

부산지하철 3호선 2단계 경량전철시스템



| 박 희 철 |

부산교통공사 차량검수팀장
철도차량 기술사

1. 개요

부산지하철 3호선 2단계(미남~안평)구간에 운행되는 차량은 국토해양부 국책사업으로 세계 4번째로 경량전철 시스템 국산화 개발에 성공한 고무차륜형식 경량전철 차량이다. 이 차량은 세계 무인 경량전철 운영노선의 대부분을 차지하는 고무차륜형식 차량으로 특히 일본에서 10년 이상 무인운전방식의 상업운영 실적이 있는 차량 및 신호 시스템이 도입되어 안전요원이 탑승하지 않는 완전무인 자동운전방식으로 운영되어질 계획이다. 고무차륜형식 경량전철차량은 탈선이 구조적으로 불가능한 측방안내방식을 채택하여 안전하며, 고무차륜방식을 적용하여 급구배 및 급곡선의 주행능력이 우수하며, 속도가 낮아지면 점착력이 커지는 특성이 있어 정위치 정차 정밀도가 우수하여 완전무인운전에 적합하며 또한 저소음, 친환경적 시스템으로 복잡한 도심에 적합한 신교통시스템이다. 이 차량은 완전무인 자동운전방식으로 운영되므로 운영 및 유지관리비가 절감되며, 정시성, 신속성이 우수하다.

차량의 차체는 알루미늄 재질을 사용하여 경량화 하였으며, 이로 인한 에너지 효율의 향상과 전체 공사비용의 절감을 도모하였다.

무인운전 차량의 안전운행 확보를 위해서 추진제어장치, 차량종합제어장치(TCMS) 등 주요장치는 2중계를 적용하여 고장에 대비하였으며, 종합사령실에서 운행상황 및 차량상태정보를 실시간 감시하고 원격기동장치에 의한 차

량의 기동정지제어가 가능하며, 특히 운행중인 차량의 중고장 발생시는 원격으로 제어가 가능하며, CCTV를 통한 객실상황파악 및 승객과의 비상통신 시스템 구축 등 비상상황에 안전하게 대처할 수 있는 각종 안전장치가 확보되어 운행안정성을 확보하였다. 또한 그간의 운영경험과 축적된 기술력을 바탕으로 차량 부품의 95%를 국산화 개발하여 유지보수성을 향상시켰다.

2. 추진 경과

- 부산지하철 3호선 2단계 경량전철 차량 조달청 공고 : 2005. 9. 13
- 부산지하철 3호선 2단계 경량전철 차량 구매계약 체결 : 2005. 10. 14
- 차량 조감도 확정(일본 철도차량 전문 디자인사 DSH사) : 2006. 7. 27
- 차량제작관련 설계도면 및 기술자료 승인 : 2006. 12. 28
- 시제차(Mock Up) 품평회 : 2007. 5. 16~5. 19
- 초도차량 경산시험선 반입 및 5,000km 예비주행시험 : 2008. 6. 9~2008. 9. 10
- 제1편성~제7편성 제작완료 : 2008. 5. 22~ 2009. 2월 현재
- 제8편성~제17편성 : 제작 중
- 초도차량 안평차량기지 반입 : 2009. 3월(예정)

3. 차량 특징

1) 미려한 디자인

부산지하철 3호선 2단계(미남~안평) 구간에 적용될 경량전철 차량은 신교통시스템의 이미지와 부산의 상징적인 의미를 담기 위해 일본 철도차량 전문 디자인 업체인 DSH 사가 디자인하였으며, 한국내 대학교수 및 전문가의 자문과 평가, 부산시민 선호도 조사를 통하여 운용노선의 환경특성과 조화되는 최적 차량을 형상화 하였다.

차량 전두부와 외관은 해양도시인 부산의 이미지에 부합되는 바다와 돛단배의 돛을 형상화하였으며, 경량전철 차량의 디자인은 반송선의 노선색상인 청색(Blue)을 외형색상으로 적용, 부산교통공사 로고와 다이내믹 부산 로고

