경로를 추적하여 수신기에서 신호의 크기를 구하는 방법이다. Ray tracing은 신호 송신기가 모든 방향으로 동일한 크기의 전파를 방사하는 ray tube로 이루어져 있다는 가정에서 시작한다. 송신기를 떠난 신호는 path loss와 위상 변화들 일으키며 거리와 주파수에 따라 신호에 변화가 발생한다. 아래 [표 1]은 실내에서 전파가 전송될 때 신호의 감쇄를 일으키는 감쇄 상수를 나타낸 것이다[1][2]. 건물내부 구조와 건물의 내장재 등에 따라 감쇄 상수가 결정된다.

[표 1] 건물 내의 일반적인 신호 감쇄 상수

Type	Building	Freq (MHz)	n	σ [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, soft 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

본 논문에서 사용한 image theory 방법은 정확한 전파의 경로를 찾을 수 있는 방법으로, 원리는 [그림 1]과 같다. Image theory 방법은 복잡하지 않은

구조물에서 매우 좋은 결과를 얻을 수 있는 에너지 측정기법으로, 송신부의 모든 ray를 계산하지 않고 수신기에 입사될 수 있는 ray들 만을 예측하여 최종 에너지를 계산하는 방법이다



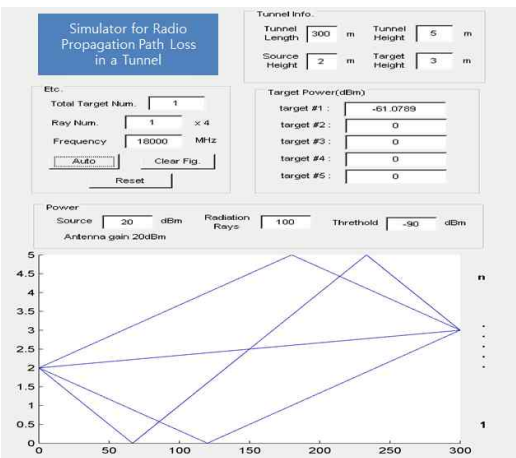
[그림 1] Image Theory의 사용 예

[그림 1]은 image theory의 사용 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[3][4][5].

