

## 한국형 PRT 시작차량 사양선정 및 설계

### Study on the Specifications and Design of the Korean PRT Vehicle

김준우\*, 강석원\*\*†, 이광섭\*, 김찬수\*, 정락교\*\*

Joon-Woo Kim\*, Seok-Won Kang\*\*†, Kwang-Seob Lee\*, Chan-Soo Kim\*, Rag-Gyo Jeong\*\*

**Abstract** The Personal Rapid Transit(PRT) systems have recently attracted attention in future transportation developments both domestically and internationally due to increasing needs for eco-friendly transportation systems with high accessibility and demand-responsive transport capability. The PRT system can be simply characterized as a new transportation system operating without specific operational schedule and route. Accordingly, this system is capable of providing non-stop transport services to go to the desired destination on a road network having multiple loops. Currently, two PRT systems have been operated on pilot basis in the overseas(e.g., Heathrow airport in UK, Masdar City in UAE). In this study, the target specifications and system configuration of the Korean PRT vehicle are introduced and its potential to offer an alternative transport concept for extended application is also discussed.

**Keywords** : PRT(Personal Rapid Transit), New transportation system, On-demand transit, Magnetic marker-based guidance, Wireless power supply

**초 록** 최근 국내외적으로 친환경 녹색 교통시스템에 대한 수요증가와 교통 접근성 및 편의성 향상을 위하여 수요자 맞춤형 신교통시스템이 주목 받고 있다. 수요응답형 순환교통시스템(PRT : Personal Rapid Transit)은 다수의 루프를 포함하는 네트워크 형태의 노선에서 정해진 노선이나 시간 계획이 없이 승객이 원하는 목적지로 정차 없이 이동할 수 있는 새로운 교통수단이다. 현재 국외(예: 영국 히드로 공항 및 아랍에미리트의 마스다르시)에 시범노선이 건설되어 운영되고 있지만, PRT 시스템의 표준모델로 보기에는 부족한 점이 있다. 이에 본 연구에서는 보다 확장/유연성을 갖는 신개념의 한국형 PRT 차량 시스템을 소개하고, 현재 개발 중인 PRT 시작차량의 사양 및 시스템에 대해 소개한다.

**주요어** : 한국형 PRT, 신교통시스템, 수요응답형 순환교통시스템, 자기마커 기반 안내, 온라인무선급전

## 1. 서 론

수요응답형 순환교통시스템(PRT : Personal Rapid Transit)은 여러 대의 소형 차량이 출발지에서 목적지까지 논스톱으로 이동하며, 작고 슬림한 구조물계획이 가능한 신교통시스템이다. PRT는 높은 시스템 접근성과 개인 프라이버시 보장 등 자동차 수준의 서비스 제공이 가능하며 무인운전, 운영자동화의 구현으로 유지비를 절감할 수 있는 장점이 있다[1].

† 교신저자: 한국철도기술연구원 수요응답형교통연구단 (swkang@krri.re.kr)

\* (주)우진산전 철도차량 기술연구소

\*\* 한국철도기술연구원 수요응답형교통 연구단

PRT 차량은 100% 전기로 구동되며, 시스템 자체에서 배출되는 대기오염 물질이 없는 친환경적 대중교통시스템의 특징 때문에 미래형 교통수단으로서 많은 주목을 받아 왔으며, 현재에도 국내외적으로 활발한 연구개발이 진행되고 있다[2]. 본 연구에서는 한국철도기술연구원의 주관으로 연구개발 중에 있는 한국형 PRT 차량에 대해 소개하고, PRT 시작차량의 주요장치 사양선정 및 시스템에 대해 소개한다.

## 2. 한국형 PRT 시스템

### 2.1 한국형 PRT 차량의 특징 및 제원

한국형 PRT 차량은 도로에 자석을 매설하고 이를 검출함으로써 자기 위치를 인식하는 방식의 자기센서 기반 무인자율주행 방법에 따라 운행된다. 차량에는 자석을 검출하기 위한 마그네틱센서가 차체의 하부에 설치되며, 차량의 제어컴퓨터는 운행 중 검출된 자석신호와 차량의 센서정보를 이용하여 차량의 실시간 절대위치(x, y)와 조향각( $\theta$ )을 계산한다. 차량의 주행경로는 차량의 한계속도, 정거장 위치정보 등이 기록된 기준경로서 데이터베이스화되어 시스템으로 구축된다. Fig 1은 한국형 PRT 차량의 자기센서 기반 무인자율주행 시스템의 개념을 나타낸다.

