

고무차륜형 경량전철 차량시스템 성공사례

| 김 상 용 |
(주)우진산전 부사장



1. 개요

급격한 산업발전과 도시화의 진행, 지속적인 고유가와 환경문제, 산업화의 진행에 따른 토지 활용의 제약 등으로 대중교통수단인 철도교통의 중요성이 부각되고 있으며, 또한 기존 지하철의 과도한 건설비와 운영적자의 증가에 따른 도시철도 시스템의 부담을 줄이기 위한 방안의 하나로 무인자동경량전철시스템 개발의 필요성이 요구되었다. 이에 국토해양부는 경량전철의 국내보급 활성화와 국내 기반기술 확보, 국내 운행환경에 적합한 시스템 구축 및 저렴한 건설비를 목표로 고무차륜형식 경량전철 차량시스템을 개발 과제로 선정하였다. 고무차륜 AGT(Automated Guidway Transit) 시스템은 일반적으로 고가궤도를 전용노선으로 사용하며, 기존 철도와는 달리 고무타이어를 주행륜으로 사용하는 무인운전 방식의 경량전철시스템이다. 고무차륜형 경량전철 차량시스템은 고무타이어 적용에 의한 저소음/저진동의 환경친화적인 주행특성을 구현하였으며, 제3궤조 측방급전방식으로 노선 상부에 급전선, 철주 등이 없어 미려한 도시미관을 구성할 수 있다. 특히 궤도 양쪽에 설치되는 철제빔에 안내륜이 구축되어 주행하는 구조적인 특성에 의해 원천적으로 탈선이 불가능한 안전한 시스템이며, 급구배, 급곡선에 대한 대응성이 우수하여 도심지 노선 또는 신도시 개발지역에 적합하다. 성능적인 측면에서 우수한 점착특성으로 가감속도를 향상시킬 수 있어 유연한 노선계획 설계에 의한 건설비용의 축소가 가능하며, 역간 거리를 짧게 할 수 있어 이용자에

게 보다 높은 서비스를 제공할 수 있다.

2. 고무차륜 경량전철 차량시스템 개발

고무차륜 경량전철시스템 기술개발사업은 도시철도법 제 14조, 22조 중기교통시설투자계획(건교부) 과학기술기본계획에 의해 추진되었다. 그림 1은 고무차륜형 경량전철시스템 개발 조직도를 나타낸다. 총괄주관기관으로 한국철도기술연구원에서 수행하였으며, 시스템 엔지니어링, 차량시스템, 전력공급시스템, 신호제어시스템, 선로구축물 시스템으로 구분하여 주관기관을 선정하였다. 차량시스템은 (주)우진산전에서 주관연구기관으로 선정되어 2량1편성 차량시스템 개발 및 제작을 수행하였다. 서브시스템의 부품 국산화를 높이기 위해 협동연구기관을 선정하여 개발하였으며, 이로 인해 부품별 전문성과 국산화율을 높일 수 있었다.

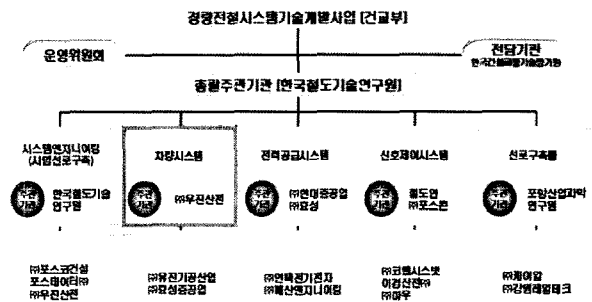


그림 1. 경량전철 시스템 개발 조직도

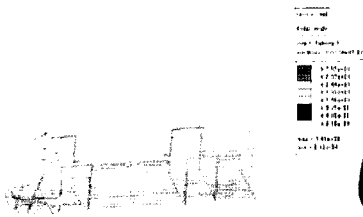
개발 차량시스템은 기본편성이 2량 1편성이며 6량까지 자유롭게 증감하여 편성할 수 있도록 하였고, 무인운전을 위한 설비로 ATO/ATP 신호장치와 연계되는 종합제어장치, 추진제어장치, 보조전원장치등의 차량 주요 기능시스템은 2중계로 구성되어 1계 고장 발생시에도 2계로의 자동 전환 및 연계동작으로 안전운행이 가능하도록 하였다. 또한, 화재 안전성 확보, 소음절감 및 승차감 향상등을 위해서 불연흡음재 적용 및 방음구조 설계가 수행되었으며, 고무타이어와 공기스프링에 의한 2중 충격흡수장치 등을 적용하였다.

