



미니트램의 주행제어 시스템 개발

변윤섭 · 정락교 | 한국철도기술연구원 미래교통시스템연구실
문희창 · 우훈제 | (주)언맨드 솔루션

1. 서 론

미니 트램(Mini-Tram, PRT)은 최대 탑승 인원 6명이고 무인자동으로 운영되는 소형 신교통시스템으로 그림 1과 같은 특징을 갖는다. 이 트램은 전용도로(제한된 가이드웨이 내에서 운행)에서 운행되며 탑승자의 요구에 따른 편리성 및 최적 경로 운행으로 인한 시간단축과 안전성이 강화된 무인운전시스템이다. 이 시스템은 공공 교통 수단의 특징을 가지며 24시간 무인 운전 및 운영이 가능한 친환경 교통수단으로 주목받는 시스템이다. 기존의 대중교통수단의 단점을 보완하면서 도시권역의 교통 혼잡과 사고, 환경오염에 따른 문제를 완화해 줄 것을 기대하고 있다 [1].

현재 영국의 히드로 공항에서는 ULTra [2]가 아부다비의 마스다르 시티에서는 2getthere [3]가 PRT시스템으로 시험 운행중이다.

한국철도기술연구원에서는 도로에 매설한 자석표지를 기반으로 한 무인주행 미니트램(PRT)시스템을 개발하고 있다. 본 내용에서는 개발진행중인 한국형 미니트램시스템의 무인 주행제어 시스템 대하여 소개하려 한다.

2. 무인운전시스템 관련 기술 동향

현재 차량 무인자동운전기술에 대한 연구가 국내외에서 활발히 진행되고 있다. 무인자동차 연구에서 중요한 기술 중 하나가 자기위치 인식기술이다. 차량이 자신의 위치를 측정하는

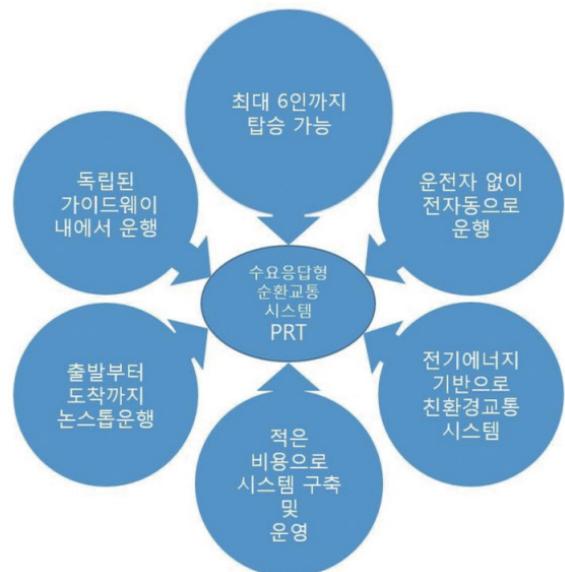


그림 1. PRT 시스템 특징

방식은 크게 절대위치방식과 상대위치방식으로 나눌 수 있다. 절대위치를 측정하는 방식으로는 GPS신호를 기반으로 하는 방식과 자석표지를 이용하는 방식 등이 있다. GPS의 경우 3개 이상의 인공위성으로부터 시간과 거리를 가지고 디바이스의 절대위치를 측정하는 방식이고 자석표지의 경우 노면아래 매설한 자석과 이들 위치를 절대좌표로 기록한 맵과 지자기센서로 측정되는 자기장의 값을 검출하여 기준점과 비교하여 위치를 측정하는 방식이다. 상대위치를 측정하는 방식으로는 카메라나, 레이저스캐너를 이용하여 차량 주변 물체와의 공간이나 거리를 탐지하는 것이다. 어느 방식도 독립적으로 완벽한 해결책을 제공하지 못하기 때문에 이들 방식은 서로의 단점을 보완하기 위해 서로 결합하는 방식이 적용되고 있다. 현재 상용차량업체 외에 구글과 같은 그 외의 기관에서도 관련 기술을 개발하고 개발차량을 선보이고 있다. 현재까지 상용차량업체는 주로 고가의 차량을 대상으로 충돌방지, 경로이탈방지, 차간거리유지 등에 관한 운전자 안전 지원시스템 장착하고 운전자의 편의성을 확대하고 있고 하지만 완전 무인자동차의 상용화를 위해서는 관련 기반기술의 신뢰성 및 완성도와 법적인 문제 무인차량의 사고에 대한 책임소재 등의 해결과제를 안고 있다.