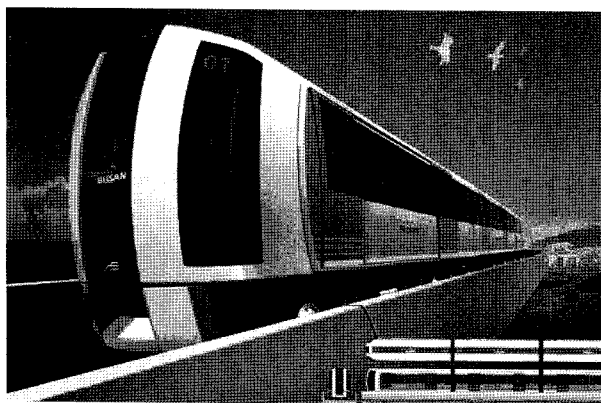


그림 1. 차량 외부 조감도

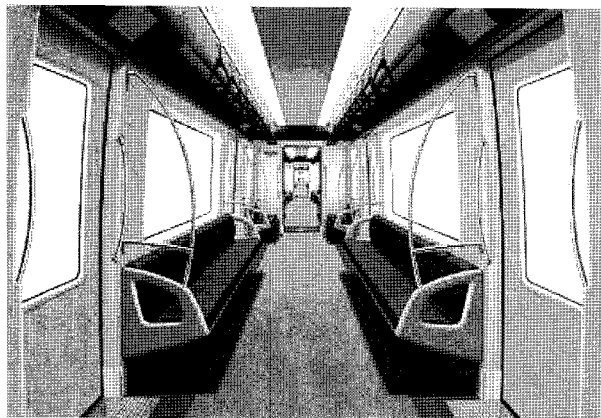


그림 2. 객실 내부 조감도



그림 3. 6량 고정편성 외관(경신시험선 주행시험)

를 전면 및 측면에 디자인 하였다. 새로운 개념의 곡선형 전두부 형상의 도입과 차체 측벽은 2도의 경사 각도를 적용하여 차량 전체에 세련된 곡선형과 아울러 유선형의 아름다움을 더함으로써 외관 미려도를 향상시켰다.

차량 실내는 밝은 분위기 조성을 위한 흰색계열 적용, 바닥과 객실의자는 해양도시를 이미지한 깨끗한 청색을 적용하였으며, 각 출입문 상부에 LCD표시기 적용으로 각종 정보를 제공할 수 있게 하였다. 또한 승객 시야 확보를 위해 일체형 대형 창문을 적용하였으며, 차량 간 이동이 용이하고 확 트인 느낌의 광폭 연결막을 적용 하였다.

2) 차체 및 차량구성

차체는 경량구조 Double Skin 타입의 알루미늄 대형압출 합금재를 사용한 용접구조로 소형, 경량화 시켰으며, 차체의 구조는 차량의 최대하중과 운행조건하에서 충분히 견딜 수 있는 구조로 설계하여 구조해석 및 피로강도시험을 통한 신뢰성을 확보하였다.

차량 구성은 수송수요를 감안하여 6량 고정편성으로 편성당 정원은 316명이다.

3) 1축 보기형 대차

고무차륜 경량전철 차량의 대차는 측면안내방식으로 되어 있어 탈선위험을 완벽히 차단하여 완전 무인운전에 적합하며, 고무타이어는 타이어 내부에 알루미늄으로 된 안전차륜이 내장되어 펑크 시에도 안전운행이 가능하도록 하였으며, 타이어 내부에 불연성 가스인 질소가스는 압력의 변화가 적어 안전성과 주행성능이 탁월하다.

고무차륜 경량전철 대차는 주행륜이 고무타이어로 되어 있기 때문에 철재차륜에서 곡선 운행 시 발생하는 스킵

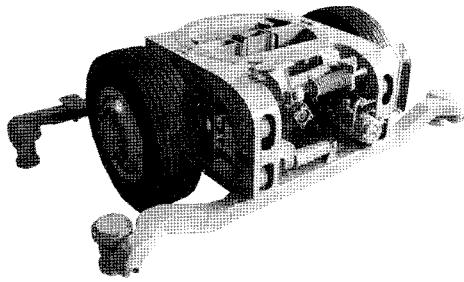


그림 4. 고무차륜 1축 대차

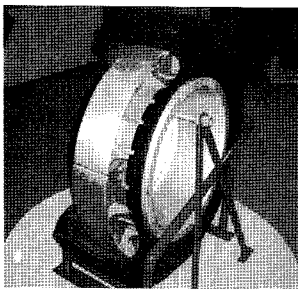


그림 5. 고무차륜 절개도

(Squeal) 및 전동소음이 발생되지 않으므로 진동 및 소음이 적고, 1차 현가장치가 고무타이어이며 2차 현가장치는 공기스프링으로 2개의 공기스프링 역할을 하기 때문에 승차감 성능이 탁월한 장점을 가지고 있다.