3. 차량시스템 개발성과

주요개발 성과로는 무인운전시스템에 대한 시스템 엔지니어링과 설계공정의 개발, 그리고 알루미늄 차체, 대차, 추진 제어장치, 종합제어장치, 보조전원장치, 제동장치 등의 구성품 개발이 완료되었으며, 개발 제품에 대하여는 도시철도 성능시험 기준등에 따른 제반 구성품 시험과 완성차 시험을 통

표 1. 주요 개발사항

구분	주요개발사항	
차량중량	공치중량	12 ton/량
	만차중량	18.0 ton/량
주요성능	가속도	3.5km/h/s
	감속도	상용감속도 : 3.5km/h/s 비상감속도 : 4.5km/h/s
	최고성능속도	70km/h
	최대등판성능	58%
	최소반경	30m
차량크기(B×L×H)	2,400×9,140×3,500mm	
공급전원	DC 750V (3rd rail)	
열차구성	2~6량	



(1) K-AGT 차량의 유한요소 모델 (2) 수직하중 조건에 대한 최대 응력
그림 2. 경량전철 차체 해석 및 제작

표 2. Design criterion for a carbody

Property	Design criterion		
Strength	Static load	Base metal	12.4 kgf/mm ²
		Welded joint	8.7 kgf/mm ²
Stiffness	Maximum deflection of solebar	Smaller than 1/1,000 of length between bogie center	
Natural Frequency of first bending mode	Greater than 10.0 Hz		

하여 기능, 성능 및 안전성에 대한 시험 및 검증이 완료되었다. 아래의 표 1은 개발차량의 주요 제원이다.

1) 알루미늄 경량차체 개발

개발차량은 알루미늄의 경량화 구조로 설계되었으며, 그림 2에서는 유한요소 모델링(1), 강도해석 결과(2), 제작된 차체 형상(3)에 나타내었다. 수직하중 조건에 대한 유한요소 해석 결과에서 최대응력은 전두부측 출입문 모서리에서 발생됨을 알 수 있으며 크기는 3.41 kgf/mm² 이다. 이 값은 재료의 강도 기준(welded joint 8.7 kgf/mm²)을 만족하고 있다. 처짐은 최대 값이 3.16mm(설계제한 조건인 5.3mm 이하)로 처짐 기준을 만족하고 있다. 재질은 알루미늄 합금인 DIN A6005A를 사용하였으며, 표 2는 개발된 고무차륜형식 경량 전철 차체의 강도설계 조건이다.

2) 고무차륜 1축 대차

주행안정성과 승차감을 위해서 독립조향 성능을 갖는 1축 독립대차를 적용하였고, 구조와 형상을 그림 3에 나타내었다.

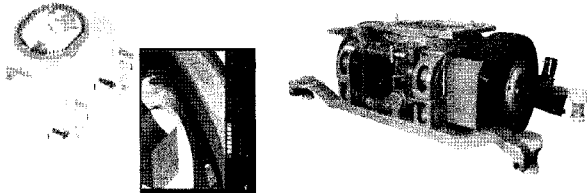
3) 실내외 설비

외기로부터 실내의 온도변화 및 외부 소음을 줄이기 위하여 지붕판, 측 외판, 단부 전, 후판의 내면에는 방열, 방음, 흡음을 위한 단열/흡음재를 사용하였다.

