

# 공항철도연계 구간의 고속열차(KTX)와 전동열차(AREX) 혼용운용에 따른 ATP지상설비간 상호간섭 영향에 관한 연구

김봉수\*, 송인근  
우송대학교 철도전기시스템학과

## Study on the mutual interference of mixed mode operation between KTX and AREX train at the airport linked line

Su-Bong, Kim\*, In-Kuen, Song

Woosong University Department of Railroad Electrical System Engineering

**요약** 공항 철도 연계 시설 확충 사업에 따라 수색역구내에서 공항 철도로 연결선(L=2.2km)을 건설하고 신호 시스템 및 정거장을 개량하여 경의선 수색역에서 공항 철도로 경부선 및 호남선 고속열차(KTX)를 직결 운행 할 수 있도록 하였다. KTX/AREX 열차의 혼용 운용에 따른 AREX 전동 열차의 신호 시스템은 기존과 동일한 ATC /ATO 방식으로 운행하고 KTX 고속 열차는 ERTMS/ETCS L1 ATP 방식을 신설하여 운행하기로 하였으나 “고속 열차(KTX)와 공항 철도의 지상 신호 설비” 간 및 “공항 철도 차량(AREX)과 고속 열차용 ATP 시스템 지상 설비간 상호 간섭 등의 문제점으로 인하여 고속 열차 운행이 불가능하게 되었다. 이에 공항 철도 비콘과 KTX 열차용 발리스의 특성을 비교 분석한 결과 상호 간섭에 대한 기술적 보완이 필요함을 확인하게 되었다. 따라서 이러한 복합적인 문제의 해결과 기술적 타당성을 확인하기 위해 3가지 유형의 시험 모듈로 실제의 열차를 이용하여 시험을 함으로서 “고속열차(KTX)와 공항 철도 지상 신호 설비간” 및 “공항 철도 전동차(AREX)와 고속 열차용 ATP시스템 지상 설비” 간 상호 간섭 등의 문제점을 해소하고자 한다.

**Abstract** According to the airport railroad linkage facility expansion project constructing a connecting line to the airport railway and improving the signal system and Gyeongui Susaek Station, a high-speed train is able to run directly from Gyeongbu and Honam to the airport railway. According to mixed operation of high-speed Korea Train Express (KTX) and Airport Railroad Express (AREX) trains, to establish ERTMS/ETCS L1 ATP to operate the KTX train, the signaling system of the AREX train is the same as the existing ATC/ATO, but its operation became impossible because the high-speed train causes mutual interference between the "high-speed train (KTX) and AREX ground signaling equipment" and between the "AREX train and KTX (high-speed train) ATP ground equipment." Thus, it was necessary to have a supplemental technical interference analysis comparing the characteristics of the AREX beacon and the KTX balise. So, we resolve the problems of mutual interference between the "high-speed train (KTX) and AREX ground signaling equipment" and between the "AREX train and KTX (high-speed train) ATP ground equipment" with a test using an actual train, and we confirm the technical validity with three types of test module.

**Keywords** : AREX; KTX; High speed train; ATP; KTX and AREX; Airport train

### 1. 서론

공항철도 연계시설 확충사업에 따라 수색역구내에서

공항철도로 연결선(L=2.2km)을 건설하고 신호 시스템 및 정거장을 개량하여 경의선 수색역에서 공항 철도로 경부선 및 호남선 고속열차(KTX)를 직결운행 할 수 있

본 논문은 2013년~ 2015년 까지 공항철도 연계 확충사업을 수행하면서 얻은 결과로 임.(철도시설공단)

\*Corresponding Author : Bong-Su Kim(Woosong Univ.)

Tel: +82-2-3704-8777 email: kimbs1148@daelimcorp.co.kr

Received May 17, 2016

Revised (1st July 1, 2016, 2nd July 6, 2016)

Accepted July 7, 2016

Published July 31, 2016

도록 하였다.

KTX/AREX 열차의 혼용운행에 따른 AREX 전동 열차의 신호시스템은 기존과 동일한 ATC/ATO 방식으로 운행하고 KTX 고속열차는 지상[1]과 차상 사이의 열차 운행정보를 전송하고 ERTMS/ETCS Level.1(SRS 2.3.0)을 기준으로 제작된 유로발리스[240] 방식을 신설하여 운행하기로 하였으나 “고속 열차(KTX)와 공항철도의 지상신호설비”간 및 “공항철도차량(AREX)과 고속열차용 ATP시스템 지상 설비간 혼합 메시지를 읽지 못하고 판독하지 못하는 등의 상호 간섭 원인으로 열차가 제동이 걸리는 등의 문제점이 발견되었다.

