

표준화된 알루미늄 전동차의 개발

Development of the Standardized Aluminum Electric Motor Car

서승일*¹, 최성호*², 임영호*³, 이정수*³

Seo, Seung I., Choi, Sung H., Lim, Young H. and Lee, Jung S.

ABSTRACT

In this paper, design and construction process for the standardized electric motor car according to standard specification is described. Aluminum extrusion profiles and power and control system made domestically are used in the electric motor car. Also, plug-sliding door system for noise reduction and automatic train control system are developed and applied. Through the development of the electric motor car, most electric and control systems can be substituted by domestic standard systems, and safety and reliability of electric motor cars can be secured.

Keywords : Electric Motor Car(전동차), Aluminum Carbody(알루미늄 차체),
Standard Specification(표준시방), Plug-Sliding Door(플러그-슬라이딩 출입문),
Electric Control System(전기제어 시스템), Reliability(신뢰성)

1. 서론

현재 국내에서 운행되고 있는 전동차는 강재와 스텐리스 차체를 기본으로 하고 있고, 차체 내의 각종 의장품 및 전장품은 차량 제작회사의 기술 제휴선에 따라 다양한 제품이 적용되고 있다. 특히, 전장품의 경우 노선별로 사양이 다르기 때문에 보수, 유지 및 시스템 통합 측면에서 상당한 문제점을 지니고 있는 것이 현실이다. 국내의 전동차 전장품의 종류는 매우 다양하므로 부품간의 호환성 및 시스템 전체의 신뢰성 확보에 있어서 큰 장애 요인이 발생하고 있다. 따라서 표준시방에 따른 전장품을 전동차에 적용하고 이에 따른 시스템 통합 및 설계기술을 개발하는 것은 전동차 운행중에 시스템의 불안정에 의한 사고를 방지하고, 부품의 호환성을 확대할

수 있으며 보수 유지가 간편하게 될 수 있는 극히 유용한 일이다.

본 연구에서는 건설교통부에서 고시한 도시철도차량 표준사양서[1]에 따라 전동차의 기본설계 및 상세설계를 수행하고, 주요 부품을 국산화 개발하여 차량에 적용하고, 1편성의 차량을 완성함으로써 표준화된 알루미늄 전동차를 개발하였다. 기존의 스텐리스 차체에서 탈피하여, 경량화, 외관의 미려도, 제작의 용이성 등을 고려하여 대형 알루미늄 압출재를 적용한 차체를 개발하였으며, 소음저감을 위해 Plug-sliding 출입문을 개발함으로써 기존의 Sliding 출입문을 대체토록 하였고, 자동열차제어장치(ATC, Automatic Train Control)를 독자 개발하였다.

또한, 국내 전장품 부품업체에서 표준사양서에 따라 개발한 주요 전장품을 적용함으로써 주요 부품의 국산화를 실현하고, 부품의 호환성과 안정성을 높임으로써 차량 전체의 신뢰도를 높이도록 하였다.

*1 정회원, (주)한진중공업 산업기술연구소, 수석연구원

*2 정회원, (주)한진중공업 산업기술연구소, 선임연구원
(현, 한국철도차량(주), 과장)

*3 정회원, (주)한진중공업 산업기술연구소, 주임연구원

2. 표준사양서의 주요 성능기준

도시철도차량 표준사양에 따른 표준화된 전동차의 주요 사양 및 성능기준[1]은 다음과 같다.

