

# 자기부상열차 제어를 위한 통신기반 무인 신호시스템 구축

## The Construction of Driverless Signaling System based on Communication for the Maglev Control

강덕원<sup>1)</sup>                      이종성<sup>2)</sup>                      김경식<sup>3)</sup>                      민영기<sup>4)</sup>  
Kang, Deok-Won      Lee, Jong-Seong      Kim, Kyoung-Shik      Min, Young-Ki

---

### ABSTRACT

The Maglev travels at levitated status from the rail in some gab (about 8~10mm). it make difference with the existing subway or the another LRV. The detection method of the train speed and the train position to be used at Maglev's signaling system differ with the existing subway or the another LRV's. so, the signal system construction of the new method is necessary. This paper describes the configuration and characteristic of the total signaling system (TTC/Wayside/Cab/Guide way system etc.) developed for Maglev, and the design concept of the signaling system based on the latest wireless LAN communication for driverless operation.

\* Maglev : Magnet Levitation Vehicle, LRV : Light Rail Vehicle, TTC : Total Traffic Center

---

## 1. 서 론

최근 국내에서는 경전철 시장의 활성화로 중저속 자기부상열차에 대한 관심이 고조되고 있으며, 국가적인 차원에서 향후 차세대 성장 동력으로 자기부상열차를 선정하여 실용화를 추진하고 있다. 자기부상열차 실용화를 위해서는 열차의 안전한 운행을 위해 전체 신호시스템의 구축은 필수적이며, 자기부상열차의 특성을 고려하여 신호시스템을 구축해야 한다. 자기부상열차는 기존 전동차나 다른 경전철과는 달리 레일로부터 일정간격(약 8~10mm)으로 부상을 하여 주행을 한다. 이런 자기부상열차의 특성으로 인해 열차속도 및 열차위치 감지 방법 등은 기존 전동차나 경전철에 적용하던 신호시스템방식을 그대로 적용할 수가 없으며, 새로운 방식의 신호시스템 구축을 필요로 한다. 이에 따라서, 2003년 10월부터 5개년 계획으로 실용화 자기부상열차의 개발과 함께 자기부상열차에 적합한 최신기술의 무선통신기반 무인 신호시스템 개발을 진행하였으며, 현재 대전 과학관 노선(과학관역<->엑스포공원역)에 종합사령설비/지상신호설비/차상신호설비를 포함한 전체 신호시스템을 설치하여 각 시스템별 기능시험, 종합인터페이스 시험 및 무인운전 시험을 완료하여 개통하였으며, 무인으로 연속주행에 의한 안정성 및 신뢰성 성능시험을 진행하고 있다. 본 논문은 자기부상열차의 제어를 위해 최초로 국산화 개발된 최신기술의 무선통신 기반 무인 신호시스템의 전체적인 구성 및 특징에 대하여 설명하였다.

---

1) (주)현대로템 신호팀 선임연구원, 비회원  
2) (주)현대로템 신호팀 책임연구원, 정회원  
3) (주)현대로템 신호팀 선임연구원, 비회원  
4) (주)현대로템 신호팀 주임연구원, 비회원

## 2. 본 문

### 2.1 차상 신호시스템 구축

자기부상열차는 기존 전동차나 다른 경전철과는 달리 레일로부터 일정간격(약 8~10mm)으로 부상을 하여 주행을 하므로 차상 신호시스템의 개념설계 단계부터 열차속도/거리 계산 및 열차위치 검지방식에 대하여 기존신호시스템과는 다른 개념으로 접근하여야 한다. 따라서, 열차 속도 및 거리 계산을 위한 도플러 센서의 적용, 열차위치 검지를 위한 Transponder TAG 및 DGPS의 적용, 정위치 정차 확인을 위한 Proximity Sensor의 적용과 차량과 지상간의 실시간 데이터 전송을 위한 무선랜 통신방식 (CBTC 방식)의 적용이 새롭게 시도되었다.

#### 2.1.1 차상 신호시스템 구성

다음 그림은 대전 과학관 노선 자기부상열차에 적용된 차상신호시스템의 구성 및 외부 인터페이스 다이어그램을 나타낸다. 다이어그램에 나타난 바와 같이 무선 랜 시스템을 포함한 대부분의 장치들을 이중계로 구성하여 안정성을 높였다.

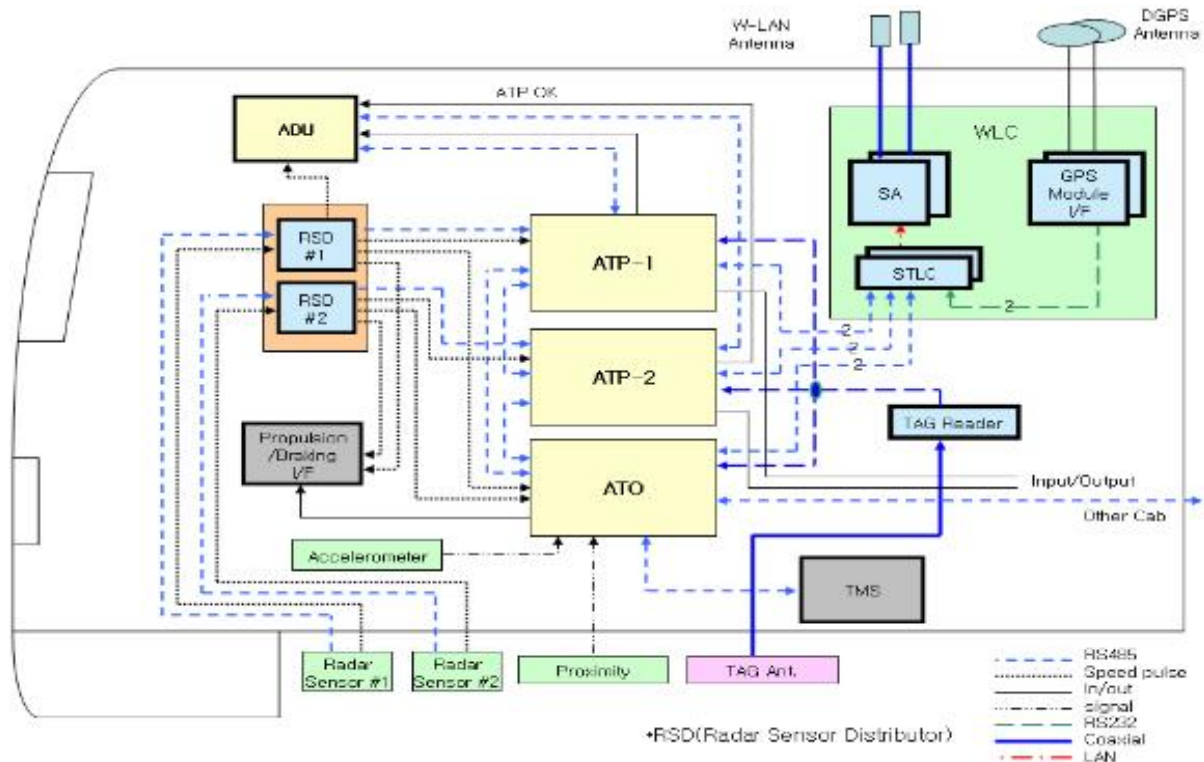


그림1. 차상신호시스템 구성

#### 2.1.2 열차 속도 및 거리 계산

열차 속도계산의 정밀도는 ATP(Automatic Train Protection)에 의한 열차운행의 안전성 확보를 위해 필수적이며, 거리계산의 정밀도는 ATO(Automatic Train Operation) 주행에 의한 정위치 정차를 확보하기 위해 최우선으로 고려 되어야 한다. 따라서, 비 접촉식 자기부상열차에 적합한 속도 및 거리계산용 속도센서를 찾기 위해 여러 시행착오 및 시험을 통하여 도플러센서의 적용이 가장 적합한 것으로 판단되어 이에 대한 성능확인 시험을 현차에 설치하여 진행하였다.

##### 1) 도플러 센서 설치 위치

도플러 센서의 설치위치는 사진1. 에서와 같이 현재 대전 과학관 궤도 구조물 상태를 검토한 결과

센서의 대항면이 굴곡이 없고 안정적인 Doppler 신호 Level을 유지하며, 일정한 Concrete면을 대항면으로 쓸 수 있는 양쪽 대차 Side로 결정하여 시험을 진행하였다.

