

## RF-CBTC 시뮬레이터를 이용한 종합시험환경 구축 및 효용성 검증.

### Establishment of Integrated Test Environment and effectiveness validation using RF-CBTC simulator

김광준<sup>†</sup>, 강덕원\*, 임창희\*, 이종성\*

KwangJun Kim<sup>†</sup>, DeokWon Kang\*, Changhee Lim\*, JongSeong Lee\*

**Abstract** The technical trend of train control system tends to apply RF-CBTC signaling system based on wireless communication between onboard and wayside equipment.

Each component of this system is required to be tested respectively before installed on site and then each component is installed on site for integrated test of functions.

An existing simulator or tester is only able to test restricted functions in each component. Therefore the integrated test of functions is forced to conduct using real products installed on site.

The study is that the integrated simulator, which can test not only each component but also comprehensive system functions with minimum equipment, is developed. And its effectiveness is checked by validating major functions of RF-CBTC signaling system.

**Keywords** : RF-CBTC, Simulator, Tester, Integrated test

**초 록** 열차제어시스템의 기술동향은 차상설비와 지상설비간의 무선통신을 기반으로 하는 RF-CBTC(Radio Frequency Communication Based Train Control)신호시스템으로 적용되는 추세이다. 이러한 시스템은 현장에 설치되기 전에 각 구성품별로 단위기능시험을 수행한 후, 각 구성품을 설치하여 종합기능시험을 진행하게 된다. 기존의 시뮬레이터 및 시험기는 각 구성품별로 한정된 단위기능시험만이 가능하였고, 종합기능시험은 실제 본 품을 적용하여 실시할 수밖에 없었다. 본 연구는 단위기능시험뿐만 아니라 각 구성품의 본 품과 동일한 기능을 수행하여 종합기능시험이 가능하도록 최소한의 구성으로 실제 영업운행노선과 유사한 환경을 실험실에서 구축할 수 있는 통합 시뮬레이터를 개발하고 이를 이용하여 RF-CBTC 신호시스템의 주요 구성품에 대한 기능을 검증하여 그 효용성을 확인하였다.

**주요어** : RF-CBTC, 시뮬레이터, 시험기, 종합시험

## 1. 서 론

열차제어시스템과 같이 안전이 필수적인 시스템은 구성품의 설계 및 제작을 완료한 후에 단계별 시험을 통하여 요구된 기능의 정확성과 예기치 못한 오류에 대한 안전측 동작을 검증하는 것이 중요하다. 통상적으로 시험단계는 각 구성품에 대한 단위기능시험, 공장시험, 현장시험의 과정을 거친다. 이러한 시험은 각 단계를 거칠수록 기능, 인터페이스, 절차등에

<sup>†</sup> 교신저자: 현대로템(주) 기술연구소 신호팀(kjkim@hyundai-rottem.co.kr)

\* 현대로템(주) 기술연구소 신호팀

대한 많은 문제가 발견되어 원인을 분석하고 해결하는데 상당한 시간이 소요된다. 그러므로 공장시험이나 현장시험을 통해서만 발견될 수 있는 오류를 사전에 검출하여 해결할 수 있는 시험환경이 필요하다.

본 논문은 차/지상연계시험 시 발생할 수 있는 오류를 사전에 검증할 수는 있는 통합시물레이터를 제작하고 이를 이용한 종합시험환경을 구축하여 RF-CBTC 공장시험 환경과 동일한 종합기능시험을 실시하여 그 효용성을 확인하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 RF-CBTC 신호시스템

#### 2.1.1 특징

RF-CBTC기반의 신호시스템은 차상설비와 지상설비간의 양방향통신을 기반으로 높은 수준의 정밀도로 열차의 위치를 검지하고 열차의 안전운행을 수행하는 것으로 시스템의 안정성과 운영의 효율성을 높이고 신뢰성, 가용성, 유지보수측면에서 많은 장점을 보유하고 있어 도시철도/경전철 분야에 적용하고 있는 최신의 신호시스템이다.