이는 KTX1[2]은 2.3.0d 기준을 전적으로 준수하는 ETCS 차상시스템을 갖추어야함을 의미하며 결과적으로 KTX1은 AREX line에 운영될 수 없음을 나타 낸다[7]. 이에 공항 철도 비콘과 KTX 열차용 발리스 및 차상시스템의 특성을 비교 분석과 상호 간섭에 대한 복합적인 문제 해결을 위한 기술적 보완이 필요하게 되었으며 이에 따른 보완사항에 대해서는 실제의 열차 시험 등을 통하여 이를 검증하여 시험 결과를 확인하고자 한다.

ETCS[3]는 모든 종류의 철도 서비스에 적용이 가능한 설비[15]이며 발리스[3]는 텔레그램을 제공하거나 LEU(선로변 제어장치)에 연결되어 있을 때 가변텔레그램을 제공 할 수 있도록 하여야 하며[25], 따라서 ATP시스템을 구축하기 위하여 공항철도 구간에 운영 중인 “고속열차(KTX)와 공항철도 지상신호설비간” 및 “공항철도 전동차(AREX)와 고속열차용 ATP시스템 지상설비”간 상호 간섭 등의 문제점을 해소하고 이를 적용하기 위한 방안을 제시하고자 한다.

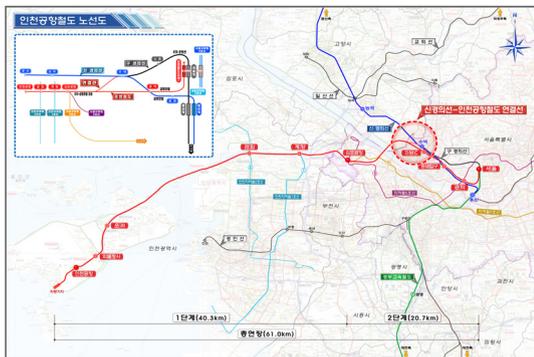


Fig. 1. Incheon[4] Airport Railway linking infrastructure projects overview[2]

## 2. 본론

### 2.1 AREX 비콘 및 ATP 발리스 사양 분석

#### 2.1.1 AREX 비콘

2.1.1.1 열차에서 궤도로 정보전송(Downlink Beacon) 전동열차에서 궤도로 정보전송을 하는 Downlink 구조로 Fig 2.에서와 같이 차상 ATP/ATO로부터 신호계전기실의 ATP/ATO로의 정보 전송을 보장하며, 이러한 정보는 일반적으로 유지보수 정보, 능동 열차 확인(PTI Positive Train Identification), 플랫폼 스크린도어 등과 같은 정보를 포함하고 전송은 특정 Downlink 구역 내에서 이루어지며 차상 ATP/ATO에 의해 제어되고 열차가 노선을 운행 중일 때는 정거장 정차 시에 전송이 이루어진다.

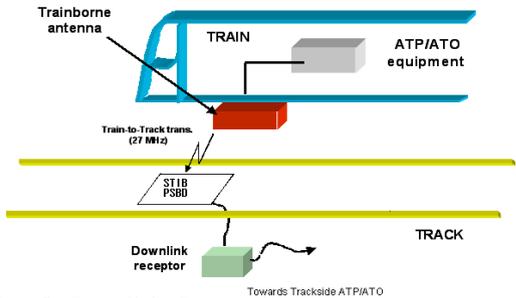


Fig. 2. Downlink Construction

통신은 차상 장치가 Downlink 구역 위에 위치할 때 이루어지고(Downlink 구역은 궤도의 구성도상에 표기 된다) 열차정보를 계전기실 장치로 전송하기 위한 Downlink 신호를 궤도와 열차간의 공간을 경유하여 지상으로 전송되며, 선로변지상장치는 신호계전기실의 ATP/ATO에 신호를 전송하기 전에 신호를 처리한다. Downlink 메시지가 이상 없이 전송 될 수 있도록 하기 위해서 차상장치는 Downlink 정보를 수차례 반복해서 전송하며 전송 특성은 다음과 같다.