고무차륜은 마찰(점착)계수가 철제차륜보다 매우 높아 제동성능이 좋으며, 공전 및 활주가 발생되지 않아 정위치 정착의 정밀도가 우수하다. 또한, 마찰계수가 높기 때문에 차량을 경량화 할 수 있어 전력비 및 건설비를 저감할 수 있으며, 1축 BOGIE 방식으로 구조가 간단하다.

4) 완전무인자동운전

안전운행 확보를 위해서 차량의 추진제어장치 등 주요 장치는 2중계를 적용하여 고장에 대비하였으며, 종합사령실에서 운행상황 및 차량상태정보를 실시간 감시하고 원격기동장치에 의한 차량의 기동정지제어가 가능하며, 특히 운행중인 차량의 중고장 발생시는 원격으로 제어가 가능하며, CCTV를 통한 객실상황파악 및 승객과의 비상통신 시스템 구축 등 비상상황에 안전하게 대처할 수 있는 각종 안전장치가 확보되어 운행안정성을 확보하였다.

- 차상신호장치는 자동열차방호장치(ATP), 자동운전장치(ATO), 열차검지장치(TD) 등으로 구성되어 있으며, 차량종합제어장치(TCMS)와 연계하여 속도제어 정보, 열차검지 정보, 역 정보 등을 지상으로부터 각종 차상신

호 안테나를 통해 수신하여 ATP/ATO 제어장치로 정보를 전송하면 ATP장치에 의한 속도감시와 ATO장치에 의한 정위치 정착 등 완전무인운전이 가능하도록 시스템이 구성되어 있다. 차상신호장치는 완전무인운전차량의 원격제어의 주체로서 차량출발 억제제어, 임시속도제어, 주요장치 고장리셋제어, 재출발 제어 및 원격기동 기능 등을 수행한다. 또한 차량의 주요장치 고장, 선로장애물 검지, 승객 비상정지 버튼 취급, 측출입문 이상 개방, 차량분리 시에 전차선 자동차단기능을 수행하는 등 차량 안전운행의 주축이다.

- 수동운전대는 평상시 견고한 방수구조의 커버에 의하여 잠겨 있으며, 비상운전시 쇄정장치를 해제한 후 수동운전을 할 수 있다. 수동운전에 필요한 각종기와 표시등이 오접촉에 의한 운전 실수를 일으키지 않도록 기능별로 분류되어 수동운전대 위쪽과 전면에 좌우 대칭 형태로 배치 되어 있고, 중앙에 열차운행에 필요한 모든 정보를 알려주는 TCMS 표시장치가 설치되어 있다. 이외에 차내·외 방송장치, 각종 계기류, 안전운행을 위한 비상스위치 등이 운전자가 운전을 용이하게 취급할 수 있도록 배치되어 있다.
- 객실감시 장치는 각 차량의 양 끝단 천장에 CCTV용 카메라가 설치되어 있으며 무선통신설비를 이용하여 화상을 종합사령실로 실시간 전송이 가능하다. 완전무인 자동운전 시 차량내부에서 발생하는 영상을 종합사령실의 사령원이 신속히 파악하여 대처 할 수 있도록 하였다.

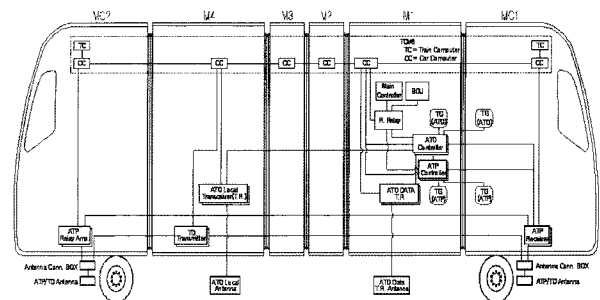


그림 6. 차상신호장치 시스템 구성도

4. 주요장치 제원 및 특징

1) 추진제어장치(VVVF)

1개 편성에 3대의 추진제어장치가 6대의 주 전동기를 각각 2대씩 VVVF방식(가변전압, 가변주파수)으로 개별 제어 한다. 추진제어장치는 군개방 기능을 보유하여 1개 군의 고장 발생시, 2개 군에 접속되어 있는 2대의 견인전동기 중에서 고장이 발생한 UNIT 만을 분리 차단하며 정상인 UNIT는 기동상태를 유지한다. 즉 추진제어장치 내부에 각각의 군을 개별 제어할 수 있도록 완벽한 2중계가 구현 되어 있다.