#### 2.1.2 주요구성품

RF-CBTC기반의 신호시스템은 신호장치와 사령요원간의 인터페이스를 제공하여 진로설정/제어, 스케줄 생성/관리 등의 기능을 수행하는 사령설비, 열차의 속도/위치 검지, 과속보호, 간격제어 등의 자동방호기능 수행하는 차/지상ATP(Automatic Train Protection)장치, 자동운전 제어, 정위치 정차, 정차 시간 제어 등의 자동운행기능을 수행하는 차/지상ATO(Automatic Train Operation) 장치, 사령에서 취급한 진로제어 명령에 대해 안전하게 진로제어를 선로전환기 및 신호기를 제어하는 EIE(Electronic Interlocking Equipment), 차/지상간 연속적인 양방향 통신을 위한 무선통신 장치로 구성된다.

### 2.2 RF-CBTC 신호시스템 종합시험 환경

#### 2.2.1 공장시험 구축환경

본 연구에 개발한 통합시물레이터를 적용하여 RF-CBTC 신호시스템의 공장시험 환경에서 실시했던 종합기능항목을 동일하게 실시하였다. RF-CBTC의 신호시스템의 공장시험 환경은 종합사령설비, 역동역사설비(2개소), 일반역사설비, 기지관제설비, 차상신호설비 등에 대한 주요 구성품들로 구성되어 실제 영업운행노선과 유사한 환경에서 종합기능시험을 실시하고 현장에서 장애 발생 시 동일한 현상을 재현하여 원인을 분석하고 오류를 해결하는데 사용된다. 공장시험 구성품의 종류와 수량은 아래의 Table 1과 같다.

Table 1 RF-CBTC 신호시스템 공장시험 구성품

구분	장치	수량	비고
사령설비	TCC(Traffic Control Computer)	1Set	이중계
	MCS(Management Support Computer)	1Set	이중계
	MC(Maintenance Console)	1Set	
	OC(Operator Console)	1Set	이중계
	LDP(Large Display Panel)	1Set	4 면
연동역사설비	WATC(Wayside Automatic Train Control)	2Sets	이중계
	EIE(Electronic Interlocking Equipment)	2Sets	
	Relay Rack	3Sets	
	LCC(Local Control Console)	2Sets	
일반역사설비	LMC(Local Maintenance Console)	1Set	
기지관제설비	LCC	1Set	
차상신호설비	차상 ATP/ATO 장치	1Set	ATP 이중계
	차상 무선안테나	1Set	이중계
무선설비	지상 AP(Access Point) 설비	4Sets	커버리지 이중계
	지상 무선안테나	4Sets	커버리지 이중계
기타설비	신호기 지그	1Set	
	스위칭 허브	2Sets	
	고정식 시험기	1Set	

