

---

# 18GHz 차지상간통합데이터전송 시스템의 지하 및 지상구간 무선특성 분석

정상국\* · 안태기\*\* · 김백현\*\* · 최갑봉\*\*\*

A Analysis on wireless performance of unified data transmission  
in a subway and railway

Sang-Guk Jeong\* · Tae-Ki An\*\* · Baek-Hyun Kim\*\* · Gab-Bong Choi\*\*\*

---

본 연구는 국토해양부 도시철도표준화2단계연구개발사업의 연구비지원(07도시철도표준화A01)에 의해 수행되었습니다.

---

## 요 약

차지상간 통합데이터전송 시스템에서 사용하는 18GHz는 다중경도페이딩의 영향이 크고, 회절이 되지 않아 전파의 도달 범위가 송신각과 수신각에 따라 크게 영향 받는다. 본 논문은 차지상간통합데이터전송 시스템에서 지하구간의 전파 특성과 지상 구간의 전파 특성을 비교하였다. 18GHz 차지상통합데이터전송 시스템에 주로 사용되는 지향성 무선안테나인 이득이 15dBi 와 10dBi인 안테나를 사용했을 경우를 가정하여 반경이 100, 200, 400인 선로에 대하여 표준적인 특성을 지상선로구간과 지하터널구간으로 나누어 비교하였다. 이때 송수신 특성은 한국철도기술 연구원의 차지상간통합전송의 OFDM모뎀방식의 샘플시료의 송신 출력은 20dBm, 수신감도는 -90dBm을 사용하여 시뮬레이션하였다.

## ABSTRACT

In 18GHz using unified data transmission in a subway and railway, Influence of the multipath fading is big and an arrival range of the micro wave takes the influence greatly according to the transmit angle and receive angle because it not diffracted. This thesis analyzed microwave property underground tunnel and ground railway at unified data transmission in subway and railway. Antenna gain of directional antenna many used unified transmission in an subway and railway, is used 15dBi and 10dBi in simulation. Transmitter's property is compared underground tunnel to ground railway about curved railway of R=100, R=200, R=400. Specification of transmitter is used sample unified transmission system in subway and railway of KRRI(korea railroad research Institute). Transmitter's power is 20dBm and Reciever's sensitivity is -90dBm. According to result of simulation.

## 키워드

18GHz, 무선, 차지상간, OFDM

---

\* (주)씨아이테크 책임연구원  
\*\* 한국철도기술연구원 선임연구원  
\*\*\* 서울메트로 통신전자팀장

접수일자 2009. 03. 19  
심사완료일자 2009. 04. 20

## I. 서 론

철도의 안전성 문제가 사회의 이슈로 부각되고, 무인화된 도시철도의 도입이 가속화되며, 객실 공익정보 제공 등 대고객서비스에 대한 요구가 증가함에 따라, 철도 차량과 역사 간에는 영상의 전송, 멀티미디어 콘텐츠의 업데이트 등 대용량의 데이터전송이 요구되고 있다. 이상의 요구를 부합하는 철도시스템을 구성하기 위하여 철도기술 표준화 과제로 차지상간통합데이터전송과 관련된 연구를 진행 중이다.

차지상간통합데이터전송은 정보통신부 고시에 의해 18GHz 무선주파수를 사용해야한다. 또한 광대역의 영상 시스템을 전송하기 위하여, 데이터 서비스 속도를 8Mbps 이상 구현해야 한다. 지금까지 연구는 18GHz 주파수를 사용해서 광대역 영상을 지하 터널구간에서 전송하는 것에 대부분이었다. 지하철 터널의 전파 환경은 멀티패스 페이딩과 터널내의 기동 등에 의한 영향에 따라 매우 열악한 특성을 가진다. 이러한 연구에 의해 무선 변조 기술은 지하터널의 광대역 영상전송에서 멀티패스 페이딩에 강한 OFDM (orthogonal frequency deviation multiplexing) 방식이 제안되고 있다.[1][2]

현재 도시철도 시스템은 지하 구간만을 서비스 구간으로 하지 않고, 지상 구간도 서비스 반경으로 한다. 따라서, 차지상간통합데이터전송 시스템은 지상 구간에서도 성능에 저하가 없는 서비스 구현이 가능해야 한다. 본 논문은 차지상간통합데이터전송 시스템에서 지하구간의 전파 특성과 지상 구간의 전파 특성을 비교하였다.