3. 한국형 미니트램시스템의 특징

미니트램은 미리 계획되고 설계된 전용도로에서 주행한다. 미니트램을 이용하는 승객은 지정된 승차장에서 지정단말장치를 이용하여 요구목적지를 지정한다. 이 신호는 차량운영센터로 전송되며 운영센터는 근접한 위치에서 대기 중인 차량에 호출정거장 이동을 명령한다. 이동명령을 받은 차량은 승객이 호출한 정거장까지 자동주행으로 이동하고 정차한다. 승객이 차량에 탑승하고 출발스위치를 누르면 지정된 목적지로 이동을 시작한다 [4]. 미니트램은 주행 중에 자기차량 뿐만 아니라 전 노선의 상황을 모니터링하는 센터의 지령을 실시간 수령하여 주행제어를 수행한다. 따라서 이동 중 보이지 않는 선두차량과의 안전거리 확보를 위해 후속 차량을 정지 혹은 감

속시킨다. 또한 곡선부에서는 승차감을 감안하여 속도를 제어한다 [5].

미니트램이 승객을 선정된 목적지까지 경로를 이탈하지 않고 안전하게 이동시키기 위해서는 차량의 자기위치를 인식하는 부분이 필수적이다. 이를 바탕으로 차량은 주어진 경로를 따라 목적지로 주행할 수 있다. 일반적인 자동운전 차량의 경우 위치측정을 위해 GPS를 폭넓게 사용하지만 미니트램의 운영환경은 건물내부나 터널 등을 포함하기 때문에 이런 환경에 취약한 GPS의 활용은 부적합 하다. 따라서 운행경로가 정해져있는 교통수단의 경우 자석검지방식은 기온이나 기후 그리고 주변 환경에 거의 영향을 받지 않는 방식으로 좋은 대안이 된다.

*미니트램이 승객을 선정된 목적지까지
경로를 이탈하지 않고 안전하게
이동시키기 위해서는 차량의 자기위치를
인식하는 부분이 필수적*

본 미니트램차량개발에서는 도로에 자석표지를 매설하고 이를 검출함으로써 자기 위치를 인식하고 자동운전시스템이 구현 되는 것을 목표로 한다.

4. 미니트램의 자동운전시스템

개발중인 미니트램은 차량위치측정을 위해 자석검지 시스템을 기반으로 한다. 도로에는 자석표지가 매설되고 각 매석 위치를 측량을 통하여 DB(Data Base)화 한다. 차량하부에는 자석을 검출하기 위한 센서가 차량의 바퀴축과 평행하게 설치된다. 차량의 제어컴퓨터는 주행 중 검출된 자석신호와 차량의 여러 센서(속도센서, 조향각 센서, 자이로스코프 등)들의 정보를 결합하여 주행 중 실시간 절대위치(x,y) 및 주행방위(θ)를 계산한다. 차량의 주행경로는 미리 설계되어 절대위치 점 데이터형태로 DB가 구축된다. 여기에는 차량한계속도, 정거장 위치 정보 등이 기록된다. 따라서 현재차량의 위치를 알고 목적지가 주어지면 차량의 기준위치가 설계된 주행경로와 일치하도록 조향제어가 수행된다. 이와 동시에 주행 중 승차감, 곡선부 주행을 고려하여 이동시 설정된 주행속도로 가/감속 제어를 하게 된다.

차량의 제어는 차량 내부제어와 센터의 제어로 구성된다. 운영로 상의 모든 차량은 운영센터의 지령에 의해 통제된다.