3. 시뮬레이션 결과 및 분석

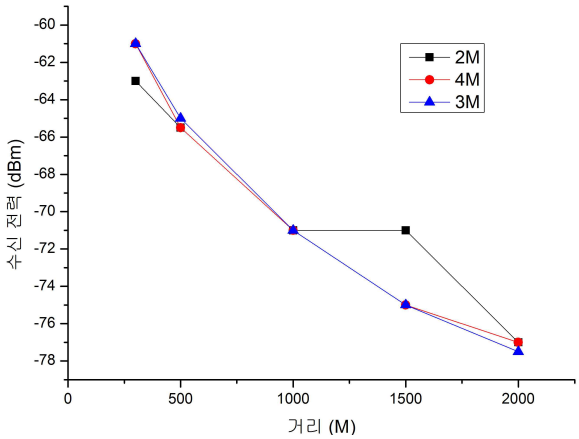
3.1 직선 터널 구간

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



[그림 2] 직선구간에 대한 시뮬레이터 사용 예

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

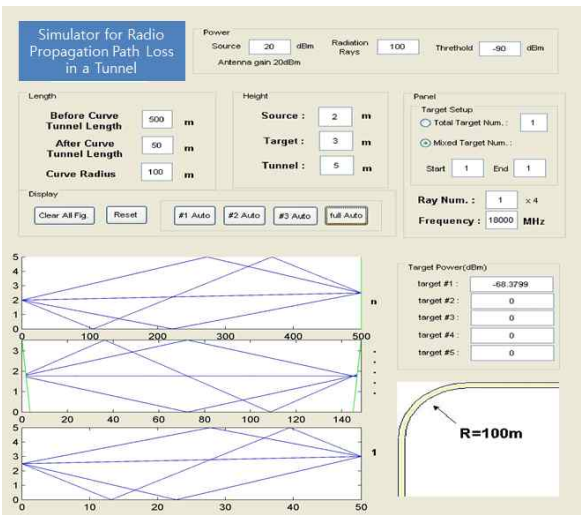


[그림 3] 직선구간에 대한 시뮬레이션 결과

[그림 3]을 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

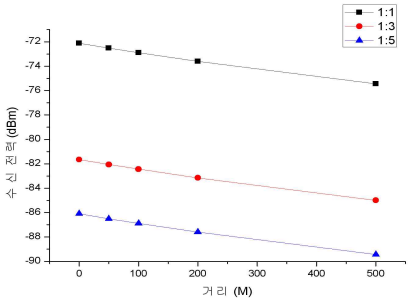
곡선 선로에 대한 시뮬레이션은 송신전파가 터널의 곡선 선로에 진입하기 500m전에서 곡선의 곡률 반경이 100m, 200m 및 400m인 선로에 실험을 적용하였다. 그리고 송신 및 수신단이 곡선 선로에 들어가는 순간은 수신단에서 높이에 따라 수신되는



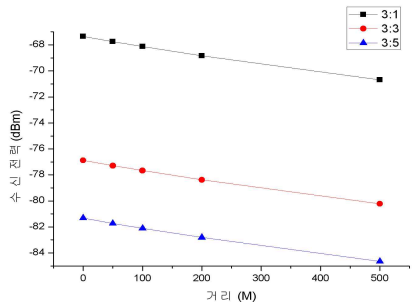
[그림 4] 곡선구간에 대한 시뮬레이터 사용 예

전력을 모두 수집하고 각 수신되는 전력에 따른 곡

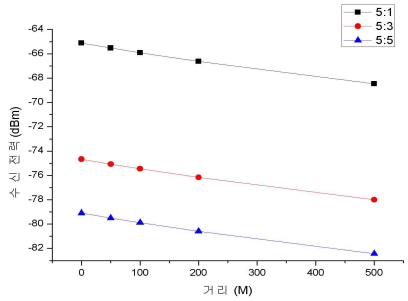
선 선로에서의 수신률을 알아보기 위하여 1:1,3,5 및 3:1,3,5, 5:1,3,5의 비율로 수신기를 설치한다는 가정을 하고 실험을 실시하였다. 또한 곡선 선로를 빠져 나온 직선 구간에서의 수신율을 실험하기 위하고 곡선 선로를 빠져나온 순간을 기점으로 하여 100m, 200m 및 500m에서 수신 단의 수신 전력을 구하였다. [그림 4]는 곡선구간의 송수신단 수신 전력에 대한 시뮬레이터의 사용 예이다.



(a) 송수신단비(1 : 1, 3, 5)



(b) 송수신단비(3 : 1, 3, 5)



(c) 송수신단비(5 : 1, 3, 5)

[그림 5] 곡선구간(R400)의 거리별 수신 전력

곡률 반경 400m에서의 송신 전력에 대한 수신 전력의 실험 결과는 [그림 5]와 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 진입하기전 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.

4. 결론

본 연구에서는 터널환경에서 전파의 경로 손실 특성을 예측할 수 있도록 2차원 시뮬레이터 프로그램을 개발하였다. 구현된 시뮬레이터는 각각 직선 구간 및 곡선 구간, 직선과 곡선 구간이 혼합되어 있는 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. 특히 곡선 터널의 해석에서는 곡선 터널을 통과하는 전파들의 전송 선로에 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 시뮬레이터는 각각 터널의 형태에 따른 모의실험을 통하여 송수신단 간의 전력 손실을 구하는 것으로 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] 조한신(Han-shin Jo), 김도윤(Do-youn Kim), 육종관(Jong-gwan Yook), “지하철 터널 환경에서 2.65㎓ 대역신호의 경로손실 특성,” 한국통신학회논문지 제31권 제10A호, pp. 929-1044, 2006.10.

[4] 최성열, “지하철 터널의 전파전파 환경을 고려한 중계기의 효율적인 설치에 관한 연구,” 인천대학교 정보통신대학원, 2005.

[5] 김경재, 윤영중, 박한규, "터널에서의 전파경로손실 분석," 한국통신학회논문지 제20권 6호, pp. 1467-1747, 1995.