

LRT 신호시스템에서 성능검증을 위한 시험방법 분석

Testing method analysis for performance verification in Light Rail Transit signalling system

조봉관* 황현철** 이호용** 류상환**
B.K.Cho H.C.Hwang H.Y.Lee S.H.Ryu

This study analysed testing method for performance verification in the phase of signalling system development for application in the Light Rail Transit(LRT).

The main focus in this study therefore includes development of vehicle location detection system by first GPS and analysis of performance verification method by field testing.

The comprehensive testing method has been analysed for the signalling system for LRT high speed operation. The signalling system for LRT high speed operation deals with vehicle location identification through vehicle location information using the second GPS and decision for whether the high speed proceed signal and departure inhibition output is feasible or not and for signalling output to the corresponding vehicle.

1. 서론

일본에서 노면전차에 대한 검토가 수행되고 일부 사업자들은 LRT차량(LRV: Light Rail Vehicle)을 도입하고 있다. 그리고, GPS(Global Positioning System)을 활용, 주행 중에 LRV의 위치를 검출·추적하는 시스템을 개발한 뒤 선행 차량과의 간격을 충분히 확보한 차량에 '고속진행신호'를 출력하는 시스템을 개발하였다. 본 연구는 일본에서 개발중인 "LRT 고속운전용 신호시스템 개발" 현황과 LRT(Light Rail Transit)에 적용하기 위한 신호시스템 개발 단계에서 성능 검증을 위한 시험방법을 분석하였다. 주요 내용으로는 첫 번째 GPS에 의한 차량위치검지시스템을 개발하고 현장시험을 통한 성능확인방법을 분석하였다. 두 번째 GPS에 의한 차량위치정보를 사용하여 각 차량의 위치를 파악하고 고속진행신호나 출발정지의 출력 여부를 판정하고 해당 차량에 신호를 출력하는 LRT 고속운전용 신호시스템 개발품에 대한 종합시험방법에 대해 분석하였다. 본 연구는 경량전철 신호시스템 종합시험평가 과제를 수행에 참고하기 위해 분석하였다.

2. 개발시스템

2.1 개요

개발시스템 사업에서 주요 개발항목은 다음과 같다.

(1) GPS를 활용한 차량위치검출시스템

현재 널리 쓰이고 있는 GPS를 활용하여 자기차량의 위치를 검출하고 지상~차상간이 주고받은 무선통신정보를 지상기지국을 통해 센터처리장치로 전송하는 시스템을 개발한다.

(2) 고속운전용 신호시스템

GPS를 활용한 차량위치정보로 노선내의 전 차량 위치를 센터처리장치에서 파악한 뒤 선행차량과의 간격과 다음정류소까지의 거리가 충분히 확보된 차량에 고속진행신호를 출력하는 시스템을 개발한다.

* 한국철도기술연구원, 경량전철시스템연구단, 정희원

E-mail : bkcho@krrri.re.kr

TEL : (031)460-5439 FAX : (031)460-5749

** 한국철도기술연구원

(3) 시뮬레이터

고속진행신호의 효과를 확인할 수 있는 시뮬레이터를 개발한다.

2.2 시스템 구성

개발시스템은 다음의 3가지 장치로 구성된다.