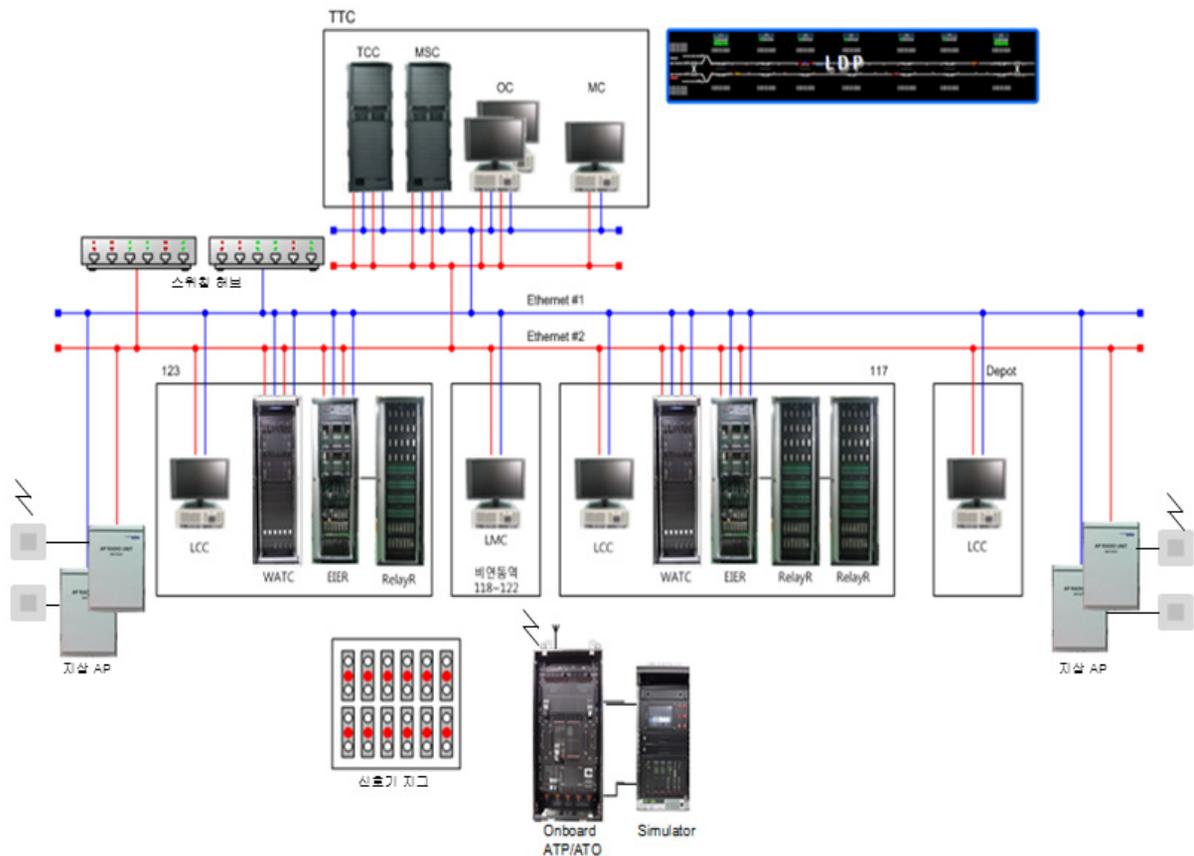


Fig. 1 RF-CBTC 신호시스템 공장시험 환경

## 2.2.2 시험항목

RF-CBTC 공장시험 항목 중 차/지상이 연계된 종합기능시험항목은 아래의 Table 2와 같다.

**Table 2 RF-CBTC 공장시험 항목**

구분	시험항목
차/지상 연계동작 시험	분기기 전환 제어시험
	진로설정 및 해제 제어시험
	플랫폼 정차시간 설정시험
	플랫폼 Skip/Stop 설정시험
	블록 차단 설정시험
	블록 임시속도 설정시험
	열차 출발억제 설정시험
	열차 비상제동 설정시험
	다 편성 제어 시험
	선행열차의 위치에 따른 후속열차 간격 제어시험
	핸드오버(제어영역) 확인시험
	스케줄에 의한 열차 운행시험

## 2.3 통합시뮬레이터

통합시뮬레이터는 각 구성품의 본 품에 적용된 인터페이스, 제어 등의 연산 로직을 이식하여 차상ATP/ATO장치, WATC장치, 종합사령설비, EIE의 기능을 시뮬레이션 할 수 있도록 설계되었다. 또한 제어정보, 상태정보 및 데이터 패킷을 사용자가 임의로 조작하여 시스템의 고장 및 예외상황에 대한 검지기능을 시험할 수 있다.

### 2.3.1 사령설비 시뮬레이션 주요기능

통합시뮬레이터의 사령설비 시뮬레이션 기능은 차량의 스케줄을 관리하고, 연동제어, CBTC 제어를 자동으로 수행한다.

#### (1) 연동 및 점유 표시

연동정보의 신호기 현시, 선로전환기 상태, 블록 쉐정 상태를 표시하고, 블록 점유상태를 표시한다.

#### (2) 차량 단위 운행패턴 설정

차량을 생성하거나 삭제할 수 있으며, 생성한 차량에 대하여 운행시작역, 운행종료, 역, 회차횟수 등의 정보를 등록하는 기능이다.

#### (3) 수동제어(블록/차량제어/행선지정보제어)

운영자의 취급에 의해 제어되는 기능이다. 블록제어는 차단, Skip/Stop, 임시제한속도, 정차시간을 설정/해제 제어하는 기능이다.

#### (4) 자동제어(진로제어/행선지정보제어)

자동제어는 시스템에서 운행상황에 따라 자동으로 제어를 취급하는 기능이다. 자동진로제어는 등록된 차량의 운행패턴과 차량의 위치에 따라 진로를 자동으로 취급하는 기능이다.



Fig. 2 사령설비 시뮬레이션 화면

### 2.3.2 EIE 시뮬레이션 주요기능

전자연동장치의 로직처리, 각 신호장치와의 인터페이스를 처리하는 기능을 수행한다.

#### (1) 연동정보 조작

신호기 현시상태, 분기기 개통방향, 블록 쇄정 상태를 운영자의 수동취급에 따라 연동논리와 관계없이 정보를 반영하여 각 신호장치로 전송하는 기능이다.

