

Personal Rapid Transit의 기본개념 및 현황



| 이 준 호 |
한국철도기술연구원
선임연구원



| 정 락 교 |
한국철도기술연구원
책임연구원



| 김 용 규 |
한국철도기술연구원
실장

1. 머리말

21세기에 진입하면서 전 세계는 탄소배출량의 증가에 따른 지구 온난화 문제와 그에 따른 지구환경의 악화라는 문제에 직면하고 있으며, 한편으로는 지구 환경악화에 대응하기 위한 여러 가지 규제 조치를 선진국을 중심으로 적극적으로 검토하기 시작했다. 이러한 전 세계적 변화 추세에 대응해서 교통 수송 분야에서도 탄소 배출량을 줄이기 위한 새로운 개념의 교통 시스템 및 저탄소 하이브리드 차량 개발 등 다양한 연구가 진행되고 있으며 특히 지구환경으로부터 자유로운 지속가능한 미래형 교통 시스템인 Personal Rapid Transit (PRT) 시스템은 새로운 대중교통 수단으로서 그 가능성에 대해서 주목 받으면서 세계 각국이 실용화에 노력을 기울이고 있다. 본 고에서 PRT 시스템의 기본개념 및 특징과 PRT 시스템의 국내의 개발현황에 대해서 간단히 소개한다.

2. PRT 시스템의 기본 개념

PRT 시스템은 출발지에서 목적지 까지 무정차운행과 승객의 요구에 의해서 차량을 배차하는 on demand 방식을 기본 개념으로 하고 있으며 국내에서는 소형궤도차량 시스템으로 알려져 있다. 1988년 미국의 Advanced Transit Association에서는 PRT 시스템이 구축되기 위해서는 on demand 방식에 의한 차량 관리, 출발지에서 목적지

까지 무정차운행, 완벽한 무인 운전, 한 대의 차량당 2-6명의 승객이라는 요구조건을 만족 시켜야한다고 발표하였다. 이러한 요구조건은 기존의 궤도 방식의 열차 시스템과는 완전히 다른 개념으로서, 열차의 운행제어 관점에서 고찰할 때 기존의 열차운행제어 방식이 PRT 차량의 무인운전제어에는 적용되기 어렵기 때문에 PRT 시스템의 기본개념을 충족시키는 PRT 차량 운행제어 알고리즘의 개발을 필요로 한다. 표 1은 PRT 차량 운행제어 시스템과 기존의 열차운행제어 시스템과의 차이점을 보여 준다.

3. PRT 시스템의 기본 특징

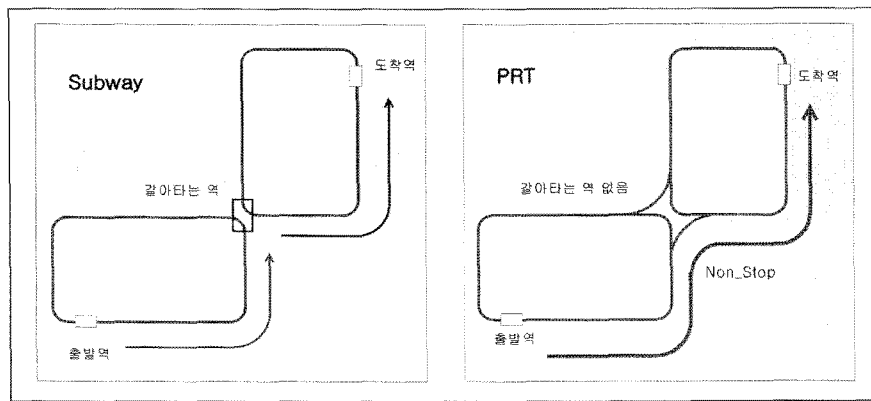
PRT 시스템이 지닌 특징은 넓게 보면 신속성, 편리성, 경제성 및 친환경성으로 볼 수 있다. 즉, 안전성과 신뢰성을 바탕으로 승객을 신속하고 편안하게 목적지까지 무정차로 이동시키며, 시공 및 유지 보수가 용이하여 공사로 인한 공해나 교통흐름의 방해가 적고, 저공해 에너지의 사용과 재활용 가능한 소재의 사용으로 친환경적이다.

