

## 철도신호장치를 위한 지상신호 Emulator의 개발

이을재\*, 양이우\*\*, 김영석\*\*, 변종영\*\*\*  
이경산전(주)\*, 인하대학교 전기공학과\*\*, (주)한진중공업\*\*\*

### Development of a Wayside Signaling Emulator in Railway Signaling Systems

Eul-Jae Lee\*, Yi-Woo Yang\*\*, Young-Seok Kim\*\*, Jong-Young Byun\*\*\*  
E-Kyoung Systems Co.,Ltd\*, Inha University\*\*, Hanjin Heavy Industries Co.,Ltd\*\*\*

**Abstract** - In this paper, a wayside signaling emulator systems developed for testing to carbone ATC/ATO/TWC systems adopted in SMRT(Seoul Metropolitan Rapid Transit Cooperation) line 7, 8 is presented. Informations that are required to train movement with driverless, such as stations status, destination station, restriction speed and train modes are provided through the wayside signaling emulator. The developed emulator systems can be constructed to 1.5km testing tracks and the end points of track are emulated to the arbitrary stations in SMRT line 7, 8.

## 1. 서 론

대도시의 주요한 운송수단으로 전기철도 차량에 관한 기대가 한층 더 관심을 집중시키고 있다. 이미 자동차의 수요가 도로의 수용여건을 크게 초과하여 도심에서는 물론 교외에서도 차량의 정체로 인한 경제적인 손실이 심각한 상황에 이르고 있다. 이에 따라 수도권 뿐만 아니라 인구밀도가 높은 지방의 대도시에도 신규 전기철도차량의 도입이 적극 검토되고 있으며 시스템운영의 극대화를 위한 여러 가지 방식 즉, 노선간의 연계, 경량전철의 도입, 고속철도와 자기부상열차의 실용화에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

한편 전동차량에 관련된 전장품들에 대한 국내여건을 살펴보면 국내에 전동차량이 적용된지 20여년이 지났으나 주요전장품에 대한 국외 의존도는 여전히 높아서 아직까지 핵심 전장품은 대부분 수입에 의존하고 있는 실정이다. 특히 신호관련 분야는 공급측에서 기술보안을 이유로 자료의 제공이 이루어지지 않아 국내에 공개되어 있는 기술내용이 극히 저조하며 대학과 몇몇 관심을 가지고 있는 기업들 통해 실험적인 제품들이 발표되고 있으나 사용자측의 미온적인 태도로 인하여 실용화에 어려움을 겪고 있는 형편이다.

전동차의 운행에 관련된 신호분야는 크게 차상 시스템과 지상 시스템으로 분류할 수 있다. 차상 시스템은 열차의 과속으로 인한 사고를 미연에 방지하기 위한 ATC (Automatic Train Control) 장치 혹은 ATP (Automatic Train Protection) 장치와 역간의 자동운행을 위한 ATO (Automatic Train Operation) 장치 및 차량과 지상간의 양방향 통신을 담당하는 TWC (Train to Wayside Communication) 장치등으로 구성된다. 지상 시스템은 열차의 능률적인 제어를 목적으로 하는 CTC (Central Train Control) 장치, 선로상의 열차위치 추적을 위한 AF (Audio frequency) 레도 신호장치, 열차의 속도제한을 위한 ATC 속도신호 발생장치, 열차의 ATO 운전을 위한 정보교환에 사용되는 TWC 장치 및 신호기나 전철기등의 자동조작을 위한 자동연동장치등으로 이루어진다.

본 논문에서는 서울시 지하철 7, 8호선에 적용된 차상 ATC 장치, ATO 장치 및 TWC 장치와 연계되어 열차운행에 필요한 지상정보를

제공하고 무인운전 및 자동회차의 기능을 수행하기 위한 지상 신호 Emulator의 개발에 대하여 설명하도록 하였다. 지하철 7, 8호선의 신호설비 사양은 US&S사의 지상/차상 신호 시스템에 준하여 구성되어 있으며 개발된 지상신호 Emulator 장치 역시 US&S사의 신호 시스템을 참조로 하여 운용된다. 신호설비는 약 1.5km의 시험선로에 구축될 수 있도록 설계하였으며 시험선로의 양 끝은 현재 운영중인 7, 8호선의 임의의 연속된 역의 상태를 모사하도록 구성하였다.