일반적인 지하철 통신시스템은 지하구간의 환경이 더욱 열악하다고 알려져 있다. 그러나 차지상간통합데이터전송 시스템에 사용이 예정된 18GHz/19GHz 무선 주파수의 경우 직진성이 강해 회절 되지 않으므로 지상 구간의 시스템 수신 특성도 매우 열악한 특성을 가진다.

지하 구간에서 무선시스템의 전파 수신각도는 터널의 공간상 제한으로 일정한 범위에 들어가게 되어 수신각도의 영향은 적다. 전파의 수신특성은 회전반경과 지하철 구조물내의 반사의 영향으로 인한 전파의 감쇄가 가장 큰 요인이다. 따라서 지하구간에서 최적의 시스템은 전파의 빔각도가 좁고 안테나 이득이 큰 시스템이다.

그러나 지상 구간은 전파의 수신세기가 회전 반경에 따라 바뀌는 전파의 송수신 각도에 따라 매우 급속히 줄어들게 된다. 따라서 지상구간의 무선 시스템의 전파 수

신특성은 안테나 이득 보다는 안테나의 송수신 각도가 큰 변수가 되게 된다.

18GHz 차지상간통합데이터전송 시스템에 많이 사용되는 지향성 무선안테나인 이득인 15dBi 와 10dBi 안테나를 사용했을 경우를 가정하여 반경이 100, 200, 400인 선로에 대하여 무선국의 설치 거리 특성을 지상구간과 지하구간으로 나누어 비교하였다. 이때 송수신 특성은 한국철도기술연구원의 샘플시료인 OFDM모뎀 방식의 송신 출력은 20dBm, 수신감도는 -90dBm을 사용하여 시뮬레이션 하였다. 이러한 시뮬레이션 결과는 실제 노선에 비교하기 위하여 부산지하철 3호선 반송선 구간 상반송-하반송 사이의 구간의 CAD도면을 바탕으로 이 구간에 무선국 위치를 시뮬레이션 하였다.

## II. 차지상간통합데이터전송 시스템

차지상간통합전송 시스템은 종합관제센터, IT 관리센터, 각 역사, 전동차가 연계되는 시스템으로 대 열차 화상전송, 객실감시, 공익정보 객차전송 등을 위한 양방향 전송 시스템으로써, 전 구간에서 통신이 가능한 시스템을 목표로 한다.[3][7]

그림 1은 차지상간통합데이터전송 시스템의 구조이다.

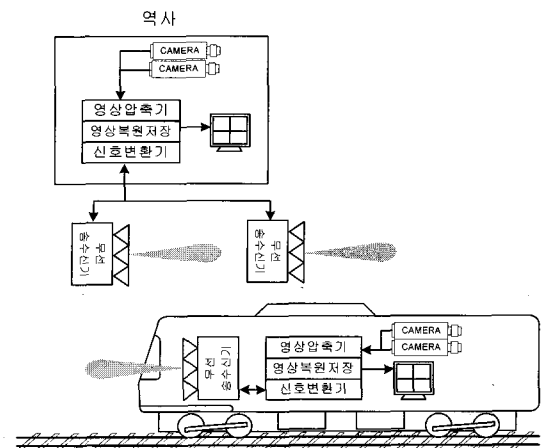


그림 1. 차지상간통합데이터전송 시스템  
Fig. 1 unified data transmission in a subway and railway

표 1. 채널정보  
Table. 1 Information of Channel

하향 채널	대역차 전송채널	승강장 CCTV 정보를 열차에 전송
	객실 전송채널	공익 및 열차운행 정보, 뉴스, 광고 등을 객실 내 모니터에 전송
상향 채널	열차 감시채널	객실 CCTV 정보 및 기타 열차정보를 역사로 전송

