

지하철 터널에서의 18GHz 무선영상신호 전파특성 측정

Measurement of 18GHz Radio Propagation Characteristics in Subway Tunnel for Train-Wayside Multimedia Transmission

최규형* · 서명식

Kyu-Hyoung Choi · Myung-Sik Seo

Abstract This paper presents an experimental study on the radio propagation characteristics in subway tunnel at 18GHz frequency band which has been assigned to video transmission between train and wayside. The radio propagation tests are carried out in the subway tunnel of Seoul Metro using the antenna and communication devices of the prototype video transmission system. The measurement results show that 18GHz radio propagation in subway tunnel has smaller path loss than that of general outdoor radio environment. It is also cleared that the arch-type tunnels have smaller radio propagation losses than rectangular tunnels, and single track tunnels have smaller pass loss than double track tunnels. From the measurements, the radio propagation coverage is worked out as 520 meters. The curved tunnels which cannot have LOS communication between transmitter and receiver have large pass losses and fluctuation profile along distance. The radio propagation coverage along curved tunnels is worked out as 300 meters. These investigation results can be used to design the 18GHz radio transmission system for subway tunnel by providing the optimized wayside transmitter locations and handover algorithm customized to the radio propagation characteristics in subway tunnels.

Keywords : Subway tunnel, Train-wayside multimedia radio transmission, 18GHz band, Radio propagation characteristics

초 록 지하철 무선영상전송을 위한 전용주파수로 분배된 18GHz 대역에 대하여, 지하철 터널구간에서 무선영상전송용 무선장치를 이용하여 전파경로손실특성을 측정하고 전파도달범위를 분석하였다. 측정결과, 터널 내에서 거리에 따른 경로손실지수는 2.0~2.6으로서 일반적인 실외 무선환경에서보다 전송손실이 작았으며, 일반 도로 터널보다는 전송손실이 큰 것으로 나타났다. 터널 구조면에서 보면 직사각형 터널보다 아치형 터널에서 전송손실이 작았으며, 복선터널보다 단선터널에서 전송손실이 작은 것으로 나타났다. 직선구간에서의 안정적인 전파도달범위는 520m로 분석되었다. 곡선구간에서는 경로손실지수가 5.0 이상까지 측정되어 경로손실이 크게 나타났으며, 가시거리통신이 확보되지 않을 경우 일반적인 실외무선환경보다 경로손실이 크다는 것을 확인하였다. 곡선구간에서의 안정적인 전파도달범위는 300m로 분석되었다. 이상과 같은 지하철 터널구간에서의 수신신호강도 측정결과는 18GHz 무선 지상국 설치 간격 최적화 및 지하철 전파환경에 최적화된 핸드오버알고리즘 구현 등 무선영상전송시스템 설계에 활용할 수 있다.

주요어 : 지하철 터널, 무선영상전송, 18GHz 마이크로파, 전파전파특성

1. 서 론

최근 철도 및 지하철에서 열차의 운행안전성을 보장하고 운행효율을 증대시키며 승객에게 유익한 정보를 전달하여 편의성을 높이기 위한 광대역 무선 데이터 통신 시스템들이 도입되고 있다. 대 열차 화상전송시스템은 열차가 역에 진입할 때 승강장 영상을 열차에 전송하여 사고발생을 사전에 대처할 수 있도록 하기 위한 무선전송시스템으로서, 대규 지하철 화재사고를 계기로 도입이 의무화되고 있다. 또한 객실내 CCTV 영상을 관제센터로 전송하여 열차내의 상황을

실시간 모니터링 할 수 있는 객실영상 무선전송시스템도 도입되고 있다[1].

이러한 무선영상전송시스템은 이동중인 열차와 지상장치 간의 영상정보의 양방향 전송을 위한 광대역 무선주파수 대역을 필요로 하는데, 이와 같이 공간파를 이용한 무선방식은 전파법에 의해 엄격하게 제약을 받고 있다. 이에 따라 방송통신위원회에서 지하철에서의 무선영상전송을 위한 전용주파수로 18GHz 대역을 분배하였으며, 이 주파수대역을 이용한 지하철 무선영상전송시스템들이 구축되고 있다[2].