- 전동차 형식 : 대형 전동차
- 차량 편성 : 4량 1편성
- 차체 재질 : 알루미늄 압출형재
- 차체 중량 : 스텐레스 차체에 비해 20% 이상 중량 감소 목표
- 성능 최고 속도 : 100km/h 이상
- 가속도 : 3.0km/h/s 이상
- 감속도 : 상용 3.5 km/h/s 이상, 비상 4.5 m/h/s 이상
- 저크 한계 : 0.8m/sec³
- 승차감 : UIC에 의거한 승차감 계수 2.5 이상
- 소음 : 80 dB(A) 이하

3. 차량의 형상 설계

표준사양서의 전동차 기본 치수를 만족하도록, 차폭 3,120mm, 레일 상면에서 차체 높이 3,600mm인 차체 형상을 설계하였다. 차체 형상은 사각 상자형인 기존 스텐레스 차량과는 달리 측구조에 곡면을 주어 외형의 차별화와 함께 통과 가능한 터널 단면적도 최소화될 수 있도록 하였다. 전두부 형상도 유선형으로 하여 기존 차량과 차별화시켰다.

4. 차체 설계

대형 알루미늄 압출재를 적용하여 차체를 설계하였으며, 재질은 압출성, 강도, 용접성, 가공성 등의 측면에서 알루미늄 합금 A6005A로 하였다. 언더프레임과 측구조는 강도적 측면과 소음 저감, 단열 측면에서 중공(hollow) 압출형재를 사용하도록 설계하였고, 차체의 자동용접이 가능하도록 부재의 수를 최대한 줄이면서 균일 단면을 유지할 수 있도록 설계하였다. 또한, 의장품과 전장품의 취부가 용이하도록 언더프레임

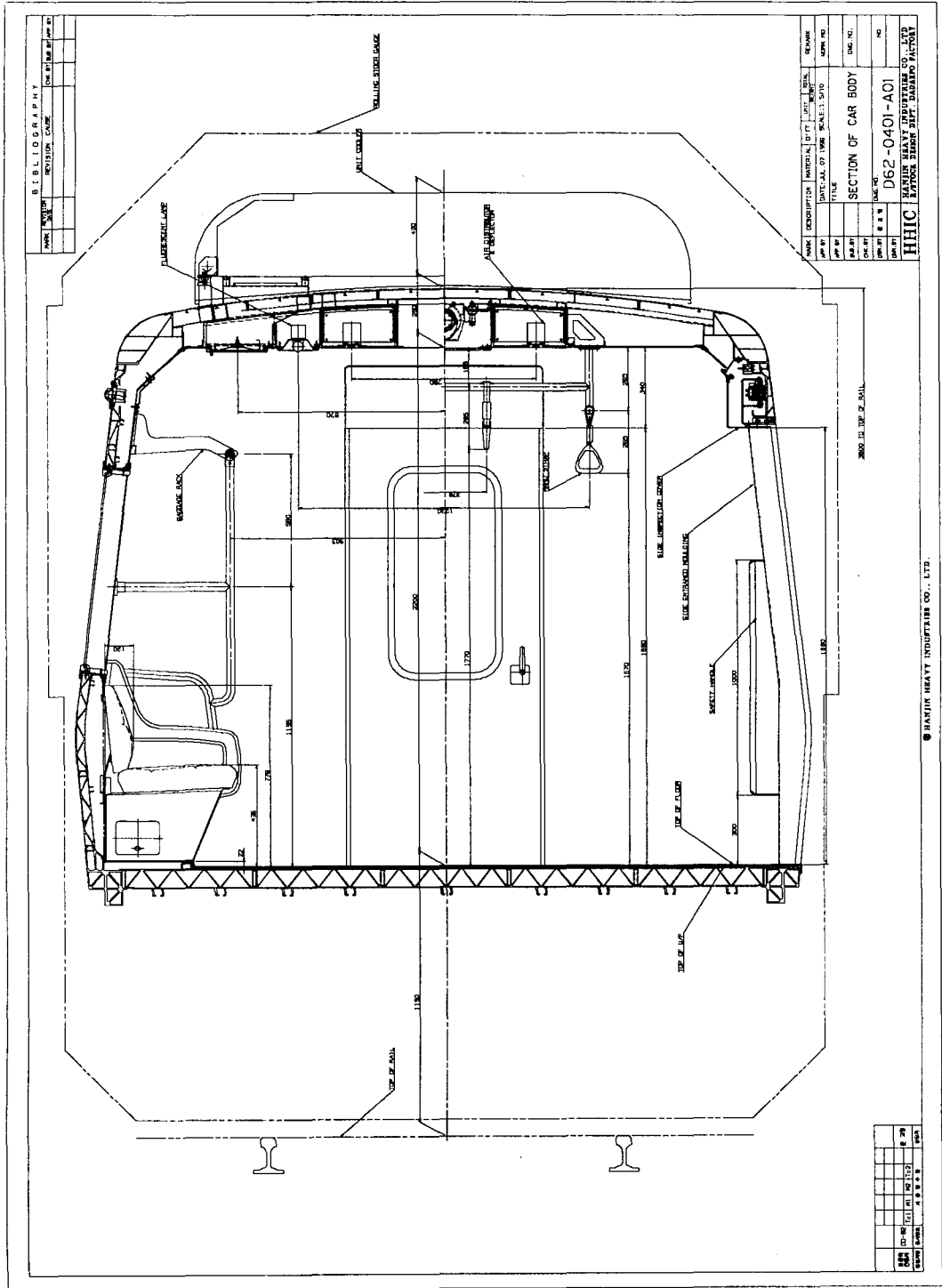
과 측구조에 T-slot를 다수 포함시켰다. 내장품 취부를 위한 내부 골조는 알루미늄 판재(A5083)의 절단 및 굽힘을 통해 제작될 수 있도록 설계하였다. 최종 설계된 차체의 중량은 5,782 kgf으로 기존의 스텐레스 차체(7,339 kgf)에 비해 20% 이상의 중량이 감소되었음을 확인할 수 있었다.

