

## 소형궤도열차시스템 개발

정락교\*, 김연수\*\*, 조봉관\*\*\*

한국철도기술연구원

## Development of Small Rapid transit System

Rag-Gyo, Jeong\*, Yeon-Soo, Kim\*\*, Bong-Koan, Cho\*\*\*

Korea Railroad Research Institute

**Abstract** - 도심 공간의 활용 극대화, 택시 수준의 편의성, 환경친화성을 가진 미래형 대중교통 시스템에 대한 검토와 더불어 양질의 교통 서비스를 제공할 수 있는 새로운 미래형 교통수단 확보로 국민 삶의 질 향상 도모하고 소형궤도열차시스템에 대한 Global Standard를 창출하여 세계기술 선도 및 세계시장 진출기반 확보하는 측면에서와 승객의 쾌적성, 프라이버시 보장 등의 측면에서 타 시스템에 비해 높은 편의의 발생과 교통약자 및 서비스 낙후지역에 대중교통의 door to door 서비스 제공이 가능한 시스템의 개발이 필요함에 따라 최상위 개발시스템을 정의하여 시스템 요구사항 및 목표사항을 도출하였으며 이를 토대로 개발전략을 수립하였다.

## 1. 개발의 중요성

현재의 국제 경제·산업은 기술경쟁력 중심으로 각 나라별로 재편되고 있으며, 특히 각 국가별로 도시철도 기술과 같이 공공성이 강하고 경제·산업적으로 기술적 파급효과가 매우 큰 분야에 대해서는 차세대 성장 동력 기술로 선정하여 적극적으로 개발 육성하고 있다. 이러한 시대상황에 적극 동참하지 않을 경우 선진 외국기업의 국내시장 점유율확대 및 국내기반기술 미확보로 해외 수출 등에 엄청난 타격이 예상된다. 특히 우리나라와 같이 도시철도 분야의 국가기반기술 확보가 미흡한 경우 철도산업을 국가전략산업으로 육성하여 선진국과의 기술 격차를 극복하고 글로벌시대에 첨단철도산업으로 육성하여 핵심기술에 대해 선 특허권을 확보하고 해외 전문가관으로의 기술종속에서 벗어날 수 있는 기회로 삼아야 할 것이다. 철도산업은 각 분야별 산업의 원천기술을 조합하여 적용하는 산업으로 철도산업분야의 핵심기술 확보는 곧 타 산업분야로의 기술파급을 의미하는 것으로 첨단 도시철도기술의 개발은 국가 산업적 측면에서 반드시 추진되어야 한다.

또한 경제적인 측면에서 접근해보면 향후에 국내·외 철도시장의 규모는 철도교통의 정시성과 안전성 등의 장점으로 인해 그 수요가 기하급수적으로 늘어날 것으로 예상된다. 그리고 도시철도 이용자들의 요구조건이 향상되어 시스템의 신뢰성, 안전성 확보는 물론 첨단성, 친환경성 등까지도 도시철도기술에 포함되어야 할 분야이다. 특히 우리나라의 경우 운영기관들이 갖고 있는 만성적자들의 경제적인 문제는 본 사업을 통해 개발될 고효율, 저비용의 소형궤도열차시스템을 적용하여 해결할 수 있을 것으로 기대된다. 소형궤도열차시스템의 경우 선진 각국에서 미래교통시스템으로 활발히 연구개발 중이지만, 고속철도, 경량전철과 달리 아직 미개척분야로서 철도기술 선도, 건설비 및 운영비 절감 등을 위해 반드시 추진되어야 한다. 또한 기술개발사업을 통해 소형궤도열차시스템의 설계 및 제작기술을 국산화함으로써 국내 기술로 Global Standard를 창출하여 세계시장 진출기반을 확보하고 수출 경쟁력을 확보하고자 한다.

현재 우리가 개발하고자 하는 소형궤도열차시스템을

구성하고 있는 차량시스템은 네트워크운행제어시스템, 유도급전시스템 등으로 개발이 완료되면 철도분야 뿐만 아니라, 타 산업분야에 그 기술이 적용 가능하므로 경제 산업적으로도 많은 도움이 될 것이다. 또한 현재 우리가 개발 적용하고자 하는 기술은 향후 철도분야의 원천기술들로서 반드시 국가차원에서 확보하여야 할 기술들이다. 그리고 차량시스템의 경량화, 부품의 모듈화를 바탕으로 유지보수의 효율화를 도모하여 운영기관의 만성적자를 해결하고자 하며, 더 나아가 원천기술을 확보하여 해외 시장에서 선진국과 대등하게 경쟁하여 국가경쟁력을 확보하고자 한다. 그리고 기술개발사업을 통해 철도분야의 첨단핵심기술을 확보하여 수입대체 및 해외수출 등을 도모하여 경제·산업적으로 국가 경쟁력을 확보하고 철도분야 기업의 이익증대 등을 확보하고자 한다.

