

# 도시철도 터널구간 케이블안테나 전파방향에 따른 전파손실 측정 Measurement of Radiating Cable Propagation Loss According to the Direction of Propagation in Urban Railway Tunnel

이지환\*, 주재영\*, 박민기\*\*†

Ji Hwan Lee\*, Jae Young Joo\*, Min Gi Park\*\*†

**Abstract** Urban railway train radio system adopt the radiating cable because of the tunnel environment. RSSI in underground tunnel is measured differently depending on the tunnel structure, the direction of propagation and installation environment. And these affect quality of voice communication. In this paper, We have measured RSSI of two areas in the line 9, which differs in the direction of propagation from radiating cable. As we have analyze the measured values, we could conclude that the value of the radiating cable's RSSI heading  $90^\circ$  was 5dBm higher, than the radiating cable's RSSI headed to  $180^\circ$ . These investigation results can be used to design the train radio system and FM, DMB re-broadcasting system. Also it is possible to provide reliable service to the safe operation of the train and passengers.

**Keywords** : Radiating cable, Propagation direction, RSSI, Urban railway tunnel, Coupling loss

**초 록** 도시철도는 터널환경의 특성으로 열차무선시스템은 케이블안테나를 채택하고 있으며, 터널구조, 전파방향, 설치환경에 따라 RSSI 값이 달라지며 통화품질에도 영향을 미치게 된다. 본 논문에서는 케이블안테나의 전파방향에 따른 전파손실을 분석하기 위하여 9 호선에서 전파방향이 다른 두 구간에서 RSSI 를 측정하였다. 측정값을 분석한 결과, 조가선을 기준으로  $90^\circ$  방향으로 전파를 방사하는 언주~종합운동장 구간이  $180^\circ$  방향으로 전파를 방사하는 노량진~동작 구간보다 RSSI 값이 대략 5dBm 이 높은 것으로 나타났다. 본 연구의 결과로부터 신규 및 기존 도시철도 구간의 케이블안테나를 설치 시 터널환경을 고려한 최적화된 열차무선, FM, DMB, 소방 등 복합무선설비의 설계에 활용하여 열차안전운행 및 이용고객에게 안정된 서비스를 제공할 수 있기를 기대한다.

**주요어** : 케이블안테나, 전파방향, RSSI, 지하철터널, 결합손실

## 1. 서 론

도시철도는 열차 운행에 있어, 기술적 한계, 인적 오류방지 등의 이유로 관제지령에 의한 방식을 채택하고 있다. 열차의 안전운행을 위한 시스템은 열차방호장치, 대열차 화상전송시스템, 승무원위치확인시스템 등 다양한 차상장치들이 도입되어 설치·운영되고 있으나, 열차무선설비는 관제원과 승무원간의 음성통화를 가능케 하는 유일한 장비이다. 따라서 열차무선설비의 안정된 통화품질 확보는 매우 중요하며, 이를 위해 터널환경을 고려한 적정한

† 교신저자: 서울과학기술대학교 전자공학과(mkpark@seoultech.ac.kr)

\* 서울메트로 정보통신사업소

시스템 설치가 필요하다.

열차무선설비는 관제설비와 기지국, 이동국, 고정국, 휴대국 등 현장설비로 구성되어 있으며 도시철도 전 구간에 걸쳐 전송매체로 케이블안테나가 터널 벽면을 따라 설치되어 있다. 도시철도의 터널은 전파환경이 매우 열악하고 터널 구조 및 다양한 궤도설비, 전차선설비, 이동통신사업자 안테나 및 중계기 등이 복잡하게 설치되어 이론적인 설계 값으로 무선시스템에 적용하는 데는 한계가 있다. 또한 케이블안테나 제조사에서는 규격에 따른 전송손실 및 결합손실 등 전파특성에 대한 성능을 제시하고 있지만 전파 방향에 대한 터널구간에서 수신레벨 측정 및 연구는 거의 없는 실정이다.

따라서 본 논문에서는 열차무선설비의 케이블안테나를 중심으로 전파손실을 측정하고자 하며, 이를 위해 현재 조가선을 기준으로 180° 전파방향으로 구축되어 운용중인 서울지하철 9호선 1단계 구간(노량진~동작)과 90° 전파방향으로 구축되어 운용중인 9호선 2단계 구간(언주~중합운동장)간의 RSSI(Received Signal Strength Indication) 측정을 실시하였고, 그 결과를 토대로 도시철도 터널구간에 적합한 전파방향에 대해 제시하고자 한다.