Table 1. The table transmitted of the track from on the train for information transmission characteristics for AREX beacon

Description	Characteristic	Remarks
Baud Rate	100 kbaud	
message Length	170 bits	
Transmission Frequency	27.095MHz	Down Frequency
Modulation Type	Toggle Pulse Modulation	

2.1.1.2 궤도에서 열차로 점정보 전송(Uplink Beacon) 차상장치는 궤도에서 열차로 송신하는 점정보 송신과 Down link 송신을 관리하고 그 구성은 Fig. 3.과 같다.

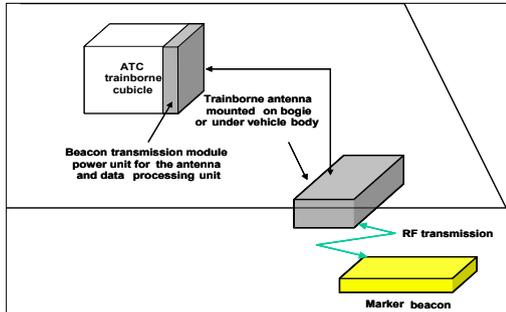


Fig. 3. The figure between SDTC and Train interface for transmit continuous information

대차 또는 차체 하부에 설치된 차상 유도발리스 안테나와 차상 ATP/ATO랙의 비콘 송신 모듈로 구성되어 궤도에서 열차 송신을 위한 설비설비는 Marker Beacon이며, 이 마커는 열차의 안테나에 의해 구동되었을 때 부호화된 데이터를 차상으로 송신하며 전송 특성은 다음과 같다.

Table 2. The table transmitted of the train from on the track for information transmission characteristics for AREX beacon

Description	Characteristic	Remarks
Baud Rate	565 kbaud	
message Length	225 bits	
Transmission Frequency	4.5 Mhz	Up Frequency
Modulation Type	FSK(Frequency Shift Keying)	

### 2.1.2 ATP 발리스

일반적으로 발리스는 데이터가 유효한 방향을 지시할 수 있도록 두개가 한 그룹을 형성한다.

고정발리스는 항상 발리스 자체에 저장되어 있는 텔레그램을 송신하고, 가변발리스는 선로변 신호기에서 현재 신호기 현시를 검지하는 선로변제어 유니트(LEU)로부터 텔레그램을 수신하며 LEU로부터의 케이블이 파손되었을 경우에는 디폴트(default) 텔레그램을 전송한다.

### 2.1.2.1 ATP 발리스 내부 구성

발리스는 하드웨어적인 구성에 따라서 가변발리스 및 고정발리스로 나뉘며 발리스는 선로변제어유니트(LEU)로부터 수신된 텔레그램 또는 내부 텔레그램 메모리에 저장된 데이터를 기준으로 생성된 텔레그램을 차상으로 전송한다.

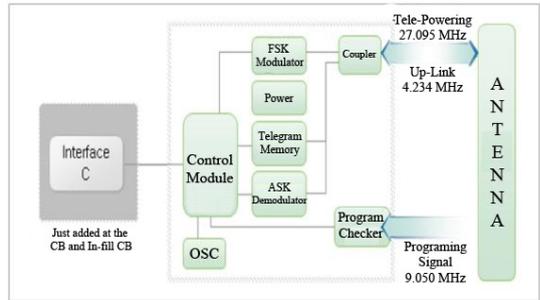


Fig. 4. Internal configuration for balise

### 2.1.2.2 ATP 발리스 논리처리 구성도

ATP 발리스의 논리처리 기능은 핵심부분으로 제어 모듈, FSK변조기, 텔레그램메모리, 결합기 및 프로그램 확인기 등이 있으며 구성도는 Fig. 5.와 같이 구성되어 있다.