무선영상전송시스템에서는 선로를 따라 연속적으로 지상무선국을 설치하고, 열차에 설치된 이동무선국은 지상무선국을 지날 때마다 핸드오버(hand-over)를 수행하면서 지상국의 통신상태를 끊임없이 유지하여야 한다. 지상무선국이 많아 질수록 핸드오버 회수가 증가하게 되어 데이터 전송손실

*Corresponding author

Tel.: +82-2-970-6873, E-mail : khchoi@seoultech.ac.kr

©The Korean Society for Railway 2012

<http://dx.doi.org/10.7782/JKSR.2012.15.4.364>

및 지연 발생 확률이 증가하므로, 지상무선국의 전파도달범위(Coverage)를 고려하여 지상무선국 설치를 최적화할 필요가 있다. 지하철 무선영상전송용으로 할당된 18GHz 대역은 전파의 직진성이 크고 회절성이 낮아서 전파경로상의 장애물 영향을 크게 받기 때문에 커버리지를 예측하기가 매우 어렵다는 문제가 있다[3]. 특히 지하철 터널 구간의 경우에는 터널 내에 승강장을 포함한 궤도설비 및 전차선설비 등 각종 구조물들이 복잡하게 설치되어 있어서 커버리지를 정확하게 산출하기가 더욱 어렵고, 실측을 통한 분석이 주로 이루어지고 있다[4,5].

무선랜에 사용되는 2.4GHz 대역에 대해서는 지하철 터널 내에서의 전파특성에 대한 측정결과가 다수 발표되어 있으나, 지하철 무선영상전송용으로 분배된 18GHz 대역에 대해서는 아직까지 연구가 충분히 이루어지지 않고 있다. 참고 문헌[6]에서 터널내 18GHz 전파경로모델을 제시하고 있으나 도로 터널에서 측정한 경로손실지수 값을 이용한 것으로서, 지하철 터널은 그 크기 및 구조가 특이하기 때문에 일반 도로 터널에서 측정한 경로손실지수를 그대로 적용하는 것은 한계가 있다.

본 논문에서는 현재 운영중인 서울도시철도 터널 구간에서 18GHz 무선영상 전송시스템에 사용되는 무선장치를 사용하여 전파 수신신호강도 측정을 실시하였고, 그 결과를 토대로 전송손실지수 및 지상무선국에서의 무선영상신호 커버리지를 분석하였다. 지하철 터널 구조에 따른 전파특성을 비교하기 위하여 아치형 터널과 직사각형 터널으로 나누어 각각 측정을 수행하였으며, 가시거리통신(LOS : line of sight)이 확보되지 않고 전파간섭영향이 직선구간에 비해 상대적으로 크게 나타나는 곡선구간에 대해서도 측정을 수행하였다. 측정결과로부터, 지하철 무선영상전송 시스템의 지상무선국 설치간격 선정을 위한 18GHz 무선통신장치의 커버리지 기준치를 제시하였다.

2. 지하철 무선영상전송장치 및 주파수 분배

2.1 지하철 무선영상전송장치

무선영상전송장치는 Fig. 1에 보이는 것처럼, 승강장과 객실 내에 카메라를 설치하고, 차지상간 무선데이터통신을 통

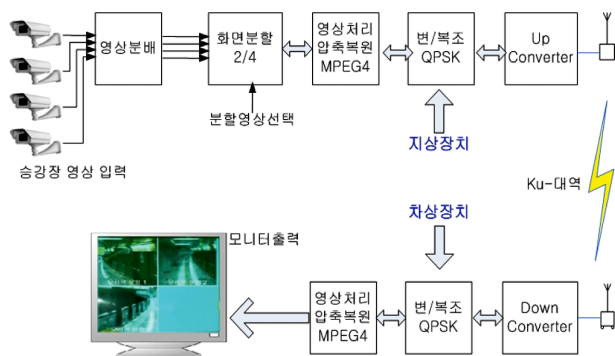


Fig. 1 Radio propagation and handover in subway tunnel

하여 실시간 영상을 전송함으로써, 사령실/역무실과 전동차 운전실에 설치된 모니터에서 승강장 및 객실 상황을 원격 모니터링 할 수 있도록 하는 설비이다. 대구 지하철 화재사고(2003.2.18)를 계기로, 도시철도의 안전기준을 강화하기 위하여 도시철도 건설규칙 개정령 제2004-190호(2004. 12. 4)에 의하여 도입이 규정화되어 있다.