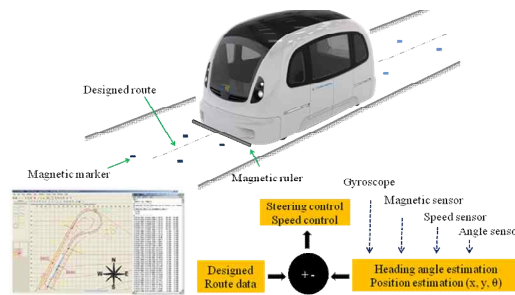


Fig. 1 Magnetic marker-based automatic guidance system concept

차량의 전원공급방식은 무선급전(Wireless power supply)방식이 적용된다[3]. 이 시스템은 지상 급전장치로부터 전기를 수집하는 픽업코일(Pick-up coil) 장치와 레귤레이터(Regulator) 모듈로 구성되며, 픽업코일 장치는 차량 하부 중앙에 설치된다. 선로 상면에는 별도의 집전을 위한 구조물이 없으며 지상급전 라인은 노면 아래에 매설된다. 차량은 정거장에서 정차할 때 전자유도 방식에 의해 에너지저장장치로 급속(1분 이내) 충전되며, 모터 및 각종 서비스 기기들에 전기가 공급된다. Fig2는 무선급전 시스템의 구성 및 에너지 흐름도를 나타낸다.

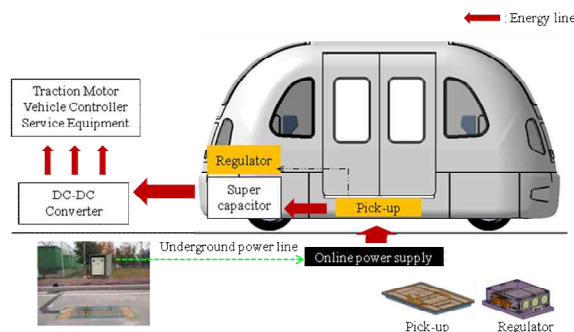
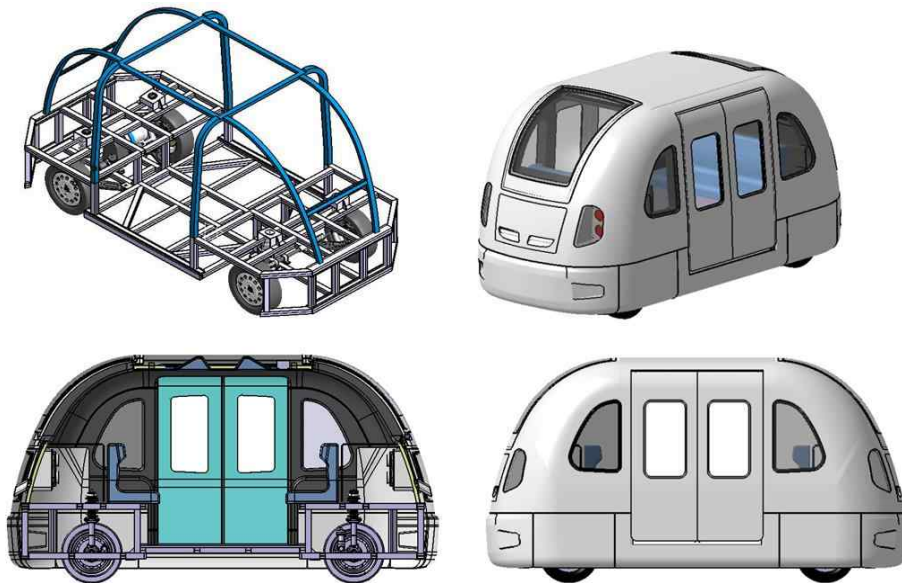


Fig. 2 Online power supply system

한국형 PRT 차량은 전/후 조향이 가능한 4륜 조향(All Wheel Steering) 시스템을 적용한다. 승강장으로 들어온 차량은 정차 후 출발할 때 후진 주행 없이 바로 본선으로 진입할 수 있도록 하여 운행 시간을 단축 할 수 있다. 또한, 곡선반경을 최소화하여 건설비를 절감할 수 있는 장점이 있다. 현재 개발되고 있는 PRT 시차량(Prototype)의 제원은 Table 1과 같으며, 차량 형상을 Fig 3에 나타낸다.

