

지하철 곡선 터널에서의 NLOS 전파 특성

정 회 동, *윤 찬 의, 강 영 진, 송 문 규
원광대학교 제어 계측학과, *KT 서비스 개발 연구소
전화 :063-850-6341 / 핸드폰 :019-322-6454

NLOS Propagation Characteristics in a Curved Subway Tunnel

Heoi Dong Jung, *Chan Eui Yun, Young Jin Kang and Moon Kyou Song
Dept. of Electrical Electronic and Information Engineering, Wonkwang University
*Service Development Labs, KT
E-mail : heoidong@wonkwang.ac.kr

Abstract

In this paper, path loss characteristics in a curved subway tunnel are measured and analyzed. The measurement is carried out in the frequency bands of 2.45GHz and 5.8GHz. A directional antenna is employed for transmission and an omnidirectional antenna for reception. This measurement is performed in the subway tunnel in the vicinity of the Daejeon station. The tunnel is curved and its cross section is arch-shaped. The path loss is measured with the location of the transmitter antenna fixed and the receiver antenna moving in the tunnel. The measured path loss ratio is about 0.1dBm/m. Also, the signal received from the antenna located on the outer side of curve in the tunnel experiences weaker path loss.

I. 서론

최근 몇 년동안 무선 통신 기술은 매우 빠르게 발전해 왔으며, 무선 통신 관련 제품들의 보급 또한 매우 빠르게 확산되고 있다. 그리고 그 수요는 이미 유선 통신을 앞선 상태이다.[1]

산업과 과학이 발전함에 따라서 대중의 활동 영역은 건물 밀집지역, 복잡한 실내 환경을 넘어서 지하 환경으로까지 확대되고 있다. 이와같이 통신 서비스의 환경은 복잡해지고 있으며 통신 수요는 증가하고 있다. 그럼에도 불구하고 많은 가입자들은 고속이면서 양질의 통신 서비스를 기대하고 있다. 언제, 어디서나 통신이 가능하게 하기 위해서는 이러한 지하 환경에서 통신 장애를 해결하는 것이 급선무이며, 최소의 기지국으로 넓은 지역을 서비스 할 수 있어야 한다. 이를 위해 각각의 전파 환경에 알맞은 전파 분석 자료들이 필요하다. 하지만 지하 터널 환경에 대한 자료는 자유 공간, 건물 밀집 지역, 복잡한 실내 공간 등에 비해 유용한 자료가 비교적 부족한 실정이다.[2] 최근 많은 연구자들에 의해 지하환경에 대한 연구가 진행 중이며 그 관심도 증가하고 있다.

무선 통신에 있어서 전파의 전파는 많은 요인들에 의해 영향을 받는다. 예를 들어 기지국과 가입자국 사이의 거리, 안테나의 위치, 터널 환경 등은 매우 중요한 요인들이다. 특히 안테나의 경우 그 위치가 조금만 변하여도 전파전파 특성은 많은 변화를 일으키는데 이러한 특성은 실외 환경보다 지하 터널 환경에서 더욱 심하다.

무선통신에서 전파전파 특성의 정확한 예측은 최적의 기지국 위치, 기지국의 종류, 셀 등을 구축에 있어서 매우 중요하다. 또한 이는 가입자와 기술자 모두에게 있