## 2. 개발된 ATC/ATO/TWC 지상신호 Emulator

### 2.1 ATC 속도 신호 Emulator

그림 1은 열차의 속도제한을 위해 사용되는 일반적인 지상 속도신호 발생장치를 개략적으로 나타낸 것이다. 지하철 7, 8호선에 적용된 ATC 속도 코드는 2개의 반송파 신호(4550Hz, 5625Hz)와 17개의 제어 신호(2.0Hz~27.5Hz)로 이루어져 있으며 2개의 출입문 제어신호와 2개의 운전실 제어신호가 포함된다. 시스템의 구성은 그림에 나타난 바와 같이 각각의 반송파 발생기와 속도 Code 발생기를 균형태로 사용하고 있다. 각각의 코드 신호 발생기의 출력은 Relay의 접점을 경유하여 Multiplex되며 1개 이상의 반송파 신호와 곱해져서 진폭변조된다. 변조된 신호는 다시 열차 검지를 위한 AF(Audio frequency) 레도회로의 신호와 합성되며 출력 임피던스 정합부를 거쳐 Rail에 출력되게 된다.

그림 2는 개발된 ATC 속도신호 발생기의 구성을 나타낸 것이다. 기존의 방식에서와는 달리 각각의 속도 코드와 반송파 신호 발생을 위한 별도의 Hardware가 존재하지 않으며 Software에 의해 변조된 출력신호가 발생된다. 이에 따라 시스템의 구조가 기존의 구성보다 극히 단순하며 신호의 변경 및 추가가 자유로운 장점을 갖는다. 신호발생을 위한 방식은 다음과 같다. ATC 속도신호 발생기는 Sine wave 형태의 출력이 요구되므로 먼저 반송파 주파수가 결정되면  $\mu$ -controller는 Sine table로부터 Data를 가져와 출력 Sampling 주파수를 고려한 연산에 의하여 Decimation 혹은 Interpolation을 수행한다. 연산된 결과는 Data-bus를 통해 Auto-reloaded counter와 Latch로 이루어진 Digital signal synthesizer의 Data memory에 저장된다. Digital signal synthesizer는 주기성을 갖는 임의의 신호를 출력할 수 있도록 설계되었으며 14Bit의 분해능을 갖고 있다. 공급주파수는 4MHz이며 약 500kHz에서 122Hz까지의 사용자가 원하는 임의의 주기파형을 발생시킬 수 있다. 출력된 신호는  $\mu$ -controller의 제어에 의하여 저주파 신호로 On/Off되며 D/A Converter와 저역통과 필터를 거쳐 Analog 증폭기에 출력된다.

개발된 속도신호 발생방식은 Hardware에 의존하여 출력을 발생시키지 않으므로 반송파 주파수와 속도 신호 주파수를 Software에 의해 쉽게 변경이 가능한 장점이 있으며 Analog회로에서 일어날 수 있는 경년변화에 따른 신호의 변화가 발생하지 않는 특징이 있다.

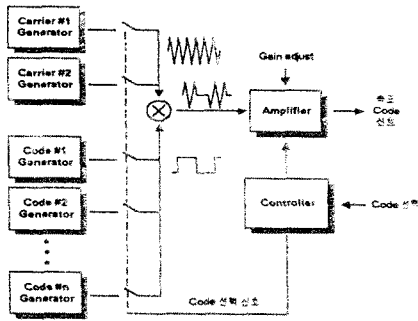


그림 1 기존의 ATC 속도신호 발생장치  
Fig. 1 General ATC code signal generator

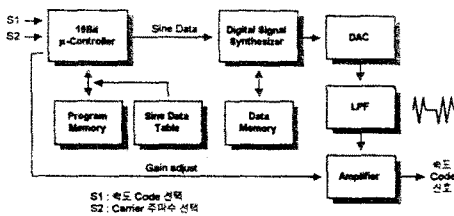


그림 2 개발된 ATC 속도신호 발생장치  
Fig. 2 Developed ATC code signal generator

표 1 서술시 지하철 7,8호선에 적용된 ATC 속도신호 사양  
Table 1 Specifications of ATC code signals adopted in SMRT line 7,8

Carrier Freq.(Hz)	Code Freq.(Hz)	지령/속도제한	변조 방식
4550	2.0	Key down	AM
4550	3.0	정지	AM
4550	4.5	25 Km/h	AM
4550	6.83	35 Km/h	AM
4550	10.1	45 Km/h	AM
4550	15.3	55 Km/h	AM
4550	21.5	60 Km/h	AM
4550	27.5	편쪽출입은 열침	AM
5525	2.0	Key up	AM
5525	3.0	25 Km/h (Yard)	AM
5525	4.5	65 Km/h	AM
5525	6.83	70 Km/h	AM
5525	10.1	75 Km/h	AM
5525	15.3	80 Km/h	AM
5525	21.5	90 Km/h	AM
5525	27.5	오른쪽출입은 열침	AM
과속 검출		실제속도가 제한속도를 2km/h 초과시	
체류확인 지연시간			3초