가. 신속하고 편리한 도심 이동수단

- ① On-Demand Service
- ② 갈아탈 필요가 없는 대중교통수단
- ③ Privacy의 보장
- ④ 사계절 24시간 운행
- ⑤ 저렴한 설치비, 용이한 노선확장

표 1. 기존 열차운행제어 시스템과 PRT 차량 운행제어 시스템의 차이점

	PRT 차량 운행제어 시스템	기존 열차 운행제어 시스템
네트워크운행 제어 시스템	<ul style="list-style-type: none"> · 무인운전에 의한 차량제어 시스템이므로 기존의 운전자에 의해서 제어되는 열차 제어 시스템을 적용하기 어렵다 · 병합 및 분기점에서 선로 전환기가 없기 때문에 기존의 지상중심 열차 진로제어 시스템을 사용할 수 없다 · 운행시나리오가 기존의 열차 시스템의 시나리오와 다르기 때문에 PRT 시스템에 적합한 운행시나리오 개발이 요구된다 (On-demand 방식) 	<ul style="list-style-type: none"> · 기관사에 의한 열차운전 · 선로 전환기에 의한 열차 진로 제어 · 승객이 열차를 기다리는 운행시나리오 (Schedule base 방식)
차량 측위 시스템	<ul style="list-style-type: none"> · 궤도가 없는 guideway에 의해서 차량이 지지되므로 차량의 위치를 검지하기 위한 검지 시스템이 필요하다 	<ul style="list-style-type: none"> · 궤도회로에 의한 열차 위치 검지
무선통신 시스템	<ul style="list-style-type: none"> · 차량의 제어를 위한 제어정보 및 데이터의 전송을 위해서 궤도 또는 지상자를 이용하지 않기 때문에 유무선 통신 시스템이 필요 하다. 	<ul style="list-style-type: none"> · 궤도 또는 지상자를 통한 정보 전송



(a) Line Haul 시스템의 노선변경

(b) 소형궤도열차 시스템의 노선 변경

그림 1. Line Haul 시스템과 소형궤도열차시스템의 노선변경 방법 비교

- ⑥ 접근이 쉬운 역
- ⑦ 기존 건물의 내부에 정류장 설치 가능
- ⑧ 단위시간당 높은 수송능력
- ⑨ 극대화된 안전성

나. 경제적인 이동수단

- ① 짧은 건설 기간: 건설기간의 단축으로 교통 및 환경적 비용소모가 적다.
- ② 저렴한 건설비: 경량구조물이 지상에 건설됨으로 지하철대비 매우 저렴하다.
- ③ 용이한 노선확장: 시공이 용이하여 노선확장이 쉽다.
- ④ 승강장 건설의 용이: 기존의 건물을 이용할 수 있어

승강장건설이 용이하다.

다. 친환경적 이동수단

- ① 저공해: 전기와 같은 저공해 에너지의 사용으로 공해가 적다.
- ② 건축 폐기물 배출 감소: 철재와 같은 재활용 소재의 사용으로 친환경적이다.
- ③ 환경공해 감소: 건설시 단기의 공사기간으로 여러 가지 공해를 줄일 수 있다.