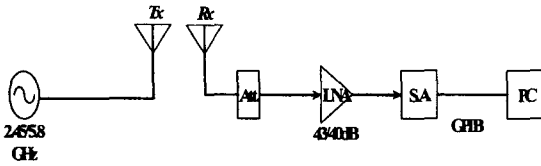


그림 1. 협대역 측정 시스템 구성도

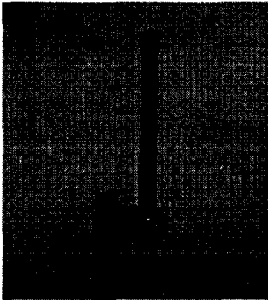


그림 2. 2.45GHz 무지향성

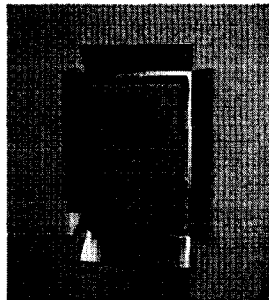


그림 3. 2.45GHz 지향성

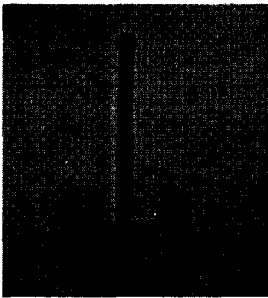


그림 4. 5.8GHz 무지향성

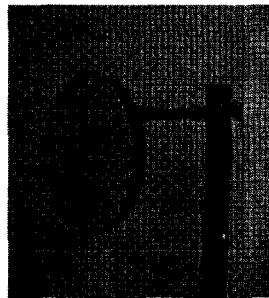


그림 5. 5.8GHz 지향성

점을 제공한다. 가입자는 음영 지역이 해소됨으로써 양질의 통신을 제공 받을 수 있을 것이고, 통신 제공자는 기지국의 수를 감소시킬 수 있는 경제적인 이득을 얻을 수 있을 것이다.

본 연구를 통해서 곡선형 지하 터널 환경에서 안테나의 위치에 따라서 경로 손실의 특성이 어떻게 나타나는지 측정하고 분석한다.

II. 측정 시스템

본 연구를 위해서는 전파의 경로 손실을 측정하기 위해 협대역 측정 시스템이 요구된다. 그림 1은 협대역 측정 시스템 구성도이다. 측정 시스템은 신호 발생기, 감쇄기, LNA, 스펙트럼 분석기, PC 등으로 구성된다. 신

호 발생기는 2.45GHz와 5.8GHz의 반송 주파수를 발생하며, 감쇄기는 수신기의 사용되는 LNA의 선형 증폭 구간을 유지하기 위해서 필요하다. 경로 손실을 측정하기 위해서 LNA의 증폭률은 일정 해야 하는데 수신 전력 레벨에 따라 약간의 증폭률 달라질 수 있다. 따라서 LNA의 선형 증폭 구간이 되도록 감쇄기를 조정할 수 있다. 스펙트럼 분석기는 수신되는 전력 레벨을 표시한다. 스펙트럼 분석기에 표시된 값을 GPIB 카드를 통해서 PC에 전송하고 그것을 데이터로 저장한다. 그리고 송수신을 위해서 안테나가 필요하다. 송신기 안테나는 지향성 안테나이고 수신기 안테나는 무지향성 수직편파 안테나이다. 2.45GHz에서는 수평 27°, 수직 27°, 이득이 15dBi인 지향성 안테나를 송신 안테나 사용하였고, 수평 360°, 수직 18°, 이득이 8dBi인 무지향성 안테나를 수신 안테나로 사용하였다. 그림 2과 3은 2.45GHz에서 사용된 무지향성과 지향성 안테나이다. 그리고 5.8GHz에서는 수평 34°, 수직 30°, 이득이 16dBi인 지향성 안테나를 송신 안테나로 사용하였고 수평 360°, 수직 14°, 이득이 9dBi인 무지향성 안테나를 수신 안테나로 사용하였다. 그림 4와 5는 5.8GHz에서 사용된 무지향성과 지향성 안테나이다. 안테나의 높이는 송수신기 모두 바닥으로부터 2.5m로 동일하다. 또한 측정 위치가 동일하도록 터널내에 각 측정 위치를 표시하였다. 이렇게 안테나의 높이나 위치가 동일하다고 하더라도 안테나의 방향이 달라지면 유용한 데이터를 얻을 수 없다. 이를 위해서 안테나의 방향이 동일 하도록 송신기 지지대,