**Table 1** Specifications of the Korean PRT vehicle

| Dimension           |      | Target Specifications |           |          |
|---------------------|------|-----------------------|-----------|----------|
| Length              | 3.8m | Empty weight          | 900kg     |          |
| Width               | 1.8m | Loaded weight         | 1,300kg   |          |
| Height              | 2.0m | Max. design speed     | 50km/h    |          |
| Wheel base          | 2.3m | Max. operation speed  | 40km/h    |          |
| Wheel track         | 1.2m | Max. acceleration     | 0.97m/s/s |          |
| Min. turning radius | 6m   | Deceleration          | Normal    | 1.4m/s/s |
| Max. gradient       | 100‰ |                       | Emergency | 3.3m/s/s |



**Fig. 3** Prototype of the Korean PRT vehicle

## 2.2 차량시스템 구성 및 주요장치의 사양선정

### 2.2.1 차량시스템 구성

차량은 무인자동운전을 위해서 다양한 장치들로 구성된다. 차량의 추진을 위한 전기모터와 동력전달장치(감속기), 제동을 위한 전기-유압식 제동모듈, 전원공급 장치를 통해 전기 에너지가 충전되는 에너지저장장치(슈퍼커패시터), 그리고 자동주행을 위한 센서들과 이들 신호를 수집하여 운전자를 대신하여 판단하고 처리하기 위한 제어컴퓨터(네비게이션 컨트롤러)가 차량에 장착된다. 또한 도로에 매설된 자석표지를 검지하기 위한 자석검지센서가 차량의 하부에 설치되고, 차량의 주행 방향을 제어하기 위해 안내제어장치가 설치된다. Fig 4는 차량시스템의 주요 장치에 대한 시스템 구성도를 나타낸다.

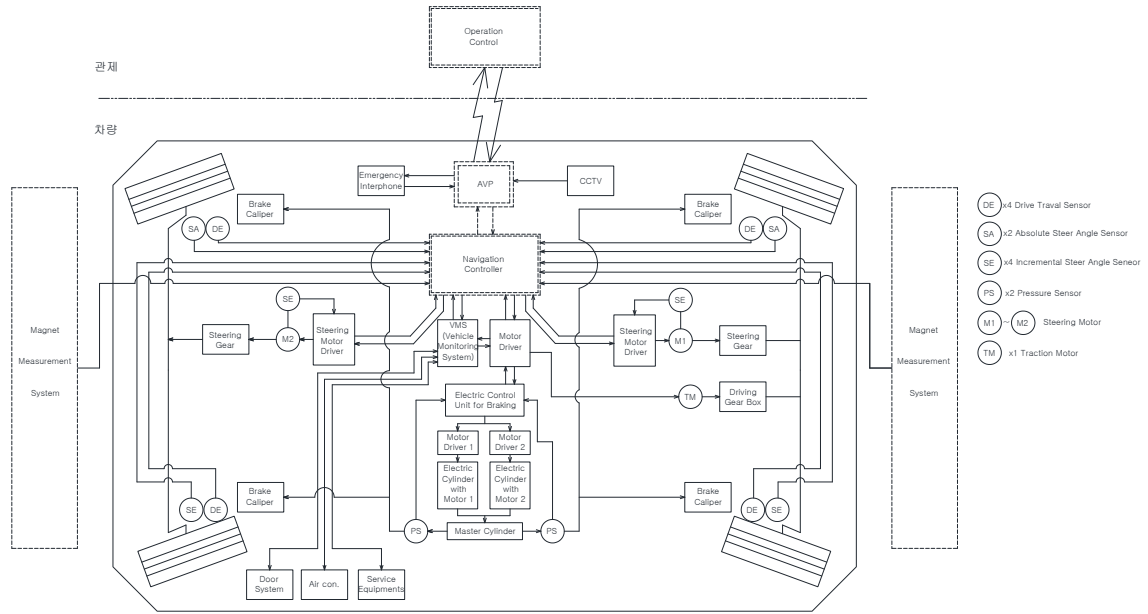


Fig. 4 System configurations

### 2.2.2 차량 성능 시뮬레이션

PRT 차량의 에너지 소모량을 예측하기 위하여 차량의 노선 및 운행 시나리오를 가정하고, 차량에 요구되는 전력량을 산정하여 에너지 저장장치의 용량을 선정하였다. 시뮬레이션에 적용한 노선은 철도기술연구원내 시험 노선을 기준으로 하였으며, 이 노선은 총 길이 650m에 5개의 역사를 갖는다.