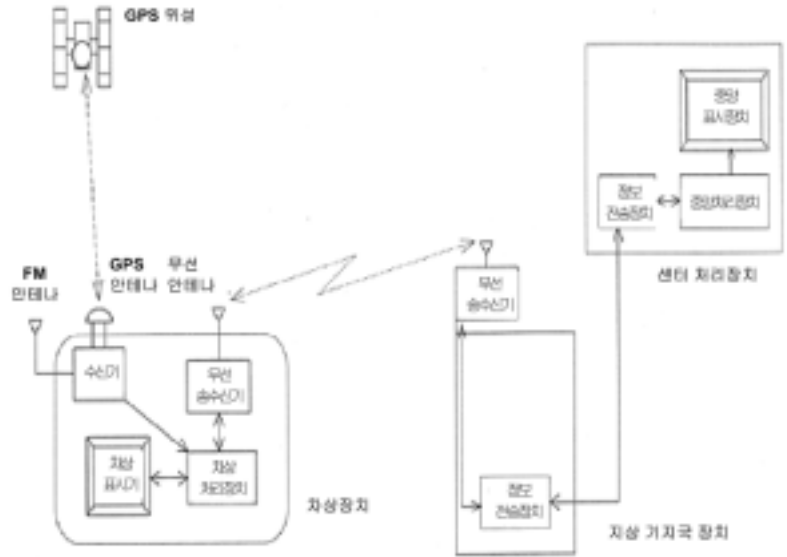


그림 1 시스템 구성

(1) 차상장치

차상장치는 각 신호를 처리하는 차상처리장치와 GPS데이터를 수신하는 GPS수신기, 지상기지국 장치와 무선통신을 행하는 무선송수신기로 구성되며 다음의 기능을 갖는다.

- GPS를 활용하여 자기 차량 위치를 검출하고 지상 기지국 장치로 무선 전송한다.
- FM다중방식을 채택한 DGPS(Different GPS)를 활용하여 위치검출정밀도를 향상시킨다.
- 고속진행신호와 출발억지신호의 유무, 고속주행가능거리를 표시한다.
- 위치정보와 주행가능거리를 비교하고 고속주행종료지점을 인식하면 고속진행신호표시를 중지한다.
- 자기 차량 위치검출시, 차량 입력을 상정한 모의차속신호도 사용할 수 있도록 한다.
- 자동차에 대한 모의경보 등, 모의출력을 설치한다.

(2) 지상 기지국장치

지상 기지국장치는 센터처리장치와 정보전송을 행하는 정보전송장치와 차상장치와 무선통신을 행하는 무선송수신기로 구성되며 다음의 기능을 갖는다.

- 차상장치 ~ 센터처리장치간의 정보전송을 행한다. 차상장치와 정보전송할 때는 무선을 사용하고 센터처리장치와 정보전송할 때는 유선을 사용한다.
- 외부(통신신호기와 자동차)와 입출력을 행한다. 단, 시작품에서는 모의적인 입출력 방식을 채택한다.

(3) 센터처리장치

센터처리장치는 각 신호를 처리하는 중앙처리장치와 차량위치 등을 표시하는 중앙표시장치, 지상기지국 장치와 정보전송을 행하는 정보전송장치로 구성되며, 다음의 기능을 갖는다.

- 지상기지국장치가 차량정보를 입력하면 노선 내 전 차량의 위치 및 상태를 파악, 표시한다.
- 고속진행신호의 출력여부를 판별, 지상기지국장치에 출력한다.
- 외부에서 출발억지신호를 입력하면 지상기지국 장치에 출력한다.

2.3 시험 계획

(1) 일반 검사

각 장치의 외관검사, 구조검사, 치수검사, 전기적 성능 및 환경시험을 실시한다.

(2) 차량위치검출기능 확인

GPS를 활용하여 차량위치검지의 정밀도를 확인한다.

(3) 정보전송기능 확인

차상~지상간의 정보 전송 시 사용하는 무선성능을 확인한다.

(4) 고속운전용 신호시스템 확인

본 시스템의 종합기능을 확인한다.

3. 시제품 시험

3.1 일반 검사

차상처리장치, GPS수신기, 무선송수신기, 정보전송장치 및 중앙처리장치에 관해서 실시한다.