오늘날 우리사회는 도쿄의정서 발효 후 이산화탄소량의 배출기준을 엄격히 강화하는 등 친환경성의 강조와 경제성 및 교통약자에 대한 교통편의 시설의 확대 공급, 시스템 안전성확보 등에 대해 사회·문화적으로 적용기준이 강화되고 있는 실정이다. 또한 IT시대를 맞이하여 기존의 철도차량 고유기술에 첨단전기전자 기술과 네트워크 기술을 접목시켜 차량제어의 정밀화, 첨단화 등이 더욱 요구되고 있다. 이러한 사회·문화적 요구사항을 적극적으로 반영하기 위해 소형궤도열차시스템 개발시 각 분야별 적용 가능한 기술을 선정하고 기존의 보유기술을 접목시켜 개발기간 내에 요구기술이 개발 완료될 수 있도록 적극 노력할 예정이다. 본 연구개발 사업에서 중점적으로 수행하고자 하는 분야는 도시철도시스템의 친환경성, 안전성, 신뢰성 및 경제성, 승객편의성 등을 향상시키고자하는 분야로서 각 분야별로 적용기술을 국내·외 기술수준을 감안하여 기술의 범위 등을 정하여 개발을 추진할 예정이다.

## 2. 본 론

## 2.1 소형궤도열차시스템의 정의

소형궤도열차시스템(Personal Rapid Transit : PRT)은 APMs(Automated People Movers)라고도 불리며, 총연장거리가 1~10km, 시간당·방향당 3,000~10,000명 정도를 수송할 수 있는 시스템으로써 궤도를 따라 운행되고 수송용량은 대략 차량당 2~20명을 처리할 수 있는 교통수단으로 정의한다. 일반적으로 APMs시스템은 미국 시애틀, 달라스, 마이애미와 같은 공항에서 승객을 이동시키는 목적으로 도입된 교통수단이다. 이 지역의 운영사례를 보면 상당히 성공적인 것으로 보이지만, 여러 가지 이유로 인해 APMs(특히 PRT와 같은 형태)는 실제적인 교통수단으로 받아들여지지 않았다. 그 이유에 대해서는 차차 기술하겠지만 가장 근본적인 이유는 재정지원에 관한 문제와 이용효율의 비효율성에 있다고 하겠다.

소형궤도열차시스템은 개념 자체가 매우 불분명하였을 뿐만 아니라 조차기 시스템에 대한 검증의 부적절함과

기존 교통체계의 변화에 대해서 수동적이었기 때문에 PRT를 대중화하는데 실패한 하나의 요인으로 작용하였다. 따라서 첨단교통협회(Advanced Transit Associati-on<sup>1)</sup>)는 불분명한 PRT의 개념을 표준화하기 위해 1988년 PRT시스템에 대한 지침서를 만들었다.

- 완전무인자동운전인 궤도차량
- 24시간 이용할 수 있으며, 혼자 혹은 작은 그룹으로 독립된 이용이 가능한 소형차량
- 고가, 지상, 지하에 건설할 수 있는 소형 궤도
- 복선화된 네트워크에서 모든 궤도와 역을 이용할 수 있는 차량
- 출발지에서 목적지까지 환승 없는 Non-Stop 운행
- 고정된 스케줄보다는 수요에 따라 서비스를 공급하는 시스템

소형궤도열차시스템은 전 세계적으로 영업운행 중인 노선이 없고, 운영 및 설계개념, 시스템 구성 등도 나라마다 상이하여 개발목표사양(안)을 결정하는데 크게 참고가 될 만한 해외시스템이 많지 않은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 이와 같이 제한된 참고자료와 경량전철시스템 기술개발사업에서 축적된 시스템엔지니어링 기술을 활용하여 다음과 같은 절차를 통해 첨단성, 친환경성, 경제성을 갖춘 소형궤도열차 시스템 개발목표사양(안)을 정의하였다.