차량운행 패턴은 차량이 정지상태에서 2.5km/h/s로 가속하여 운행속도가 30km/h에 이르면 정속 운행하고, 역사에 정차할 때는 감속도 5.0km/h/s로 감속하며 정지한다. 그리고 차량은 다시 재출발하여 다음 역까지 운행하는 것으로 가정하였다. 시험노선을 1회 운행할 때 필요한 차량의 전력량은 추진모터의 소비전력과 차량의 기타 부하전력의 합으로 계산하고, 차량에서 필요한 전력량 보다 에너지저장장치의 용량이 크도록 선정하였다. PRT 차량의 추진모터 효율은 90%로 설정하고, 차량의 성능을 결정하는 주요 조건인 주행저항(R)은 고무타이어로 콘크리트 노면을 주행하는 자동차와 유사하므로 이론 식을 참고[4]하여 식(1)과 같이 정리하였다.

$$R = R_r + R_a + R_{ac} + R_{gr} [N] \quad (1)$$

$$R = W\mu + \mu_a AV^2 + \alpha / g(W_e + W) + W \sin \theta [N]$$

여기서, PRT 차량의 주행저항은 구름저항력( $R_r$ )과 공기저항력( $R_a$ ), 가속저항력( $R_{ac}$ ), 등판저항력( $R_{gr}$ )의 합으로 계산한다.  $W$ 는 만차중량 1,300 kg을 적용하고,  $\mu$ 는 전동저항계수로 마멸된 콘크리트 포장도로 0.012 값을 적용하였다. 공기저항계수( $\mu_a$ )는 0.026으로 가정하였으며, 전면 단면적( $A$ )은 3.6m<sup>2</sup>이다.  $V$ 는 차량속도(m/s)를 나타내고  $\alpha$ 는 가속도(m/s<sup>2</sup>),  $g$ 는 중력가속도(m/s<sup>2</sup>)를 나타낸다. 회전부분의 상당관성중량( $W_e$ )은 관성질량보상계수 0.08을 적용하였으며, 등판각( $\theta$ )는 노선의 구배 값을 구간별로 구분하여 적용하였다.

상기 언급된 정보를 바탕으로 차량에서 필요로 하는 전력량 시뮬레이션 결과를 Table 2에 나타낸다.

**Table 2** Simulation results of the energy performance

| Section        | Distance (m) | Gradient (%) | Accelerating time (sec) | Constant running time (sec) | Decelerating time (sec) | Required power (Wh) |
|----------------|--------------|--------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|---------------------|
| Station 1 to 2 | 130          | 10           | 12.0                    | 6.6                         | 6.0                     | 45.8                |
| Station 2 to 3 | 100          | 21           | 12.0                    | 3.0                         | 6.0                     | 41.8                |
| Station 3 to 4 | 100          | 0            | 12.0                    | 3.0                         | 6.0                     | 35.8                |
| Station 4 to 5 | 120          | -25          | 12.0                    | 5.4                         | 6.0                     | 31.9                |
| Station 5 to 6 | 200          | 1            | 12.0                    | 15.0                        | 6.0                     | 56.0                |
| Station 1 to 6 | 650          | -            | 60.0                    | 33.0                        | 30.0                    | 211.3               |

PRT 차량의 에너지원은 충·방전 시간, 사용수명, 무게 등을 고려하여 슈퍼커패시터를 선정하였다. 슈퍼커패시터는 역사에서 짧은 시간 내에 급속충전을 할 수 있고, 많은 양의 에너지를 충전할 수 있으며 50-100만 사이클의 수명으로 반영구적이기 때문에 무선충전 방식을 채택한 PRT 차량에 유리한 장점이 있다[5].

시뮬레이션 결과로 볼 때, PRT 차량이 연구원 내 시험 노선을 주행할 경우 123초가 소요되며, 1회 주행 시 211.3Wh의 전력량이 필요하다. 슈퍼커패시터의 용량은 필요 전력량 211Wh 보다 25% 여유를 갖도록 Table 3과 같이 제품을 선정하였다.

**Table 3** Characteristic of super capacitor module for Korean PRT

| Contents       |       | Specifications        | Note                              |
|----------------|-------|-----------------------|-----------------------------------|
| Type           |       | LIC                   | Lithium-ion capacitor             |
| Rated voltage  |       | 45.6 [V]              | Cell                              |
| Rated capacity |       | 275 [F]               |                                   |
| Module         |       | 3 series x 2 parallel | Module<br>Limit of use : 87.7 [V] |
| Voltage        | Max.  | 136.8 [V]             |                                   |
|                | Min.  | 79.2 [V]              |                                   |
| Capacity       | Rated | 183.4 [F]             |                                   |
|                | Max.  | 283.4 [Wh]            |                                   |