#### (2) 진로설정 기능

사용자가 수동으로 진로를 취급하거나, 자동모듈에서 자동진로제어 취급 시 진로설정 정보를 처리하고, 결과를 전송하는 기능이다.

#### (3) 열차 이동에 따른 진로해제기능

열차의 점유를 추적하여, 이동에 따라 블록의 쇄정을 구분 해제하는 기능이다.

#### (4) WATC 인터페이스(송수신 데이터 관리)

WATC장치와의 인터페이스를 처리하는 기능으로, WATC장치로부터 수신되는 블록점유 정보를 로직에 반영하고, 연동로직 결과를 WATC장치로 전송한다.



Fig. 3 EIE 시뮬레이션 화면

### 2.3.3 WATC 시뮬레이션 주요기능

#### (1) PMA(Permissive Movement Authority) 생성

차량의 위치정보와 차량의 운행패턴을 기준으로 차량의 PMA를 생성하여, 차상ATP/ATO와 사령설비로 정보를 전송한다.

#### (2) 관할구역 정보 관리

WATC가 관리하는 구역에 따라 관할 구간의 정보를 관리하는 기능이다.

#### (3) 이더넷 인터페이스

사령설비, EIE, 차상ATP/ATO와의 인터페이스를 처리하는 기능이다.

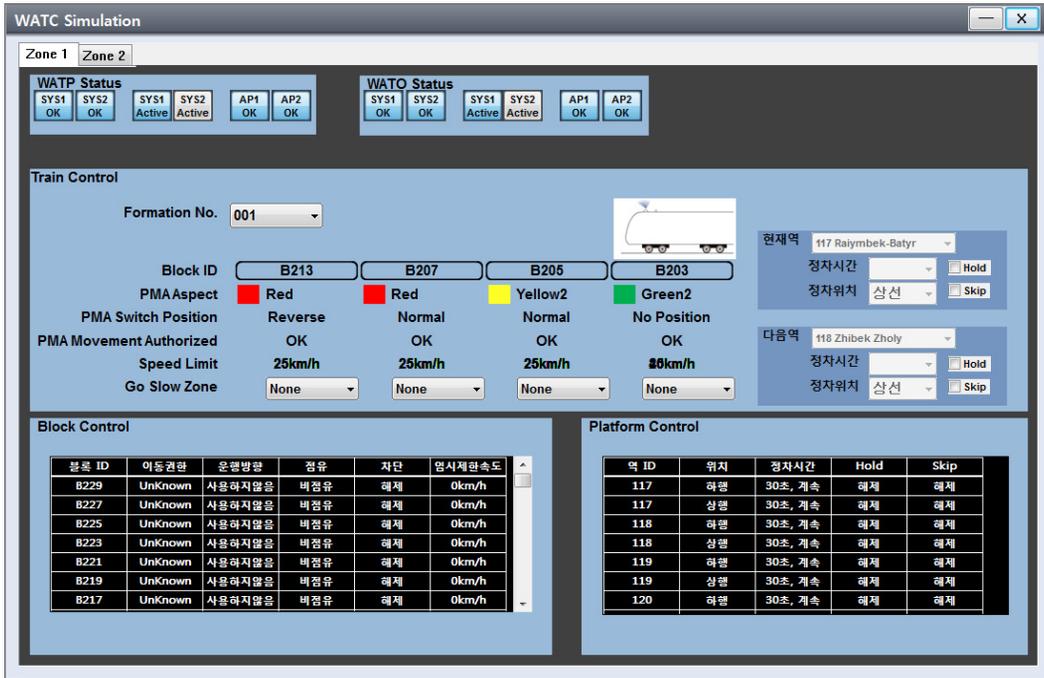


Fig. 4 WATC 시뮬레이션 화면

### 2.3.4 차상 ATP/ATO 시뮬레이션 주요기능

#### (1) 차량등록 및 관리

차량을 1대 또는 다 편성을 등록 생성하고, 각 편성에 따른 주행을 처리한다.

#### (2) 차량정보 조작

등록된 차량의 운전모드, 운행속도 및 주행정보, 차량의 고장정보 등을 운영자가 설정하는 기능이다.

#### (3) 차량 인터페이스(송수신 데이터 처리)

주행정보를 수집하여 WATC와의 인터페이스를 처리하는 기능이다. 이더넷 인터페이스를 사용하여 WATC로 차량 주행정보를 전송하고, WATC로부터 PMA 및 행선지 정보를 수신 받아 주요 모듈에 전송한다.