3호선 2단계 경량전철 차량은 편성 전체를 동력차로 구성하고, 각각의 견인전동기를 개별제어 하여 역행 14단, 제동 28단의 정교한 구동특성을 구현하고 있으며, 제동력의 연산기능은 추진제어장치가 갖고 있다.

추진제어장치 점검 시에는 MCS(주회로차단스위치)함의 차단스위치를 '차단 및 방전' 위치로 절환하여 주회로의 전하를 방전시키며, 검수고에서 통전 점검 시에는 MCS함의 주회로 차단스위치를 '외부수전' 위치로 절체하고, 외부전원 입력단자에 외부수전용 플러그를 연결하여 전원을 공급받는 스태거시스템이 설치되어 있다. 전원입력 경로는 MCS함 커버에 설치되어 있는 리미트스위치 및 커버 외부노출형식의 LAMP 표시로 안전을 도모하고 있다. 추진제어장치는 IGBT 소자를 사용한 강제냉각방식으로 유지보수, 점검이 용이한 구조로 국내에서 제작되어 향후 유지보수 시 신속한 대응 및 안정성을 증대하였다.

2) 견인전동기

부산지하철 3호선 2단계 경량전철 차량은 편성 전체가 동력차로 구성되어 있다. 즉 6량 1편성에 6대의 견인전동기가 설치되어 있으며 2대의 견인전동기가 1대의 추진제어장치에 영구접속 되어 있으며, 1대의 견인전동기에 이상 발생 시에는 추진제어장치의 군 개방 기능에 의하여 이상이 발생한 해당 견인전동기만 회로에서 분리된다. 견인전동기의 취부는 차체 하부에 직접 취부하며, 차체와 전동기간의 진동절연을 위하여 마운트에는 방진고무를 설치하였다.

절연불의 온도상승을 고려하여 200 Class 급 실리콘 레진으로 진공 함침하여 안전성을 높였다.

냉각용 Filter 공기흡기구를 부하 반대측 상부에 설치하고, 부하측에 냉각팬을 설치한 강제통풍의 일방통풍방식을 채택하였으며 공기흡기구에는 메쉬 필터를 설치하여 이물질의 침투를 방지하고 있다. 견인전동기의 결선은 콘택타를 사용하여 결선작업 및 보수가 용이한 구조로 되어 있다.

3) 차량종합제어장치(TCMS)

TCMS는 열차제어컴퓨터(TC), 차량제어컴퓨터(CC), 모니터장치(DU)로 구성되어 있으며, 경량전철 차량 운행에 필요한 모든 정보의 실시간 감시, 제어장치 지령을 통한 무인운전, 운행 및 검사기록을 이용한 검수지원 등의 기능을 가지고 있다.

TCMS의 배선통신은 양방향으로 차량간 Pass 방식으로 연결되며, 통신라인은 RX 2선, TX 2선의 총 4선을 가진다. 전체적으로는 Ling Network 방식이므로 8선으로 처리된다.

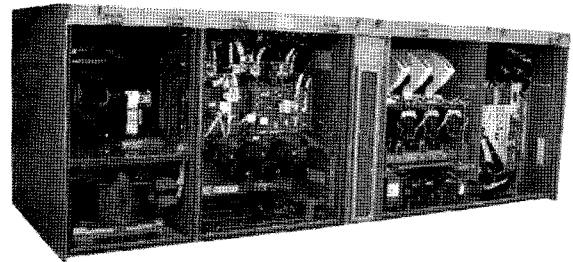


그림 7. 추진제어장치(VVVF)

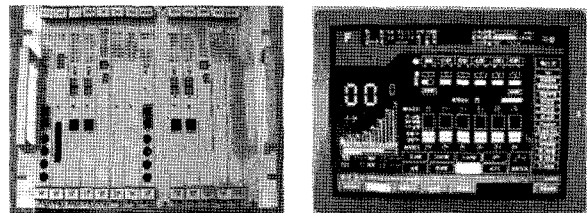


그림 8. TCMS 모니터 화면구성



TCMS는 신호장치(ATP/ATO)와 연계하여 차량의 제어 및 감시를 위하여 차량의 주요 기기와 통신을 통하여 유기적으로 정보를 교환한다.