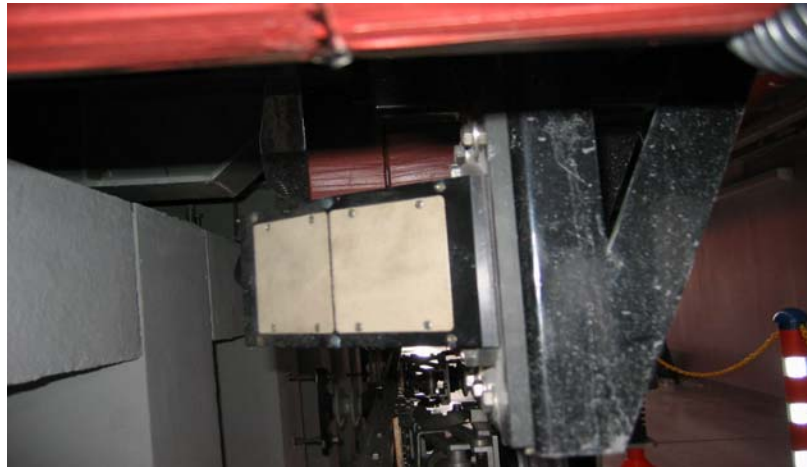


사진1. 도플러센서 설치상태

## 2) 도플러 센서 시험 결과

상기와 같은 위치에 설치하여 현차시험 결과 그림2. 와 같이 안정적인 펄스신호에 의해 속도 및 거리 Data를 얻을 수 있었다. 특히, 실제 거리 및 Radar Sensor의 Pulse를 이용한 검지 거리를 비교 시험한 결과 약 1%정도의 거리 오차가 발생하였으며, 이는 Wheel type의 Tachometer에서 발생할 수 있는 약 2%오차 (직경 860mm에 5mm보상기준)보다 작은 수치이며, 이 오차는 자동운전시 Transponder TAG를 사용한 거리보정 로직에 의해 보상 할 수 있음이 주행시험을 통하여 확인 되었다. 현재 대전 과학관에서 운행중인 자기부상열차의 자동/무인운행시 정위치 정차 오차는 약  $\pm 20\text{cm}$ 의 오차가 발생됨을 확인하였다.

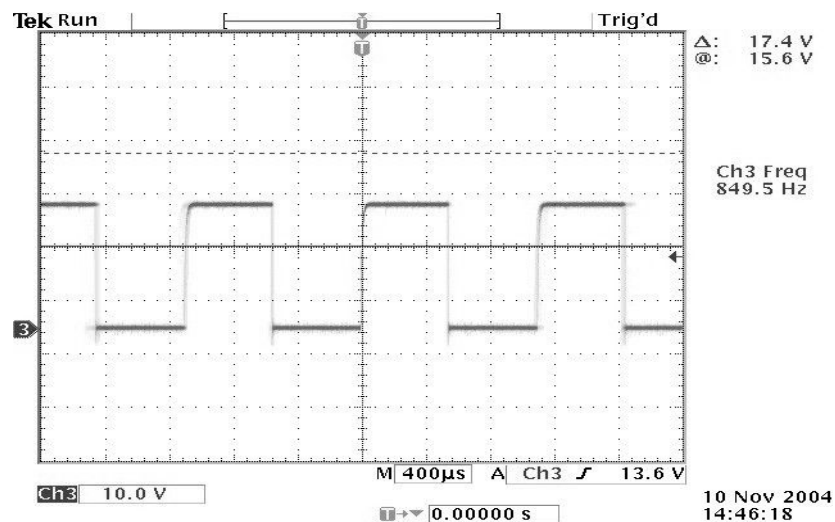


그림2. 도플러센서 속도 Pulse Signal

### 2.1.3 열차 위치 검지방식

열차 위치의 설정 및 확인은 지상에서 열차위치를 확인하고 이에 따라 후속열차의 선행열차와의 충돌방지등을 위한 지상 신호시스템의 열차 안전운행 제어를 위해서 반드시 확보되어야 할 기능이다. 비 접촉식 자기부상열차의 열차위치 검지를 위해서 지상에는 Transponder TAG를 설치하고, 차량 ATP/ATO 장치내에 TAG Reader장치 및 차량 언더프레임에 TAG Antenna를 설치하여 열차가 주행하면서 지상에 설치된 TAG를 검지함에 따라 해당구간에서의 열차위치를 확인하고, 이를 무선랜을 통하여 지상신호시스템에 전송함으로써 지상신호시스템이 열차위치를 검지하는 방식을 적용하였다.

1) TAG Antenna 및 TAG 설치 위치

차상 TAG 안테나의 설치 위치는 그림3. 및 사진2. 에서와 같이 차량 뒤쪽 후부 중앙 및 차량 앞쪽 전두부 중앙에 설치하고 지상 TAG는 사진3. 과 같이 승객 대피로 중앙에 설치하여 시험을 진행하였다. TAG ID는 1번 ~ 61번까지 차량의 길이 및 역사 정위치 정차 거리보정을 감안하여 역간에는 20m, 역사내에서는 5m간격으로 설치하였다.

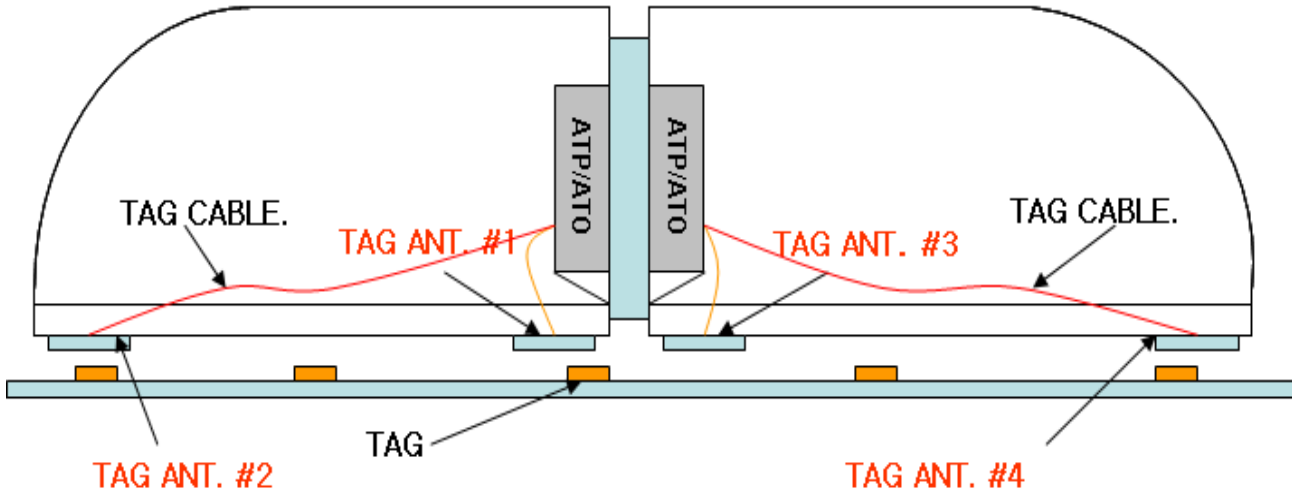


그림3. TAG 안테나 설치 위치

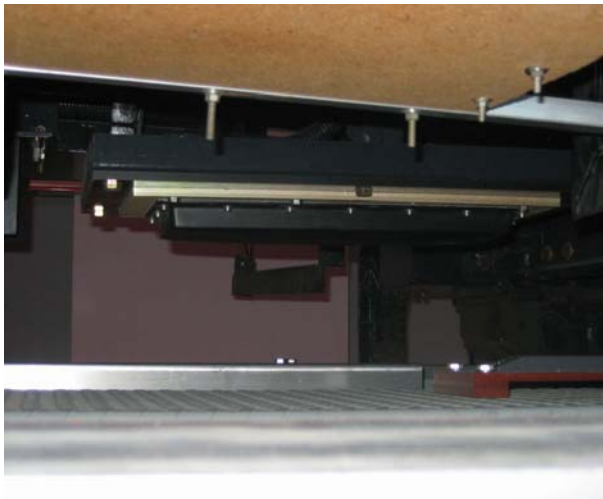


사진2. 차상 TAG 안테나 설치 상태



사진3. 지상 TAG 설치 상태

2) Tag 검지시험 결과

가) TAG Antenna #1, #3과 같이 차량 뒤쪽 중앙에 TAG Antenna를 설치한 경우는 표1과 같이 TAG ID의 수신이 정상적으로 이루어지지 않음을 알 수 있다.

```
#Copyright 1995 AMTECH Corp.
#This product was developed by Southern Technologies Corporation
#under license by Amtech Systems Corporation
#STC Ver 1.00
#000000000000000000056 %00-0-00-0
#000000000000000000056 %00-0-FF-0
#000000000000000000052 %00-0-FF-0
#000000000000000000054 %00-0-01-0
#000000000000000000054 %00-0-05-0
#000000000000000000051 %00-0-02-0
#000000000000000000052 %00-0-01-0
#000000000000000000054 %00-0-01-0
#000000000000000000054 %00-0-04-0
```