일반적으로 요구되는 차지상간통합전송 시스템의 통신 채널의 구성은 표 1과 같다. 차지상간통합전송 시스템의 채널의 특징은 멀티미디어 광대역 데이터라는 점이다. 멀티미디어 광대역 데이터의 특징은 데이터 전송량이 크다는 점과 지연시간이 적어야 한다는 점이다. 이 차지상간 통합데이터전송 시스템과 같은 열차 영상 전송을 위하여 정보통신부 고시 2007-12호에 의거하여 18GHz, 19GHz의 전용 무선 주파수를 고시하였다.[6]

18GHz, 19GHz 주파수는 차지상간통합전송 시스템의 전용 주파수로서 혼신의 우려가 없다는 장점을 가지고 있다. 반면 지하터널에서는 멀티패스 페이딩에 의한 수신특성 열화와 지상구간에서는 높은 주파수로 인해 회절이 없어 전파특성이 매우 열악하다고 볼 수 있다.

### III. 통신시스템의 구성 및 시뮬레이션 조건

차지상간통합데이터전송 시스템은 현재 18GHz 무선 랜 방식과 18GHz OFDM(DVB-T)모뎀 방식의 두 가지 방식을 사용하여 구축되고 있다. 두 방식 중 18GHz OFDM(DVB-T) 모뎀 방식이 동일한 조건에서 수신감도 특성이 우수하다. 본 연구에서는 철도기술연구원의 샘플시료인 OFDM모뎀 방식의 무선특성을 적용하여 무선국 설치위치를 시뮬레이션 하였다.

그림 2는 샘플시스템의 구성이다. 표 2는 시뮬레이션에 적용한 샘플시료의 마이크로웨이브 특성이다. 그림 3과 그림 4는 각각 안테나 이득이 10dBi와 15dBi인 안테나의 빔 형상이다.

표 2. 마이크로웨이브의 특성  
Table. 2 Characteristics of Microwave

구분	규격
사용주파수	18.86~18.92GHz, 19.20~19.26GHz
대역폭	채널당 10MHz이내
변조방식	OFDM / QAM
출력	100mW(20dBm) 이하
수신 감도	-90dBm @ 10-6BER
송수신 안테나이득	10dBi / 15dBi

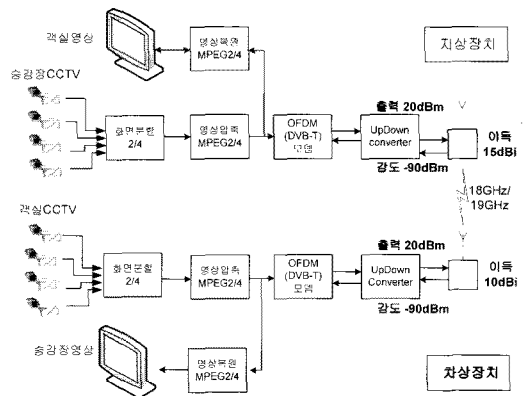


그림 2. 시스템 블럭도  
Fig. 2 Block diagram of system

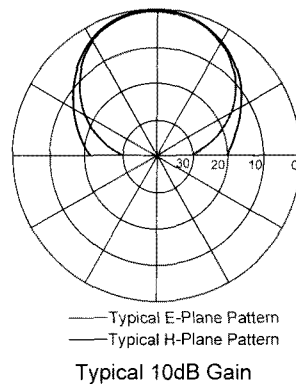


그림 3. 10dB 이득의 안테나 특성  
Fig. 3 Characteristic of 10dBi Antenna

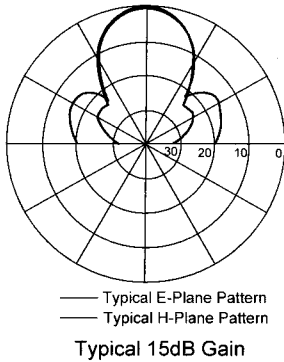


그림 4. 15dB 이득의 안테나 특성  
Fig. 4 Characteristic of 10dBi Antenna

시스템의 최대 출력은 20dBm이다. 시스템에서 최대 출력은 안테나이득을 더하여 송출된다. 이 전파는 자유 공간에서는 식 1과 같은 전파 경로손실 특성을 가진다.[4][5]

$$L_s \text{ (dB)} = 92.45 + 20 \log f \text{ (GHz)} + 20 \log d \text{ (km)} \quad (1)$$