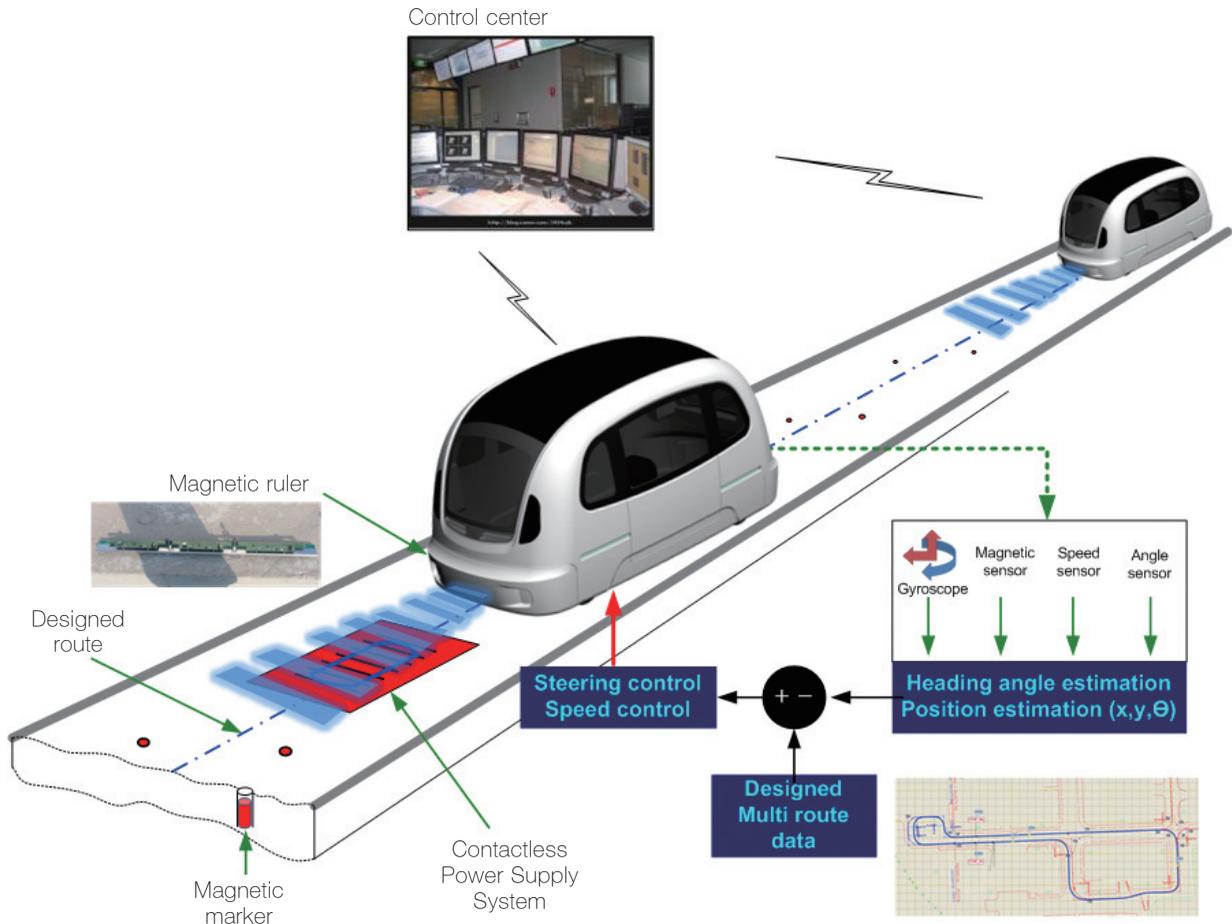


그림 2. 무인차량 운영제어 개념도

이를 위해서 센터는 각 차량의 실시간 위치, 속도, 상태 등을 모니터링 한다. 그림 2는 미니트램의 제어 및 운영구조이다.

4.1 자동운전시스템 구성

무인자동운전을 위해서 미니트램은 그림 3과 같이 다양한 장치들로 구성된다. 우선 차량의 움직임을 계측하기 위한 센서들과 계측된 센서 정보를 전송하기 위한 통신시스템, 수집된 정보를 연산하기 위한 제어컴퓨터들과 연산된 제어명령을 수행할 각 구동장치들로 구성된다.

자동운전시스템의 각 H/W장치들은 제작된 통합보드와 연결되며 취합된 각종 신호는 제어연산을 수행하는 자동운전 제어 컴퓨터와 연결되어있다. 수집된 정보를 이용하여 차량의 움직임을 예측하고 차량의 현재위치를 계산한다. 종/횡방향 제어기는 현재위치를 기준으로 목표위치와 목표속도에 맞는 제

어를 계산한다. 이렇게 계산된 제어신호는 각 하부의 조향 제어장치, 추진 제어장치에 전송된다. 이에 따라 각 구동장치가 제어된다.