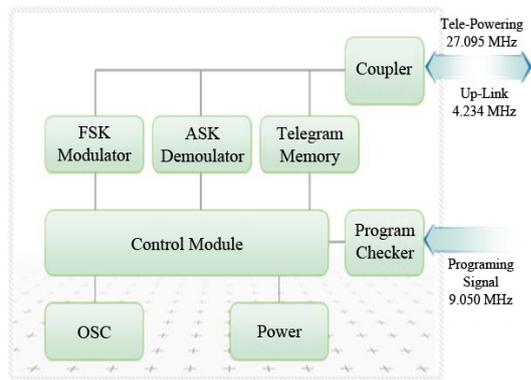


Fig. 5. Configuration for logic processor of ATP balise

## 2.2 AREX 비콘 및 ATP 발리스의 문제점 분석

현재 공항철도에서 사용 중인 전동차용 AREX Beacon과 KTX용 ATP 발리스의 주파수 특성은 다음 표와 같다.

**Table. 3.** The table transmitted of the train from on the track for information transmission characteristics for AREX beacon

Description	AREX Beacon	ATP Balise
Up Frequency	4.5MHz	4.234MHz
Down Frequency	27.095MHz	27.095MHz

위 표에서 알 수 있듯이 기존 공항철도 비콘과 KTX용 발리스의 상/하향 응동 주파수대가 동일함에 따라 공항철도 ATP(ETCS L1) 구축 시에는 ETCS 발리스 통과 시 AREX 열차가 방해받으며 AREX용 발리스 통과 시 KTX 열차가 방해받음에 따라 이에 따른 기술적인 보완이 필요하다.

AREX 발리스와 ETCS 발리스에 프로그래밍된 혼합 메시지에 사용된 ETCS 메시지는 동일한 메시지이므로 이 ETCS 메시지는 2.3.0d baseline을 준수하며 header 및 “End of telegram” Packet만 포함하는 “short message” 유형이며 Version 2.2.2의 ETCS를 갖춘 KTX1 열차는 이 메시지를 제대로 관독할 수 없어서 발리스를 잘못 해석함에 따라 차상에 제동이 걸리게 된다.

Version2.3.0d의 ETCS를 장착한 KTX2 열차는 혼합 메시지와 순수 ETCS 메시지로 수행한 모든 시험에 이상이 없음이 확인 되었다. AREX 열차는 78km/h 이상부터 다양한 원인으로 혼합메시지를 읽지 못하고 발리스를 관독하지 못하여 제동이 걸리게 됨에 따라 이러한 복합적인 문제 해결을 위한 기술적 타당성을 확인하기 위해 3가지 시험모듈로 집중하여 열차 시험을 수행하였다.

### 3. 시험 및 결과분석

#### 3.1 시험 1

인천국제공항 제2여객터미널 연결 철도사업구간에 KTX용 ATP 제어시스템 구축을 위해 ATP 고정발리스와 AREX 열차운행에 있어서 간섭 사항을 확인 하였다.

##### 3.1.1 시험방법

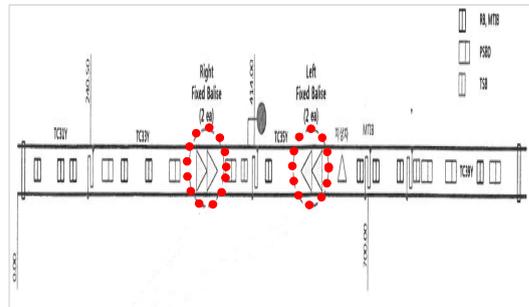
- 차량기지 시험선(AREX ATC 구간)에 ATP용 고정발리스를 추가로 설치하고 AREX 열차를 ATC 모드로 운행 시 이상여부를 확인 하였다.
- 시험열차 안테나와 고정발리스 위치를 일치시켜

상호 응동 여부를 확인 하였다.

- 시험대상차량 : 공항철도 직통차량(104편성)
- 시험선 주행 회수 : 왕복 8회

○ TC33Y/TC35Y S-본드를 기준으로 좌·우측에 고정발리스(2조2Set)를 설치하고 발리스 로딩테이 터는 경춘선 평내차량기지의 시험선 Data를 기반으로 작성하였다.

- MD4(Right 1) = cc fa d5 8f 9f 80 27 cd
- MD4(Right 2) = 01 6e 7c 6a 95 d7 cd 08
- MD4(Left 1) = 4a 9e ed 5f ca 9a 50 8b
- MD4(Left 2) = 34 fa 8a fb 22 09 2f 7c



**Fig. 6.** On-site facilities installation configuration and Balise installation location

#### 3.1.2 시험결과

상기와 같이 시험을 실시한 결과 AREX용 차량의 ATC모드 운행 시에 KTX제어용 ATP 고정발리스와 간섭사항 없이 운행 가능함을 확인 하였다.