2.2 무선영상전송 전용주파수

종래의 무선영상전송장치는 비면허 주파수 대역인 2.4/5.8GHz의 ISM(Instrument Scientific and Medical) 주파수대역을 이용한 IEEE 802.11b 및 IEEE 802.11a 규격의 무선랜 방식을 이용하여 설비를 주로 구축하여 왔다. 그러나 ISM 대역과 같은 공개 주파수 사용 시에는 다른 무선장치로부터의 전파간섭 및 혼신 등의 문제가 내재되어 있고, 무선영상 전송설비의 예상 소요 채널 수 및 대역폭을 감안할 때 장기적으로 주파수 혼신에 따른 문제발생은 불가피할 것으로 예상되었다. 이에 따라, 방송통신위원회(구 정보통신부)에서는 2007년 9월 20일 고시를 통해 지하철(철도 등 포함) 무

Table 1 Assigned radio frequency for subway video transmission

구분	내용		비고
용도	지하철(철도 등 포함) 무선영상전송장치용		
주파수대역	18.86 ~ 19.92GHz(60MHz) 19.20 ~ 19.26GHz(60MHz)		Ku-대역
채널		송신(수신)	수신(송신)
	1	18.865	19.205
	2	18.875	19.215
	3	18.885	19.225
	4	18.895	19.235
	5	18.905	19.245
	6	18.915	19.255
대역폭	채널당 10MHz 이하		
출력	100 mW 이하		

Table 2 Subway video transmission systems using 18GHz

구분	무선LAN방식	DVB-T 방식	무선Mesh방식
적용 기술	무선LAN+ 18GHz모듈	DVB-T+ 18GHz모듈	Mesh+ 18GHz모듈
로밍 방식	제어기를 통한 로밍	접속제어 라우터 로밍	메쉬 자동로밍
상방향 대역폭	10MHz	10MHz	10MHz/20MHz
전송 속도	최대 10Mbps	8Mbps	최대 13Mbps
지상장치 간격	300m~700m	300m~700m	300m~700m
특징	양방향통신	단방향통신 영상전용방식	양방향통신

선영상전송장치용 주파수를 Table 1과 같이 분배하였다. 전용주파수로 분배된 18GHz 대역을 사용하여 현재까지 개발 및 적용되고 있는 지하철 무선영상전송시스템들을 Table 2에 보인다. 이 중에서 DVB-T 방식은 유럽의 디지털 방송규격을 이용하여 영상을 터널구간에 18GHz로 방송하는 방식으로 구현하고 있다.

2.3 18GHz 대역에서 전파전파 특성

18GHz 대역은 Ku-대역의 초고주파에 속하며, 전파특성은 다른 대역의 전파와 같이 공간상 전송에 따른 자유공간 경로손실 및 전송구간상의 각종 장애물로 인한 감쇠와 산란 등의 영향을 받는다. 자유공간에서의 거리 및 주파수에 따른 감쇠는 (1)식과 같이 주어지는데, 거리 및 주파수가 높아 질수록 감쇠량이 증가하며, ISM 대역의 2.4GHz에 비해 18GHz 대역에서는 전송손실이 추가로 18dB 발생한다[7].

$$Loss[dB] = 92.45 + 20\log_{10}(f_{GHz}) + 20\log(d_{km}) \quad (1)$$

또한 전파는 전송구간상의 각종 장애물로 인하여 반사, 산란, 회절 현상을 겪으며 다중 경로를 통해 수신되므로 전송손실도 영향을 받게 된다. 경로손실지수와 log-normal 분포를 갖는 섀도잉 (shadowing)을 고려한 경로손실 모델은 (2)식과 같다 [8].

$$Loss[dB] = Loss^*(d_0) + 10n\log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad (2)$$

여기서, n 은 경로손실지수로서 송수신단간의 거리증가에 따른 경로손실의 증가율을 나타내는데, n 이 클수록 전송경로에서 반사 및 산란이 많이 발생하여 경로손실이 높게 나타난다. d 는 송수신단간의 거리이며, d_0 는 기준거리를 나타내고 $Loss^*(d_0)$ 는 기준거리에서의 경로손실값이다. 또한 X_σ 는 다중경로 등에 의한 섀도잉 손실값으로서 표준편차가 σ 이고 평균이 0인 가우시안 랜덤 변수이다.