그림 6. 수신기 시스템

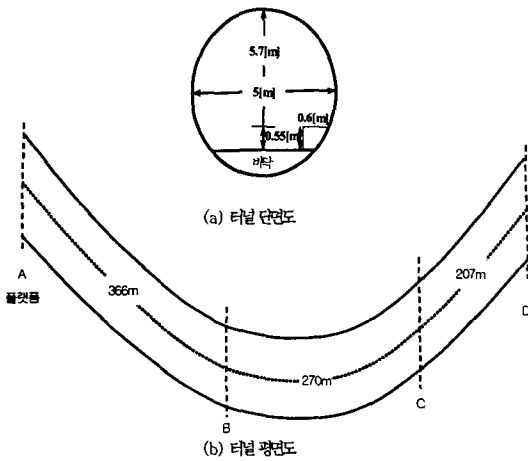


그림 7. 터널 단면도와 평면도

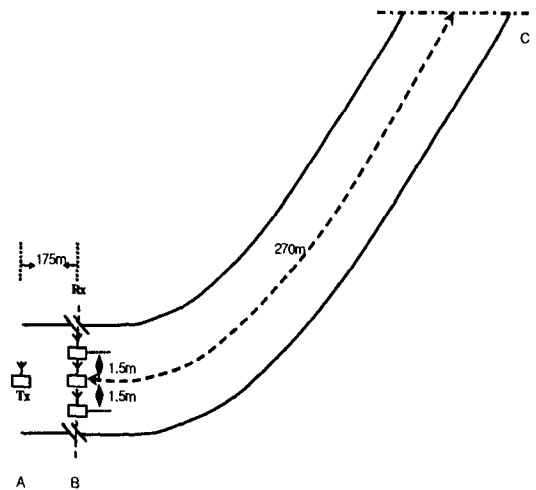


그림 8. 안테나 위치 및 측정 과정

수신기 시스템, 안테나 고정대를 제작하였다. 그림 6은 실제 제작된 수신기 시스템이다.

III. 측정 환경

본 연구는 대전역 부근에 위치한 지하철 공사 구간이다. 이 공사 구간은 아직 완성되지 않은 구간으로 내부에는 방해물이 거의 존재하지 않는 단면이 원형인 곡선형의 터널 구간이다. 터널내에 공사를 위한 작은 장비, 배열 전구, 전선 등이 존재한다. 승강장쪽은 공사가 진행 중으로 여러 가지 규모가 큰 장비들이 존재한다. 그림 7은 터널의 단면도와 평면도를 나타내고 있다. 터널의 길이는 승강장부터 총 843m이고 승강장의 반대편은 미 굴착 지점으로 막혀있다. 승강장의 길이는 약 116m이다. 직선 구간의 길이는 366m이고 곡선 구간의 길이는 270m이며 그 후에 직선 구간의 길이는 207m이다. 단면도를 보면 폭이 약 5m이고 높이는 약 5.7m이다. 그리고 터널 점검을 위한 인도가 존재하며 그 높이는 0.55m이고 폭은 0.6m이다. 터널의 곡선 구간의 곡률반경은 터널 중앙을 기준하여 R 350m이다. 그리고 터널의 휘어진 안쪽의 곡률반경은 R 341m이며, 바깥쪽의 곡률반경은 R 359m이다.

본 연구를 위해 이용된 측정구간의 길이는 총 445m이다. 송신기의 위치는 A지점이고 수신기는 곡선 구간의 시작점인 B지점에서부터 시작한다. 수신기가 이동하는 위치는 곡선 구간중 C위치까지이다.

IV. 측정 과정

측정은 지하철 터널 구간중에서 NLOS 구간에서 실시하였다. 전체 공간에서 안테나의 위치와 측정 과정을 그림 8에 나타내었다. 안테나의 위치 중에서 안쪽과 바깥쪽은 단면도의 중앙을 기준으로 하였을 경우 좌우로 1.5m 이동한 위치이며 높이는 2.5m로 동일하다. 측정 간격은 2.5m이고 각 측정마다 위치를 동일하게 하기 위해서 각 지점에 표시를 한 뒤에 측정을 실시하였다. 측정 횟수는 5회이며, 데이터 저장은 스펙트럼 분석기에서 GPIB 카드를 통해 PC에 저장한다. 이때 측정이 잘못된 경우를 검출하기 위해서 스펙트럼 분석기의 화면을 PC 상에 그래프로 나타낼 수 있도록 하였다.

V. 결과 및 분석

데이터 측정한 5개의 텍스트 파일을 저장하였으며 데이터 추출은 가장 높은 값과 낮은 값을 제외한 3개의 값을 평균하였다.

그림 9와 그림 10을 보면 약 1m마다 0.1dBm정도의 경로 손실을 확인할 수 있다. 이것은 도심지역, 또는 실내 환경에서 거리에 따른 경로 손실과 비교할 경우 경로 손실이 매우 적은 것을 확인할 수 있다.[3]-[5] 2.45GHz와 5.8GHz 주파수 대역을 서로 비교하였을 경우에는 2.45GHz에서의 경로 손실이 5.8GHz 주파수 대역에서보다 약 20dBm정도 좋은 것을 확인할 수 있다.