**표 1. 차량 뒤쪽 중간에 안테나 설치 시 TAG Reader로부터 수신된 TAG ID 데이터**

나) TAG Antenna #2, #4와 같이 차량 앞쪽 중앙에 TAG Antenna를 설치한 경우는 표2와 같이 TAG ID가 순차적으로 정상적인 수신에 이루어짐을 알 수 있다.

```
#Copyright 1995 AMTECH Corp.
#This product was developed by Southern Technologies Corporation
#under license by Amtech Systems Corporation
#STC Ver 1.00
#000000000000000000038 %00-0-00-0
#000000000000000000039 %00-0-0A-0
#000000000000000000040 %00-0-09-0
#000000000000000000041 %00-0-09-0
#000000000000000000042 %00-0-0A-0
#000000000000000000043 %00-0-08-0
#000000000000000000044 %00-0-09-0
#000000000000000000045 %00-0-0A-0
#000000000000000000046 %00-0-0B-0
#000000000000000000047 %00-0-0C-0
#000000000000000000048 %00-0-0A-0
#000000000000000000049 %00-0-0C-0
#000000000000000000050 %00-0-11-0
#000000000000000000051 %00-0-13-0
```

**표 2. 차량 앞쪽 중간에 안테나 설치 시 TAG Reader로부터 수신된 TAG ID 데이터**

다) 상기 시험 결과를 분석해보면, 902~ 928MHz의 주파수를 사용하는 RFID TAG는 차량의 부상과 운행 시 안테나가 차량 뒤쪽 중간에 위치할 때는 거의 TAG정보를 수신할 수 없음을 알 수 있었으며, 차량 앞쪽 중간에 위치할 때는 100% TAG ID 을 수신하는것을 볼때, 차량기동시 차량에서 발생하는 주파수는 많은 영향을 끼침을 알 수 있었으며, TAG Reader의 전원 및 안테나 케이블, TAG Reader와 TAG 안테나의 거리 등은 TAG 데이터 수신에 아무런 영향을 주지 않음을 알 수 있었다.

### 3) TAG 검지에 의한 열차위치 확인

차상 ATP 장치는 TAG를 검지하면 열차의 위치를 확인하여 지상 WATC 장치에 무선통신을 통하여 송신하고 지상 WATC 장치는 수신된 열차위치에 따라 점유블록을 판단하여 그림4. 와 같이 후방열차의 진입과 관련된 제어를 수행한다.

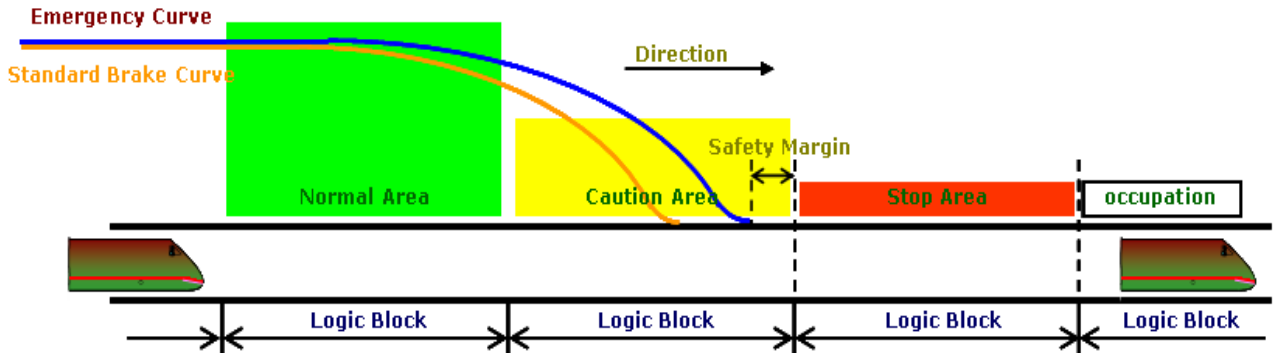


그림4. 열차의 위치 및 궤도 점유 결정

다음 그림5. 는 대전 과학관 자기부상열차의 열차위치 및 궤도 점유 상태를 나타낸다.



그림5. 자기부상열차 위치 및 궤도 점유 상태 표시

## 2.2 지상 신호시스템 구축

비 접촉식 자기부상열차에 적합한 신호 시스템은 CBTC(Communication Based Train Control)방식을 기반으로 한 무인/자동운전 시스템이며, 무선통신기반의 신호 송/수신 방식(CBTC 방식)을 적용함으로써 기존 궤도를 통한 AM 신호 송/수신 방식 및 Loop 를 통한 송/수신 방식에 비해 지상 선로변설비 및 신호기기설 설비가 간소화 됨으로 인해 유지보수 및 시스템 확장이 용이하고 이중계 시스템 구축에 의한 안정성 및 신뢰성 있는 시스템 구축이 용이하다.

### 2.2.1 지상 신호시스템 구성

다음 그림6. 은 대전 과학관 노선 자기부상열차 신호시스템에 적용된 지상 신호시스템의 유선 인터페이스 및 무선 랜 인터페이스의 이중계 구성을 나타낸다.

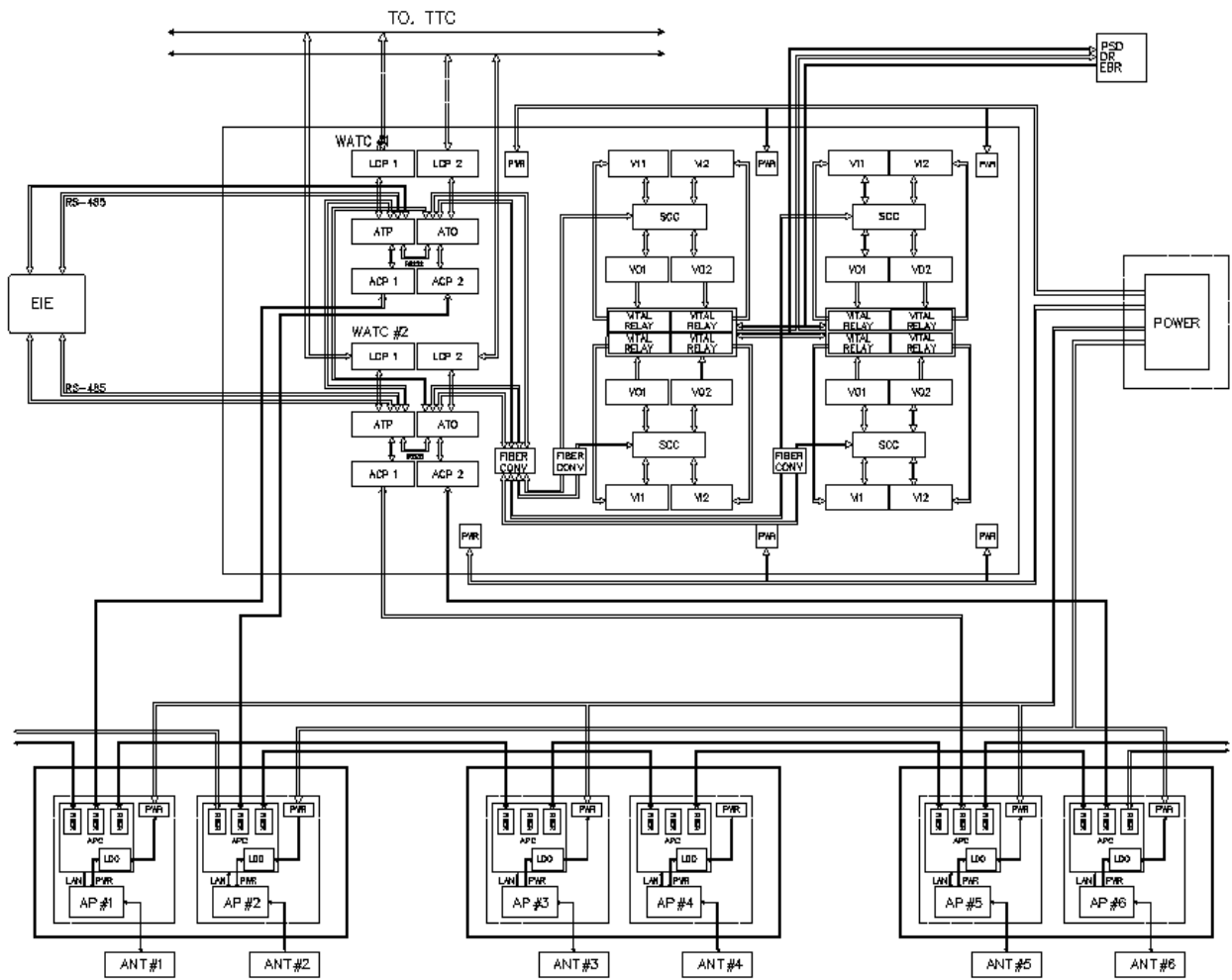


그림6. 지상 신호시스템 구성

### 2.2.2 지상 신호시스템 특징

대전 과학관 자기부상열차 노선에 구축된 지상 신호시스템은 지상 ATP 및 ATO 기능을 하는 WATC 장치와 분기기 및 신호기를 제어하기 위한 전자연동장치로 구분된다. 지상 WATC 장치는 TTC 및 LCC 등과 이중계 유선 LAN 망으로 접속되며, 열차와의 무선데이터 통신을 위한 선로변의 AP 와는 이중계의 광망으로 연결된다.