그림 1은 기존의 지하철에서와 같이 환승에 따른 불편함을 PRT 가 갖고 있는 특성들 중의 하나인 출발지에서 목적

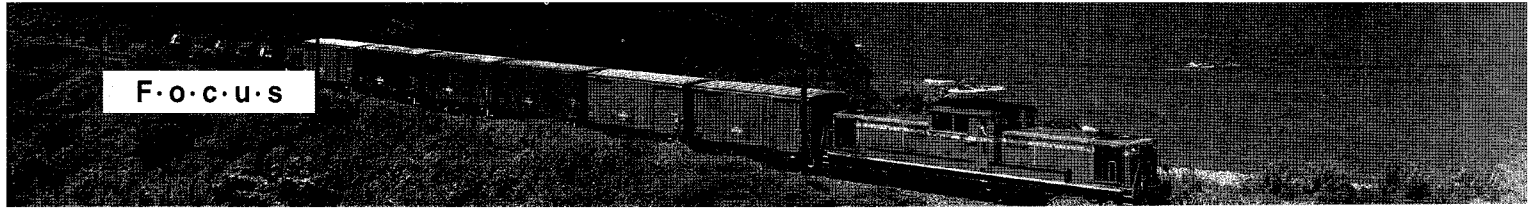


표 2. 추진 시스템별 특징

	On-Board 방식(LIM을 차량에 설치)	In-Track 방식(LIM을 궤도에 설치)	회전 전동기형
방식별 Lay-out			
설치 장소	· 차량 : 선형유도 전동기 (On-board) · 지상 : Reaction plate	· 차량 : 추진 전동기 설비 없음 · 지상 : 선형 유도 전동기를 전노선 구간의 궤도에 일정 간격으로 설치 (In-track)	차량 설치
정보 전송	· 차량 제어 정보 : 유무선 정보전송(Vital) 필요 · 차량 상태 정보 : 유무선 정보전송(Non-vital) 필요	· 차량 제어 정보 : 유무선 정보전송(Non-vital) 불필요 ▷ 궤도상의 선형 유도 전동기의 지상설비(인버터)에 의한 제어 · 차량 상태 정보 : 유무선 정보전송(Non-vital) 필요	· 차량 제어 정보 : 유무선 정보전송(Vital) 필요 · 차량 상태 정보 : 유무선 정보전송(Non-vital) 필요
차량 제어	· 통신 기반 차량 제어 방식으로 차량의 선형 유도 전동기의 제어 정보를 중앙제어시스템에서 전송 : 전동기 제어 설비 차량 설치	· 궤도상의 많은 선형유도전동기를 각각 제어해서 차량의 이동 특성 확보 : 각전동기별 제어설비를 별도로 지상에 설치해야 함	· 회전 전동기의 회전 속도제어용 주파수 정보는 지상설비 또는 유무선 통신을 통해서 전송 : 전동기 제어설비 차량 설치
차량 위치 파악	· 궤도상에 설치된 특성의 센서를 이용해서 차량 위치 파악	· 궤도상의 전동기의 activation 상태로 차량의 위치 파악	· 궤도상에 설치된 특성의 센서를 이용해서 차량 위치 파악
궤도	· 전동기 및 제어설비의 차량 설치로 지상 궤도 설비간단	· 전동기 및 제어설비의 지상 설치로 지상 궤도 설비 복잡	· 전동기 및 제어설비의 차량 설치로 지상 궤도 설비 간단
제어 방식	· 궤도상에 전동기 및 전동기 제어 설비가 없기 때문에 다양한 차량 제어 방식 적용 가능	· 전동기들이 궤도상에 일정 간격으로 설치되어 있기 때문에 차량제어 방식 적용 제한적	· 궤도상에 전동기 및 전동기 제어 설비가 없기 때문에 다양한 차량 제어 방식 적용 가능 : LIM 방식에 비해서 상대적으로 차량 제동 거리가 길기 때문에 이를 고려한 제어방식 적용 필요
승차감	· 차량 속도 정밀 제어가 가능함으로 승차감 향상 유리	· 전동기의 불연속적인 설치로 인한 jerk 발생으로 승차감 향상 불리	· 차량 속도 정밀 제어가 가능함으로 승차감 향상 유리
전원공급	· 별도의 차량전원 공급 설비 필요 (예: 전차선, Battery 충전장치)	· 별도의 차량전원 공급 설비 불필요	· 별도의 차량전원 공급 설비 필요(예: 전차선, Battery 충전장치)
인프라설비 및 건설비	· 경량화 용이함 / 건설비 저렴	· 경량화 어려움 / 건설비 증가	· 경량화 용이함 / 건설비 저렴
유지보수	· 용이함	· 어려움	· 용이함
차량 구성	· 차량 중량이 상대적으로 크고, 복잡	· 차량의 경량화, 구조 간단	· 차량 중량이 상대적으로 크고, 복잡
차량간격 (시격)	· 시격 단축 유리	· 시격 단축 불리	· 긴 제동거리로 인해서 시격 단축은 상대적으로 불리
운영 제어	· 차상 분산 제어	· 중앙 집중 제어 ▷ 지상설비의 차량위치파악 정보 기본 제공으로 안전성 확보 용이	· 차상 분산 제어