5. 의장 설계

승객들에게 편리하고 안락한 분위기를 조성하기 위한 소음저감 대책으로 측출입문을 기존의 Sliding Type에서 Plug-sliding type으로 변경하였고, 차량간 통로 연결막을 다중구조로 변경하여 방풍, 방수 효과를 극대화하였으며, 연결기의 구조를 고무링 Type의 완충기(항복강도 60 톤, Auto Tightlock Coupler)로 변경하여, 급속한 가감속 시에도 충격 및 소음을 최소화할 수 있도록 하였다. 실내 내장은 FRP 재질의 내장판을 설치하였으며, 차체 외판과 내장판 사이에 단열 효과 및 흡음효과가 뛰어난 PE Foam을 취부하였고, 측창문에는 미려도 측면에서 우수한 전면 고정창을 적용하였으며, 창 두께는 승객의 안전을 고려하여 6.3mm의 이중접합 안전유리로 하였다. 객실 의자는 경량구조이며, 차체 측벽을 따라 종방향으로 설치되며 분해 조립이 쉬운 구조를 적용하였고, Tc차 3, 4위측에 장애자 휠체어를 위한 공간을 확보하기 위해 접이식 의자를 채택하였다. 객실과 운전실에는 냉방, 난방, 환기를 위한 공기 조화장치가 설치되어 있으며, 냉방장치는 지붕에 설치하고, 천장에서 냉풍을 집약 분산하는 방식이며, 동시 또는 개별 운전할 수 있도록 설계하였다. 표준화된 알루미늄 전동차의 단면도는 Fig. 1과 같다.

6. 기기배치 설계

모든 기기는 차량 운행상의 성능보증, 운행안전 확보 및 장비점검의 편의를 고려하여 편심량 한계 및 차량한계 내에 설치할 수 있도록 배치하였으며, 선로조건 및 기타 어떠한 조건의 지상



설비 및 건축설비와도 간섭이 되지않고 안전하게 운행할 수 있도록 설계하였다. 특히 언더프레임 하부에 설치되는 기기는 대차 1, 2차 스프링 파손, 휠 마모 등을 고려하여 기기한계 내에 들도록 하였고, 차량마다 설치되는 동종의 기기는 차량의 사이드 측에서 동일한 위치에 설치하여 보수유지가 용이하도록 하였다. 기기 취부품 볼트는 전동차의 운행조건을 감안하여 반복하중시의 편진상태를 고려한 안전율을 적용하여 강도를 높였고, 너트풀림방지를 위해 스피릿 핀을 적용하였고, 전선류들은 하네스 덕트내에 설치하여 취부, 전선보호 및 보수유지가 용이하도록 하였다.