#### 1) 무선통신 방식의 선정

CBTC 신호방식의 핵심인 Wireless LAN 통신방식은 기존에 사용하던 궤도회로를 대신하여, 차상과 지상에 설치된 무선장치를 통하여, 무선 양방향 통신을 함으로서 열차의 위치, 열차의 정보를 지상에 송신하고, 지상의 명령을 차상에서 수신하는 방식으로 열차를 제어한다. 이에따라 여러방식의 무선통신 방식중에 안정성 및 로밍특성등 각 규격 마다의 특징을 검토하여 선정당시의 기술확보 수준에 따라 가장 많은 기술발달이 진행된 ISM 밴드 2.4GHz대의 무선통신 방식 중 DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)와 FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) 방식에 대한 다음과 같은 장단점 비교를 통해 가장 안정적이고 외부간섭이 적은 통신방식을 선정하였다.



표 3. DSSS와 FHSS 방식의 장단점 비교

| 방식   | 장점   | 단점   |
|------|--|--|
| DSSS | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 우수한 잡음, 잼 방지 성능</li> <li>- 가로채기가 어려움</li> <li>- 다중경로 효과에 강력함</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 상대적으로 작은 위상 왜곡, 큰 대역폭 채널이 필요</li> <li>- 긴 PN 코드 때문에 오랜 포착시간이 필요함</li> <li>- Near-to-far problem이 상존함</li> </ul> |
| FHSS | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 방대한 양의 확산을 제공</li> <li>- 스펙트럼의 분할을 피하기 위한 조정이 가능</li> <li>- Chip rate가 현저하게 적기 때문에 상대적으로 짧은 포착시간을 요구</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hop을 생성하기 위한 복잡한 주파수 합성기가 필요함</li> <li>- 에러보정이 필요</li> </ul>  |

상기의 DSSS와 FHSS 방식 비교에서와 같이 DSSS방식은 우수한 잡음방지, 잼 방지 성능, 가로채기가 어려움 등의 장점이 있는 반면, 상대적으로 넓은 대역폭 채널이 필요하므로 채널의 수가 제한되므로 동일 채널에 대해 다수의 사용자가 있을시 신호의 왜곡 또는 혼신이 발생할 가능성이 많고, 무선통신 단절 후 상대적으로 오랜 포착시간으로 재 접속의 어려움이 있으며, 특히 최근의 무선 인터넷 등 무선통신 기술의 발전이 DSSS방식위주로 적용함으로 인해 외부로부터의 보안에 취약한 단점을 가지고 있다. 이와 달리 FHSS방식은 Hop을 생성하기 위한 복잡한 주파수 합성기가 필요하고, 에러보정을 필요로 하는 단점이 있으나, 방대한 양의 확산을 제공하고 스펙트럼의 분할을 피하기 위한 조정이 가능하며, Chip rate가 현저하게 적기 때문에 상대적으로 짧은 포착시간을 요구 의해 재 접속이 빠르고, Hopping 방식을 사용하여 신호의 왜곡 또는 혼신이 발생할 가능성이 적은 장점이 있어 이와같은 장단점 비교에 의해 대전 과학관 자기부상열차 신호시스템에서는 FHSS 방식을 채택하여 적용하였다.

2) 차상 / 지상 무선 안테나 설치

아래 사진은 무선통신을 위해 자기부상열차 루프 및 1km의 대전 과학관 선로변에 설치된 차상 WLAN 안테나 및 지상 AP 안테나의 설치상태를 나타내는 사진이며, 차상 안테나는 무지향성 2.4GHz의 5dBi의 Gain을 가지는 안테나를 사용하고 지상 안테나는 지향성 2.4GHz의 16dBi의 Gain을 가지는 안테나를 사용하여 안테나의 취부 높이를 차량의 WLAN 안테나와 수평이 되도록 설치하였다.



사진4. 차상 WLAN 안테나 설치 상태



사진5. 지상 AP 안테나 설치 상태



### 3) 무선통신 시험구성

다음 그림6.은 무선통신 성능시험을 위해 대전 엑스포 과학공원 내 본선에 시험 운영 중인 무선장치, 즉 차,지상간 통신시험을 위한 WLC와 AP측의 시험방법의 구성으로 차상장치의 WLC에 노트북 PC를 LAN 케이블을 통하여 연결하고, 지상 WATC 장치에도 노트북 PC를 연결하여, 임의 패킷 테스트 및 Loss상태를 측정하였으며, 패킷 손실이 많이 발생하는 지역에 한해 Spectrum Analyzer를 이용하여, 주변 환경에서의 주파수 간섭시험을 병행하여 실시 하였다.

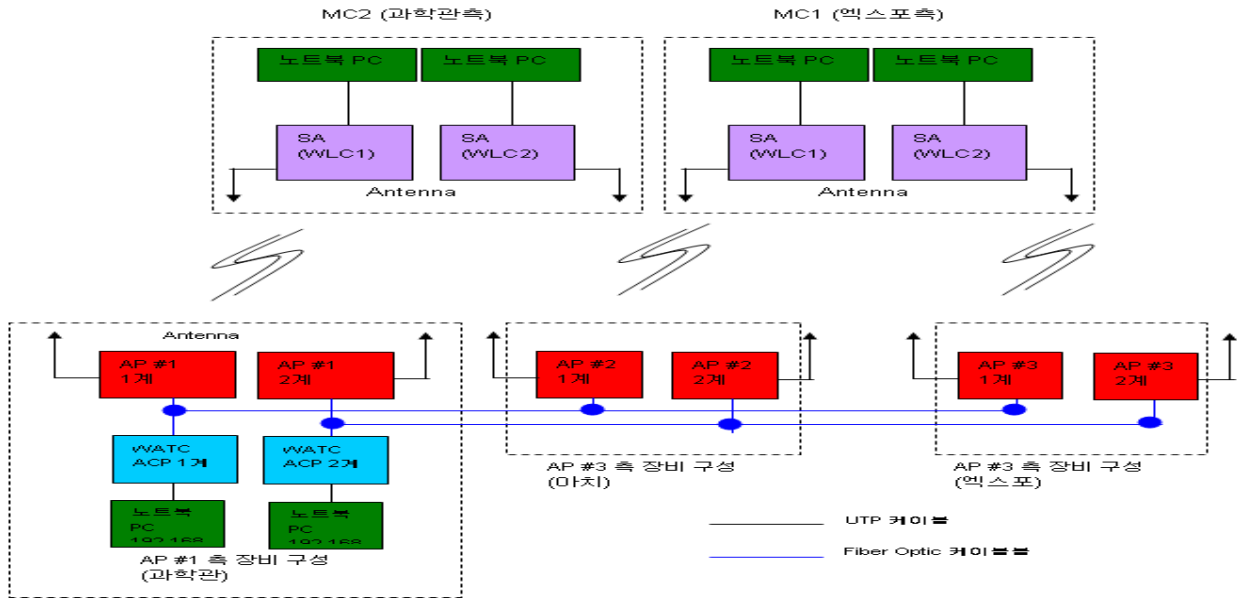


그림6. 차상<->지상 무선통신 시험 방법 구성

무선연결 시험을 위한 상세 설정 및 시험방법은 다음과 같다.