## 2.2 ATO 정위치 정착용 PSM

PSM은 ATO장치에 선로상의 특정위치에 열차가 있음을 알리기 위해 사용된다. Active type의 PSM과 Passive type의 PSM이 사용되고 있으며 지하철 7, 8호선에는 Passive type의 PSM이 사용되고 있다. ATO 장치에 PSM을 검출하는 동작원리는 PSM이 외부 에너지를 받아 자기동조에 의해 공진이 발생하면 2차측(차상 TRA 안테나)에서 이를 검출하는 방법을 사용한다. 각 PSM의 Q(Quality factor)값은 350이상 700이하이다. ATO는 다음과 같은 지점에서 PSM에 의해 내부 거리 계산이 수행되도록 제어된다.

- 정밀정지가 수행되는 역의 플랫폼
- 열차의 회차위치
- 기지에서 본선으로 진입할 때
- 양방향 선로에서 선행한 PSM을 무시하는 PSM을 검지할 때

표 2 ATO 운영을 위한 PSM 지상자  
Table 2 PSMs for ATO drive operation

구분	주파수	설치 위치	용도
F1 (PSM1)	110 kHz	546.0 M	정위치 정착
F2 (PSM2)	100 kHz	108.5 M	정위치 정착
F3 (PSM3)	92 kHz	21.0 M	정위치 정착
F4 (PSM4)	170 kHz	3.5 M	정위치 정착
F5 (PSM5)	120 kHz	0.5 M	선행 PSM 무시
F6 (PSM6)	130 kHz	21.0 M	열차 회차

## 2.3 지상-차상간 통신 시스템(TWC System)

지상장치와 차상장치간의 통신은 TWC 장치를 통해서 가능하다. 통신방식은 FSK (Frequency Shift Keying) 방식에 의한 무선 Data 통신방식이며 열차가 역에 정지하여 지상 TWC Loop 안테나 위에 차상 TWC 안테나가 위치한 경우에만 정보전달이 이루어진다. 표 3은 TWC 장치의 통신사양이다.

표 3 TWC 장치의 통신사양  
Table 3 Communication specifications for TWC system

변조 방식	주파수 편이변조(FSK:Frequency Shift Keying) 방식	
통신 방식	반이중, 비동기 통신	
TX Modulation (열차 → 지상)	Mark(1)	56 kHz
	Space(0)	64 kHz
RX Modulation (지상 → 열차)	Mark(1)	32 kHz
	Space(0)	40 kHz
Baud rates	4800 bps	
Data bits	8 bits	
Stop bits	1 bit	
Parity	없음	
Cycle time	250 ms	

TWC의 구성은 그림 3에서 나타난 바와 같이 송신부와 수신부로 구분된다. 송신부는 Digital 신호를 FSK 신호로 변환하기 위한 Modulator, 발생한 파형의 왜곡을 향상시키기 위한 파형정형기 및 출력 Amp로 구성되어 있다. 수신부는 입력신호의 증폭을 위한 Amp, 허용된 두 종류의 주파수에 대해서만 임피던스가 낮아지는 직렬 Tuned filter 및 검출된 FSK 신호를 Digital 신호로 변환하기 위한 Demodulator로 구성된다. 실제 열차가 운행중인 선로에는 TWC 신호 이외에도 여러 가지 잡음성 신호, 즉 주전원 장치와 보조전원 장치로부터 발생하는 Switching noise, ATC 속도신호, 열차검지신호 및 60Hz 전원 주파수등이 혼재되어 있다. 따라서 정확히 TWC 신호만을 검출하기 위해서는 차단 대역이 예리한 대역통과 여파기의 설계가 매우 중요하다. 본 장치에서는 OP-Amp로 이루어진 T형 필터를 2단 직렬 연결하여 Tuned filter를 구성하였다.