안테나의 위치에 따른 경로 손실은 곡선 구조에서 휘어짐의 바깥쪽에 안테나가 위치하였을 경우가 가장 경로 손실이 작은 것을 알 수 있다. 그리고 중앙에 위치한 경우와 안쪽에 위치한 경우의 순으로 경로 손실이 커지는 것을 확인할 수 있다. 이것을 통해 곡선형 지하

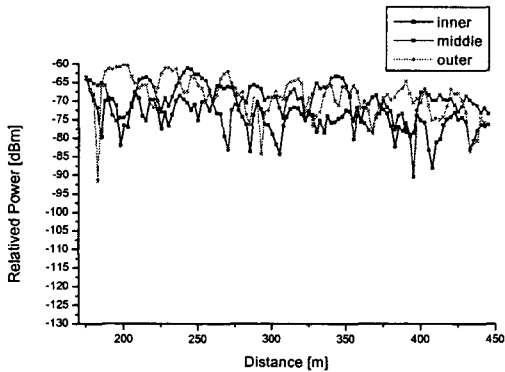


그림 9. 2.45GHz 안테나 위치에 따른 경로 손실

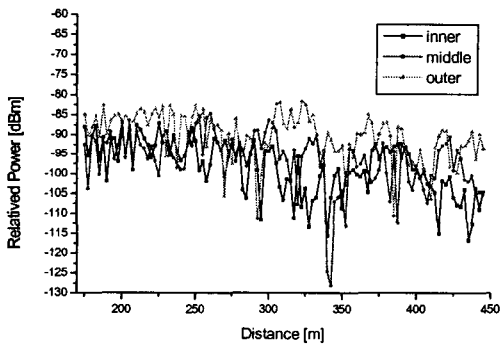


그림 10. 5.8GHz 안테나 위치에 따른 경로 손실

터널 환경에서는 전파의 흐름이 휘어짐의 바깥쪽에 많음을 확인할 수 있다. 이러한 현상을 휘스퍼링 이펙트라고 한다.[6][7]

VI. 결론

본 논문에서는 터널 내에서 전파 특성 중에서 경로 손실의 특성을 분석하였다. 특히 터널내에서 NLOS인 구간중 휘어진 구간에서 전파의 휘스퍼링 이펙트를 예상하였고 측정 데이터를 통해 이를 검증하였다. 안테나의 위치가 커브의 바깥쪽에 위치 하였을 경우 수신 전력의 가장 높은것을 확인하였다. 또한 사용하는 주파수 대역이 높을수록 에너지가 곡선의 바깥쪽으로 더 많이 모아진다는 것을 알 수 있다. 곡선형 지하철 터널 환경에서의 경로손실이 1m마다 약 0.1dBm정도이다.

본 논문을 통해 통신 서비스 기술자들이 터널 내에서

최적의 기지국 위치를 결정하는데 유용한 자료가 될 것으로 기대한다.

Reference

- [1] Y. P. Zhang and Y. Hwang, "Characterization of UHF Radio Propagation Channels in Tunnel Environments for Microcellular and Personal Communications," *IEEE Trans. Veh.*, vol. 47, no. 1, pp. 283-296, 1998.
- [2] Y. P. Zhang and Y. Hwang, "Theory of the Radio-Wave Propagation in Railway Tunnels," *IEEE Trans. Veh.*, vol. 47, no. 3, pp. 1027-1036, 1998
- [3] J. D. Parsons, *The Mobile Radio Propagation Channel*, London, U.K. : Pentech, 1992.
- [4] T. S. Rappaport, *Wireless Communication*. London, Prentice Hall PTR, 1996.
- [5] M. Jung-Ick, A. Chang-Hoi, and K. Ki-Chai. "Finite Element Analysis on the Characteristics of Electromagnetic Wave Propagation in Lossy Tunnel," *대한 전자과학회 논문지*, 제 9권, 제 5호, pp. 621-629, Oct, 1998.
- [6] J. S. Lamminmaki, J. J. A. Lempiainen. "Radio Propagation Characteristics in Curved Tunnels," *IEE Proc-Microw. Antennas Propag.*, Vol. 145, No. 4, pp. 327-331, Aug, 1998.
- [7] D. Dirk, M. Jurgen, and W. Werner. "Subway Tunnel Guided Electromagnetic Wave Propagation at Mobile Communications Frequencies," *IEEE Trans. on Antennas Propag.*, Vol. 49, No. 11, pp. 1590-1596, Nov, 2001.