- 기구검사 : 외관검사, 구조 및 치수검사, 배선검사, 절연저항 및 내전압시험
- 환경시험 : 내진동성, 내충격성, 방수성, 주위온도

3.2 성능시험

3.2.1 무선전송시험

본 시스템에서는 정류소에서의 지상~차상간 정보전송에 무선을 사용하고 있으며 무선수단에는 특정소전력무선기를 사용하고 있다. 이러한 특정소전력무선기는 주위상황에 따라 차이가 있긴 하지만 통신도달거리가 반경 수백m에 달하는 경우가 있다. 그런데도 정류소간 거리가 짧은 노면전차 선로구간에서는 전파가 인접정류소에 도달해버리는 것이 문제가 되고 있다. 따라서 특정소전력무선기의 통신도달거리를 줄이고 동시에 지향성을 갖게 하는 것이 가능한지의 여부를 확인하기 위해 무선전송시험을 수행하였다.

(1) 실험방법

- (가) 2대의 무선유니트를 사용하여 1대는 송신 상태, 다른 1대는 수신 상태에 놓고 비트에러의 발생상태를 관측한다.
- (나) 측정데이터는 자연계에서는 존재할 수 없는 비트열(511 bit)의 PN패턴을 사용한다.
- (다) 송신기는 금속제 케이스에 넣고 상면을 알루미늄으로 덮고 알루미늄 중앙에 직경 20mm정도의 구멍을 뚫고 케이스를 옆으로 향하게 한 후 기준지점에 설치한다.(그림 2)

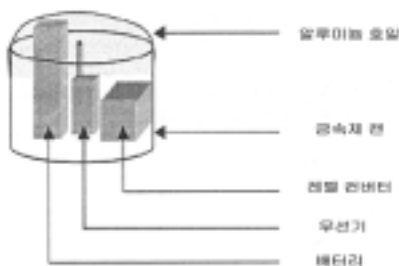


그림 2 송신측 구성

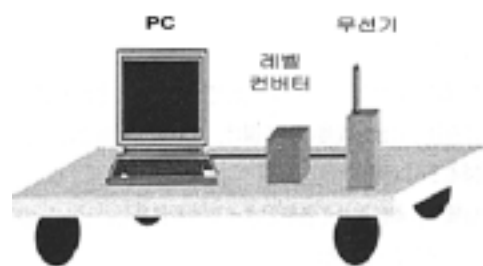


그림 3 수신측 구성

- (라) 수신기는 대차에 올린 후 각 측정포인트를 이동하며 비트에러의 발생상태를 관측한다.(그림 3)

(2) 실험결과

측정결과를 그림 4에 나타낸다. 수신가능지역은 송신기를 중심에 둔 반원모양이며 거리는 약 5m정도이다. 이 결과에 따르면 송신방향에 구멍을 뚫은 커버로 무선기를 덮어 통신도달거리를 줄일 수 있다. 또한, 180도 범위이기는 하나 지향성을 갖는다는 것도 확인했다. 이로 인해 특정소전력무선기를 본 시스

템의 지상~차상간 정보전송수단으로 사용할 수 있다는 전망을 얻게 됐다. 또한 커버에 뚫은 구멍의 지름과 수신가능지역의 연관성 등은 별도로 조사한다.

3.3 GPS 현차 시험

도쿄도 교통국 아라가와선에서 차상장치로 사용되는 GPS 수신기를 실제의 노면전차에 취부하여 수신감도와 위치검지 성능 등을 확인하고자 현차시험을 실시하였다.

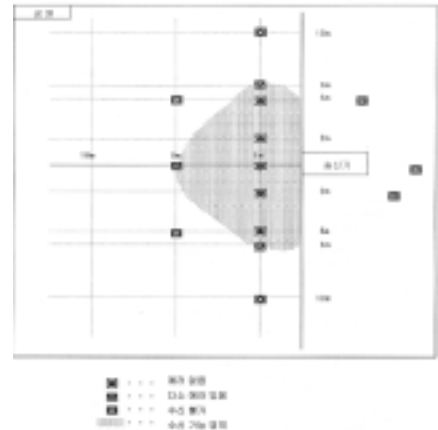


그림 4 측정결과(개발시스템 사례)

3.3.1 시험개요

- 시험일시 : 일주일 간격으로 2회 실시, 날씨: 맑음
- 시험장소 : 도쿄교통국 아라가와선 아라가와차고내 및 미노와 ~ 와세다(12.2Km)
- 시험차량 : 도덴(都電)8500형 5호차(3일 모두 동일차량)

3.3.2 시험방법

(1) 시험기기 구성

다음의 시험기기를 차량 전후에 설치한 후 2개소에서 측정한다.