4) 제동장치

제동장치는 안전성 확보 및 승차감 향상을 위한 정밀 제어의 구조로 상용제동은 최대 3.5km/h/s 감속도 범위 내에서 28단으로 제어되며, 디지털 5선지령으로 전송된다.

상용제동과 비상제동은 응하중제어를 하여 제동지령에 대하여 일정한 감속도 지령이 가능하다. 또한 별도의 공기관을 통한 보안제동이 설치되어 안전성을 확보하였다. 무인운전을 고려하여 제동불완해 발생시 강제완해스위치 설치와 더불어 자동완해기능을 추가하였다.

- 회생 제동 병용 응하중을 가진 아날로그 전기 지령, 전기 연산식 공기 제동
- 제동작용 : 회생제동 우선, 공기제동 보충
- 공기압축기 : 무급유 피스톤방식, 2실린더 1단압축(528 L/min)

5) 보조전원장치(SIV)

가선전압(750V, DC)을 인가받아서 출력전압 및 주파수를 일정하게 제어하여 차량의 조명, 냉난방장치, 공기압축기 및 각종 제어용 전원을 공급하는 전원공급장치로서 최신의 전력용 반도체 소자인 IGBT를 사용하여 기존의 철도 차량용 보조전원장치보다 경량화, 단순화를 실현하였다. 보조전원장치의 제어기 구성은 1개의 PCB Board에 2개

※ 주요 사양 및 제원

구분	주요 사양 및 제원	비고
차량편성	6량 편성 : Mc1-M1-M2-M3-M4-Mc2	고정 편성
차량치수	길이(9.14m)×폭(2.4m)×높이(3.5m)	
승객정원	선두차 Mc1, Mc2 : 좌석 18명, 입석 34명	316명/편성
	중간차 M1, M3 : 좌석 22명, 입석 30명	
	중간차 M2, M4 : 좌석 24명, 입석 30명	
궤 간	1,700mm	
최대구배	58%	
곡선반경	본선 : 40m, 측선 : 30m	
표정속도	30km/h(최고속도 60km/h)	
전압방식	직류 750V(수평 축방향 집전)	
운전방식	ATC/ATO에 의한 원전무인 자동운전	운전실 없음
대차방식	고무타이어 1축 Bogie 방식	안전차륜 내장
자 중	12톤	
차체재질	더블 스킨 알루미늄 대형압출재	
신호방식	ATP/ATO 차내신호방식	고정폐색
열차정보장치	링 네트워크 방식	
추진방식	PWM VVVF 인버터로 유도전동기 구동	제동연산 주체
제동방식	전기(회생) 및 공기제동병용	
공기압축기	오일리스 피스톤방식	428L/min
연 결 기	링타입 더블완충기	
출 입 문	4개소(편측 2개소), 전기식 아웃슬라이딩 도어	
상 구 조	슬림형 부유상구조	
냉방장치	실내외 분리구조, 친환경 냉매(R407C)	
차량기동	원격 무인기동	
객실감시장치	CCTV 2개소/량	무선통신방식
표 시 기	LED 1개소/량, LCD 4개소/량	
손 잡 이	낮은 손잡이 설치(4개소/량)	

의 CPU가 장착된다. 제어부는 32BIT DSP를 이용한 제어방식의 채용에 의해 고장시 보조전원장치의 전압, 전류 파형을 기록하여 고장 데이터를 충실하게 재현 가능하도록 고장 트레이스 기능이 있어 고장처리의 신속화를 도모하고 있다.

편성당 2대의 SIV장치가 설치되며 1대의 SIV장치에 이상이 발생시에는 TCMS장치가 이를 검지하고 통신을 통한 제어에 의하여 자동으로 연장급전회로가 구성되어 정상인 SIV장치의 전원이 편성 전체에 공급된다.

5. 향후 추진계획

초도차량 완성 후 경북 경산시험선에서 5,000km 예비주행 시험이 2008년 9월 완료되었으며, 공정계획에 의거 제작된 완성차량 17개 편성은 2009년 3월부터 2010년 5월까지 안평기지에 반입될 예정이다.

차량기지 반입과 동시에 차량기지시험 및 본선 시운전 등을 시행하여 도시철도차량의 성능을 확보하고, 완전무인운전 시스템임을 고려한 시스템간 안정적인 인터페이스 확인 및 충분한 영업시운전 등을 시행하여 안전운행확보와 개통에 만전을 기할 예정이다. ☺