### 2.2.3 제동시스템 설계

제동시스템은 전기-유압식 브레이크(EHB : Electro-Hydraulic Brake) 방식을 적용한다. PRT 차량은 제어컴퓨터(네비게이션 컨트롤러)가 제동연산 한 값을 제동제어장치(ECU)로 제동지령을 송신하면, ECU에서 전기모터를 컨트롤하여 적정 브레이크 유압을 발생시켜 디스크를 제동하는 시스템을 적용한다. 제동장치(BCU : Brake Control Unit)는 각종 이물질의 투입을 방지하고 내부를 보호하기 위해 박스 형태로 모듈화 되어 차량에 설치되며, BCU의 내부는 유압제동 실린더 및 유압 압력센서, 필터 등으로 구성된다. 제동시스템 구성도 및 모듈형상은 Fig 5에 나타낸다.

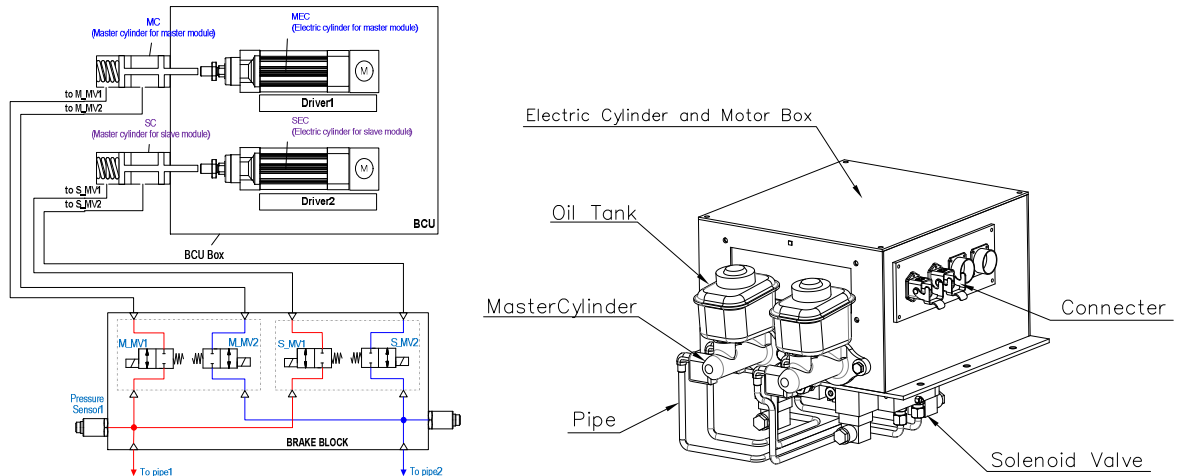


Fig. 5 System configurations of the Korean PRT

### 3. 결론

본 논문에서는 현재 개발 진행 중에 있는 한국형 PRT 시작차량의 특징과 사양, 차량시스템 구성 및 차량 시스템에 대해 소개하였다. 현재는 내년 시작차량 제작을 목표로 차체프레임 설계와 주요장치의 사양 선정이 완료되었으며, 차량의 주요 구성품을 설계/제작 중에 있다. 우리는 한국형 PRT 차량 개발을 통해 최근 주목 받고 있는 PRT 시스템에 대한 해외기술 의존성을 줄이고, 차량제작 기술을 확보하여 국가기술 경쟁력을 향상 시킬 수 있을 것으로 판단된다.

### 후 기

본 연구는 "수요응답형 순환교통시스템(PRT) 핵심기술 개발(PK13006A)" 사업의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

### 참고문헌

- [1] J. H. Irving, H. Bernstein, C. L. Olson, and J. Buyan (1978) Fundamentals of Personal Rapid Transit, *D.C. Health and Company, Lexington M.A.*
- [2] M. W. Kim and H. Y. Lee (2009) Status of PRT Technology Development and Guide-Way R&D, *DAEWOO engineering company report*, pp. 83-103.
- [3] Y. B. Chung, S. O. Park, J. S. Kim, H. S. Kim, K. W. Hwang, J. H. Kim, S. Y. Ahn (2012) System and Electromagnetic Compatibility of Resonance Coupling Wireless Power transfer in On-Line Electric Vehicle, *International Symposium on Antennas and Propagation*
- [4] C. S. Lee (2004) Automotive Engineering, *Dong myung sa*, pp. 48-54.
- [5] S. B. Kwon, R. G. Jeong, S. G. Chung, S. W. Kang (2013) A Development of the Electric Power Supply System for PRT vehicle, *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, 62(2), pp. 196-200.