또한 창문의 구조는 외부에서 보아 차체곡선을 따라 곡면유리로 제작되었으며, 차체와 동일감을 주기위하여 차체외곽 선과 동일한 선으로 외형



(3) 제작된 차체



(1) 강도해석

(2) 완성대차

그림 3. 강도해석 및 완성대차

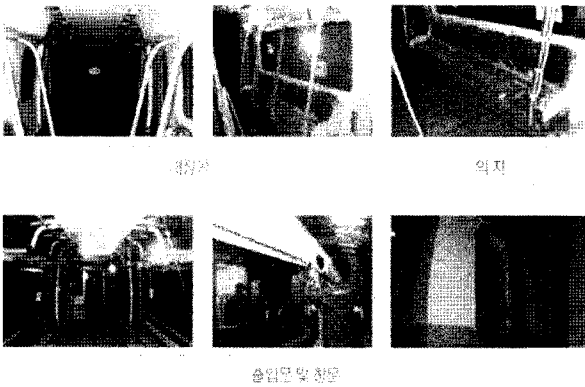


그림 4. 실내의 설비

미려도를 중시한 특수 실리콘 접착제를 사용하여 제작하였다.

4) 주요 전장품 개발

주요 신장품인 추진제어장치, 보조전원장치, 제동제어장치, 종합제어장치, 견인전동기, 점퍼케이블 등을 국내 개발하였으며, 무인운전을 위한 실내감시시스템과 신호 인터페이스에 의한 실시간 차량감시가 가능하도록 하였다. 또한, 무인개념의 운전대 적용으로 소형경량화 하였으며, 무인운행시

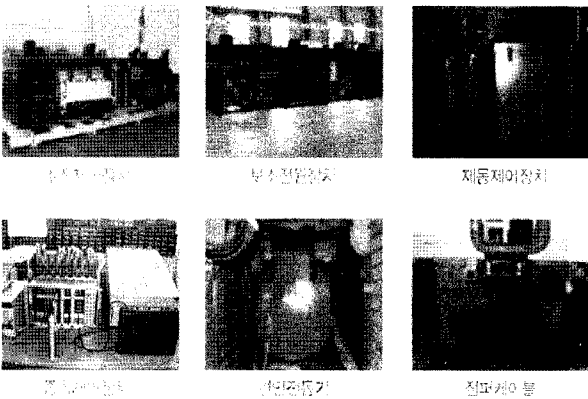


그림 5. 주요 전장품 개발

승객 조작이 불가능하도록 운전대 커버 및 쇄정장치를 적용하였다. 추진제어용 인버터는 경량화 달성 및 고장 발생시 대응을 위해 1C1M으로 구성하여 운용효율성을 높였다.

5) 주요 구성품 시험 및 완성차 시험 기술 확보

고무차륜 경량전철 차량시스템 시험은 구성품 시험, 완성차 시험, 시험선 주행시험 및 무인자동운전에 따른 안전성 검증 평가를 시행하였다. 구성품 시험과 완성차 시험은 도시철도 성능시험기준에 따라 제반시험이 완료되었으며, 아래의 그림 6, 7에서 주요 구성품 개발시험에 대한 내용을 나타내고 있다.

체계적인 시험, 평가 및 검증을 위하여 시험선을 건설하고 차량 시스템에는 별도의 계측시스템을 구축하였으며, 전체 시험 데이터는 데이터베이스화 하여 경험과 기술이 축적되

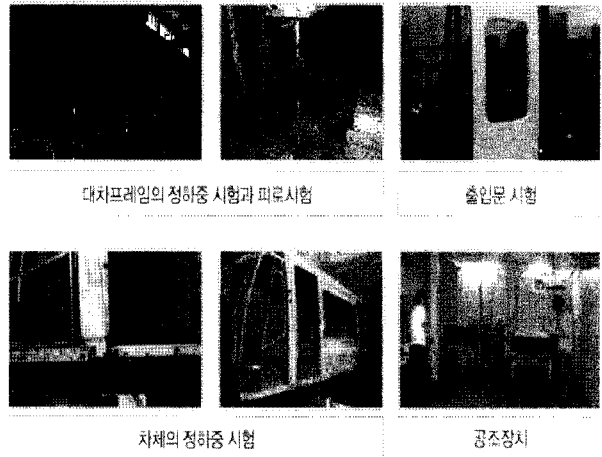
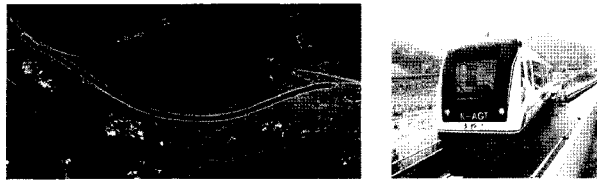