## 2. 케이블안테나 전파손실 및 측정

### 2.1 케이블안테나 전파손실

#### 2.1.1 케이블안테나 특성 파라미터

케이블안테나의 성능을 평가할 수 있는 주요 파라미터는 전송손실과 결합손실이 있으며 전송손실은 케이블의 입력 단에 입사된 전파신호가 출력 단에서 얼마만큼 감쇄되어 나타나는지를 나타내는 파라미터로 식(1)과 같이 정의한다.

$$\alpha_L(dB) = \frac{P_{in}(dBm) - P_{out}(dBm)}{L} \quad (1)$$

여기서  $\alpha_L(dB)$ 는 전송손실,  $P_{in}$ 은 입력단의 파워,  $P_{out}$ 은 안테나 수신파워,  $L$ 은 케이블 길이이다. 케이블안테나의 전송손실에 영향을 주는 인자로는 케이블안테나 자체의 손실, 슬롯에 의한 손실, 외부로 방사되는 에너지에 대한 손실 등을 꼽을 수 있다. 이 중에는 외부로 방사되는 에너지에 대한 손실은 결합손실과 관계가 있다. 결합손실은 케이블안테나 축으로부터 2m 떨어진 곳의 차량(전동차)상위의 안테나간의 손실의 양을 나타내는 파라미터로 식(2)와 같이 정의한다.

$$\alpha_c(dB) = P_{in}(dBm) - P_{out}(dBm) - (\alpha_L \cdot d) \quad (2)$$

여기서  $\alpha_c(dB)$ 는 결합손실,  $P_{in}$ 은 입력단의 파워,  $P_{out}$ 은 안테나 수신파워,  $d$ 는 케이블 입력단에서 안테나지점까지의 길이이다. 결합손실의 경우 각각의 슬롯으로부터 방사되는 전자기파간의 간섭 때문에 안테나에서 수신되는 파워레벨의 변동폭이 심하다. 그리고 IEC 61

196-4 표준에 의해 C50(50% Reception Probability) 및 C95(95% Reception Probability) 로 정의 된다. 시스템손실은 전송손실과 결합손실의 합으로 정의되며, 전송손실이 줄어들면 결합손실이 늘어나고, 결합손실이 줄어들면 전송손실이 늘어나는 관계가 있기 때문에 실제 시스템 구축 시에는 시스템손실에 대한 정보도 고려 해야 한다.

### 2.1.2 케이블안테나 전파 방향

케이블안테나의 결합손실 측정은 케이블안테나 축으로부터 2m 떨어진 곳의 안테나 간의 손실을 측정하지만 실제 기존 LCX(Leaky Coaxial Cable)의 경우는 방향성이 없이 전 방향으로 방사하며 슬롯을 통한 전파방향에 대한 전파손실을 측정하는 데는 한계가 있다.

Fig. 1 과 같이 180° 방향, 즉 아래로 전파가 방사되는 경우에는 케이블 아래쪽으로 전파가방사되어 복신티널이며 박스형 터널일 경우에는 중앙 기둥에 설치하여 전파가 고르게 방사되도록 설치하며 전동차 천장에 설치된 안테나와 LOS(Line of Sight)가 되도록 해야 한다. 하지만 아치형 터널일 경우는 터널 양 측면 벽에 케이블안테나를 설치하는데 전파방향에 대한 기준 및 측정연구 자료가 없는 실정이다.