시험기기명	수량
차상처리장치	2
GPS안테나	2
GPS유니트	2
FM안테나	2

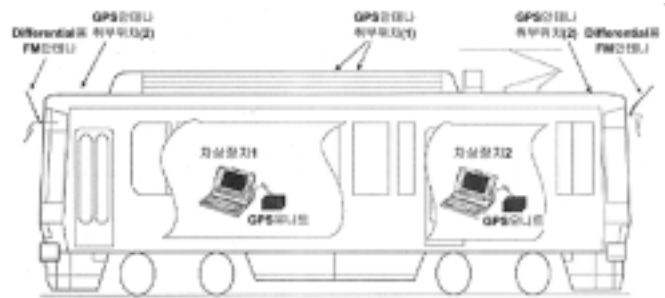


그림 5 시험장치 구성 및 안테나 취부 위치

(2) 접속방법

GPS안테나, FM안테나는 차량 외부에 취부한다.

(3) 측정방법

- (가) GPS를 활용한 위치데이터를 차상처리장치에 기록한다.
- (나) GPS데이터의 수신간격은 1초 주기로 한다.
- (다) FM을 이용하여 위치를 보정할 수 있을 때에는 보정한 데이터를 검지데이터로 삼는다.
- (라) 맵 매칭처리로 취득한 위치데이터에서 가장 가까운 노선 위를 차량 위치로 삼는다.
- (마) 정류소 도착 시 및 출발시를 키 입력하여 기록한다.

3.3.3 시험결과

(1) 안테나 취부위치 조사 시험

(가) GPS안테나

GPS안테나의 적정한 취부위치를 조사하기 위해 차량에 GPS안테나를 설치하고 위치검지상태를 조사하였으며 그 결과는 다음과 같다.

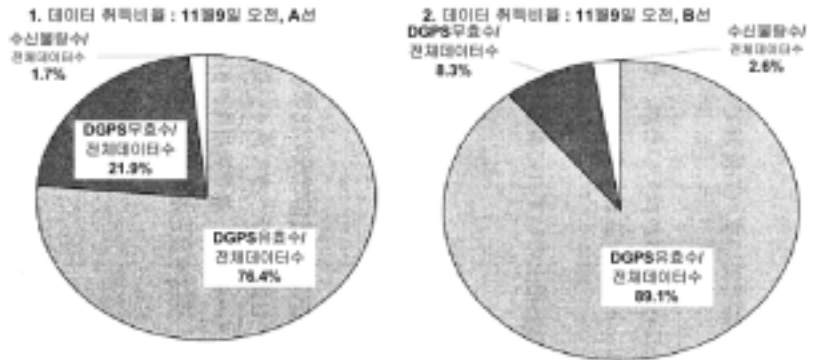
- 차량 내부 상면, 운전대 전면부, 운전대 창문유리부로는 유효한 위성수를 보충할 수 없기 때문에 위치검지는 불가능하였다.
- 차량 외부 지붕 위에서는 안테나가 위쪽을 향해 있으면 모든 위치에서 위치를 검지할 수 있었다.
- 차량 지붕 위에는 콜러유니트와 보조전원 유니트가 놓여져 있었지만 이들 유니트 위에 GPS안테나를 설치, 각 유니트를 동작시켰으나, 위치검지상황으로의 영향은 없었다. 따라서, GPS안테나는 차량 지붕 위 어느 곳이나 설치해도 문제가 없는 것을 알 수 있다.