7. 제동시스템 설계

제동시스템으로는 ATC 및 ATO(Automatic Train Operation) 운전제에 적합한 고응답, 고성능의 마이크로프로세서 제어 전공 아날로그 제동장치를 적용하였다. 최대 점착한계 내에서 유효 회생제동을 최대한 이용하기 위해 전동차의 전공 블렌딩뿐 아니라, 전동차의 회생제동과 부수차 공기제동 사이의 크로스 블렌딩을 적용하였으며, 전력소모의 극소화, 제동슈 마모의 최소화를 기함으로써 경제적인 운용이 되도록 시스템을 구성하였다. ATC 및 ATO와 주간 제어기에 의한 제동지령에 대해 마이크로프로세서 연산방식을 적용하여 공주시간을 단축하였고, 저크 제어기능을 적용하여 안락하고 쾌적한 승차감을 도모하였다. 차량진동, 외기조건, 차량수명 등을 고려하여 충분한 강도를 갖도록 제동작동장치에 벨브/파이프 브라켓, 부분품 등을 채택하였고, 보수유지 편리성을 최대한 확보하기 위해 모듈 방식에 의한 박스화를 기하였을 뿐 아니라, 소모품을 최소화하였고, 보수유지시 용이하게 공급될 수 있는 양질의 소모품을 선정하였다.

8. 대차 설계

대차의 볼스타를 생략하고, 대차 크로스 빔으

로 사용한 이음매없는 파이프를 공기스프링의 보조 공기통으로 사용함으로써 대차를 경량화하였다. 축상 지지장치에도 볼 고무 스프링 방식을 채용하여 경량화하였고, 차축 베어링에는 소형, 경량화된 Cylindrical Roller Bearing을 채용하였다. 저 횡강성 공기스프링을 채용하여 승차감 향상에 의한 승객 서비스 향상을 기하였고, 전후 저강성 축상 고무스프링을 채용하여 곡선통과시 횡압을 저감시킴으로써 곡선주행 성능의 향상을 꾀하였으며, 볼스타리스 차체지지 방식 및 볼 고무식 축상지지 방식을 채용함으로써 링크기구와 습동마찰 부분을 없애고, 대차 구조의 간략화와 부품 종류를 적게 함으로써 대차 보수의 간략화 및 보수비의 절감을 도모하였다. 기초 제동장치로 구동대차는 자동간극조정장치가 내장된 담면제동, 부수대차는 디스크 제동 방식을 채용하였다.

9. 전기시스템 설계

9.1 추진제어장치 설계

표준화된 전동차의 추진제어장치를 전체적으로 나타내보면 Fig. 2와 같다. 추진제어 VVVF인버터(Variabe Voltage and Variable Frequency Inverter)[2]와 견인전동기[3] 및 종합추진제어장치(TCMS)[4]는 국산화 개발된 제품을 적용하였으며, 자동제어장치(ATC)는 본 연구를 통해 자체 개발하였다.