- ① 지상 WATC 장치의 1계, 2계 ACP보드의 Ethernet Port에 각각 노트북 PC연결
- ② 지상 WATC장치에 연결된 노트북 PC IP : (1계) 10.1.100.1 (2계) 10.1.200.1 Setting
- ③ 차상에 설치된 MC1또는 MC2장치의 WLC장치에 내장된 무선 모듈장치의 Ethernet Port를 차상의 노트북 PC와 연결
- ④ 차상 WLC장치에 연결된 노트북 PC IP : (1계) 10.1.100.2 (2계) 10.1.200.2 Setting
- ⑤ 차상에 설치된 WLC 장치의 노트북 PC와 지상 WATC 장치 #1 또는 #2와의 통신 경로가 올바른지 확인한다. 이를 위해 노트북 PC의 명령어 창을 열고 다음과 같이 “ping” 명령을 실행하고 그 결과를 다음과 같이 확인하였다.

표4. 차상 노트북 PC와 WATC #1간의 통신 경로 시험 방법

```
C:\>ping10.1.100.1

Pinging 10.1.100.1 with 32 bytes of data:

Reply from 10.1.100.1: bytes=32    time<1ms TTL=128
Reply from 10.1.100.1: bytes=32    time<1ms TTL=128
Reply from 10.1.100.1: bytes=32    time<1ms TTL=128
Reply from 10.1.100.1: bytes=32    time<1ms TTL=128
```

위에서와 같이 IP 주소10.1.100.1가 부여된 AP #1 장비 또는 IP 주소10.1.200.1가 부여된 AP #2

장비로부터 정상적인 ping 응답이 있으면 노트북 PC와 AP #1간의 통신 경로가 정상 동작하는 것임을 알 수 있다. 이 통신 경로에는 과학관 선로 상에 설치된 광 케이블 구간도 포함된 것이다.

#### 4) 무선통신시험 결과

본 무선랜 시험은 자기부상열차를 이용 본선을 주행하면서, 모의 차상 장치용 노트북 PC와 모의 지상 장치용 노트북 PC간의 통신상태, 노트북 Packet Test 및 Chariot 프로그램으로 신호상태를 확인 및 기록하였다. 여기서 Chariot 프로그램은 통신 성능 측정을 위한 NetIQ Corporation사의 상용 프로그램을 사용하였다.

세부 시험 항목은 아래와 같으며, Chariot시 1계나 2계로 각각 별도로 시험을 진행하였다.

- 실험1) 차량의 각 역사에 정차 후 차량의 부상된 상태에서 Packet 응답 시험 및 Chariot 시험을 실시 하였다.
- 실험2) 차량을 과학관에서부터 엑스포역사 방향으로 주행하면서 Packet 응답 시험 및 Chariot 시험을 실시 하였다.
- 실험3) 차량을 엑스포에서부터 과학관역사 방향으로 주행하면서 Packet 응답 시험 및 Chariot 시험을 실시 하였다.
- 실험4) 이상과 같은 방식의 시험을 시험 차량의 MC1, MC2를 바꿔 가면서 반복 시험하고, 그 결과를 저장하였다.

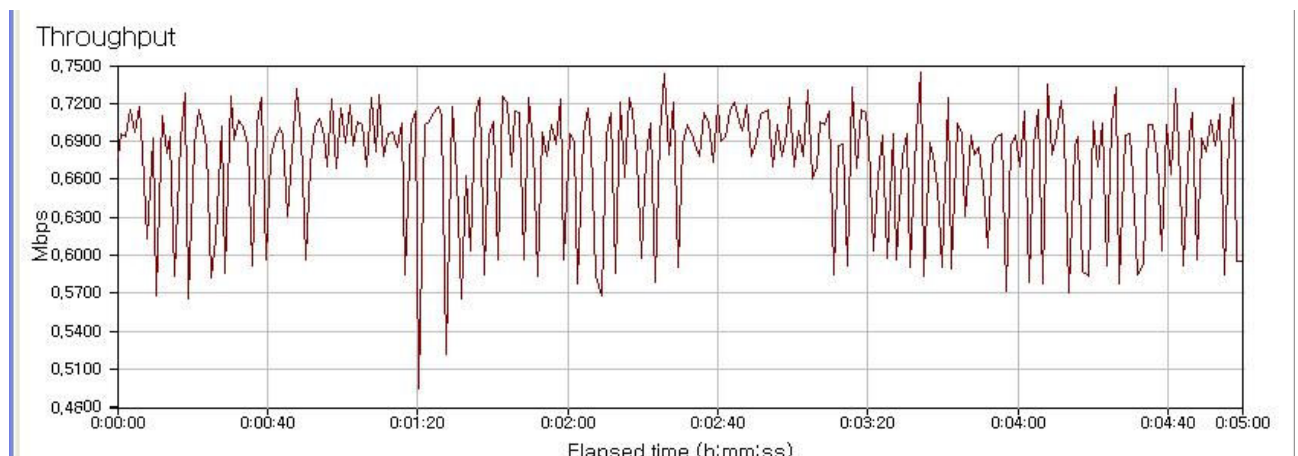
#### 가) 정차상태에서의 패킷 시험

< 역사 정차시 패킷 손실율 >

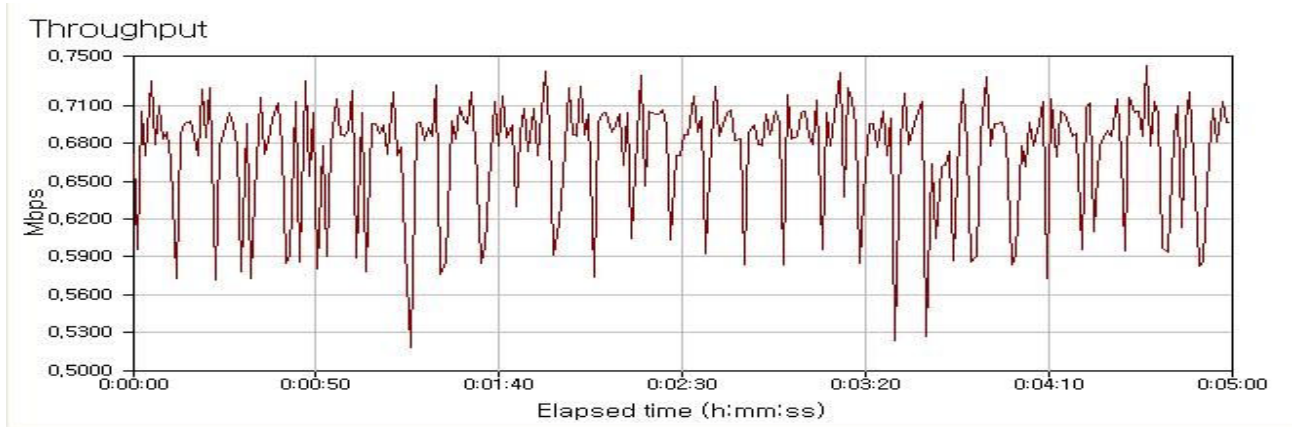
| 구분  | 계 구분 | Packets Sent |     | Received |     | Lost (%) |   | 비고 |
|-----|------|--------------|-----|----------|-----|----------|---|----|
| MC1 | 1계   | 300          | 300 | 296      | 295 | 1        | 1 |    |
|     | 2계   | 300          | 300 | 300      | 299 | 0        | 0 |    |
| MC2 | 1계   | 300          | 300 | 299      | 298 | 0        | 0 |    |
|     | 2계   | 300          | 300 | 299      | 296 | 0        | 1 |    |