4.2 자동운전시스템 설계

제어 컴퓨터는 내장형 리얼타임 프로세서이며 사용자에게 의 해 재구성이 가능한 FPGA 및 I/O를 단일 PCB에서 통합한다. 또한 차량 내부에 설치된 액츄에이터를 제어하고 센서의 데이터를 수집한다. 컨트롤러는 400 MHz 프로세서, 512 MB 비휘발성 스토리지, 256 MB DRAM으로 결정성 있는 컨트롤 및 분석, 사용자 정의 타이밍, 인라인 처리, 컨트롤을 위한 재설정 가능한 FPGA 를 기반으로 한다. 또한 96개 3.3V DIO 라인과 통합된 10/100BASE-T 이더넷, RS232 시리얼, CAN, USB 포트를 가지고 있다.



그림 3. 미니트램의 장치 구성도

외부 액츄에이터를 구동하기 위해선 액츄에이터 각각의 통신망과 전원공급을 담당하는 모듈이 필요하다. 제어통신망은 그림 4와 같이 구성된다. 설계된 통합 보드는 RS232 12ch, RS485 2ch, CAN 2ch로 구성되고 sbRIO와 결합하여 각각의 액츄에이터를 제어할 수 있다.

장착된 제어컴퓨터는 두 가지의 MCU 칩이 설계, 장착되어 있다. 고속 통신과 고속으로 차량 속도를 측정할 수 있는 소프트웨어가 FPGA에 설계되어 있고 Ethernet을 통해 들어온 디지털 데이터 값을 처리할 수 있는 고속 MCU로 나누어져 있다 [6].

4.3 주행기준경로 설계

차량 내 자동운전컴퓨터에는 미니트램이 주행해야하는 경로 DB파일이 저장되어 있어야 한다. 이를 위해서 시험로 상에 설치된 자석DB파일을 가지고 차량기준경로를 설계하게 된다. 기준 경로파일은 차량이 지나쳐 가야하는 경유점 자료를 포함한다. 여기에는 기준경로의 횡가속도제한, 속도제한, 정거장 위치 등이 포함된다. 이렇게 설계되면 이 기준 경로에 대한

절대 좌표 점을 추출하여 데이터베이스 파일로 만들고 이 파일이 자동운전컴퓨터에서 활용된다. 주행기준경로는 그림 5와 같이 설계되었다. 경로가 설계되면 그림 6과 같이 경유점에 대한 좌표(x, y) 방위(θ), 각 지정구간의 제한속도를 추출하여 자료화 한다.

4.4 자동운전시험 선로구축

미니트램의 기능시험을 위해 연구원내에 시험선로가 구축되었으며 시험선 연장 최대길이는 약 650m이다.

주행로의 중심에는 자석표지가 설치되었다. 자석표지는 위치초기화를 위해 2개소 구간에 1m 간격으로 11개씩 설치되었다. 그 외 임시 정차점은 5개소로 계획되었다. 자석표지는 총 313개가 매립 시공되었으며 마커간 최대간격은 3m로 설치되었다. 그림 7은 연구원내 시험노선계획도이다.

도로에는 그림 8의 자석표지가 매설된다. 길이는 30mm, 직경이 15mm의 영구자석이 사용된다.

자석표지는 그림 9와 같은 절차에 의해 주행로 중심으로 설치된다 [7].