9.2 고압회로 설계

고압회로는 판토타그래프, 직류피뢰기, 직류 옥상퓨즈, 고속 차단기합, 입력필터, 리액터 등의 전원 시스템으로 구성된다. 판토타그래프에서 가선전압(DC 1500V)이 인가되면, 직류 옥상퓨즈와 연결된 Line을 통하여 고속 차단기합에 전달되고, 입력 필터 리액터를 통하여 고압전원이 SIV(Static Inverter) 인버터 및 VVVF 인버터에 공급된다. 직류 피뢰기는 전압 서지의 영향 때문

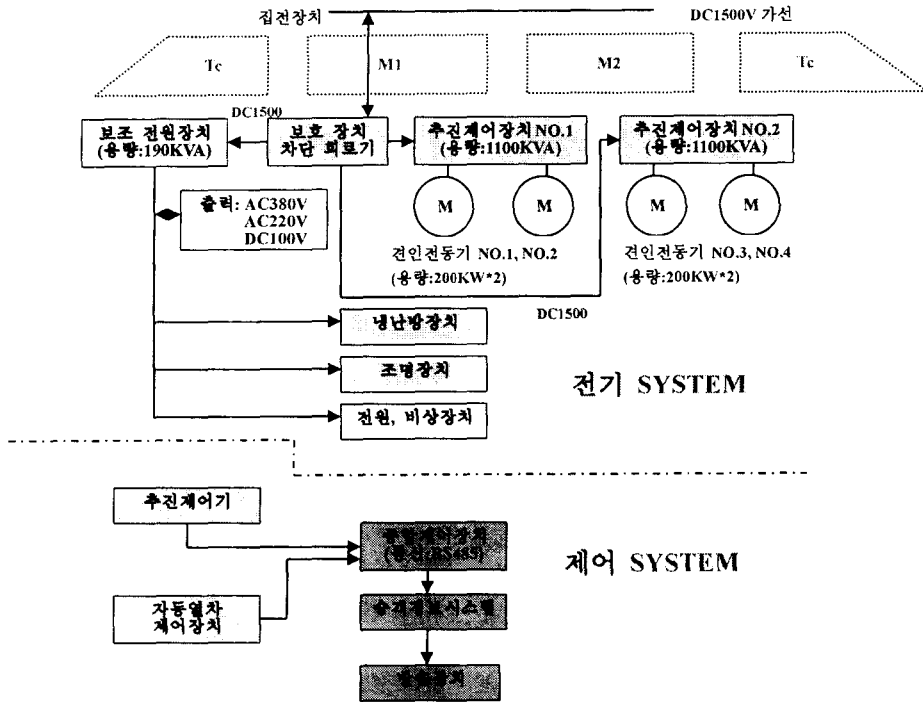


Fig. 2 Diagram of Electric and Control System

에 설치하였다. 각 부품은 고압 시스템의 안정을 위하여 고유의 보호 및 차단 기능을 갖도록 하였다.

9.3 보조전원장치 설계

전동차의 제어회로, 조명장치, 냉난방 장치 등에 안정된 전원을 공급하기 위해 보조전원장치가 탑재된다. 고압 보조전원의 차단 및 SIV 인버터를 보호하기 위해 IVS/IVF Box를 설치하였고, 제어회로, 조명장치, 냉난방장치 등에 안정된 전원을 공급하기 위해 SIV 인버터를 설치하였다. 보조전원장치의 고장으로 AC전원에 문제가 발생할 시를 대비하여 비상용으로 축전지를 탑재하였다.

10. 출입문 개발

표준시방에 제시된 실내소음 기준 80dB(A)를

만족시키기 위해서 새로운 축출입문을 개발하였다. 개발된 출입문은 기존의 Sliding Type의 출입문과는 달리 Plug-Sliding Type의 출입문으로써, 기밀성능이 대폭적으로 증가된 형식의 출입문이며, 기존의 Door Engine을 그대로 활용하여 제작비용 상승을 억제하도록 하였다. 또한, 출입문이 닫힌 후에 출입문을 차체에 밀착시킬 수 있는 소형 공기엔진과 잠금장치를 설치함으로써 완벽한 기밀을 보장토록 하였다. 개발된 축출입문은 Fig. 3과 같다.