#### 나) 차량의 정상상태에서의 Chariot 시험

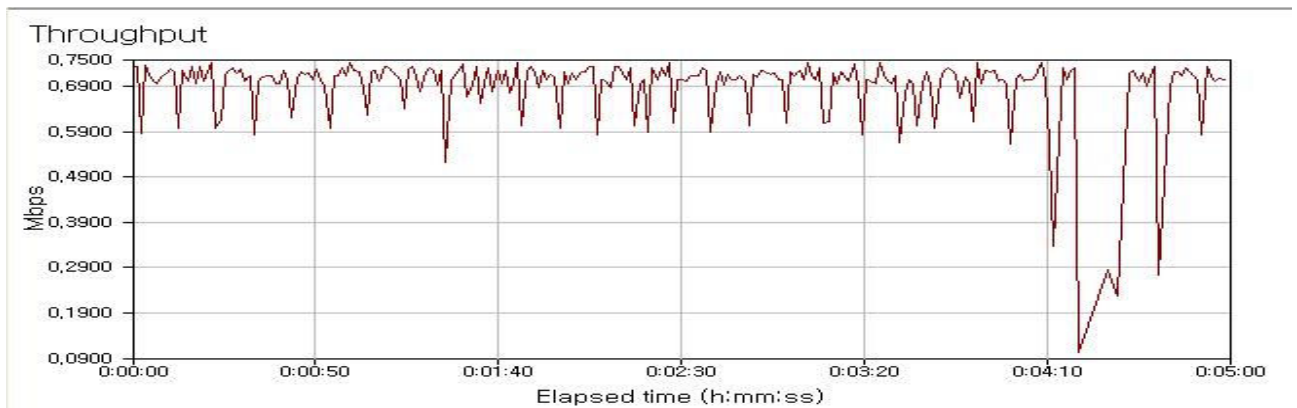
< MC1, 1계 과학관역사 정차시 Chariot data >



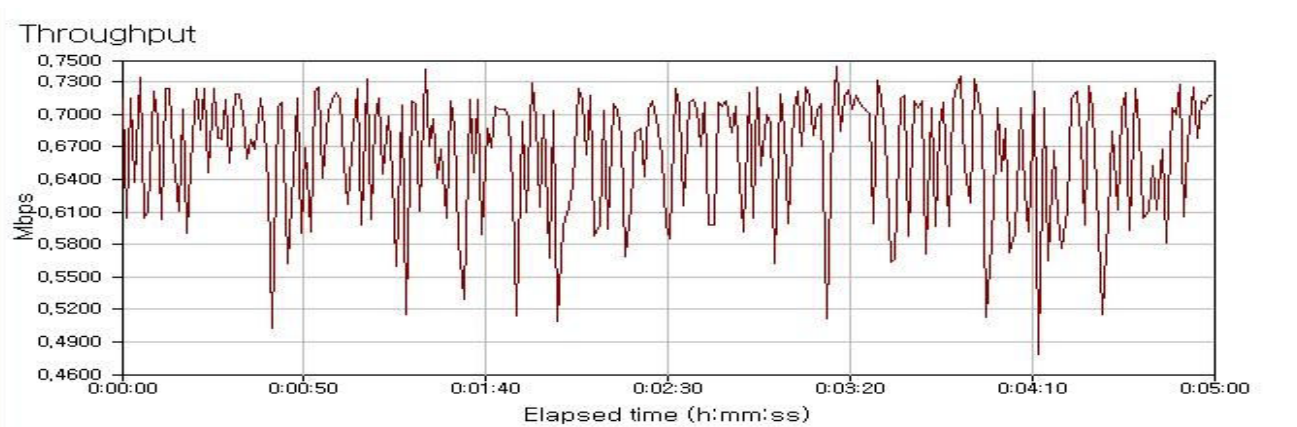
< MC1, 2계 과학관역사 정차시 Chariot data >



< MC2, 1계 과학관역사 정차시 Chariot data >



< MC2, 2계 과학관역사 정차시 Chariot data >

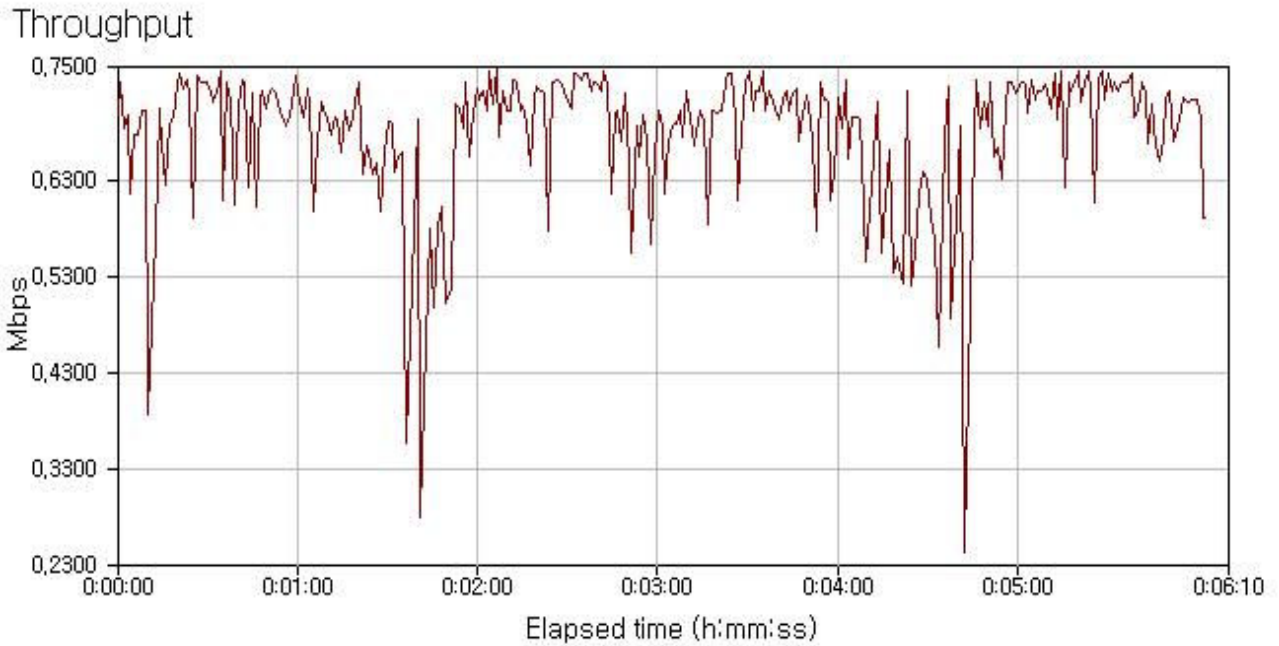


다) 차량의 주행상태(과학관->엑스포) 에서의 패킷 시험

< 패킷 손실율 >

| 구분  | 계 구분 | Packets Sent | Received | Lost (%) | 비고  |   |   |          |
|-----|------|--------------|----------|----------|-----|---|---|----------|
| MC2 | 1계   | 275          | 271      | 270      | 266 | 1 | 1 | 3회 평균 실시 |
|     | 2계   | 321          | 312      | 319      | 308 | 0 | 1 | 3회 평균 실시 |