### 3.2 시험 2

인천국제공항 제2여객터미널 연결 철도 KTX열차의 ATP 구축과 관련하여 고속차량(KTX-산천1, KTX-산천2) 신호시스템이 공항철도 구간에 설치되어 운영중인 AREX용 열차제어시스템(URBalise-200)과의 상호간섭 유무를 확인하기 위한 시험을 하였다.

#### 3.2.1 시험방법

공항철도의 지상설비(URBalise-200)중에 SACEM 데이터가 포함된 공항철도 비콘(RB) 4[조]를 고양 차량기지 시험선에 설치하여 KTX-산천1 및 KTX-산천2를 ATP 기관사 책임모드(SR모드)로 운행하여 공항철도 비콘(RB)과 상호 간섭 유무를 시험하였다.



- 총 3회 운행에서 책임모드 운행구간의 비콘 그룹(구형) 및 완전모드 운행 구간의 비콘 그룹(신형) 모두 반응이 없는 상태로 KTX-산천2 운행에 지장이 없으며 발리스 그룹1은 정상응동 하였다.



Fig. 11. Analysis of logfile for On-board ATP at test 4

### 3.2.3 시험결과

안산도 차상 ATP 장치를 탑재한 KTX-산천1 및 KTX - 산천2는 인천 공항철도(AREX용) 비콘(신형 및 구형)의 영향을 받지 않으며 ATP 운행에 지장이 없는 것으로 증명이 되었다.

## 3.3 시험 3

공항철도 본선 일부 구간(공항철도 계약역 일원)에 ETCS Level 1 지상설비를 구축하여 KTX-산천2와 기존 공항 철도 열차제어시스템 지상 설비와의 상호 간섭 유무 확인은 KTX-산천2 운행에 위한 지상 신호제어기(KXI)와 LEU간 접속을 통해 기존 시설물과의 인터페이스 및 가변발리스의 현시별 텔레그램 출력 여부를 확인 하였다.

### 3.3.1 시험방법

LEU 신호현시 조작기를 이용하여 현시별로 텔레그램이 가변발리스로 정상 출력 상태, LEU의 소프트웨어 버전 및 신호기 입력상태, 지상신호제어기와 LEU간 인터페이스 접속을 통해 현시별 텔레그램과 KTX-산천2는 계약역 시험구간 ATP지상의 발리스에서 지시하는 레벨 전환 상태, 이동권한 및 지시 속도에 따라 운행하고 검암역에서 회차하여 계약역 시험구간을 운행 후 서울역으로 운행 상태 등을 시험하기 위해 AREX 열차는 KTX-산천2가 계약역 하행선(1회차) 통과 후 검암역에 도착 시 김포공항역에서 출발하여 검암역 까지 운행하며 AREX와 ATP 발리스간의 상호 간섭 유무를 확인하였다.

## 3.3.2 AREX 열차 분석

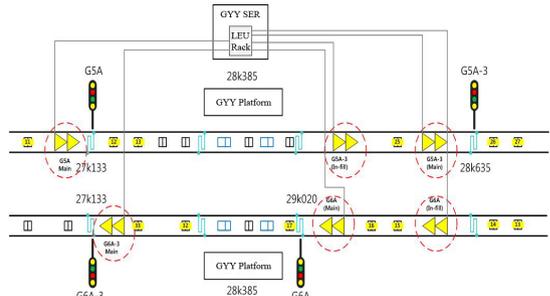


Fig. 12. Arrangement configuration of ATP Balise and beacon ID for URBalise 200 in Gyeongang station

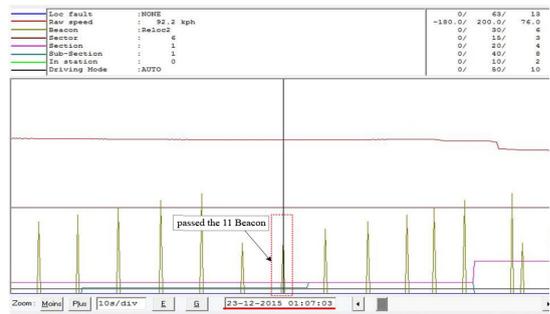


Fig. 13. Log S/W image of Log Analysis(test 1 : Passing the beacon ID\_11 on the Down Line)