한편, 지하철 터널 내에서의 전파전파특성은 개방된 지상과 다르게 나타난다. 터널에서의 전파전파는 터널구조(직사각형 또는 아치형, 직선형 또는 곡선형) 및 터널 단면 치수, 터널 벽의 전기적 특성, 사용하는 주파수대역에 따라 자유공간에 비해 매우 다양하고 복잡한 특성을 나타낸다. 터널 내에서는 터널이 도파관(wave guide)으로 작용하게 됨으로써 자유공간에 비해 경로손실이 감소하게 되며, 터널내 각종 구조물로 인한 전파의 반사 및 간섭 영향을 받게 되는데, 지하철 터널 구조의 복잡성 및 주파수에 따른 터널 구조물의 전기적 특성 변화 등으로 인하여 이론적인 전파특성 해석은 용이하지 않다[7]. 특히 18GHz 대역에서는 주파수가 높아 직진성이 강하고 회절 및 투과에 의한 전파손실이 크기 때문에, 대부분 가시거리 통신을 이용하여 마이크로셀 단위로 통신망을 운영하게 되는데, 송수신기 간의 거리가 짧고 안테나 높이가 낮아 전파환경 분류 및 통계적 표현이 어렵다는 문제가 있다. 이에 따라, 터널에서의 전파전파특성은 해당 터널구간에서 실제로 무선장치 및 안테나를 사용하여

실측을 하여 산정하는 것을 원칙으로 하는 것이 바람직하다 [9].

2.4 18GHz대에서의 핸드오버

주행중인 열차가 지상과 연속해서 통신을 유지하기 위해서는 지상장치와의 연속적인 핸드오버가 필요하다. 18GHz 대역은 직진성이 강하고 전파감쇠가 높다는 측면에서 지향성 단방향 안테나를 사용할 경우, 지상장치와 지상장치간의 경계가 아닌 지상장치 근처에서 핸드오버구간이 형성된다. 즉, Fig. 2에 보이는 것처럼, 차상장치가 지상장치#1에 접근하게 되면 지상장치#1과 지상장치#2의 전파를 모두 수신하는 구간에 들어오게 되는데 이 구간이 핸드오버구간이 된다. 이때 지상장치 #1의 수신신호강도는 최대치에 근접하는 반면, 새로 통신을 연결해야 할 지상장치 #2의 수신신호강도는 상대적으로 낮은 레벨이 된다. 이에 따라, 수신신호강도의 변동폭이 높을 경우, 핸드오버 임계치를 충족시키지 못하고 핸드오버에 실패할 위험이 증가하기 때문에, 수신신호강도의 거리에 따른 감쇠량과 함께 변동폭에 대해서도 충분한 검토할 필요가 있다[10].

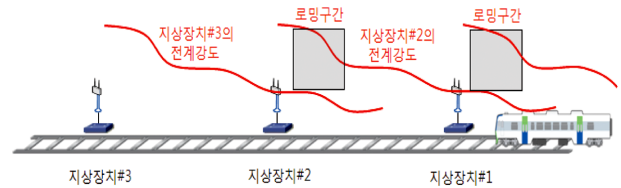


Fig. 2 Radio propagation and handover in subway tunnel

3. 지하철 터널에서의 전파환경 측정

3.1 측정 개요

지하철 터널 내에서의 18GHz대의 전파전파특성을 실험을 통하여 분석하기 위하여, 다양한 구조의 지하철 터널구간에서 전파수신강도를 측정하고 경로손실지수 및 커버리지를 분석하였다.

3.1.1 측정 조건

Table 3에 보이는 것처럼, 지하철 무선영상전송용 전용주파수인 18.86~18.92GHz과 19.20~19.26GHz 대의 주파수에서, 주파수 대역폭은 10MHz, 송신출력은 100mW로 하여 측정하였다. 또한, 차상무선장치를 선로를 따라 이동시키면서, 10m 간격으로 차상무선장치에서의 수신신호강도(RSSI: Received Signal Strength Indication)를 측정하였으며 최소수신감도는 -70dBm으로 설정하여 커버리지를 산정하였다.

IEEE 802.11a에 의한 5.8GHz 무선랜방식에서는 안테나 이득을 6dBi로 제한하고 있으나, 18GHz 대역에서는 안테나 이득에 대한 규제가 없다. 또한 18GHz대역에서는 ISM band의 5GHz대역에 비해 전파 감쇠가 상대적으로 높게 나타나므로, 커버리지 확보를 위해서 높은 안테나 이득이 필요하다. 이를 위해 지하철 무선영상전송장치에 실제로 사용되고

Table 3 Specifications of the radio propagation tests in subway tunnels

구분	내용	비고
주파수 대역	18.86~18.92GHz 19.20~19.26GHz	
점유대역폭	10MHz 이하	
출력	100mW 이하	
안테나 이득	16dBi	
안테나 빔 패턴	수평빔폭 : 10° 수직빔폭 : 20°	수직편파활용
최소 수신감도	-70dBm	커버리지 산정기준

있는 안테나 이득이 16dBi이고 지향성을 갖는 전용의 안테나를 사용하고 있다.