그러나 터널환경에는 곡률반경에 따라 다른 손실지수를 나타내게 된다. 터널에서의 경로손실모델은 식 2와 같이 표현할 수 있다.

$$PL(d) \text{ [dB]} = \overline{PL}(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad (2)$$

여기서  $n$ 은 터널환경에 따른 경로손실지수이다.  $d_0$ 는 기준거리이며  $d$ 는 송수신기 간의 거리이다.  $X_\sigma$ 는 세도잉에 의한 손실값으로 표준편차가  $\sigma$ 이고 평균이 0인 가우시안 랜덤 변수이다.

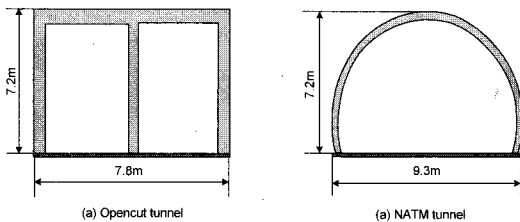


그림 5. 터널의 구조  
Fig. 5 Structure of Tunnel

그림 5는 지하 터널의 구조이다. 지하 터널의 경우 LOS(line of sight)가 되는 구간이 지극히 짧고 LOS범위를 넘어설 경우 반사되어 수신되는 전파의 특성이 강하여 곡률 반경이 짧을수록  $n$ 의 경로손실지수가 매우 크게 된다. 곡률반경이 큰 경우에는 터널이 도파관을 역할을 하게 되어 오히려 경로손실지수 수치가 지상보다 적은 값을 가진다.

지상구간의 경우, 일반적으로 그림 6과 같은 고가 구조를 가지게 된다. 지상 구간의 경우, LOS 구간이 지하 구간에 비해 커지게 되나, LOS구간을 벗어난 경우 회절이나 반사에 의한 수신을 기대하기 힘들다.

본선 (고가)

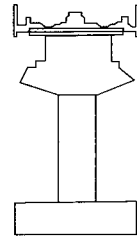


그림 6. 고가 구조  
Fig. 6 Structure of elevated railway

차지상간통합데이터전송 시스템은 전구간을 서비스 영역으로 하므로 그림 7과 같이 하나의 무선국의 서비스 영역을 벗어나는 구간에 다른 무선국을 추가하여 핸드오프를 수행하여야 한다.

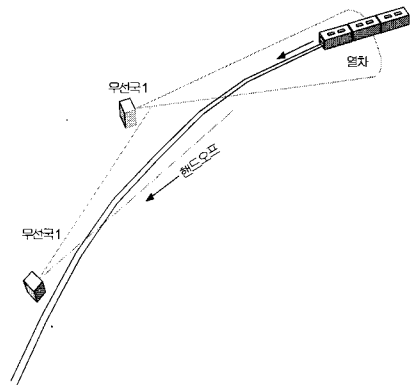


그림 7. 지상구간에서의 무선안테나 설계  
Fig. 7 Design of wireless antenna on the ground

그림 7은 지상 구간의 무선국의 배치 예이다. 그림 7과 같이 지상무선시스템은 전파의 수신 각도 의한 LOS 여부가 가장 큰 변수가 된다.

특히 차지상간통합전송 시스템은 양방향 통신시스템이므로 그림 8과 같이 지상 무선국과 차상무선국의 전파 송신 방향이 일치하지 않는 경우가 발생할 경우 통신이 이루어 지지 않는다. 기존의 단방향 통신시스템인 대열차공간화상시스템과 같은 경우는 그림 8과 같은 경우도 서비스가 가능하였다. 그림 9는 곡률반경이 100m인 터널이다. 그림 10은 곡률반경이 200m인 선로이다. 그림 11은 곡률반경이 400m인 선로이다.