#### (4) 차량 주행 시뮬레이션

차량의 등록된 운행 패턴과 PMA의 정보에 따라 차량을 주기적으로 주행시키는 기능이다. 차량은 등록된 편성에 따라 각각 처리하여 여러 편성을 동시에 주행시킬 수 있다.

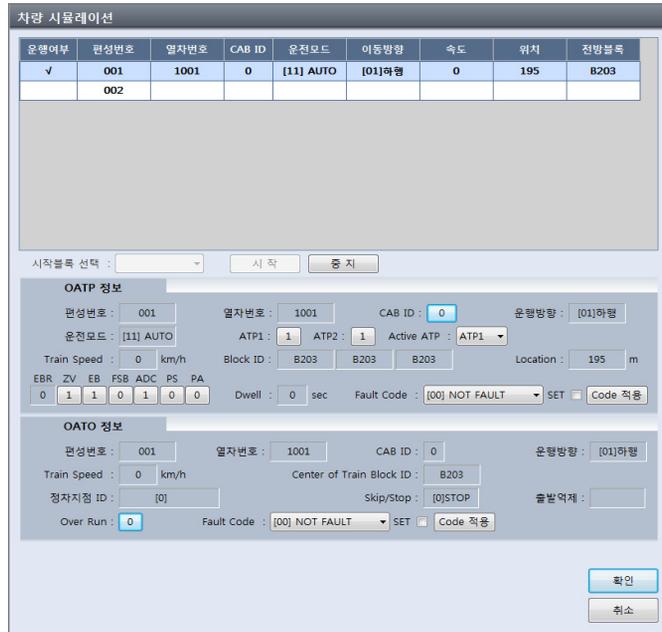


Fig. 5 차량 시뮬레이션 화면

### 2.3.5 송수신 데이터 모니터링 및 송신데이터 제어

#### (1) 송수신 데이터 모니터링

인터페이스상에서 송신하는 제어정보와 수신되는 상태정보에 대하여 헥사코드 형태와 패킷의 변수형태로 실시간으로 표시한다.

#### (2) 송신데이터 제어

정상 데이터 취급 및 비정상 제어 취급을 위하여 송신정보를 수동으로 운영자가 설정할 수 있는 기능이다.

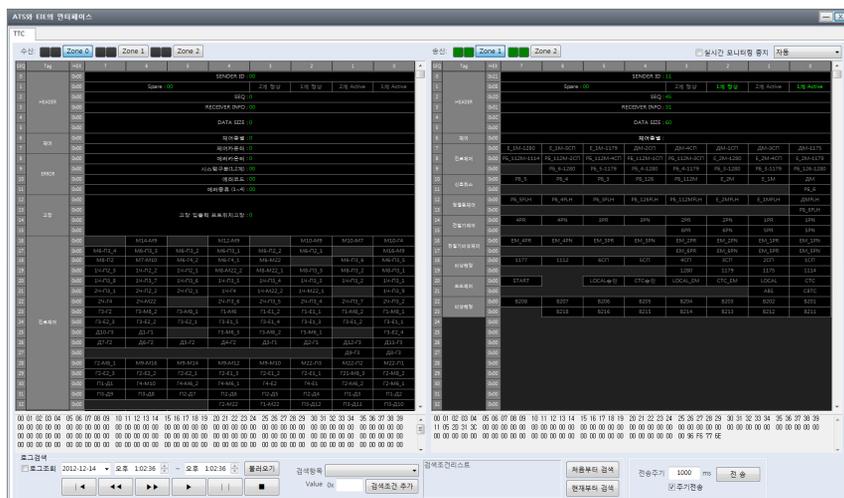


Fig. 6 데이터 모니터링 및 제어화면

## 2.4 통합시뮬레이터를 이용한 종합시험 환경구축

통합시뮬레이터를 이용한 종합시험 환경은 차상신호장치 시험환경과 지상신호장치의 시험시험경의 두 종류의 형태로 구성하였다. 차상신호장치 시험환경은 차상ATP/ATO장치, 차량의 속도정보, TAG정보, 이산 입/출력 정보를 생성하는 고정식 시험기와 통합시뮬레이터를 연결하여 구성하였고, 지상신호장치 기능시험은 2개의 영역을 제어하는 WATC 본 품과 통합시뮬레이터를 연결하여 구성하였다. 통합시뮬레이터를 이용한 시험환경은 통합시뮬레이터가 각 구성품의 본 품과 동일한 기능을 수행하므로 Table 1에 나타난 공장시험의 구성품과 비교하여 볼 때 비해 최소한의 구성으로 종합시험이 가능하다.