표 3. 차량 운행제어 방식 비교

항목 \ 방식	점 추종(Point Follow) 방식	차량 추종(Vehicle Follow) 방식
차량간 거리유지 방식	이동 폐색 방식	폐색 무관
동기 방식	동기식 제어	비 동기식 제어
제어의 집중성	중앙제어에 의한 집중제어 (속도 프로파일을 중앙제어시스템에서 생성)	지역하부 시스템에 의한 분산제어 (속도 프로파일을 차량제어시스템에서 개별적으로 생성)
안전성	· 안전거리 확보를 기본 제어 개념으로 한다 · 중앙집중화에 따른 시스템 복잡도의 감소에 따른 안전성 확보 용이	· 차량 간의 최소 간격확보를 기본 제어 개념으로 한다 · 시스템 제어권의 분산화에 따른 복잡도 증가에 의해 안전성 및 신뢰성 감소
시스템 유연성	속도 프로파일을 중앙제어시스템에서 일률적으로 생성	속도 프로파일을 상황에 따라 차량제어시스템에서 최적화 생성
차량간 제어 통신	차량간 제어통신은 허용하지 않음	차량간 통신에 의해서 선두차량의 위치 파악 및 운행 제어
차량제어의 용이함	중앙제어에 의한 개별차량의 제어기 구조의 단순화가 가능	개별차량의 수행기능의 증가에 따른 제어기 구조의 복잡성 증가
병합점 제어	예약 제어 개념의 적용에 의해서 병합점 제어의 단순화 가능	선형차량과의 통신을 기반으로 병합점을 제어하므로 병합점에서의 진입시도 차량과의 신규의 통신 링크 미확보에 따른 충돌을 피하기 위한 대안책 필요
중앙제어 컴퓨터의 부하량	많은 부하가 중앙제어 시스템에 집중된다.	제어에 의한 부하는 하부 시스템으로 분산된다.
시스템의 제어관할 범위	넓다	좁다
제어방식에 따른 역 규모	예약 제어 방식을 채택하는 경우 역의 규모(정차장의 개수, 역내 지선 등)는 예외 상황을 대비하여 여유 정차장을 확보할 수 있도록 이론적 설계 규모 이상으로 설계 하여야 한다.	점 추종 제어 방식과 동일
적합성	운행역 및 병합개소가 많은 네트워크내에서 안전성의 확보가 용이 *도심지 복잡구간에 적합 *일정거리를 유지하면서 주행하는 차량들에 적합	주선로 구간이 장거리인 네트워크내에서 그룹으로 주행하는 고성능(추진/제동) 차량으로 구성된 시스템에 적합 *도심과 교외지역의 연결구간에서 적합

지까지 무정차 운전 특성을 이용해서 해소할 수 있음을 보여주고 있다.

4. PRT 시스템의 기술적 고찰

4-1. 추진시스템

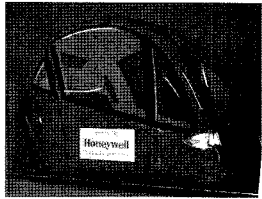
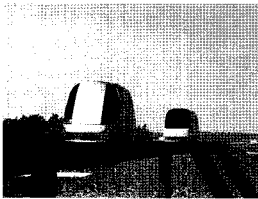

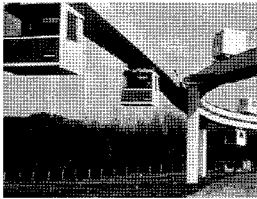
PRT 차량의 추진 시스템은 선형 모터(Linear Motor)와 회전형 모터를 고려할 수 있으며, 각 시스템별 장단점을 갖고 있다. 표 2에서는 각 시스템별 특징 및 장단점을 보여주고 있다.

4-2. 운행제어 방식

PRT 차량운행제어 알고리즘은 지상 중심 운행제어 알고리즘과 차상 중심 운행제어 알고리즘으로 나누어 질수 있다. 지상 중심 운행제어 알고리즘은 점 추종 제어 개념(point follower concept)으로 알려져 있으며 차상 중심 운행제어 알고리즘은 차량 추종 제어 개념(vehicle follower concept)으로 알려져 있다. 점 추종 제어 알고리즘은 guideway 상에 가상적으로 생성된 점을 차량이 추종하도록 제어하는 개념으로서 점과 점 사이의 간격은 시스템 내의 차량운전 시격과 일치한다. 점 추종 제어 알고리즘에서 무인 자동운전 기능이 원활히 작동하기 위해서는 점을 추종하는 차량과 점 사이의 위치오차가 최소화 하도록 차량의