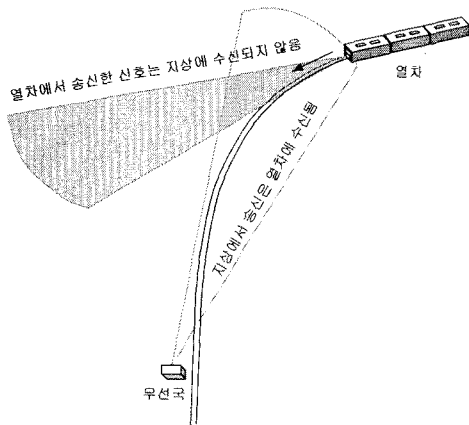


그림 8. 양방향 통신시 고려할 점  
Fig. 8 The problem of full duplex communication

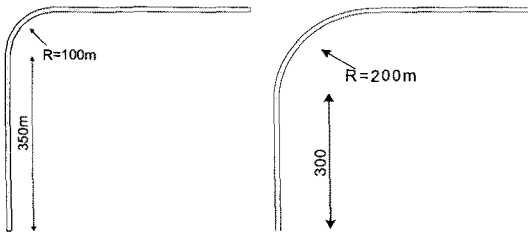


그림 9. 반경 100인 선로    그림 10. 반경 200인 선로  
Fig. 9 Railway of R=100    Fig. 10 Railway of R=200

이상의 표준 선로에 대하여 지하 구간과 지상 구간에 대하여 시뮬레이션을 수행하여 무선국을 설계하였다.

실제의 지하철선로와의 비교를 위하여 그림 12의 부산지하철 3호선의 하반송과 상반송에 대하여 시뮬레이

션을 수행하여 무선국 설치 위치를 설계하였다.

각 시물레이션에서 지상 구간의 경우 선로가 곡선일 경우 선로 주변의 장애물이 있을 수 있으므로 직선으로 LOS가 가능한 범위는 선로 밖 15m이내를 통과하는 전파로 제한하였다.

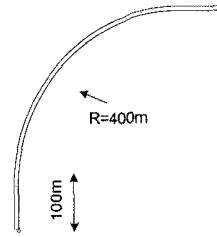


그림 11. 반경 400인 선로  
Fig. 11 Railway of R=400

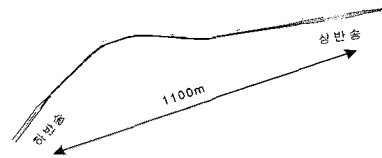


그림 12. 부산지하철3호선 상반송-하반송  
구간의 선로 형태  
Fig. 12 Railway of Sangbansong and habansong  
at Busan subway 3

#### IV. 시물레이션결과

시물레이션은 지하철환경에서 실측한 경로손실계수를 사용하였으며[5], 식2의 경로손실 모델을 사용하여, 먼저 전파 수신파위를 계산하고, 다음으로 수신기의 수신감도에 페이딩 마진을 추가하여, 무선송수신기의 위치를 도출하였다.

표3은 시물레이션의 RAW 데이터로 반경 100인 지하 터널 선로의 각 지점의 전파의 수신파위이다.

표 4, 표 5, 표 6는 3개의 선로에 대하여 위와 같은 RAW 데이터를 기본으로 산출한 지하 및 지상 구간일 경우의 무선국의 설치 위치(m)이다. 실험 결과에서 무선국간의 간격이 클수록 무선국 개수가 적을수록 그 특성이 우수하다고 볼 수 있다.

표 3. 반경 100인 지하터널의 RAW DATA  
Table. 3 RAW DATA of R=100 Subway

무선국	구분	지하구간					
	지상	이득 15		이득 15		10	
	차상	이득 15		이득 10		10	
측정지점	거리 (m)	세기 (dBm)	거리 (m)	세기 (dBm)	거리 (m)	세기 (dBm)	
시작 점	0	20	0	20	0	20	
무선국 점	700	-70.2	470	-70.1	450	-69.5	
끝 점	900	-53.5	900	-65.2	900	-68.6	

표 4. 반경 100인 선로의 시뮬레이션결과  
Table. 4 Simulation result of R=100 railway

무선국	구분	지하구간			지상구간		
	지상	15	15	10	15	15	10
	차상	15	10	10	15	10	10
무선국1	0	0	0	0	0	0	
무선국2	700	470	450	400	400	400	
무선국3	/	/	/	455	496	496	