본 논문에서는 RF-CBTC 신호시스템의 공장시험 항목 중 종합기능을 확인할 수 있는 차/지상 연계동작 시험을 공장시험 환경과 통합시뮬레이터 환경에서 각각 실시하여 결과를 비교하였다.



Fig. 7 차상신호장치 시험환경

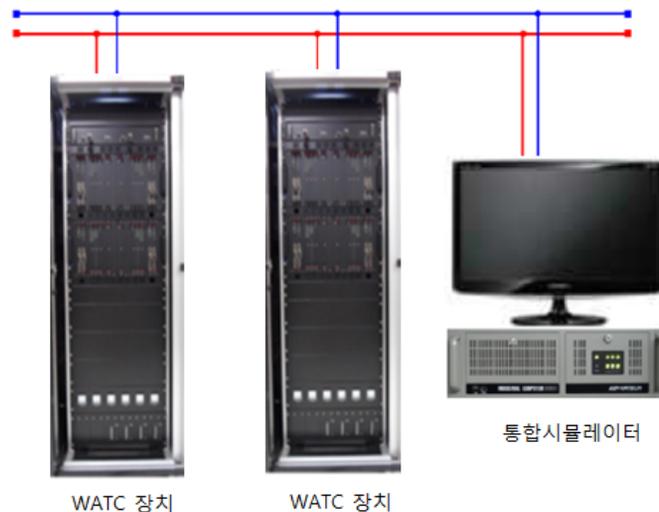


Fig. 8 지상신호장치 시험환경

**Table 3 종합기능확인 시험 결과**

시험항목	공장시험 환경	차상신호장치 시험환경	지상신호장치 시험환경																				
분기기 전환 제어시험	기능확인 완료	기능확인 완료	기능확인 완료																				
진로설정 및 해제 제어시험	기능확인 완료	기능확인 완료	기능확인 완료																				
플랫폼 정차시간 설정시험	기능확인 완료	기능확인 완료	기능확인 완료																				
플랫폼 Skip/Stop 설정시험	기능확인 완료	기능확인 완료	기능확인 완료																				
블록 차단 설정시험	기능확인 완료	기능확인 완료	기능확인 완료																				
블록 임속속도 설정시험	기능확인 완료	기능확인 완료	기능확인 완료																				
열차 출발역제 설정시험	기능확인 완료	기능확인 완료	기능확인 완료 </tr <tr> <td>열차 비상제동 설정시험</td> <td>기능확인 완료</td> <td>기능확인 완료</td> <td>기능확인 완료</td> </tr> <tr> <td>다 편성 제어 시험</td> <td>기능확인 완료</td> <td>기능확인 완료</td> <td>기능확인 완료</td> </tr> <tr> <td>선행열차의 위치에 따른 후속열차 간격 제어시험</td> <td>기능확인 완료</td> <td>기능확인 완료</td> <td>기능확인 완료</td> </tr> <tr> <td>핸드오버(제어영역) 확인시험</td> <td>기능확인 완료</td> <td>기능확인 완료</td> <td>기능확인 완료</td> </tr> <tr> <td>스케줄에 의한 열차 운행시험</td> <td>기능확인 완료</td> <td>기능확인 완료</td> <td>기능확인 완료</td> </tr>	열차 비상제동 설정시험	기능확인 완료	기능확인 완료	기능확인 완료	다 편성 제어 시험	기능확인 완료	기능확인 완료	기능확인 완료	선행열차의 위치에 따른 후속열차 간격 제어시험	기능확인 완료	기능확인 완료	기능확인 완료	핸드오버(제어영역) 확인시험	기능확인 완료	기능확인 완료	기능확인 완료	스케줄에 의한 열차 운행시험	기능확인 완료	기능확인 완료	기능확인 완료
열차 비상제동 설정시험	기능확인 완료	기능확인 완료	기능확인 완료																				
다 편성 제어 시험	기능확인 완료	기능확인 완료	기능확인 완료																				
선행열차의 위치에 따른 후속열차 간격 제어시험	기능확인 완료	기능확인 완료	기능확인 완료																				
핸드오버(제어영역) 확인시험	기능확인 완료	기능확인 완료	기능확인 완료																				
스케줄에 의한 열차 운행시험	기능확인 완료	기능확인 완료	기능확인 완료																				



a. 진로설정(공장시험 환경)