11. 전두부 및 운전실 설계

표준화된 전동차는 기존의 전동차와는 달리 미래 지향적인 유선형의 전두부 형상을 채택하여 차량 지붕에서 Skirt 부분까지 전체적으로 부드러운 유선형 곡선을 유지하도록 전두부를 설계하였으며, 가장 한국적인 전두부 형태를 개발하는데 중점을 두었다. 전두부의 곡면의 정확성

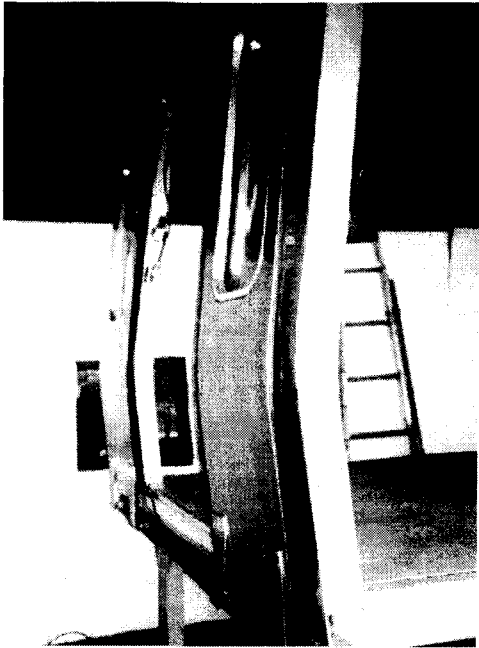


Fig. 3 Prototype of Plug-Sliding Door

을 기하기 위해서 3차원 CAD CATIA로 설계하고, 목형을 NC로 가공하였으며, FRP 재질로 전두부를 제작하였다. 운전실은 유선형 전두부와 차체를 고려하여 기기를 배치하였고, 운전자의 시야를 확보하고, 쾌적하고 안락한 환경을 확보하는데 설계의 초점을 맞추었다. 비상문은 전두부와 같은 FRP로 제작하였으며, 전두부와의 조립성을 고려하여 NC로 가공하였다.

12. 차량 제작

설계 결과에 따라 제작 완성된 차체는 Fig. 4와 같다. 완성된 차체에 대해서는 표준사양서에 따라 Fig. 5와 같이 정하중 시험을 실시하여 안전성을 검증하였다. 전두부를 취부하고, 차체에 대해 상도(上塗)까지 도장작업을 완료한 결과는 Fig. 6과 같고, Tc차의 전두부 형상은 Fig. 7과 같다. 차체에 취부된 대차의 형상은 Fig. 8과 같다. 전문업체와 공동으로 자체 개발한 ATC는 Fig. 9과 같다.