표 5. 반경 200인 선로의 시뮬레이션 결과  
Table. 5 Simulation result of R=200 railway

무선국	구분	지하구간			지상구간		
	지상	15	15	10	15	15	10
	차상	15	10	10	15	10	10
무선국1	0	0	0	0	0	0	
무선국2	450	400	350	353	384	384	
무선국3	/	/	/	451	531	531	
무선국4	/	/	/	549	/	/	

표 6. 반경 400인 선로의 시뮬레이션 결과  
Table. 6 Simulation result of R=400 railway

무선국	구분	지하구간			지상구간		
	지상	15	15	10	15	15	10
	차상	15	10	10	15	10	10
무선국1	0	0	0	0	0	0	
무선국2	300	230	180	247	253	253	
무선국3	/	/	400	456	468	468	
무선국4	/	/	/	672	684	684	

지하구간의 경우 곡률반경이 크고, 안테나 이득이 클수록 무선국의 간격이 커져 특성이 좋아짐을 알 수 있다. 지상구간의 경우 곡률반경이 크고, 빔각도가 적을수록 무선국의 간격이 커져 특성이 좋아짐을 알 수 있다.

표 7은 부산지하철 3호선의 반송선 상반송과 하반송 사이의 선로의 특성을 지하구간과 지상구간으로 적용하여 시뮬레이션 한 결과 무선국의 설치 위치이다.

표 7. 반송선의 상반송과 하반송 구간의 시뮬레이션  
Table. 7 Simulation result of Sangbansong and Habansong at Bansong line

무선국	구분	지하구간			지상구간		
	지상	15	15	10	15	15	10
	차상	15	10	10	15	10	10
무선국1	0	0	0	0	0	0	
무선국2	453	353	253	400	404	404	
무선국3	753	553	400	516	819	819	
무선국4	/	/	753	/	/	/	
무선국5	/	/	1005	/	/	/	

반경 100, 200, 400인 선로에 대해 시뮬레이션 한 결과와 반송선 하반송-상반송 구간에 대해 시뮬레이션 한 결과 지하구간의 경우 지하안테나 15dB<sub>i</sub> 차상안테나 15dB<sub>i</sub>를 사용하는 것이 유리하였으며, 같은 형태의 선로에 대하여 지상구간으로 시뮬레이션 한 결과 지상안테나는 15dB<sub>i</sub> 차상안테나는 10dB<sub>i</sub>로 송수신한 결과가 우수하였다. 지상구간의 경우 지상안테나의 방향을 선로 방향으로 지향시킬 수 있으므로 지상 15dB<sub>i</sub>와 10dB<sub>i</sub>의 특성이 같게 나타났다.

지하구간과 지상구간의 특성을 비교하면 지상구간의 무선국 개수가 더 많이 필요로 하였다.

## V. 결 론

본 연구에서는 차지상간통합데이터전송 시스템에 대하여 지상선로 및 지하터널의 무선 특성을 분석하였다.

일반적인 지하철 통신시스템은 지하구간의 환경이 더욱 열악하다고 알려져 있다. 그러나 차지상간 통합해

이더전송 시스템에 사용이 예정된 18GHz /19GHz 무선 주파수의 경우 지상선로 구간의 경우도 직진성이 강해 회절 되지 않으므로 지하구간에 못지 않게 전파특성이 좋지 않음을 알 수 있다.

지하터널 구간에서 무선시스템의 전파 수신각도는 터널의 공간상 제한으로 일정한 범위에 들어가게 되어 수신각도의 영향은 적다. 선로의 회전반경과 지하철 구조물내의 반사의 영향으로 인한 전파의 경로손실값의 영향은 크다. 따라서 지하터널에서는 빔각도가 좁고 안테나 이득이 큰 시스템이 더 좋은 특성을 보였다.

그러나 지상선로 구간은 전파의 수신세기가 회전 반경에 따른 전파의 송수신 각도에 따라 매우 급속이 줄어들게 된다. 따라서 지상구간의 무선 시스템은 안테나 이득 보다는 안테나의 빔폭이 큰 경우가 더 좋은 특성을 보였다.