(나) FM안테나

디퍼런셜 데이터수신용인 FM안테나(다이폴안테나)취부위치를 조사하기 위해 각 차량이 있는 곳에 FM안테나를 취부, FM다중방송 수신상태를 조사하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- 전반적으로 차고 내에서는 수신하기 어렵다.
- 차내 및 좌석 상부의 창문 밖, 차량 외부 백미러의 취부금구에 취부했으며 차내 및 차체부근에서는 수신할 수 없다.
- 차량 외부에서 안테나를 차체와 분리하면 수신 상태는 비교적 양호하다.

위 결과에 따라, 차 밖 백미러 금구 등 차량한계를 침해하지 않는, 가능한 한 차체에서 떨어진 곳에 취부하기로 했다.



(2) 주행시험

(가) GPS 수신 상황

전체 노선 12.2Km을 주행할 때의 GPS수신상황 비율을 나타낸다. 데이터는 11월9일과 16일 오전 중에 측정한 A/B선 주행데이터이며 오후에 측정한 주행 데이터도 이와 같은 경향을 보였다. 데이터에 따르면 약 12Km(약 98%)구간에서 GPS를 수신할 수 있었으며 수신이 불량한 곳은 약 200m(약 2%) 구간 뿐이었다.

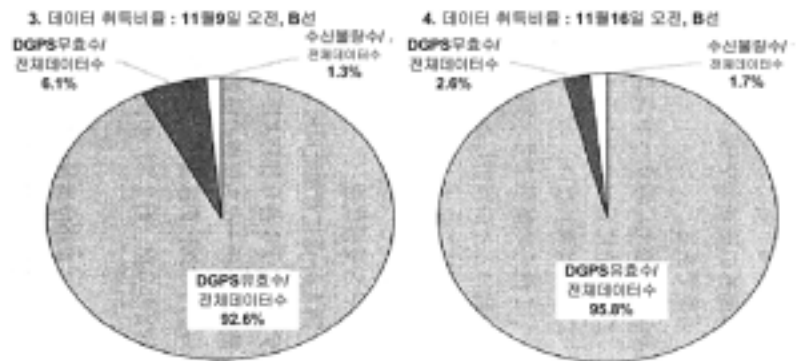


그림 6 GPS 수신 상황

(나) GPS 차량위치검지 데이터

GPS를 활용한 차량위치검지데이터를 측정한 결과, 디퍼런셜 처리 후의 GPS차량위치검지 데이터를 적색 점으로 나타내고 맵 매칭처리 후 선로 상에 보정된 데이터를 청색 점으로 나타낸다.

그림 7, 8의 데이터는 안테나케이블의 접속불량으로 FM케이블이 끊어져 우연히 측정된 데이터이며, 디퍼런셜 보정을 한 경우(그림 7)와 하지 않은 경우(그림 8)의 차량위치검지 데이터를 나타낸다. 그 결과, 디퍼런셜을 활용한 보정이 매우 유효하다는 것을 확인할 수 있었다. 그러나, 위에서 나타낸 것처럼 FM수신불량이 되면 디퍼런셜 데이터가 이상해지고 검지오차가 커지게 된다.



그림 7 디퍼런셜이 있는 경우



그림 8 디퍼런셜이 없는 경우

GPS수신기는 검지위치가 급격히 변화할 때 변화량을 줄일 수 있는 스무즈잉처리 등의 고유처리능력을 갖고 있다. 때문에 FM수신이 회복, 디퍼런셜 데이터가 정확해져도 이러한 처리로 인해 서서히 회복되는 것을 알 수 있다.

3.4 종합시험

시작품의 기능확인을 위해 종합시험을 실시하였다. 차량을 사용한 현지시험은 제약이 많기 때문에 실내 모의주행시험으로 실시하였다.

3.4.1 시험기기 구성

시험기기는 현지설치상태와 가능한 근사하게 구성하기 위해 지상~차상간 정보전송을 위한 특정 소전력 무선기는 실내에서 혼신할 우려가 있기 때문에 1 세트의 차상장치와 지상 기지국 장치는 케이블로 연결하였다. 또한, GPS수신기는 사용하지 않고 GPS현차시험에서 얻은 측정데이터를 차상장치에서 자동 발생시켰다.