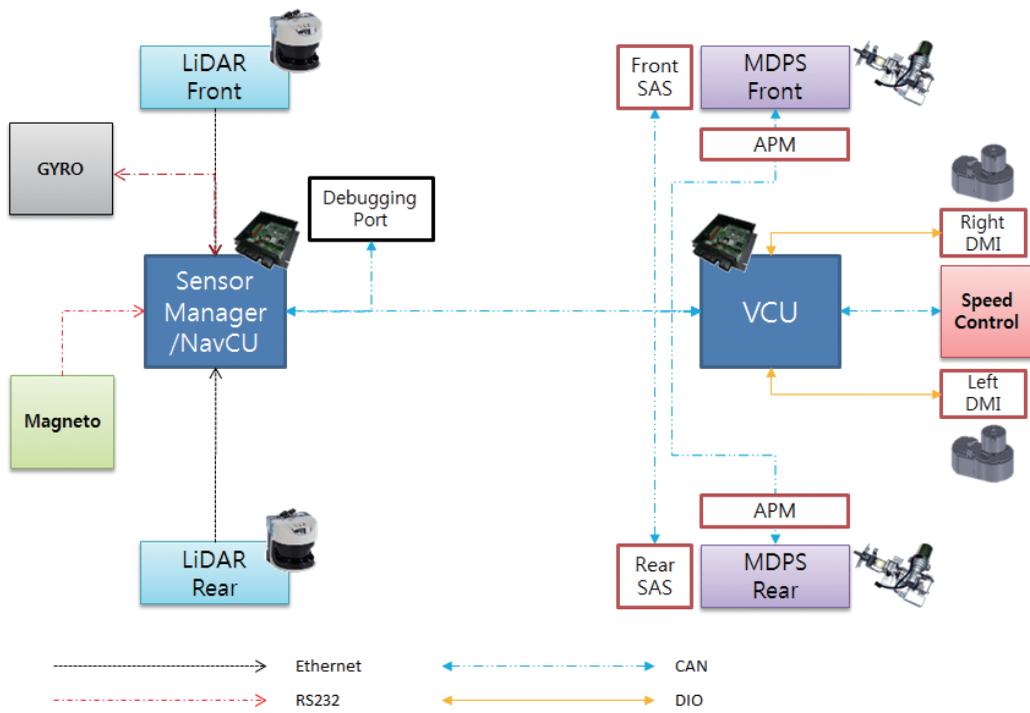


그림 4. 주행제어시스템 신호망



그림 5. 주행기준 경로 설계

Lister - [G:\Wd\WPRTW원내시험선로\WTotalROUTE.txt]

File	Edit	Options	Help			
195775.551	523675.156	4.7417	5.00	5.00		
195775.689	523670.782	4.7466	5.00	5.00		
195775.689	523670.782	4.7465	5.00	5.00		
195775.922	523663.173	4.7383	5.00	5.00		
195775.931	523662.853	4.7407	5.00	5.00		
195775.940	523662.553	4.7443	5.00	5.00		
195775.944	523662.409	4.7465	5.00	5.00		
195775.949	523662.269	4.7490	5.00	5.00		
195775.954	523662.132	4.7518	5.00	5.00		
195775.960	523661.999	4.7549	5.00	5.00		
195775.966	523661.869	4.7582	5.00	5.00		
195775.972	523661.741	4.7619	5.00	5.00		
195775.978	523661.617	4.7658	5.00	5.00		
195775.985	523661.494	4.7700	5.00	5.00		
195775.992	523661.374	4.7744	5.00	5.00		
195776.000	523661.256	4.7791	5.00	5.00		
195776.016	523661.024	4.7890	5.00	5.00		
195776.035	523660.800	4.7995	5.00	5.00		
195776.055	523660.580	4.8107	5.00	5.00		
195776.078	523660.364	4.8222	5.00	5.00		
195776.129	523659.945	4.8463	5.00	5.00		
195776.189	523659.538	4.8713	5.00	5.00		

그림 6. 주행경로 DB



그림 7. 시험노선도

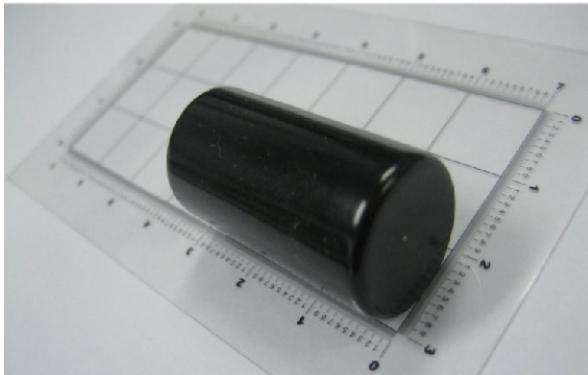


그림 8. 자석 표지

4.5 미니트램 자동주행제어

운행경로상의 모든 차량은 센터의 통제를 받는다. 이를 위해서 각 차량은 자신의 위치, 속도, 상태 정보를 실시간 무선으로 센터에 전송한다. 이를 바탕으로 개별차량의 배차, 출발, 정차, 속도 제한 권을 갖는다. 차량은 센터의 제한정보 내에서 차량을 제어하게 된다.