본 연구에서는 반경이 100m, 200m, 400m인 표준 열차 선로를 지하 구간 및 지상 구간에 대하여 수신과위를 시뮬레이션하였다. 또한 실제 구간에 적용하기 위하여 부산지하철 3호선 반송선의 하반송과 상반송 사이 구간에 대하여 수신 감도를 시뮬레이션 하여 무선국의 위치를 도출하였다.

이때의 시스템 변수는 안테나 이득이 지상안테나와 차상안테나에 대하여 15dBi, 15dBi 인 경우와 15dBi, 10dBi인 경우와 10dBi, 10dBi인 경우를 각각 사용하였다.

반경 100, 200, 400인 선로에 대해 시뮬레이션 한 결과와 반송선 하반송-상반송 구간에 대해 시뮬레이션 한 결과 지하터널 구간의 경우 15dBi인 지상안테나와 15dBi인 차상안테나를 사용하는 것이 유리하였으며, 같은 형태의 선로에 대하여 지상선로 구간으로 시뮬레이션 한 결과 15dBi인 지상안테나와 15dBi인 차상안테나를 사용하여 송수신한 결과가 우수하였다. 시뮬레이션 결과에서 지하구간과 지상구간을 비교하면 같은 형태의 열차 선로에 대하여 지상 구간의 무선국의 개수가 더 많이 필요 하였다.

### 감사의 글

본 연구는 국토해양부 도시철도표준화2단계 연구개발사업의 연구비지원(07도시철도표준화 A01)에 의해 수행되었습니다.

### 참고문헌

- [1] 조봉관 외(2002), “무선을 이용한 지상과 차상간 통신방식에 관한 연구”, 한국철도학회, 2002-10, pp. 478~483
- [2] 정상국, 최갑봉, 안태기, 김백현, 양동석, “열차객실감시시스템의 제한된 무선 대역폭에서의 최적의 서비스모델에 대한연구”, 전기학회, 추계학술대회논문집, pp199-pp201, 2008
- [3] 정상국, 최갑봉, 안태기, 김백현, 양동석, “차지공간 통합전송시스템의 무선 대역폭 및 시스템에 관한 연구”, 전기학회, 추계학술대회논문집, pp.1145-1150, 2008
- [4] 최성렬, “지하철 터널의 전파전파 환경을 고려한 중계기의 효율적인 설치에 관한 연구”, 석사학위논문, 인천대학교, 2005
- [5] 정상국, 최갑봉, 안태기, 김백현, 박종철, 양동석, “18GHz 차지공간 양방향 영상전송시스템의 도로 및 터널 구간에서 경로손실 특성”, 전기학회, 춘계학술대회논문집, pp.117-179, 2009
- [6] 안준오 외, “지하철 무선영상전송장치용 주파수 분배방안 연구”, 정보통신부, 2007
- [7] 무선전송시스템 구축 제안요청서, 도시철도, 2008

### 저자소개

정상국(Sang-Guk Jeong)



1996년 서울시립대학교 전자공학과 학사

1998년 서울시립대학교 전자공학과 석사

2002년 서울시립대학교 전자전기 컴퓨터공학과 박사

2000년-현재 (주)씨아이테크 연구소 책임연구원

※관심분야: 멀티미디어 통신, 철도통신



안태기(Tae-Ki An)

1993년 경북대학교 전자공학과 학사  
1996년 경북대학교 전자공학과 석사  
2008년 성균관대학교 전자전기  
컴퓨터공학과 박사수료

1996년-현재 한국철도기술연구원 선임연구원  
※관심분야: 멀티미디어 통신, 영상분석, 인공지능



김백현(Baek-Hyun Kim)

1994년 인하대학교 전자공학과 학사  
1996년 인하대학교 전자공학과 석사  
2003년 인하대학교 전자공학과 박사

2003년-현재 한국철도기술연구원 열차제어통신연구실  
선임연구원  
※관심분야: 이동통신, 멀티미디어통신, 철도통신,  
열차제어



최갑봉(Gab-Bong Choi)

1993년 광운대학교 전자공학과  
석사  
2009년 서울시립대학교 전자전기  
컴퓨터공학과 박사

1980년-현재 서울메트로 통신전자팀장  
※관심분야: 철도통신, 철도시스템, 멀티미디어통신