라) 차량의 주행상태(과학관->엑스포) 에서의 Chariot Data 시험



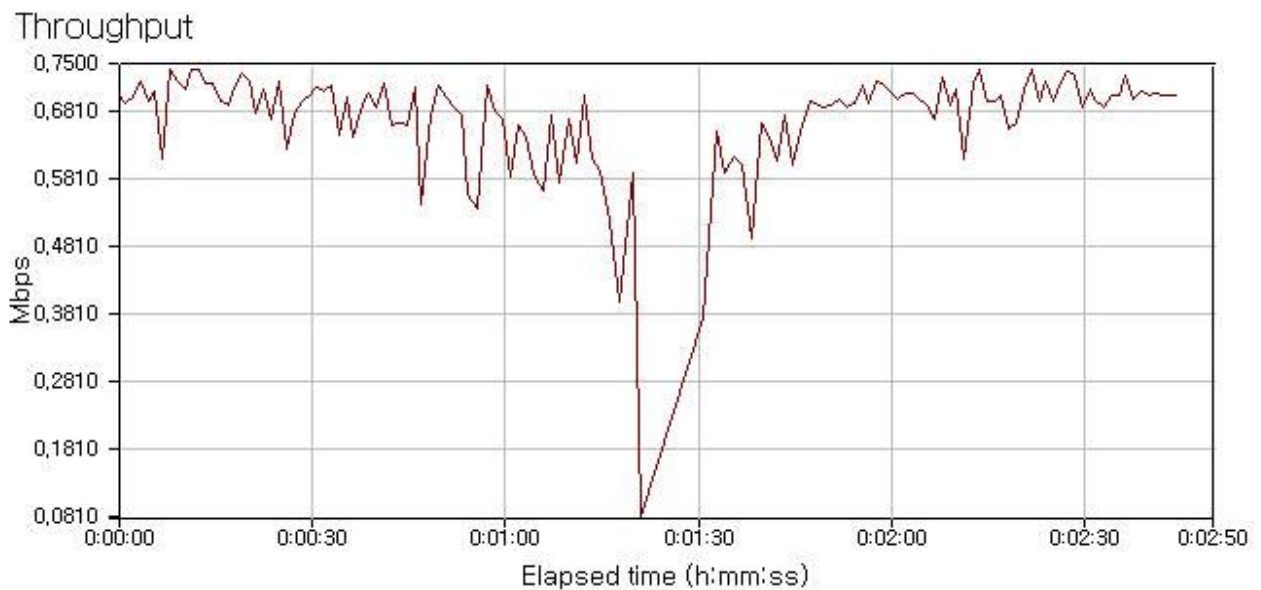
=> 대로 진입전 최저값으로 다운후 아치 통과 후 정상 값으로 복귀

마) 차량의 주행상태(엑스포->과학관) 에서의 패킷 시험

< 패킷 손실율 >

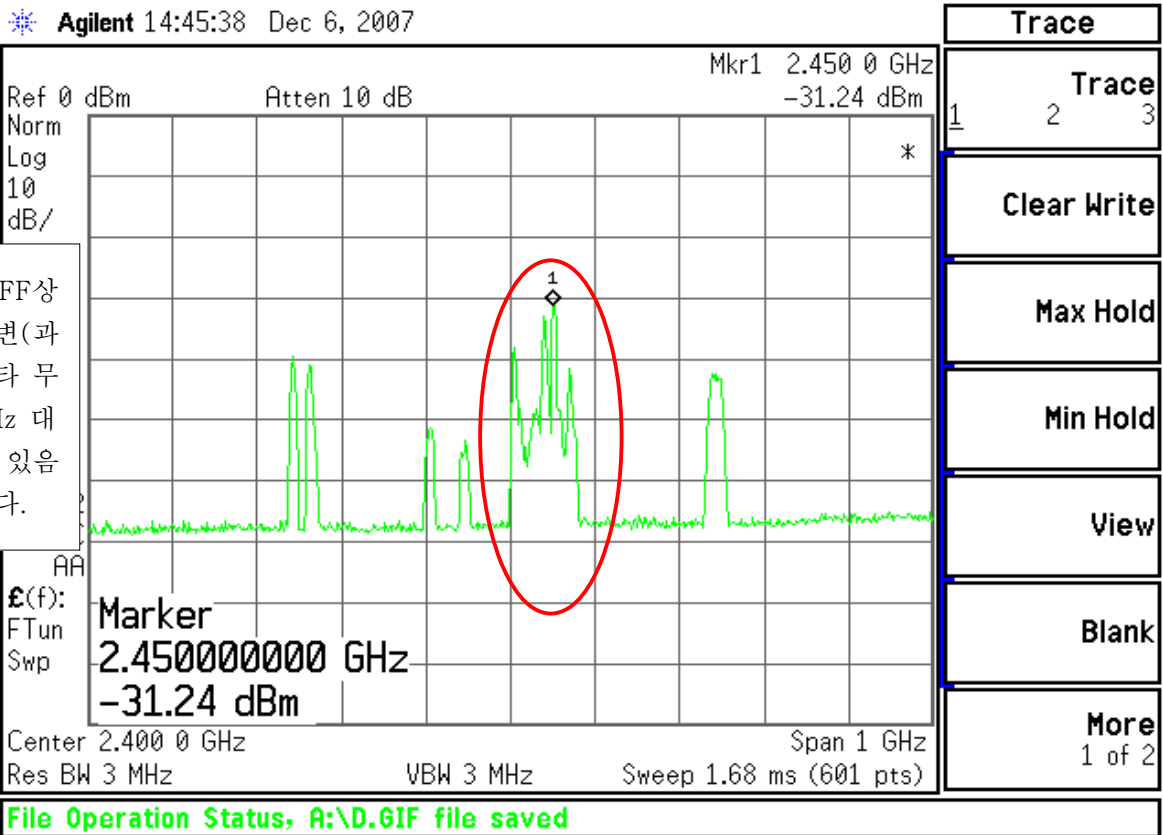
| 구분  | 계 구분 | Packets Sent |     | Received |     | Lost (%) |   | 비고       |
|-----|------|--------------|-----|----------|-----|----------|---|----------|
| MC1 | 1계   | 397          | 393 | 392      | 387 | 1        | 1 | 2회 평균 실시 |
|     | 2계   | 377          | 360 | 377      | 357 | 0        | 1 | 2회 평균 실시 |

바) 차량의 주행상태(엑스포->과학관) 에서의 Chariot Data 시험



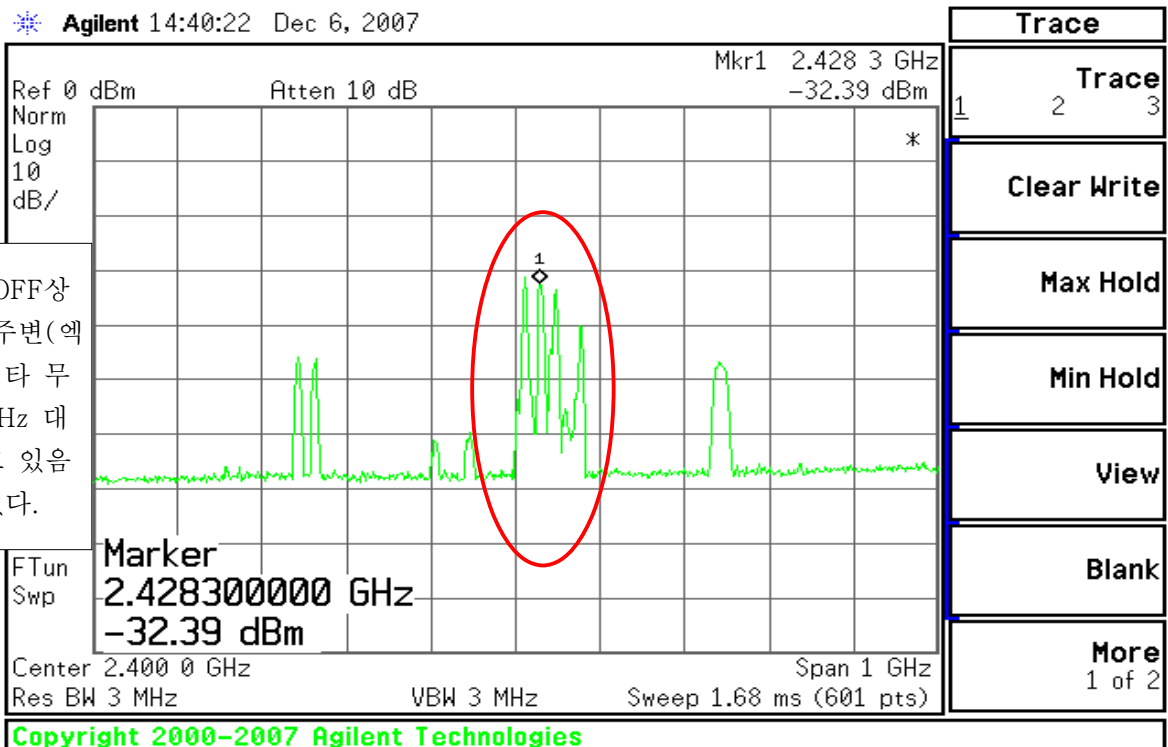
사) Spectrum Analyzer 수신 주파수 측정시험

< 자기부상 선로상 2.4GHz대 수신 신호 측정 (자기부상 무선장비 전원 OFF) >



알바리온 장비 OFF상  
태에서도 선로주변(과  
학관 주차장)에 타 무  
선랜 장비(2.4GHz 대  
역)가 동작 하고 있음  
을 확인할 수 있다.

그림 7. 과학관 주차장 주변 2.4GHz 수신 감도 신호



알바리온 장비 OFF상  
태에서도 선로주변(엑  
스포 주차장)에 타 무  
선랜 장비(2.4GHz 대  
역)가 동작 하고 있음  
을 확인할 수 있다.