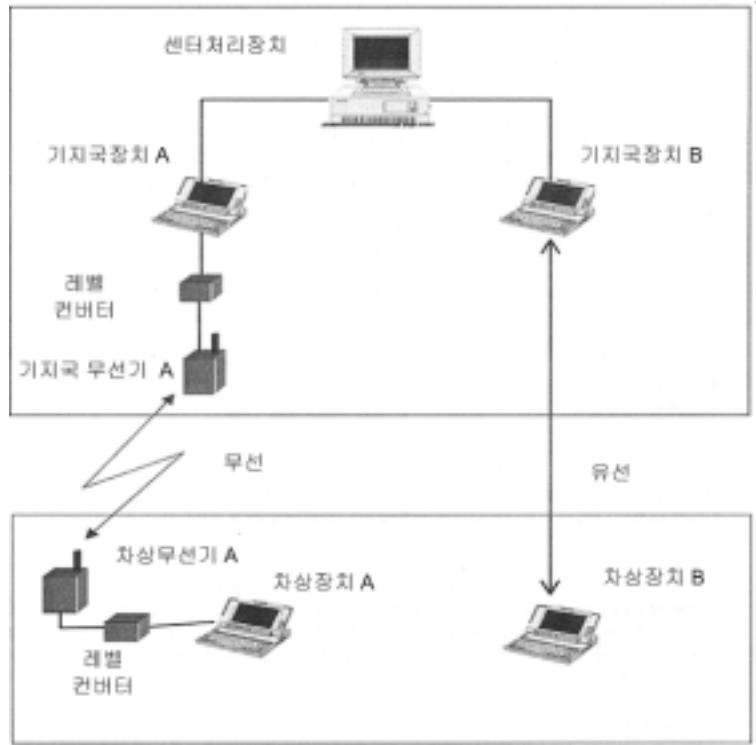


그림 9 모의시험기기 구성도

3.4.2 시험 방법

GPS현차시험 측정데이터에 의해 시험항목에 맞는 정류소간을 추출하고 센터처리장치, 지상기지국장치에 정류소 코드를 할당한다. 또한, 센터처리장치에 그 정류소간의 고속주행가능거리를 지시한다. 이 상태에서 차상장치에 주행선등을 표시하는 차량번호를 할당하면 차상장치는 실시간으로 정류소간 주행 데이터를 발생시키고 모의주행상태를 만든다. 차량이 정류소를 출발하면 지상기지국장치의 정류소 코드를 시험상황에 맞추어 변경한다.

3.4.3 시험항목과 시험결과

시험에서는 기본적인 기능인 ① 고속신호허가처리, ② 고속구간 주행종료 판정, ③ 출발억지, ④ GPS 수신불량시의 이상처리 등의 각 기능을 확인한다. 다음 표는 시험순서와 결과이다.

표 3 A 노선 1차량에 의한 2정류소간 주행 검사

검사 방법	판정 기준	표시·동작	판정
1. 정류소 정차상태에서 차상에 의한 고속요구를 조작한다.	센터처리장치의 고속신호 및 차상장치의 고속주행신호 점등	센터 : 고속신호점등 차상 : 고속주행신호점등 및 고속주행 가능거리 표시	양호
2. 차상장치 C 정류소 출발조작	C 정류소에서 B 정류소 방향으로 차량 출발	센터 : 차량번호표시가 정류소간으로 이동 차상 : 고속주행가능거리 감소표시, 0m에서 고속주행신호 소등	양호
3. 차상장치 B 정류소 정차동작	B 정류소에 차량 정차	센터 : 차량번호가 B정류소에 표시 차상 : B 정류소 정차 판정	양호
4. 3항의 상태에서 센터로부터 출발억지 조작	센터처리장치의 고속신호 소등, 차상장치의 고속주행신호 소등과 출발억지 점등	센터 : 고속신호 소등, 출발억지 점등 차상 : 고속주행신호 소등, 출발억지 점등	양호