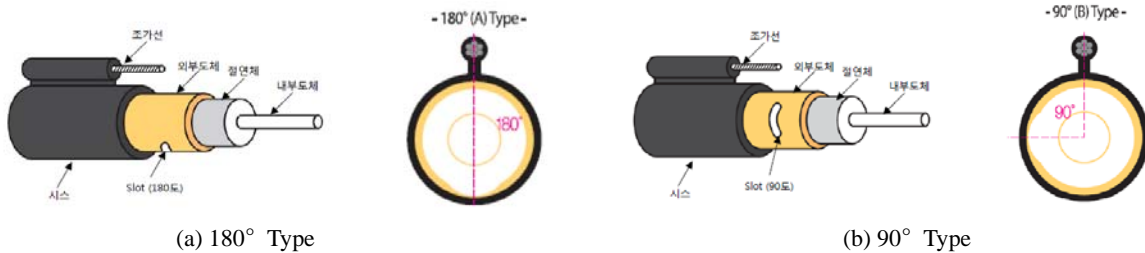


Fig. 1 Structure of Radiating Cable

## 2.2 전파 방향에 따른 RSSI 측정

### 2.2.1 측정 개요

본 연구에서 전파방향에 따른 전파손실을 측정하기 위해서 전파방향이 180° 방향으로 안테나케이블이 설치된 9호선 1단계 구간인 셋강 ~ 동작 3.8Km 와 전파방향이 90° 방향으로 설치된 9호선 2단계 구간 연주 ~ 종합운동장 3.9Km 구간을 선택하였다. 두 구간은 거리 및 구조(아치형)가 비슷하며 9호선은 급행열차와 일반열차가 동시에 운행되므로 대피선이 승강장 위치에 있어 열차무선 같은 통신 장비의 안정성이 더욱 중요하다.

9호선 구간은 열차무선시스템으로 TRS-TETRA 방식(806~870MHz)이 구축되어 있고 중계기 출력은 10W로 모두 동일하다. 1단계 구간의 케이블안테나는 RFCL-42D A(180°), 2단계 구간은 RFCL-42D B(90°)이다. 9호선 구간에 설치된 케이블안테나, 급전선 및 각종 손실은 Table 1 과 같다.

측정 방법은 RSSI 측정을 위해 모토로라 Dimetra 시스템 용 MTP850 휴대용 무전기와 Laptop 을 전용 동굴 및 연결케이블로 연결하여 측정하였으며 S/W로는 모토로라 SCOUT 프로그램을 사용하여 상선으로 운행중인 열차를 타고 측정하였다.

**Table 1** Radiating cable loss values

Cable Loss	Value
RFCL-42D Attenuation	2.5dB/100M (870MHz)
RFCL-42D Coupling loss	62dB (870MHz, 50%)
RFCL-42D Coupling loss	72dB (870MHz , 95%)
HFC-22D Attenuation	3.85dB/100M (870MHz)
HFC-12D Attenuation	6.76dB/100M (870MHz)
Connection loss	0.5dB
Distributor loss	3dB

**2.2.2 측정 결과 및 분석**

전파방향이 조가선 기준 180° 방향인 9호선 1단계 구간인 노량진~동작 구간의 측정된 평균 RSSI는 -61dBm 으로 최소수신기준레벨인 -83dBm 보다는 양호한 수준으로 열차무선 통화에 특별한 문제는 없는 것으로 측정되었다. 하지만 -90dBm 까지 RSSI값이 관찰되었는데 흑석~동작 구간(1.4Km)은 역간 거리가 길고 곡선구간으로 거리에 따른 전송손실과 접속지점이 발생하기 때문인 것으로 분석된다. 측정된 RSSI 의 최대값은 약 -40dBm 이고 최소값은 약 -90dBm으로 변동폭이 50dBm 정도이다.

반면 전파방향이 조가선 기준 90° 방향인 9호선 2단계 구간인 연주~종합운동장 구간의 측정된 평균 RSSI는 -56dBm 으로 노량진~동작 구간보다 5dBm정도 높았다. 또한 RSSI의 최대값은 약 -40dBm 이고 최소값은 -78dBm으로 변동폭이 38dBm으로, 50dBm 편차가 발생한 노량진~동작 구간보다 안정적으로 레벨이 수신되는 것으로 분석된다.

측정된 결과를 분석해보면 전파방향이 90° 일 때 평균 RSSI값도 5dBm정도 높고 변동폭도 12dBm 정도 적어서 안정적인 수신레벨 확보가 가능한 것으로 분석되는데 이것은 전파방향이 90° 일 때 터널 측면에 반사파가 발생하지 않고 넓은 방사각으로 안정적인 수신이 가능하기 때문인 것으로 분석된다. 또한 전파를 180° 방향으로 방사할 때는 반드시 전동차 높이보다 높은 곳에 설치해야 LOS 가 보장되는데 비해 90° 방향으로 방사 시에는 전동차 보다 낮아도 넓은 방사각으로 안정적인 수신레벨 확보가 가능하다고 할 수 있겠다.