지상 TWC와 차상 TWC간의 통신중에 발생하는 에러를 검출하기 위해 CRC 검사가 사용된다. 데이터 전송중 송신측은 각 데이터 블록의 CRC를 계산하여 각 블록이 송신된 뒤 CRC도 함께 송신된다. 수신측에서는 입력된 데이터를 약속된 다항식으로 나누며 데이터 블록이 에러없이 수신되면 수신측의 CRC 값은 송신측이 전송한 CRC 값과 일치하게 된다. 일반적으로 다음의 다항식이 널리 사용되며 개발된 장치에서는 CRC-16 다항식을 사용하여 Software 연산에 의한 CRC를 발생시키고 있다.

$$(1) X^{16} + X^{12} + X^5 + 1 \quad : \text{CCITT 다항식}$$

$$(2) X^{16} + X^{12} + X^2 + 1$$

: CRC-16 다항식

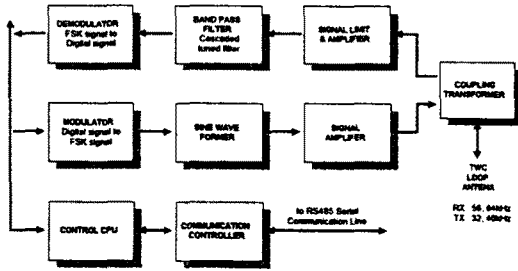


그림 3 개발된 지상 TWC 장치  
Fig. 3 Developed wayside TWC system

표 4 차상 TWC에서 지상 TWC로의 Data format  
Table 4 Data format from carbone TWC to wayside TWC

항목	Byte 번호	BR 수	BR Mask	
전송 Header (0xF0)	0	8	없음	
전송 구분 (0x07)	1	8	없음	
차량 번호	2-3	16	없음	
편성 번호	4-5	16	없음	
열차 상태	추진하고자	6	1	0000001B
	연장결전	6	1	0000010B
	승객초과	6	1	00000100B
	1분이상 정차	6	1	0001000B
	후진	6	1	0010000B
	무전기고장	6	1	00100000B
	제동 경고장	6	1	01000000B
	ATC 고장	6	1	10000000B
열차 길이	7-8	8	없음	
무인운전 요구	9	1	0001000B	
전주차 제어	9	1	0000100B	
열차 정지	9	1	0000010B	
모든 출입문 닫힘	10	1	1000000B	
ATCA/TO Mode	비상	10	1	01000000B
	기지	10	1	00100000B
	우물	10	1	00100000B
	자물	10	1	0001000B
	무인운전	10	1	0000100B
CRC data	11-12	16	없음	
전송 Terminator (0xF6)	13	8	없음	

### 2.4 중앙처리장치용 운용 Software

각각의 지상신호장치들은 RS485 직렬통신 선로에 연결되어 중앙처리장치의 통제를 받는다. 중앙처리장치는 Windows95 환경의 PC586이며 각각의 신호장치들로부터 제공된 실시간 정보를 바탕으로 열차물 무인으로 운전시키기 위한 제어신호를 만들어 낸다. 운용 소프트웨어에서는 시험선로상의 각 Sector별로 제한 속도신호를 설정할 수 있으며 지상 TWC 장치가 차상 TWC 장치와 통신한 정보를 전달받아 무인운전을 위한 순차적인 지령을 각 장치에 전송한다. 운용 소프트웨어의 기능은 다음과 같다.

- 정차중 TRA 장치의 시험(각 PSM의 검지시험)
- 각 Sector별 ATC 속도신호의 설정 및 변경
- TWC 통신장치를 통한 열차의 운전설정 변경
- 무인운전을 위한 제어 시퀀스 발생
- 자동회차를 위한 제어 시퀀스 발생
- 역간 운행을 위한 지상 신호 제어

표 5 지상 TWC에서 차상 TWC로의 Data format  
Table 5 Data format from wayside TWC to carbone TWC

항목	Byte 번호	BR 수	BR Mask
전송 Header (0xF2)	0	8	없음
전송 구분 (0x07)	1	8	없음
차량 번호	2-3	16	없음
다음역	4	8	없음
다음역 TWC 번호	5	8	없음
현재역	6	8	없음
현재역 TWC 번호	7	8	없음
종착역	8	8	없음
제한속도	9	8	없음
다음역 출입문 방향	10	1	1000000B
운전제어	10	1	0100000B
운전자 인식 요구	10	1	0010000B
출입문 닫힘 경고	10	1	0001000B
CRC data	11-12	16	없음
전송 Terminator (0xF6)	13	8	없음