지상무선장치는 전동차에 설치되는 차상무선장치의 높이와 동일한 높이로 설치하여 최대한 지상장치와 차상장치간에 직접파가 도달할 수 있도록 설치했으며, 안테나의 방향조정을 통해 LOS(Line of sight)가 최대한 확보되도록 구성했다. 지상무선장치는 선로로부터 약 2.7m 높이에 설치하였는데, 이는 터널 바닥으로부터 터널 천정까지의 중간 위치에 해당하는 높이로서 직접파를 최대한 차상 장치와 지상장치에 확보해 줄 수 있고 천정의 반사파를 활용하는 데도 유리하다. 지상무선장치의 높이를 낮게 할 경우 프레넬 영역(Fresnel Zone) 확보가 상대적으로 줄어들며 철로 제작된 레일로 인하여 전파를 더욱 산란시킬 수 있다. 반대로 너무 높게 지상 장치를 설치하게 되면, 천정방향의 프레넬 영역 확보가 줄어들어 양호한 커버리지 확보에 불리하다. 또한 지하철 운행상황을 고려하여 지상무선장치는 열차 운행에 방해가 되지 않도록 최대한 터널 벽면에 밀착하여 설치했는데, 이는 프레넬 영역 확보에 불리하게 작용된다고 볼 수 있다.

3.1.2 측정대상 터널

서울지하철 8호선의 모란역~암사역 구간의 상·하행선에서 18GHz 전파 수신신호강도(RSSI)를 측정하였다. 지하철 터널의 구조는 일반적으로 아치형과 직사각형으로 구분할 수 있으며, 구간에 따라 직선형과 곡선형으로 분류할 수 있다. 또한 이들의 조합으로서, 직선이면서 직사각형인 터널구간, 직선이면서 아치형인 터널구간, 곡선이면서 직사각형인 터널구간, 곡선이면서 아치형인 터널구간 등으로 세분화 할 수 있다. 이와 같은 터널 구조에서의 일반적인 전파환경을 Table 4에 보인다[11,12].




3.2 전파환경 측정결과

측정 대상 터널구간은 다음과 같이 아치형과 직사각형 터널로 나누고 직선구간 및 곡선구간 등 터널구조 별로 수신신호강도를 측정하여 분석하였다.

3.2.1 직사각형 터널

Fig. 3은 직사각형 터널의 직선구간에서의 거리별 수신신호강도(RSSI) 측정사례로써, 약 700~800m에 걸쳐 양호한 전

Table 4 Types of subway tunnel and typical radio Propagation characteristics

터널 구조		전파 환경
곡선구간		LOS 확보곤란 직선구간에 비해 경로 손실 증가
직선구간 (직사각형)		상/하선간 구조물에 의한 전파반사/회절 영향 증가
직선구간 (아치형)		상/하선간 구조물이 없고 전파반사/회절 영향 적음

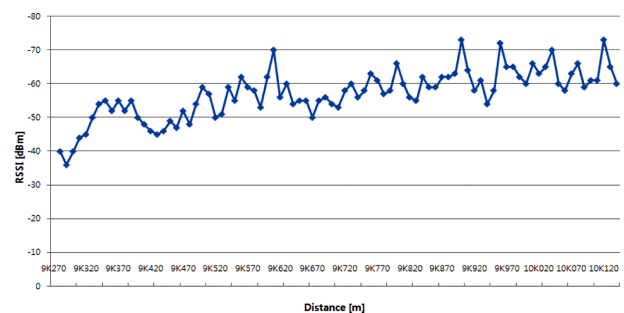


Fig. 3 RSSI measurement in straight rectangular tunnel

파신호를 수신할 수 있으나 국지적인 수신신호 미약구간이 발생함하였다. 특히 수신거리가 증가할수록 수신신호강도가 불규칙적으로 변동하는 현상이 나타나는데, 이는 터널 벽면 구조물과 천장의 환기구 개폐상태 등에 따라 전파가 반사, 회절되어 경로손실이 불규칙적으로 증가하는 것으로 분석된다.

식 (2)의 경로손실모델을 적용하여, 측정데이터에 대하여 회귀분석(regression)을 이용하여 분석한 결과 경로손실지수는 2.6, 가우시안 랜덤 변수로 표현되는 웨도잉 손실값의 표준편차는 5.0으로 나타났다.

3.2.2 아치형 터널

Fig. 4는 아치형 터널구조에서 특히 상행선과 하행선이 하나의 터널로 되어 상행선과 하행선 간의 중앙 분리벽면이 없는 직선구간에서의 수신신호강도 측정사례를 보인다. 직선구간에서 약 800m까지 양호한 전파를 수신하고 있는데, 거리가 멀어질수록 수신전파강도가 불규칙적으로 변동하는 현상이 나타난다.