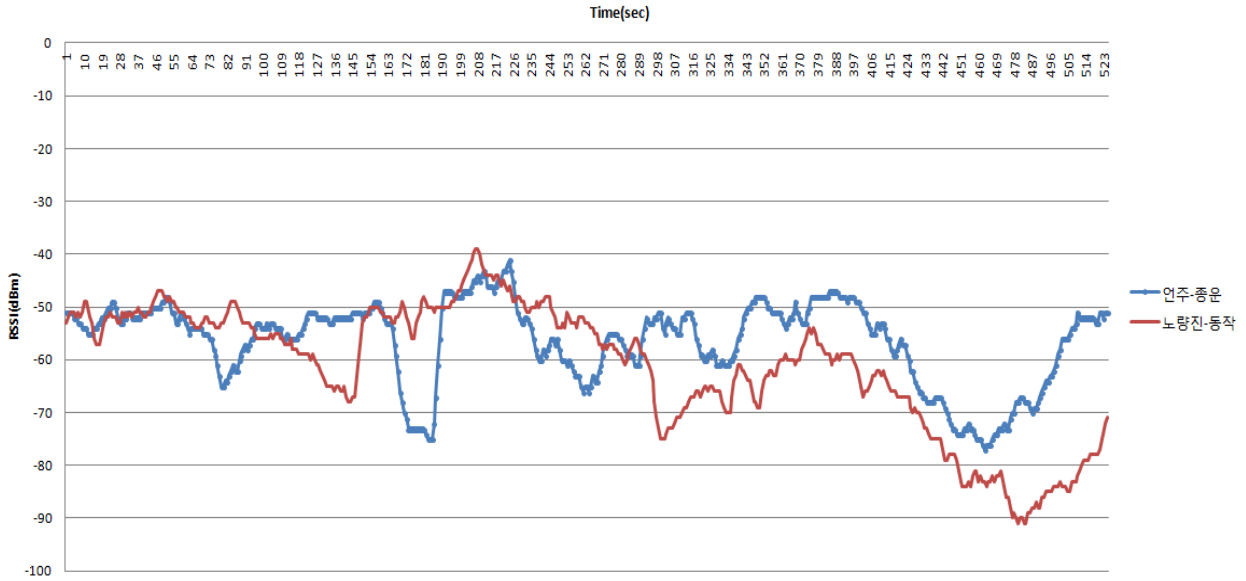


Fig. 2 RSSI measurement in line 9 tunnel

### 3. 결론

도시철도에서 열차무선 및 복합무선통신을 위해 사용되는 케이블안테나의 전파방향에 따른 전파손실을 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 터널 내의 전파방향이 조가선 기준 90° 방향으로 방사하는 경우가 180° 방향으로 방사하는 경우보다 수신레벨 평균값이 5dBm 정도 높았으며, 변동폭도 180° 방사에 비해 12dBm 정도 작은 것으로 나타났다. 90° 로 방사하는 경우가 터널 벽에 의한 반사파가 발생하지 않고 전파의 뚜렷한 Directivity를 형성하여 안정적인 수신 Power Level 을 형성하는 것으로 분석된다.

둘째, 넓은 방사각으로 안정적인 수신레벨 확보가 가능하고 케이블 설치 높이에도 전동차 높이 보다 높은 곳에 설치해야만 하는 180° 방사케이블에 비해 설치 높이의 제약을 덜 받아 복합무선통신(FM, DMB, 소방무선, 경찰무선) 용도로 사용시에도 유리한 것으로 분석되었다.

이상과 같이 도시철도 터널구간에 케이블안테나 전파 방향에 따른 손실 측정 및 분석결과를 통해서 도시철도 터널환경에 최적화 된 열차무선시스템 설계에 활용할 수 있으며 또한 복합무선통신(FM, DMB, 소방무선, 경찰무선) 설계에 활용하여 승객들에게 더 좋은 서비스와 안전을 제공할 수 있다.

### 참고문헌

- [1] Y.A.LEE(2013) Anse Technologies, *Metro Line 3,4 train radio antenna improves the design report.*
- [2] K.H. Choi, M.S. Seo(2012) Measurement of 18GHz Radio Propagation Characteristics in Subway Tunnel for Train-Wayside Multimedia Transmission, *Journal of The Korea Society for Railway VOL.15, NO.4*, pp. 364-369.