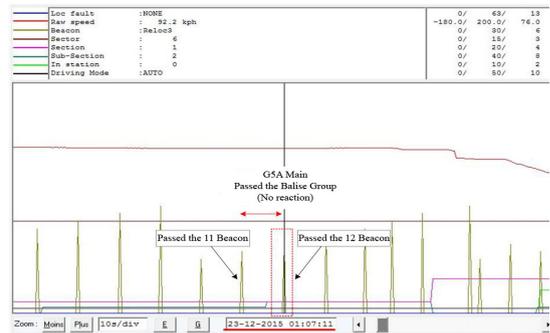


Fig. 14. S/W image of Log Analysis(test 2 : Passing the beacon ID\_12 on the Down Line)

### 3.3.3 AREX 열차 시험결과

AREX 열차의 차상 Log데이터 분석결과와 AREX 비콘 사이에 설치된 ATP 발리스에 대하여 Fig. 13.과 Fig. 14.와 같이 무응동을 확인하였고 향후 공항철도 본선에 ETCS 지상설비(가변, 고정 발리스)가 설치되어도 AREX

열차의 Auto Mode 운행에는 지장이 없음을 확인할 수 있었다.

### 3.3.4 KTX산천2 열차분석

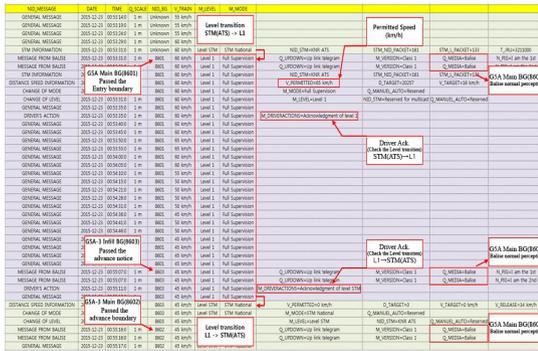


Fig. 15. Operation the KTX-SANCHEON II on the Down line(Gimpo Airport Station Departure -> Gyeong Station test section -> Geomam Station Arrival)

시험열차는 G5A Main BG(8601)을 통과하며 Level STM에서 Level 1(FS Mode)으로 레벨 및 모드전환 이후 G5A-3 Infill BG(8603)레벨 전환 예고와 G5A-3 Main BG(8602) 레벨전환 실행 발리스 그룹을 통과하며 Level 1(FS Mode)에서 Level STM(STM Mode)으로 레벨 전환하여 STM 모드로 운영을 지속 하고 시험 열차는 ATP발리스 그룹과 3회 응동함으로서 텔레그램 정보를 정상적으로 수신하였으며 AREX용 비콘에는 무반응 하여 KTX-산천2 열차 운행에 지장이 없음을 확인하였다.

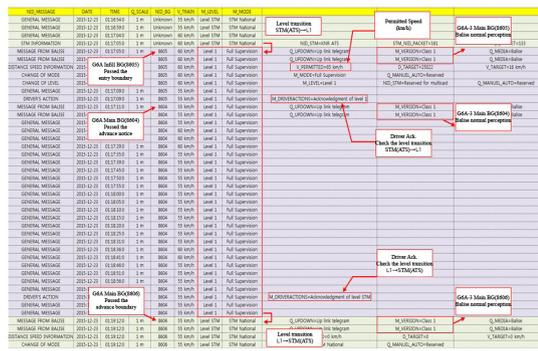


Fig. 16. Operation the KTX and KTX-SANCHEON II on the Up line(Geomam Station Departure -> Gyeong Station test section -> Gimpo Airport Station Arrival)

시험열차는 G6A Main BG(8605)을 통과하며 Level STM 에서 Level 1(FS Mode)으로 레벨 및 모드 전환 이후 G6A-3 Infill BG(8604) 레벨전환 예고와 G6A-3 Main BG(8606)레벨 전환 실행 발리스 그룹을 통과하며 Level 1(FS Mode)에서 Level STM(STM Mode)으로 레벨 전환하여 STM 모드로 운영을 지속 하여 시험열차는 ATP 발리스 그룹과 3회 응동함으로서 텔레그램 정보를 정상적으로 수신하였으며 AREX용 비콘에는 반응하지 않아 KTX-산천2 열차운행에 지장이 없음을 확인하였다.