그림 6. 주요 구성품 개발시험(1)



그림 7. 주요 구성품 개발시험(2)



(1) 경선시험선 노선 (2) K-AGT 차량

그림 8. 경선시험선 노선 및 개발완료된 K-AGT 차량

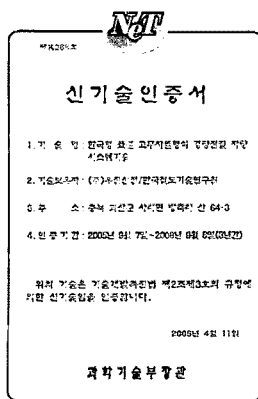


그림 9. 신기술 인증서

도록 하였다. 또한 시스템의 기능과 성능, 안정성 검증을 위하여 일본교통안전환경연구원(NTSEL)로부터 차량의 검증을 완료하였다. 그림 8은 경선소재 건설된 시험선으로 2005년부터 현재까지 완전 무인 운전 방식으로 95,000Km 이상을 주행하여 차량시스템 및 구성품의 신뢰성을 검증하고 있다.

6) 특허 출원 및 인증현황

고무차륜형 경량전철 시스템 개발은 세계 4번째 개발에 성공한 신기술로 2005년도에 교육과학기술부로부터 신기술 인증서(NET)를 한국철도기술연구원과 공동으로 수상하였다. 특허출원이 23회이며, 특허 및 실용신안 등록이 7건 발생되었으며, 디자인 4건과 프로그램 등록이 3건 이루어졌다. 그림 9는 2005년도 수상한 신기술인증서이다.

4. 실용화 성공

부산지하철 3호선 2단계(미남~안평) 구간이 고무차륜 경량전철로 확정됨에 따라, 2005년도 10월 14일 설비분야 기자재 구매(차량, SE, 검수, 전차선, 신호, 통신, PSD : 총 7개 분야) 계약이 체결되었다. 주식회사 우진산전은 부산지하철 3호선 2단계 사업의 성공적인 수행과 향후 국내 및 세계 경전철 시장에서의 경쟁우위 확보, 시장요구에 대한 능동적, 효율적 대응을 위하여 충청북도 오창에 세계 최대 규모의 경전철 차량 제작 공장을 완공하였다. 우진산전 오창공장은 12,000

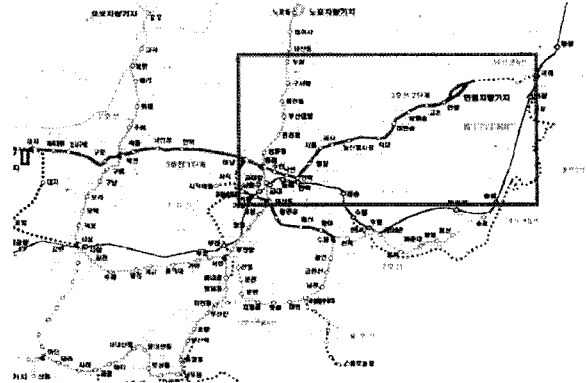


그림 10. 부산지하철 3호선 2단계 노선도

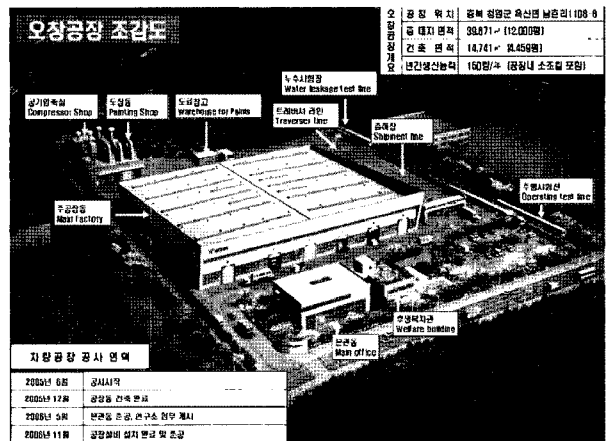


그림 11. (주)우진산전 오창공장 조감도

평의 대지에 최첨단 차량 제작설비 및 시험장비, 시운전선 등을 구축하고 있으며, 연간 약 150량의 차량 생산 능력을 구비하여 신교통 시장을 주도하는 경전철 선도기업으로 부상하고 있다. 부산지하철 3호선 2단계는 총 연장 길이 12.7km, 14개 역사에 차량기지 1개소로 건설된다. 그림 11은 차량 제작 공장의 조감도이다.