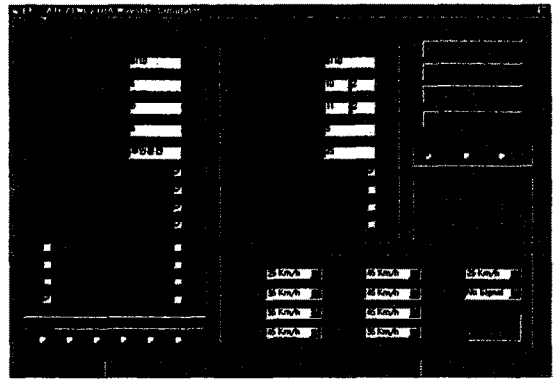


그림 4 중앙처리 장치용 운용 소프트웨어  
Fig. 4 Operating software for central processing units

## 3. 운영실험 및 결과

개발된 지상 Emulator 장치의 동작확인을 위해 지하철 8호선 운용 기지인 모란기지에 시스템을 구축하고 열차를 운행하면서 시험을 실시하였다. 시험의 종류는 정차중 신호 송수신, 무인운전 출발, 지상속도 신호에 의한 자동운전 및 PSM에 의한 정위치 정차로 나누어 실시하였다. 시험구간은 모란기지의 시험운행선로중 약 280m로 설정하였으며 이 구간은 실제 운행구간 복정-장지에 해당하는 거리이다.

### 3.1 정차중 신호 송수신

정차중 신호 송수신 시험은 (1)지상 ATC 속도 신호에 의한 열차의 제한속도 변화조사 (2)PSM 근접에 의한 차상 TRA 장치의 주파수 인식여부 (3)TWC 장치를 통한 지상-차상간의 정보 송수신 등을 실시하여 확인하였다.

### 3.2 무인운전 출발

열차를 무인운전으로 출발시키기 위해서는 열차의 운행설정 상태와 지상장치간의 설정이 일치해야 한다. 무인운전 모드로의 전환은 열차에 탑승한 승무원이 주간제어기의 상태를 Coast로 하고 역전기를 중립(Key off)으로 놓은 후 무인운전모드로 설정을 함으로써 시작된다. 차상 ATC장치는 운전실이 Key off되었으며 전주차제어가 아님을 TWC를 통해 지상에 전달하면 지상 ATC loop는 운전실 활성화를 위해

Key up 신호를 ATC에 송신한다. 일단 운전실이 활성화되면 차상 TWC는 전두차 제어중임을 지상 TWC에게 송신하고 차상 ATC장치는 지상의 ATC loop로부터 속도신호가 입력될 때까지 정차제동을 사용하여 열차를 정지시킨다. 지상의 ATC loop로부터 속도신호가 출력되면 열차는 무인으로 출발하며 제한속도 이하로 운행된다.

시험 내역	내용	결과
ATC 속도 신호 송신	17개 ATC Code에 의한 제한속도 설정	정상
PSM 검출 확인	정위치 정차를 6개 주피수의 수신어부 확인	정상
TWC에 의한 열차정보 송수신	1. 열차에서 지상으로 : 편성번호, 열차번호, 열차길이, 열차상태, 무인운전요청, 열차정지, 출입문 닫힘, 전두차 제어, ATC/ATO 모드 2. 지상에서 열차로 : 원재역 코드, 다중역 코드, 열차번호제어, 행선지, 다중역 출입문 방향, 문열림제어, 출입문 닫힘검고	정상

#### 4. 결론

본 논문에서는 서울시 지하철 7, 8호선용 차상 신호설비와 조합하여 열차의 운행에 필요한 각종 지상의 신호를 발생시켜주는 지상신호 Emulator의 개발에 대하여 설명하였다. 열차운행을 위한 지상 신호설비인 ATC 속도신호 발생기, 정위치 정차를 위한 PSM 장치, 열차와의 양방향 통신을 위한 TWC 장치에 관련된 동작원리 및 설계 사양에 대하여 기술하였으며 중앙제어 장치용 소프트웨어의 기능에 대해서 설명하였다. 지하철 기지의 시험선로에 개발된 시스템을 설치하여 성능을 평가하였으며 열차운행을 위한 신호가 이상없이 출력되었고 열차와의 양방향통신을 통해 무인운전으로 열차를 운행하였으며 유도 지상자에 의한 정위치 정차를 수행할 수 있었다. 개발되어진 지상신호 Emulator 장치는 신호발생 방식의 대부분을 소프트웨어로 처리하였다. 이에 따라 신호 사양이 다른 기존의 다른 선로방식에 대해서도 소프트웨어의 변경과 약간의 하드웨어 변경만으로 열차의 운행시험을 수행할 수 있는 특징이 있다.