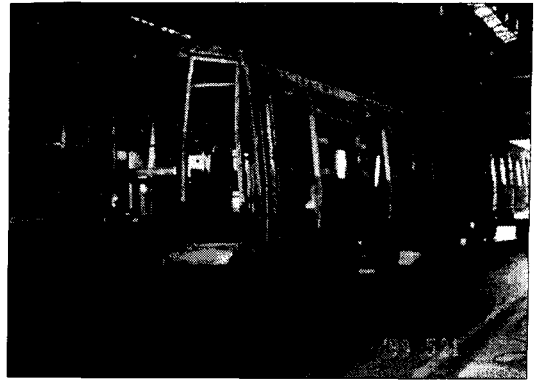


Fig. 4 Aluminum Carbody



Fig. 5 Static Load Test

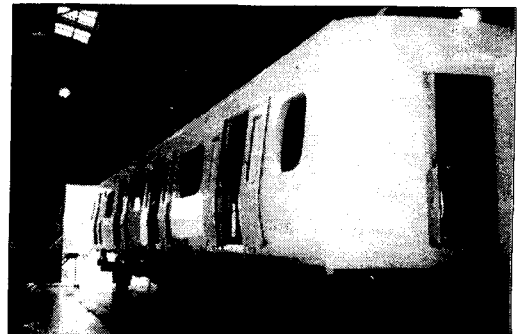


Fig. 6 Painted Carbody

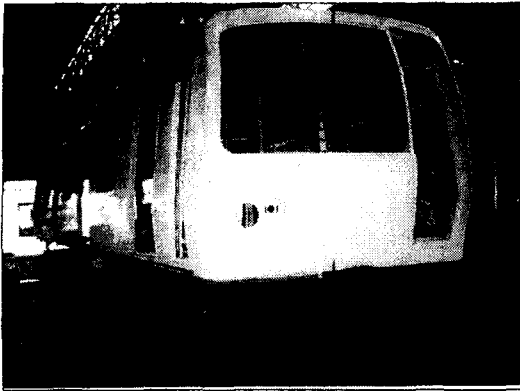


Fig. 7 View of Front Cap Mask

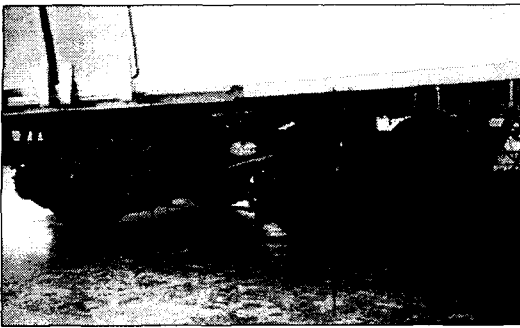


Fig. 8 View of the Assembled Bogie

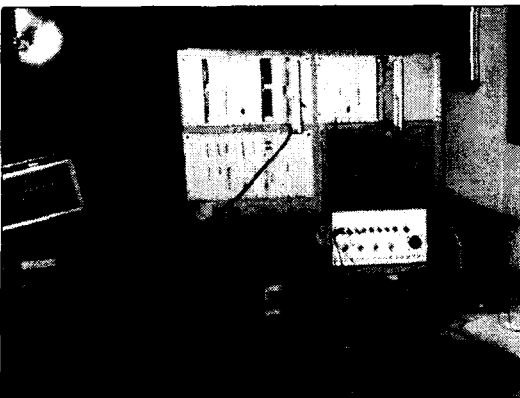


Fig. 9 Automatic Train Control System Being Tested

13. 결론

지금까지 표준사양서에 기준한 표준화된 알루미늄 전동차의 설계 및 제작 과정을 기술하였다. 표준화된 전동차는 차체의 재질로 알루미늄 압출재를 채택하였고, 국산화된 전장품들을 대폭적으로 채용하였으며, 독자적으로 개발된 자동열차 제어장치를 적용하였다. 또한, 소음저감을 위해 Plug-sliding 방식의 측출입문을 개발하여 적용하였다. 표준화된 전동차의 개발을 통해 주요 전장품들이 대부분 국산화되었으며, 새로운 차체 재질과 신형 출입문을 선보임으로써 국내 전동차 설계 및 제작 기술을 한차원 높이는 계기가 되었다.

향후 완성된 표준화된 알루미늄 전동차는 본선 시운전을 거쳐서 최종적인 성능이 입증될 예정이다.

후기

본 연구는 건설교통부 도시철도차량 표준화 사업의 일환으로 수행된 것임을 밝힙니다.

참고 문헌

- [1] 건설교통부, 1998, "도시철도차량 표준사양", 건설교통부고시 제1998-53호
- [2] 건설교통부, 1998, "전동차 IGBT 인버터 표준 설계", '98 도시철도차량 표준화·국산화 연구개발 보고서
- [3] 건설교통부, 1998, "건인전동기 표준 설계", '98 도시철도차량 표준화·국산화 연구개발 보고서
- [4] 건설교통부, 1998, "종합제어장치 표준 설계", '98 도시철도차량 표준화·국산화 연구개발 보고서