측정데이터에 대한 회귀분석 결과, 경로손실지수는 2.2, 웨

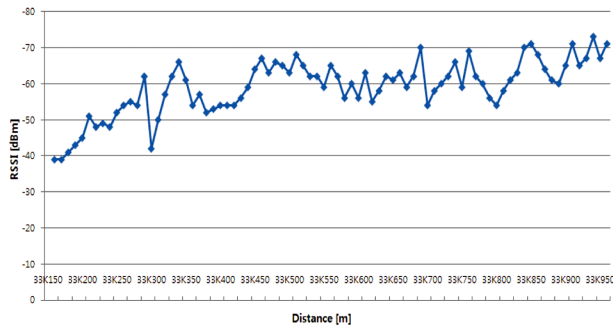


Fig. 4 RSSI measured in double track arched tunnel

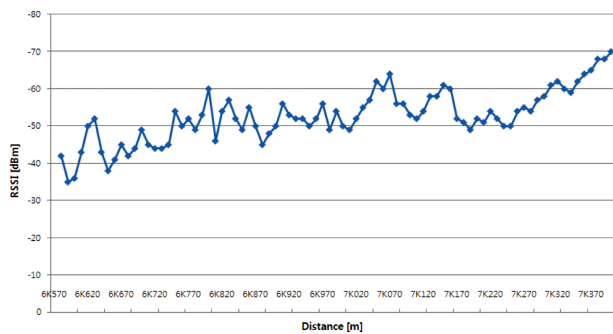


Fig. 5 RSSI measured in straight arched tunnel

도인 손실값의 표준편차는 5.0으로 나타났다.

Fig. 5는 상행선과 하행선이 분리되는 쌍굴 형태의 터널 구조로서 터널 벽면이 매끄러운 직선구조 형태를 보이는 아치형 터널의 직선구간에서 측정된 수신신호강도 측정사례를 보인다. 전파전송특성은 터널 구조 중에서 가장 양호한 특성을 보이며, 약 800~1000m에 이르기 까지 양호한 전파를 수신할 수 있는 것으로 나타났다. 측정데이터에 대한 회귀분석결과 경로손실지수는 2.0으로 낮게 나타났으며, 웨도인 손실값의 표준편차도 4.0으로 변동폭이 작게 나타났다.

3.2.3 곡선형 터널구간

Fig. 6은 직선구간과 곡선구간이 혼합된 형태의 터널환경에서의 거리별 수신신호강도 측정결과를 보인다. 30K210(30,210m)에서 30K810(30,810m)까지는 곡선구간이며, 30K810(30,810m)에서 31K160(31,260m)까지는 직선구간이다. 직선과 곡선이 혼합한 전체측정 터널구간(30K810~31K160)에 대하여 측정을 실시하고, 다시 곡선구간(30K210~30K810)에 대해서만 별도로 측정을 실시하여 직선구간의 측정치와 비교하였다. 측정결과 직선구간에서의 수신신호 분포는 완만한 기울기를 나타내고 있으나, 곡선구간에서는 수신신호강도 분포가 급격하게 나타나며 수신신호강도의 감쇠가 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 측정데이터에 대한 회귀분석 결과 경로손실지수는 5.3으로서, 직선구간에 비해 매우 높게 나타났으며, 일반적인 실외 무선환경보다 경로손실이 크다는 것을 알 수 있다.

곡선구간은 곡선의 정도, 곡선구간의 길이 및 위치 등에 따라 경로손실 크기에 차이가 발생하며, 안테나의 전파방사

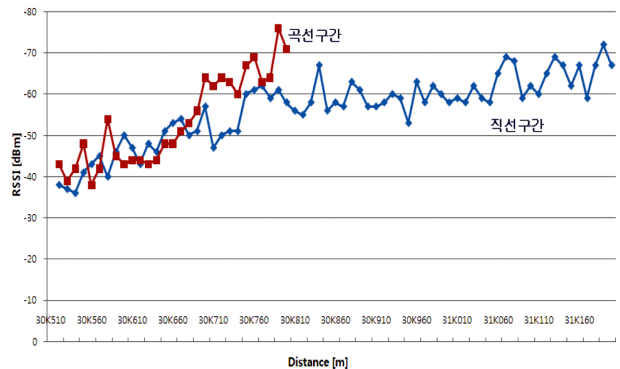


Fig. 6 RSSI measured in straight and curved tunnel

방향에 따라서도 수신신호강도가 차이가 나는 등 경로손실의 변동폭이 높게 나타났다. 이들 결과를 종합적으로 분석하여 커버리지를 300m로 협소하게 설정하였다.