부산시에 공급 예정인 차량 실내외의 모습은 신교통시스템의 이미지와 부산의 상징적인 의미를 담고 있으며 총 5종류의 차량 실내외 조감도를 제시하여, 품평회 및 설문조사 등을 통하여 2006년 7월 확정하였다. 그림 12는 확정된 차량 조감도이다. 차량 전두부와 외관은 해양도시인 부산의 이미지에 부합되는 바다와 돛단배의 돛을 형상화하였으며, 확정된 차량의 디자인은 반송선의 노선색상인 청색(Blue)을 외형색상으로 적용하고 부산교통공사 마크와 다이내믹 부산 로고

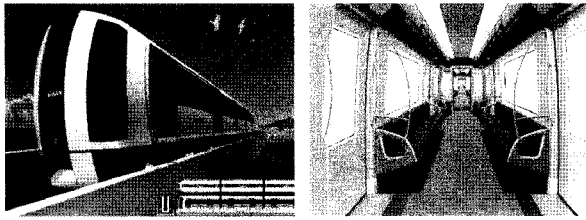


그림 12. 차량 실내외 조감도



(1) Mock-Up 차량 제작 (2) 초도편성 차량 제작 완료

그림 14. 부산지하철 3호선 2단계 차량 제작



(1) 외관구조검사 (2) 중량측정시험 (3) 차량한계 측정시험
(4) 리프팅 시험 (5) 제동장치 시험 (6) 차체 누수 시험

그림 13. 완성차 시험

를 선면 및 측면에 디자인 하였다. 차량실내는 밝은 분위기 조성을 위한 흰색계열 적용하고, 바닥과 객실의자는 해양도시를 이미지화한 깨끗한 청색을 적용하였으며, 실내 측면 상부에 LCD표시기 적용으로 각종 정보를 제공할 수 있게 하였다. 또한 승객 시야 확보를 위해 일체형 대형 창문을 적용하였으며, 차량간 이동이 용이하고 확 트인 느낌의 광폭 연결막 적용하고 선반 및 의자 받침대 미설치로 실내공간 확보 및 곡선형 스테이션 폴 적용으로 미려도 및 편의성이 확보되도록 하였다.

2006년 12월 28일 차량 제작관련 설계도면 및 기술자료의 승인이 완료되어, Mock-Up 차량(Mc, M3)을 제작하였으며, 2007년 5월 16~19일까지 부산 철도산업 불류전 전시 및 차량 품평회를 시행하였다. 2007년 4월부터 2008년 5월까지 도시철도 차량 성능시험 기준에 의한 차량 구성품 형식시험 완료, 초도편성 제작 완료 및 완성차 시험을 시행하였으며, 2008년 6월 9일 초도편성 차량이 경산시험선에 입고하여 현재 예비주행 시험중에 있다. 그림 13은 완성차 시험과정 사진이며, 그림 14 (1)은 제작 완료된 Mock-Up 차량이며, (2)는 완성차 시험까지 완료된 초도편성 차량이다.

4.1. 향후 추진계획

2008년 6월~9월까지 시험선 주행을 통한 성능 확인 및 5,000km 예비 주행을 실시하며, 2008년 11월 초도편성 차량이 부산시 안평소재 차량기지로 반입 예정이다. 반입 차량은 2009년 4월까지 차량기지 시험을 실시하며, 2010년 1월~7월까지 본선시운전, 2010년 8월~12월까지 숙달훈련 및 영업시운전 실시 계획으로 개통은 2010년 12월로 예정하고 있다. 현재 K-AGT를 적용하기 위한 민간 투자제안 사업으로 서울시 4개 노선, 기타 지방도시 3개 노선에 제안중에 있으며, 향후 소규모 지방 도심내 수송분담이나 도심간 간선형 소형 경전철 수요를 만족시킬 수 있도록 지자체 운영처에 홍보활동을 지속적으로 추진할 계획이다.