표 4. 국외 시스템들의 특징

	Skyweb Express	ULtra	Vectus	Cabintaxi KK3
항목				
추진	이중화, 내장식, single-sided 선형 유도 모터	회전 전동 모터 구동 타이어	유도로상에 설치된 Single-sided 선형 유도 모터	이중화, 내장식, double-sided 선형 유도 모터
주동력	600V DC 내부 유도로 전기 레일	재충전식 배터리	자체 발전기	500 V AC 내부 유도로 전기 레일
보조 동력	배터리	배터리	배터리	배터리
추진 제어	이중화 자체 기변 주파수 구동	자체 제어기	LIM당 트랙 제어	자체 인버터 제어기
브레이크	LIM 브레이크 및 전기 비상 브레이크	타이어/유도로 인터페이스의 전자유압 브레이크	LIM 브레이크, 영구자석 형 브레이크, 전자 유압식 비상 브레이크	LIM 브레이크, 전자 유압식 비상 브레이크
제어 방식	비동기식 분배 제어 시스템	동기식 집중 제어 시스템	비동기식 분배 제어 시스템	비동기식 분배 제어 시스템
조향 메카니즘	상호작용식의 차량/노변 제어	독립된 차량 센서	상호작용식의 차량/노변 제어	상호작용식의 차량/노변 제어
차량 통신	유도로 케이블 트랜스미버	무선 네트워크	다중 무선 네트워크	유도로 케이블 트랜스미버
정차역 운영	노선을 따라 순서대로 또는 여러대가 동시에	노선을 따라 순서대로 또는 여러대가 동시에, 또는 그냥 지나침	노선을 따라 순서대로 또는 여러대가 동시에	노선을 따라 순서대로 또는 여러대가 동시에
최소 차량간격	0.5 sec	2 sec	2.5 sec	0.5 sec

속도를 제어해야만 한다. 반면에 차량 추종 제어 알고리즘은 차량 간의 상대위치를 무인 자동운전 기능이 제어하는 개념으로서 각 차량은 선행차량(위치 및 속도)의 정보를 guideway 에 설치 되어있는 임의의 감지기를 통해서 받아들이고, 만약 차량 간의 거리가 크면 무인 자동운전 기능은 차량이 일정한 속도를 유지하도록 하지만 차량 간의 간격이 좁으면 무인 자동운전 기능은 차량이 안전거리를 유지하도록 속도를 조절한다. 표 3은 차량 운행 제어 방식에 대한 비교를 보여준다.

5. 기술개발 현황

5-1. 국외

대표적인 국외 PRT 시스템들로는 미국의 Skyweb Express, 영국의 ATS 사의 Ultra 시스템, 독일의 Cabintaxi 등이 있으며 한국의 포스코가 영국에 법인을 설립한 Vectus가 있다. 이들 중 영국의 Ultra 시스템은 영국의 히드로 공항 터미널과 공항 주차장을 연계할 수 있는 교통수단으로 선정되었으며 2009년 봄 시스템구축을 완성하고 가을부터 운전을 시작할 예정으로 있다. 이들 시스템들의 특징은 다음과 같다.

표 5. 한국철도기술연구원의 연구개발 수행 내용

과제명	사업명	과제최종 목표	사업 수행기간	중요사항
소형궤도차량 극소간격제어 기술 개발	공공기술연구회 → 정책연구사업	최소운전시각 0.5[sec]의 소형궤도 차량 극소간격 제어기술개발	2004. 07 - 2005.07 (1차년도 수행 후 종결)	- 0.5[sec]의 짧은 운전시각에 의한 구간별 운행 제어 기술개발 - 0.5[sec]의 운전 시각으로 인한 차량간의 충돌을 허용하는 제어 알고리즘 개발
소형궤도열차 시스템엔지니어링 기술개발	건설교통부 → 차세대 첨단 도시철도시스템 기술개발 사업	시스템 엔지니어링 기술개발에 의한 시험선 건설을 통해서 개발된 요소 기술의 검증	2005.07 - 2006. 04 (1차년도 수행 후 보류)	- 시스템 엔지니어링 기술 개발 - 시험선 건설 - 최상위 수준의 운영제어 프로그램 개발
소형궤도차량 운행제어 기술 개념설계(PRT 시스템 운행제어기술 기초연구)	한국철도기술연구원 → 기본연구사업	소형궤도차량 운행제어 시스템 핵심 기술연구	2007.01 - 2011.01 (2009.01-2011.12)	- 하위 수준의 구현 가능한 차량운행제어 알고리즘 개발 - 검증 시스템 개발
수요자 요구(On-demand) 대응 대중교통수단 (PRT/GRT) 개발	한국철도기술연구원 → 기획과제	On-demand 시스템 기술 확보	2008.01 - 2009.12	- On demand 제어 방식에 대한 시스템 레벨에서의 성능 및 운영 효율성 검토

5-1. 국내

한국에서는 한국철도기술연구원이 주도적으로 PRT 연구개발에 참여하고 있으며, PRT 차량 운행 제어기술 개발, 무인차량 운행제어 시나리오 개발 등 앞으로 주목 받게 될 신 교통 시스템의 시장 수요에 대응해서 PRT 관련 요소 기반기술의 확보에 노력하고 있다. 아래 표 5. 는 한국철도기술연구원에서 2004년 이후로 지금까지 수행하고 있는 PRT 관련 연구개발 과제를 나타낸다.