3.3 측정결과 분석

직사각형 및 아치형 지하철 터널의 직선구간에서 측정된 18GHz 전파 경로손실지수는 Table 5에 보이는 것처럼 2.0~2.6으로 나타났다. 일반적인 실외 무선환경에서의 경로손실지수가 3.0~5.0인데 반하여, 터널 내에서는 벽면이 도파관 역할을 함으로써 경로손실이 작게 나타남을 알 수 있다. 이는 터널 내에서의 경로손실이 자유공간에서의 경로손실보다 13dB 정도 적게 나타나는 측정결과에서도 확인할 수 있다. 한편, 일반 도로 터널에서의 경로손실지수가 1.71이라는 측정결과와 비교하면, 지하철 터널은 각종 구조물 및 장치 등이 터널 내에 복잡하게 설치됨으로써 전송손실이 상대적으로 높아진다는 것을 알 수 있다[6]. 한편, 가시거리통신(LOS)가 확보되지 않는 곡선구간에서는 경로손실지수가 5.3까지 크게 나타나고 있는데, 주파수가 높고 전파의 직진성이 매우 강하기 때문인 것으로 분석된다.

직선구간 터널에서 수신신호강도가 -70dBm 이상 안정적으로 수신되는 커버리지의 범위는 약 520m까지이며, 150m 미만의 거리에서는 수신신호강도 변동폭이 10dB 미만이 되는 것으로 나타났다. 아치형 터널의 경우에는 터널내 구조물이 단순함에 따라 비교적 양호한 전파전파특성을 보이고 있다. 직사각형 터널의 경우에는 터널내 구조물에 의한 반사, 회절의 영향으로 전파손실이 불규칙하게 발생하는 것으로 나타남에 따라, 인접 지상무선장치 간 커버리지를 조정하거나 수평편파 특성이 좋은 지향성안테나를 사용하여 경로손실을 보완할 필요가 있는 것으로 분석되었다.

Table 5 18GHz radio propagation characteristics in subway tunnel

터널형태	경로손실지수	표준편차(dB)	커버리지 (m)
직사각형	2.6	5.0	520
아치형-복선	2.2	5.0	
아치형-단선	2.0	4.0	
곡선 구간	5.3	5.0	300

곡선구간 터널에서는 수신신호강도가 -70dBm 이상 안정적으로 측정되는 커버리지 범위는 약 300m로써 직선구간에 비해 커버리지가 짧게 나타나고, 특히 근접 거리에서도 수신신호 변동폭이 10dB 이상 크게 나타나는 것으로 분석되었다. 또한, 직접 도달한 신호가 우세한 근접 거리에서는 수신신호강도의 변동 폭이 작은 반면, 송신기로부터 거리가 멀어질수록 반사전파가 우세하게 됨으로써 거리에 따른 수신신호 변동폭이 증가하고 있다. 이에 따라, 곡선터널에서는 진행방향 바깥쪽에 안테나를 설치할 필요가 있고, 역시간 지상무선장치 설치 간격을 단축시킬 필요가 있다.

4. 결 론

지하철에서의 무선영상전송을 위한 전용주파수로 분배된 18GHz 주파수 대역에 대하여 지하철 터널구간에서 전파경로손실을 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 지하철 터널은 지상의 개방된 전파환경과 다른 특성을 나타내며, 밀폐된 터널이 도파관 역할을 수행함에 따라 터널 직선구간에서의 경로손실지수는 2.0~2.6으로써, 일반적인 실외 무선환경 (3.0~5.0)에서보다 전송손실이 작은 것으로 나타났다.

(2) 지하철 터널은 일반 도로 터널보다 경로손실지수가 크고 경로손실이 많이 발생하는 것으로 나타났는데, 이는 터널 내에 각종 구조물 및 장치들을 복잡하게 설치하기 때문인 것으로 분석된다.

(3) 직사각형 구조의 터널보다 아치형 터널에서 경로손실지수가 작게 나타났으며, 특히 복선터널보다 단선터널에서 경로손실이 작게 나타났다. 이는 아치형 단선터널의 구조가 직사각형 터널보다 단순하여 전파전파에 유리하며, 중간 분리기동과 같은 구조물도 없어서 장애물이 적기 때문인 것으로 분석된다. 직선구간에서 안정적으로 전파를 수신하기 위한 커버리지의 기준치는 520m로 분석되었다.