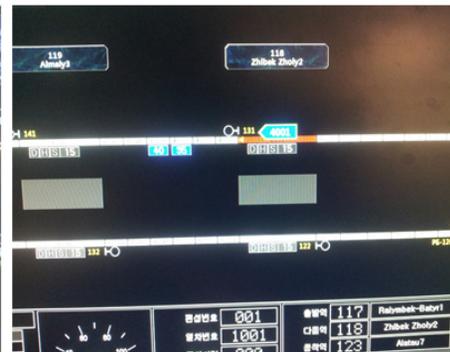


b. 진로설정(통합시뮬레이터 환경)

**Fig. 9 진로설정 확인**



a. 임속설정(공장시험 환경)



b. 임속설정(통합시뮬레이터 환경)

**Fig. 10 임속(임시제한속도) 설정 확인**



a. 블록차단설정(공장시험 환경)

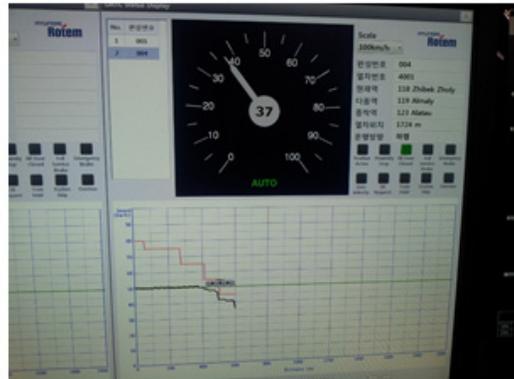


b. 블록차단설정(통합시뮬레이터 환경)

Fig. 11 블록차단설정 확인

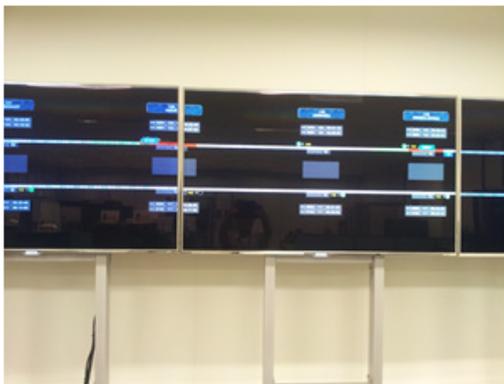


a. 자동운전시험(공장시험 환경)



b. 자동운전시험(통합시뮬레이터 환경)

Fig. 12 스케줄에 따른 자동운전 확인



a. 다 편성운행 시험(공장시험)



b. 다 편성운행 시험(통합시뮬레이터 환경)

Fig. 13 다 편성 제어 및 기능 확인



a. 열차 간격제어 시험(사령시뮬레이션)      b. 열차 간격제어 시험(차량시뮬레이션)

**Fig. 14 열차 간격제어 확인**

### 3. 결 론

통합시뮬레이터를 이용한 종합시험은 실제 공장시험 환경에서 실시한 차/지상 연계동작 시험을 동일하게 실시하여 각 항목에 대한 기능을 확인하였다. 기존의 구성품의 본 품의 조합으로 구성된 공장시험환경에서 확인할 수 밖에 없었던 차/지상연계시험을 적은 비용으로 짧은 기간에 시험환경을 구축하여 기능확인이 가능하였다. 또한 통합시뮬레이터는 시스템의 고장조건과 예외상황을 사용자가 다양하게 생성하여 시스템의 고장 및 오류 검지기능을 보다 더 용이하고 효과적으로 확인할 수 있었다.

통합시뮬레이터를 사용하여 RF-CBTC의 구성품 개발 시 구성품의 단위기능시험과 더불어 종합기능시험까지 가능하므로 공장시험이나 현장시험을 통해서만 발견될 수 있는 오류를 사전에 검출하여 해결할 수 있으므로 공장시험이나 현장시험의 기간을 단축할 수 있으며, 시스템의 고장조건과 예외상황을 생성할 수 있어 영업운영 중 발생된 오류에 대해서 상황재현을 통해 신속하고 정확하게 원인을 분석하여 문제점을 해결할 수 있다.