검사 방법	판정 기준	표시·동작	판정
5. 4항의 상태에서 센터로부터 출발억지를 해제한다.	센터처리장치의 고속신호 점등, 차상장치의 고속주행 신호 점등	센터 : 고속신호 점등 차상 : 고속주행신호 점등 및 고속주행가능거리 표시	양호
6. 차상장치 B 정류소 출발동작	B 정류소에서 차량 출발	센터 : 차량번호 B - A 정류소 표시 차상 : 고속주행가능거리 감산 표시	양호
7. 차상고속주행중에 GPS 이상발생	차상장치 GPS 이상신호 점등, 고속주행신호 소등, 주행거리 0m	차상 : GPS 이상점등, 고속주행신호 소등, 주행거리 0m	양호
8. 차상장치 A 정류소 정차 동작	A 정류소에 차량 정차	센터 : 차량번호가 A 정류소에 표시 차상 : A 정류소 정차 판정	양호

주) 센터 : 센터처리장치, 차상 : 차상장치

3.4.4 정류소 주변 GPS 수신불량시의 실행

이 시험은 정류소에서 GPS 수신불량 발생시 이상처리기능을 확인한다.

표 4 정류소 주변 GPS 수신불량시의 성능검사

검사 방법	판정 기준	표시·동작	판정
1. C 정류소 차상상태에서 차상에서 고속요구를 조작한다.	센터처리장치의 고속신호 및 차상장치의 고속주행신호표시 점등	센터 : 고속신호 점등 차상 : 고속주행신호 점등 및 고속주행가능거리 표시	양호
2. 차상장치 C 정류소 출발조작	C 정류소에서 B 정류소 방향으로 차량 출발	센터 : 차량번호표시가 정류소간으로 이동 차상 : 고속주행가능거리 감산 표시, 0m에서 고속주행신호 소등	
3. 차상장치 GPS 이상발생 정류소 도착(B 정류소)(정류소 정차 판정조건 변경으로 주행동작)	정류소 정차에 의해 센터처리장치로 GPS 이상 통지	센터 : GPS 이상표시, 고속주행신호 소등 차상 : GPS 이상표시, 고속주행신호 소등	
4. 차상장치 B 정류소 출발동작	B 정류소에 차량 출발	센터 : GPS 이상표시 차상 : GPS 이상표시에서 정상표시로 복귀, 고속표시 없음	
5. 차상장치 A 정류소 정차 동작	A 정류소에 차량이 정차한다.	센터 : 차량번호가 A 정류소에 표시 차상 : A 정류소 정차 판정	

4. 맺음말

일본의 LRT 고속운전용 신호시스템 개발 단계에서 성능 검증을 위한 시험방법을 분석하였다. 일반검사에서의 외형, 구조 등 기구조건과 내진성, 주위온도 등 환경조건을 확인하고 성능시험에서 지상~차상간의 정보전송수단으로 사용하는 특정 소전력 무선기에 특수한 커버를 씌움으로 통신도달거리의 단축화와 지향성을 실현할 수 있다.

현차시험에서는 시스템의 중요한 구성 요소인 GPS 수신기의 성능을 확인하며, 이것에 의해 정류소 정차판정을 위한 출입문 개폐스위치 정보나 GPS 수신 불량시의 특수처리 등 약간의 기능추가를 필요로 하지만 GPS를 활용한 차량위치검지가 시스템의 요구성능을 만족시킨다는 것을 확인하였고, 더욱이 GPS 현차시험에서 수집된 주행데이터를 사용해서 실내모의주행에 의한 종합시험에서 시작시스템의 성능을 확인할 수 있었다.

향후, 경량전철시스템의 다중편성시험에서도 이와 유사한 시험을 수행하게 될 것으로 예상되며, 본 연구에서 검토한 내용을 충분히 참고하여 추진할 예정이다.

참고문헌

1. (사)일본철도전기기술협회, LRT 고속운전용 신호시스템의 개발사업 연구보고서, 1999