(4) 터널 곡선구간에서는 직선구간에 비해 거리증가에 따른 경로손실 및 변동폭이 매우 높으며, 경로손실지수도 일반적인 실외 무선환경에서보다 크게 나타났다. 이는 주파수가 18GHz로 높기 때문에 전파의 직진성이 매우 강하여 차상무선장치와 지상무선장치간 가시거리통신이 확보되지 않을 경우 경로손실이 급증하는 것을 나타낸다. 곡선구간에서 안정적으로 전파를 수신하기 위한 커버리지의 기준치는 300m로 분석되었다.

이상과 같은 지하철 터널구간에서의 18GHz 전파경로손실 측정 및 전파도달범위 분석결과는 지하철 무선영상전송시스템 구축과정에서 터널 구조를 감안한 지상 무선국 설치위치 선정 및 지하철 전파환경에 최적화된 핸드오버 알고리즘 구현 등 무선 전송망 설계를 위한 기본자료로 활용할 수 있다.

참고문헌

[1] S.G. Jeong, T.K. An, B.H. Kim, G.B. Choi, J.C. Park (2010) Development of wireless image transmission system in subway at 18GHz, *Proceedings of the Korea Academia-industrial*

Cooperation Society, 11(6), pp.2196-2201.

[2] C.H. Jeong, et. al (2009) A study on development and usage plan of spectrum demand for industry - a study on the railway spectrum, *Korea Radio Promotion Association*.

[3] P.F.M. Smulders, L.M. Correia (2002) Characterization of propagation in 60GHz radio channels, *Electronics and Communication Engineering Journal*, pp. 73-80.

[4] J.N. Chiba, T. Inaba, Y. Kuwamoto, O. Nanno, R. Sato (1978) Radio communication in tunnels, *IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques*, MTT-26(6), pp. 439-443.

[5] K.J. Kim, Y.J. Yoon, H.K. Park (1995) Radio propagation path loss in a tunnel, *Proceedings of the Korea Telecommunication Association*, 20(6), pp. 1723-1729.

[6] S.G. Jeong, T.K. An, B.H. Kim, G.B. Choi, J.C. Park (2009) Pass loss characteristics of full-duplex video transmission system car to platform at tunnel and road, *Proceedings of the Spring Conference of the Korean Institute of Electrical Engineering*, pp. 177-179.

[7] Y.P. Zhang, Y. Hwang (1998) Theory of the radio-wave propagation in railway tunnels, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 47(3), pp. 1027-1036.

[8] H.S. Cho, D.Y. Kim, J.K. Yoon (2005), Radio propagation characteristics in subway tunnel at 2.65 GHz, *Proceedings of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, 16(5), pp. 541-548.

[9] K.S. Cho, S.H. Lee, H.J. Lim, S.H. Kim (1997) Development of a wireless communication system in the tunnel, *Proceedings of the Korea Information Processing Society*, 4(2), pp. 523-530.

[10] M.S. Seo, K.H. Choi (2010) Seamless connectivity technology of bidirectional wireless multimedia transmission system based on 18GHz for subway, *Proceedings of 2010 Autumn Conference of the Korean Society for Railway*, 10, pp. 2192-2203.

[11] S. Shinozaki, M. Wada, A. Teranishi, H. Furukawa, Y. Akaiwa (1995) Radio propagation characteristics in subway platform and tunnel in 2.5GHz band, *Sixth IEEE International Symposium on PIMRC*, pp. 1175-1179.

[12] H.D. Jung, C.E. Yun, Y.J. Kang, M.K. Song (2003) NLOS propagation characteristics in curved subway tunnel, *Proceeding of Summer Conference of Institute of Electronics Engineers of Korea*, pp. 322-325.

[13] B.K. Cho, J.I. Jung (2007) Radio coverage prediction of RF-CBTC system under transmission power 10mW/MHz at K-AGT test line, *Journal of the Korean Society for Railway*, 15(4), pp. 589-595.

접수일(2011년 2월 28일), 수정일(2011년 9월 16일),
게재확정일(2012년 7월 9일)

Kyu-Hyoung Choi : khchoi@seoultech.ac.kr
Department of Electric Railway and Signalling Engineering,
138 Gongneung gil, Nowon-Gu, Seoul 139-743, Korea

Myung-Sik Seo : ysms1102@naver.com
Department of Electric Railway and Signalling Engineering,
138 Gongneung gil, Nowon-Gu, Seoul 139-743, Korea