그림 8. 엑스포 주차장 주변 2.4GHz 수신 감도 신호

< 자기부상 선로상 2.4GHz대 수신 신호 측정 (자기부상 무선장비 전원 ON) >

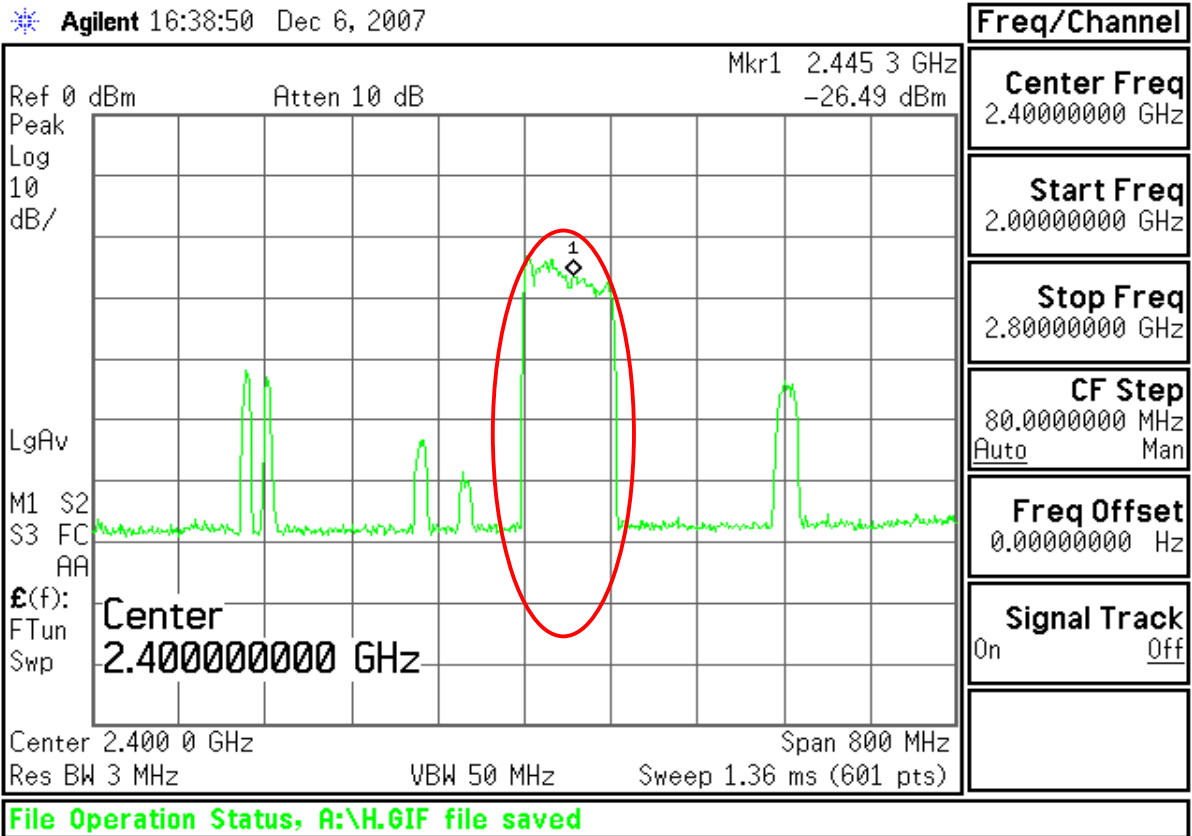


그림 9. 차상 WLC 무선모듈 통신상태 및 주변 2.4GHz대 수신신호

상기의 시험결과 데이터에서 확인되듯이 현 자기부상 대전 과학과 자기부상열차 노선의 무선랜 통신 상태는 전체적으로 양호하다고 볼 수 있으며, 다만 과학관측 주차장 및 아치부근에서의 아치교의 간섭에 의한 패킷 손실 가능성이 존재하나, 이번 시험 결과 차상 및 지상 장치간의 통신에는 지장을 주지 않을 정도임을 확인할 수 있었다.

차량의 정차 상태에서의 통신 상태는 매우 양호한 것으로 확인되었으며, 패킷 시험에서도 손실율이 1내지 0%정도로 상당히 양호 하고 Chariot 시험에서도 매우 양호한 것으로 확인되었다.

차량의 주행시 시험결과를 보면 데이터를 주고받는데 문제가 없으나, 아치교를 지날 때 아치교의 간섭으로 통신 성능이 순간적으로 저하되는 것을 확인 할 수 있다.

Spectrum Analyzer를 이용한 수신 감도 Check결과 대전 엑스포 과학관 자기부상 선로상에서 상당히 많은 2.4GHz대가 사용되고 있는 것을 알 수 있다.

자기부상 열차 무선시스템도 이러한 것을 예상하여 통신방식을 Frequency Hopping 방식을 사용하였으며, 이번 시험에서 차,지상 데이터 통신이 중단되는 일은 발생하지 않았지만, 차후 주변의 2.4GHz의 주파수 사용 증가에 대한 지속적인 모니터링이 필요함을 확인하였다.

### 2.3 종합사령 시스템 구축

자기부상열차에 적용된 무선통신기반의 무인신호시스템의 종합사령실 시스템은 열차시스템의 상태를 실시간으로 감시할 수 있으며, 차량을 개별적으로 제어 할 수 있도록 구축하였다.

#### 2.3.1 종합사령 시스템 구성

다음 그림은 대전 과학관 노선 자기부상열차 신호시스템에 적용된 종합사령 시스템의 유선 인터페이스의 이중계 구성 및 을 나타낸다.



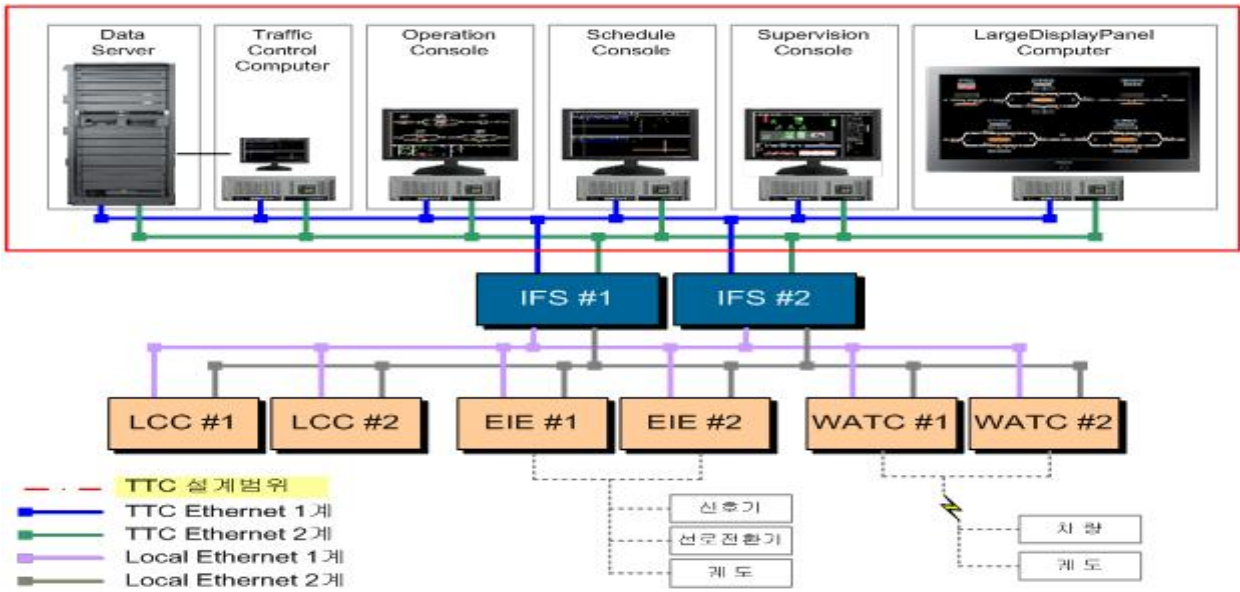


그림 10. 종합사령 시스템 구성

### 2.3.2 종합사령 시스템 특징

대전 과학관 자기부상열차 노선에 적용된 종합사령 시스템은 전자연동장치 및 지상 WATC 장치와 인터페이스 되어 지상설비의 고장상태 확인은 물론 그림 11. 에서와 같이 개별열차의 속도 및 위치, 운전모드 상태 등을 확인 할 수 있으며, 종합사령실에서 개별열차에 전송한 제어명령에 대해서도 확인 할 수 있도록 하였다.



그림 11. 개별열차 상태 화면 표시

### 3. 결 론

상기 본문에서와 같이 현대로템(주)는 대전 과학관 자기부상열차 노선에 무선통신을 기반으로한 CBTC 방식의 무인운전이 가능한 차상신호시스템은 물론 지상신호시스템 (WATC 장치, 전자연동장치) 및 종합사령 시스템을 개발하여 구축하였으며, 각 시스템별 자체 개별 시험, 전체 시스템의 종합 인터페이스 시험 및 자동/무인운행시험과 정위치 정차시험을 완료하여 2008년 4월 21일 과학의 날에 개통을 하여 영업운행을 실시하고 있다.

비록 국책과제로 진행되어 과학관역<->엑스포 과학공원 역사의 2개역사를 1개의 편성만으로 주행하도록 신호시스템을 구축하였지만 추후 역사가 연장되거나 분기기등이 설치될 것을 고려하여 확장이 용이하도록 설계하였다. 또한, 국내 최초로 최신티 무선통신방식을 적용한 차상/지상 신호시스템 및 종합사령 시스템을 구축하여 자기부상열차운행의 영업운행 실적을 확보함에 따라 그동안 선진 외국사에 의존해온 신호시스템을 국산개발 시스템으로 공급할 수 있게 되어 수입대체 효과는 물론 국내 기술을 한 단계 도약할 수 있는 기틀을 마련했다고 볼 수 있다.