### 3.3.5 KTX산천2 열차 시험결과

KTX-산천2의 차상 MMI 분석 결과 ATP발리스 사이에 설치된 공항철도 지상 신호설비에 대하여 무응동을 확인하였고 향후 공항철도 본선에 ETCS 지상설비(가변 발리스, 고정발리스)가 설치되면 ETCS 차상장치를 탑재한 고속 열차의 ATP(FS 모드) 운행에는 지장이 없음을 확인하였다.

### 3.4 종합분석

공항철도 본선 및 제2여객터미널 연결철도에 고속열차(KTX)와 전동열차(AREX) 혼용운용에 따른 ATP 지상설비간 상호간섭 영향 시험결과에 대한 단계별 종합 분석 내용을 아래 표와 같이 요약하였다.

Table 4. The main test content analysis result

Test description	Result	Analysis of result
Checking the mutual interference between AREX vehicles and ATP ground equipment	OK	It has checked without mutual interference during the operation of AREX's ATC mode vehicle between ATP balise of KTX
Checking the mutual interference between KTX vehicles and AREX Beacon (UR 200)	OK	It has checked without mutual interference during the operation of KTX's ATP mode between ground equipment for AREX
Checking the mutual interference, AREX vehicle and ground signal equipment(2 sort)	OK	It has checked without mutual interference of ktx and arex vehicle between ground equipment

## 4. 결론

인천공항철도 활성화 방안의 일환으로 철도 이용 편의성 및 접근성 제고와 평창 올림픽의 성공적 개최를 위해 고속화 방안을 마련하여 추진하고 있다.

이에 고속열차 KTX의 공항철도 직결운행을 위한 ATP(ETCS L1) 구축함에 있어서 공항철도 비콘(UR 200)과 ATP (ETCS L1)용 발리스의 응동 주파수대가 동일(상향 4.2MHz, 하향 27MHz)하므로 사전에 이에 대한 주파수 간섭 확인 및 해소 등의 기술 검토를 시행하였고 단계별로 3회에 걸쳐 열차 시험을 시행하였다.

“3항 종합 분석” 및 위의 결과표에서 알 수 있듯이 공항철도 KTX 직결 운행을 위한 ATP(ETCS L1) 구축 단계별 상호간섭 시험 결과는 양호(무응동 확인)한 것으로 증명 되었다.

따라서 공항철도에서 KTX 고속열차와 AREX 전동 열차의 혼용운행에 적합한 ATP 시스템 구축이 가능 하다고 판단되며 향후 선행 열차의 재선 정보에 따른 후속 열차의 진로설정(AREX) 및 이동권한의 설정(KTX)에 관한 추가 현차 시험을 통하여 실제 영업운영 환경과 동일한 추가연구가 필요하리라 판단된다.

### References

- [1] Daelim Industrial Co., Ltd. "Revitalization Project of the Airport Railroad for detail report(Part of Signaling) pp. 240. 2013.
- [2] ALSTOM Revitalization Project of the Airport Rail road for technical report, pp. 7, 2013.
- [3] ARTEC, ETCS for Engineers, pp. 15, 25, 2013.
- [4] KOREA RAIL NETWORK AUTHORITY "A study on Incheon International Aripport Railroad Revitalization" pp. 2, 2013.

### 송 인 근(In-Kuen Song)

[정회원]



- 1978년 2월 : 고려대학교 전자공학과(공학학사)
- 1983년 2월 : 고려대학교 공과대학원(공학석사)
- 1999년 2월 : 명지대학교 대학원(공학박사)
- 1983년 2월 ~ 1995년 2월 한국전차통신연구소 선임연구원
- 1995년 3월 ~ 현재 : 우송대학교 철도전기시스템학과 교수

<관심분야>

철도전기시스템, 정보통신

### 김 봉 수(Bong-Su Kim)

[준회원]



- 2001년 2월 : 서울과학기술대학교 전기공학과 (전기학석사)
- 2006년 8월 : 광운정보통신대학원 (제어계측공학석사)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 우송대학교 철도전기시스템학과 박사과정 재학 중

<관심분야>

철도전기시스템, 정보통신