### 2.2 차량시스템 목표사양(안)

차량시스템 목표사양(안)은 주요방식과 용량을 중심으로 주행방식, 분기방식, 차체 재질 및 제작방식, 제동방식, 노선특성(최급구배, 최소곡선반경), 차량 성능사양(최고속도, 가속도, 감속도)으로 구성되었다. 본 보고서에서 정의된 개발목표사양(안)과 상세한 차량시스템 사양은 차량 기본설계, 상세설계, 타 분야와의 인터페이스, 종합 성능분석 등을 수행하면서 결정, 변경, 추가, 삭제 등 관리될 것이다.

표 1 소형궤도열차 차량시스템의 성능사양(안)

항 목	차량 성능사양(안)	검토 의견
최대축중	1.0 ton 이하	4인승 차량의 만차하중 조건을 2.0ton 이하로 제한함.
최급구배	100 % 이상	차량중량, 전동기 용량과 관련된 사양으로서 잠정적 목표치
최소곡선 반경	10-15m 이하	차량한계, 축간거리, 안내 조항방식을 종합적으로 고려하여 결정해야할 성능사양
최대승객 하중	0.6-0.8ton/량(성능기준) 0.9-1.2ton/량(강도기준)	4인승 차량 기준으로서 자동차 설계규정 등을 차후에 고려
공차중량	1.0 ton/량 이하	유도급전에 의한 배터리 충전으로 차량이 추진될 경우 전력장치의 추가중량이 예상된다.
만차중량	2.0 ton/량 이하	전력, 신호, 분기장치를 모두 포함하여 2.0 ton 이하로 제한
차량운영	1량을 기본으로 중련편성 가능	고장열차를 견인할 수 있는 기능과 능력을 보유
승객정원	4명/량	일정규모의 수하물 탑재와 휠체어 승객 탑승가능

성능최고 속도	70km/h 이상	
운행최고 속도	60km/h	
표정속도	40-45km/h	
가 속도	2.5-3.0% 이상	차량중량, 전동기용량, 노선구배 등을 종합적으로 고려하여 차후에 확정해야할 성능사양
감 속도	상용 : 2.5-3.0% 이상 비상 : 5.0% 이상	

차량시스템의 개발목표사양(안) 작성 절차는 그림1과 같다.

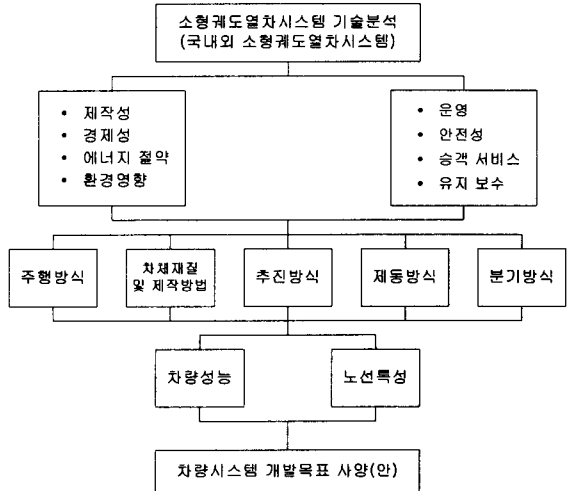


그림 1 차량시스템 개발목표사양(안)

### 2.3 전력공급시스템 목표사양(안)

표 2 급전시스템 선정을 위한 사양

구 분	소형궤도 열차 시스템 사양
노선거리	21 [km]
역간거리 및 역 개수	300 [m] / 총 70개 역
운행거리	최소 300[m] ~ 최대 21[km] (1 ~ 70 개 역 통과)
역내 대기 차량 대수	5대
탑승인원	4 [명]
운행속도	60 [km/h]
주행시 소비전력	20 [kW]
주행 환경	·주행 중 정지 기회는 목적지에서 1회만 존재 ·주행 중 총 1회 최대가속을 위한 최대 에너지 소비기회 발생(출발역사에서 출발하는 시점에만 최대가속이 필요)

표 2를 토대로 하여 검토한 결과 유도급전방식이 타당하다는 결론에 도달하였다.

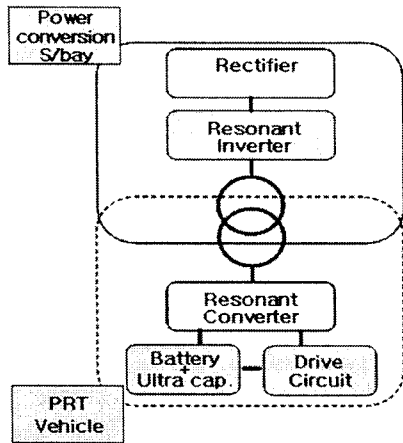


그림 2 유도급전 역사 급전회로/배터리시스템 구성도

## 2.4 네트워크 운행제어시스템 목표사양(안)

표 3 네트워크 운행제어시스템 사양(안)