연구에 협조해주신 모란가지 관계자 여러분께 감사드립니다

#### [참고 문헌]

- [ 1 ] 前川, 外, "JR東日本901系用ATC装置", 鐵道におけるサイバネティックス利用 國內シンポジウム 第29回, 322-325(1992)
- [ 2 ] 門馬, 外, "鐵道綜合シミュレータ New Jumps", 鐵道におけるサイバネティックス利用國內シンポジウム第30回, 216-220(1993)
- [ 3 ] 이윤재, 박선순, 김영석, "철도차량용 다중화된 ATC 장치", 전력전자학회 창립 기념 학술발표 논문집, 43-46(1996)

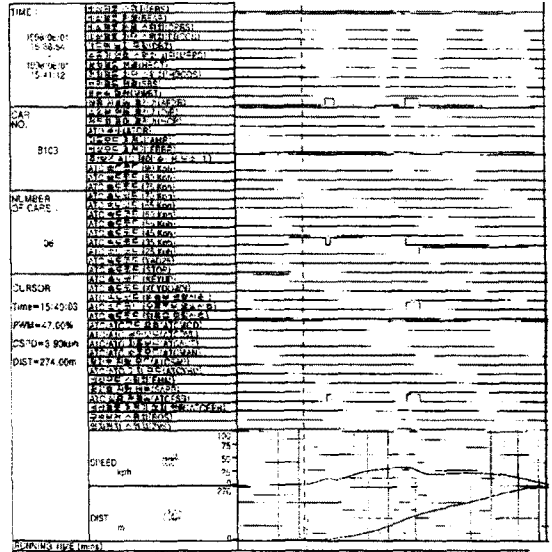


그림 5 무인운전에 의한 운행기록 데이터  
Fig. 5 Movement logging data of driverless control

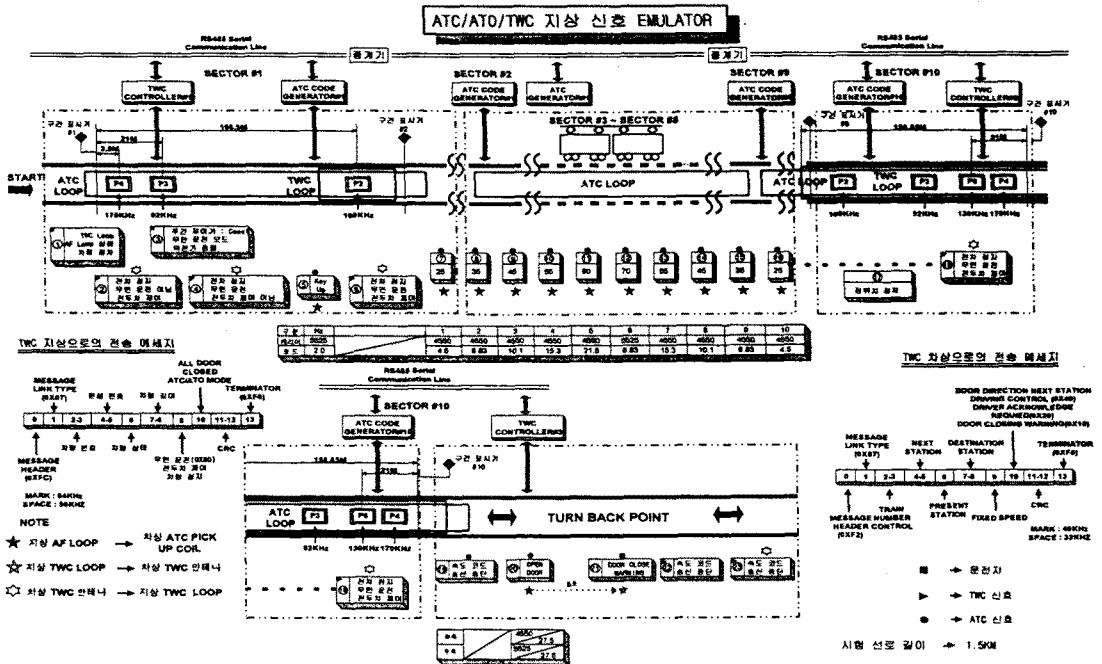


그림 6 개발된 ATC/ATO/TWC 지상신호 Emulator의 개념도  
Fig. 6 Schematic diagram of developed ATC/ATO/TWC wayside emulator