5. 결론

한국형 경량전철시스템(K-AGT) 기술개발을 통하여 중전철 대비 건설비용의 저감(40~50%)과 국내 경량전철 건설의 활성화, 시험선 무인운전 시운전을 통한 차량시스템의 안전성 검증과 설계, 제작, 시험 및 운용의 기술과 경험 축적 및 운영효율성의 향상을 실현하게 되었다.

또한, 한국형 경량전철시스템(K-AGT)은 국산화율이 95%이상으로 해외수입 경량전철 차량 대비 30% 이상의 가격 경쟁력을 갖고 있으며, 운영유지비용 측면에서도 많은 이점을 가지고 있다. 부산시 이외에도 현재 계획중인 국내 노선은 40여개 정도로 추정되지만 일부 노선에서는 해외 차량시스템으로 계획하고 있다. 향후 경량전철을 계획하고 있는 지자체에 국내 기술력으로 개발된 한국형 표준 고무차륜형 차량시스템이 공급된다면 수입에 의존될 차량시스템의 비용을

최소화 할 수 있으며, 유지비용의 최소화를 통하여 전체 시스템의 가격과 성능을 안정시킬수 있을 것이다.

한국형 표준 고무차륜형 경량전철 차량시스템의 개발에 의해 경량전철 차량시스템의 설계, 제작기술을 확보하였고, 안전성 및 신뢰성 입증을 위하여 실제 운영을 고려한 시운전 선로에서의 무인자동운전(95,000km) 실시를 통하여 각 상용화 노선의 초기 투입에서 발생하는 시스템 불안정성을 제거하였다. 향후 국내의 경량전철 도입을 고려하고 있는 여러 노선에서 국내 기술로 개발된 시스템 도입을 통하여 경량전철의 효율적 건설과 운영이익을 도모할 것으로 기대된다. 또한, 교통혼잡의 완화로 인한 도시기능 향상, 이용 승객의 안전 및 편의성 제고, 그리고 환경문제 감소와 에너지 절감을 통하여 경량전철 건설예정지의 지역사회 발전과 국민복지 향상에 기여할 것으로 본다. 본 시스템 개발을 통한 경제적 이익을 예상한다면, 건설비용의 절감(약 40%, 약 1조 5,600억원, 총연구 사업비의 약 31배), 수입대체 효과(약 9,180억, 총연구 사업비의 약 18배), 동남아시아의 차량 시스템을 통한 수출경쟁력 강화(차량기준 연간 약 1,200억원, 총 연구사업비의 2.4배 : 한국철도기술연구원 홈페이지 인용)가 가능할 것으로

기대된다. 또한 국책사업으로 개발한 차량시스템의 적극적인 적용으로 국내 R&D 사업의 활성화를 기대한다. 

♣ 참고 문헌

1. 이은규 외, 고무차륜형 경량전철 차량시스템 기술개발, 2007 건설교통 R&D 성과포럼 논문집, pp. 98~101.
2. (주)우진산전, 경량전철 차량시스템 기술개발 연구결과보고서, 1999~2004.
3. 한석윤 외, 경량전철시스템 기술개발사업 1차년도 연구결과보고서, 경량전철 차체개념설계 및 구조해석, 한국철도기술연구원, 2000. 5.
4. 이호용 외, 한국형경량전철시스템(K-AGT) 신뢰성 평가에 관한 연구.
5. 김연수 외, 무인자동운전방식의 고무차륜 AGT 경량전철시스템기술개발, 한국철도학회, 제7권 제3호, 2004.
6. 이은규 외, 주행조건을 고려한 고무차륜 경량전철의 기본설계, 한국철도학회 2000년도 추계학술대회논문집, pp.271-281, 2000.
7. 한국철도기술연구원 경량전철팀, 세계의 경량전철 명진사.
8. 이은규 외, 주행조건을 고려한 고무차륜 경량전철의 기본설계, 한국철도학회 2000년도 추계학술대회논문집, pp.271-281, 2000.
9. 한국철도기술연구원 경량전철시스템연구단 홈페이지, www.krri.re.kr