구분	사양(안)
차량간 거리유지 방식	이동 폐색 방식
동기 방식	동기식 제어
제어의 집중성	중앙제어에 의한 집중제어 (속도 프로파일을 중앙제어시스템에서 생성)
위치 감지 방식	RFID 기반 위치 감지 방식

신교통 시스템인 소형케도차량 시스템의 구현을 위해서는 핵심 기술 중의 하나인 네트워크운행제어 알고리즘의 개발이 필수적이다. 네트워크운행제어에는 주 선로에서 차량의 운행 및 역내에서 차량의 주 정차와 관련한 원활한 차량의 통제를 위한 알고리즘을 포함하고 있다. 주 선로에서 차량의 원활한 통제를 위해서는 차량과 중앙 제어 시스템과의 긴밀한 무선통신이 보장되어야 하며 분기점(De-merging point)과 병합점(Merging point)에서의 차량의 흐름을 방해하지 않는 차량 통제 알고리즘을 필요로 한다. 또한 역에서 원활한 차량의 관리를 위해서는 역 진입 논리, 주 선로 진입 논리 등 역 내에서 승객의 요구에 부응해서 소형케도 차량 시스템이 갖고 있는 장점을 충분히 활용할 수 있는 역 내 차량 통제 알고리즘을 필요로 한다.

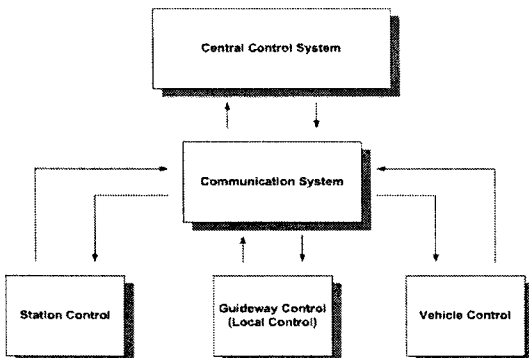


그림 3 운영제어 구조

## 2.5 선로구축물 목표사양(안)

국내에서 처음 도입되는 시스템이기 때문에 합리적인 구조물 설계기준의 정립이 요구된다. 또한 상하부조 형식별 특성을 분석하였는데, 강구조물과 콘크리트구조물의 적용은 현장여건을 감안하여 판단해야 한다. 다만 신교통 시스템의 운영 특성상 도심지에 부설해야 하고 곡선반경이 작은 구간의 선로구축물을 감안하면, 구조물 점유공간이 작고 도시경관의 조화, 시공기간이 짧아 도심에서 공사에 유리하고 시공시 교통소통문제 유발부담이 경미, 강교제작 기술발달로 곡률반경이 작은 구조물에 적용성이 좋은 강구조물이 유리한 측면이 있다.

표 4 선로구축물 사양(안)

구분	사양(안)
가이드웨이 지지방식	파좌식
가이드웨이 개방 여부	차단형
상부구조물 형식	강구조물에 일부 콘크리트적용
정거장 구조물	강구조물에 일부 콘크리트적용

## 3. 결 론

시스템요구사항 도출 및 그에 따른 하부시스템요구사항 작성을 토대로 하여 분야별 시스템 목표사양(안)을 작성하였다. 이를 기반으로 하여 시스템 기본설계/상세설계(알고리즘개발)/제작/시험평가를 수행할 예정이며, 아울러 분야별 개발 목표를 표 5와 같이 설정하였다.

표 5 시스템 개발목표

소형케도열차 시스템 기술 확보 및 Global Standard 창출	
"종합시스템의 설계·제작·검증, On-Demand 및 Non-Stop 운행 실현"	
시스템 엔지니어링	- 종합시스템엔지니어링 체계구축 - 시스템 개발 및 검증 - Pilot Plant 구축을 통한 검증
차량 시스템	- 소형케도열차 차량시스템 엔지니어링 기술 - 소형케도열차 차량시스템 설계 및 제작
전력 공급 시스템	- 전력공급시스템 엔지니어링 기술, 설계 및 제작, 시험평가 - 구조물설계/시공/유지관리 기준 제시
네트워크 운행 제어 시스템	- 네트워크운행제어시스템 개발을 통한 무인운전/On-Demand/Non-Stop 운행 구현

## [참 고 문 헌]

- (1) 정락교, 김연수의, "차세대 도시철도시스템 기술개발사업 (분야 : 소형케도열차시스템)보고서, 2006