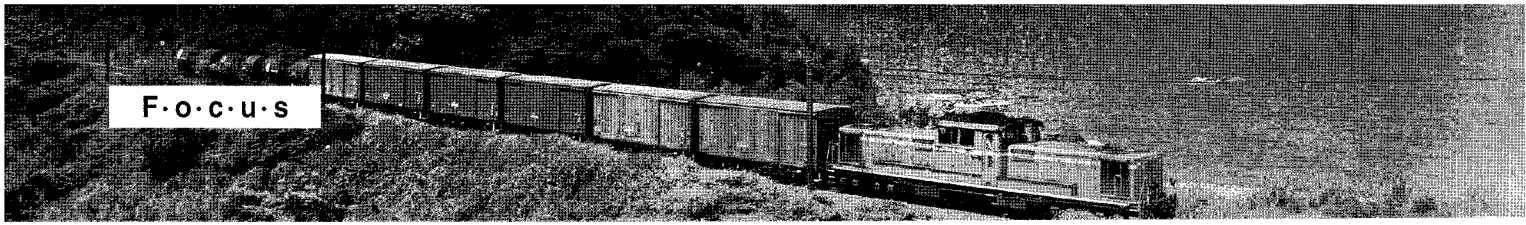
5. 맺음말

본 고에서는 PRT 시스템에 대한 기본 개념 및 시스템의 특징과 중요 관련기술에 대해서 간단히 소개했다.

PRT 시스템은 세계 각국이 당면하고 있는 대도시의 교통체증 문제, 자동차 배기가스 량의 증가 문제 등으로

발생하는 환경 악화 등과 같은 환경적 요인으로부터 자유로운 지속가능한 대중교통 시스템으로 앞으로 적극적으로 실용화가 이루어져야할 새로운 대중교통 수단이다. 또한 가까운 미래에 현실로 다가올 각국의 탄소배출량 규제에 대한 도심 대중교통 수단의 대체 방안으로서 높은 가능성을 보유하고 있으며 국민들의 경제 수준의 향상에 따른 질 높은 교통수단의 요구에 대응할 수 있는 방안이 될 것이다.

이러한 가능성과 국외의 PRT 실용화 전략 및 지속적으로 팽창되어 가는 국제 PRT 시장을 고려하면 우리나라에서도 하루빨리 PRT 연구개발이 정부 주도하에 이루어져야할 것이다. 그렇게 함으로서 관련 핵심기술의 국외 의존도를 줄이고 가까운 미래에 형성될 국내 PRT 시장에서 국내기술이 경쟁력을 확보할 수 있을 것이다. ☺



♣ 참고 문헌

- [1] 이준호, "소형궤도차량 제어를 위한 모의실험장치의 설계", 대한전기학회 논문집, Vol.57, No.11, pp. 2001-2005, 2008.
- [2] 이준호, 신경호, "A Configuration of the Apparatus for the Development of the Collision Avoidance Algorithm of Personal Rapid Transit", 한국철도학회 제10권, 제3호, pp1-6, 2007년6월.
- [3] Jun-Ho Lee, Kyung-Ho Shin, "Control of Personal Rapid Transit System and a Configuration of Apparatus to Evaluate its Control Scheme", 2007 IEEE Vehicular Power and Propulsion Conference, Sept, 2007.
- [4] 이준호, "국내 및 국외 PRT 동향 및 차량제어 기법에 관한 소개", 제 3회 철도기술연구 발표회, 2006년, 6월.
- [5] 이준호, 신덕호, 김용규, "개인 고속 이동 (Personal Rapid Transit) 시스템의 운전시각에 대한 연구", 한국철도학회 논문집, Vol. 8, No. 6, pp. 586-591, 2005.
- [6] 이준호, 신경호, 황종규, 이재호, 김용규, 최성규, "소형궤도차량의 운행제어 알고리즘 검증 시스템", 특허, 등록 번호 10-0779550.
- [7] 이준호, 신경호, 신덕호, 김용규, "소형궤도차량 운행제어 소프트웨어의 모듈화 구성", 특허 출원번호 10-2007-0082479.