그림 10, 11은 시험차량이 자석검지를 통하여 위치를 계산하고 이를 통하여 주행제어를 수행한 결과 위치이다.

4.5.1 자동속도제어

차량이 센터로부터 목적지까지 가기위한 경로정보를 수령하면 차량의 자동운전제어 컴퓨터는 현재 위치로부터 목적지까지의 경로좌표를 메모리에 기록한다. 이제 주어진 차량 가속 한계 값과 설계된 구간 제한속도를 참조하고 센터의 속도제한 기준 내에서 속도지령을 생성한다. 이 속도지령은 추진 제어장치 및 제동장치에 전달되어 필요한 구동 및 제동력을 생성하게 된다.

4.5.2 자동안내제어

자동운전제어 컴퓨터는 도로의 자석표지를 검지함으로써 주행 중 차량의 위치/방위를 계산하고 설계된 기준경로와의 오차를 계산하여 이를 바탕으로 조향각을 결정한다. 계산된 조향각 정보는 조향서보모터 제어장치로 제어주기마다 전송된다.

자동운전시스템은 정밀하게 설계된 기준 주행경로파일을 가지고 있다. 기준 주행경로파일은 차량이 지정된 노선에서 따라 가야할 이동 경로이다. 이 파일은 특정한 프로그램에 의해 설계되며 주행도로 CAD데이터를 기반으로 차량의 주행기



그림 9. 자석표지설치

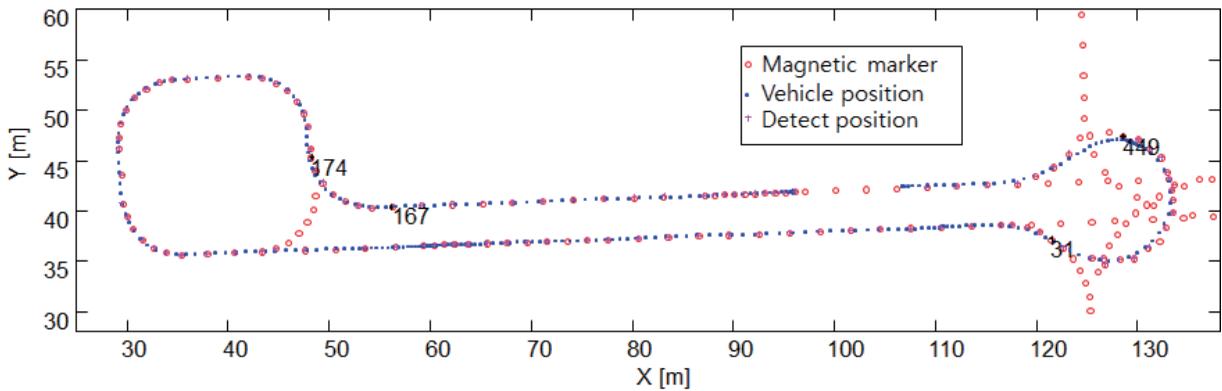


그림 10. 자석검출 및 주행궤적

준노선, 구간제한속도, 최대허용속도, 정차지점 등을 포함한다. 자동운전시스템은 계산된 차량의 실시간 위치와 기준경로의 2차원 평면 오차가 "0"이 되도록 차량을 제어한다. 즉, 차량상의 기준점이 기준경로상에 위치하도록 차량바퀴의 조향각을 제어해야 한다.

5. 결론

한국형 미니트램은 단위지역 내 분산되어 있는 승객들을 보다 안전하고 정확하며 친환경적으로 운송해줄 운송수단이다. 본 내용에서는 미니트램의 자동주행제어시스템 개발에 대한 내용으로 자석검지시스템을 이용한 미니트램의 자동주행 시스템을 설명 하였다. 이미 유럽, 중동을 중심으로 PRT시장이 널리 확산될 것으로 예상된다. 이에 우리도 기술적 우위를

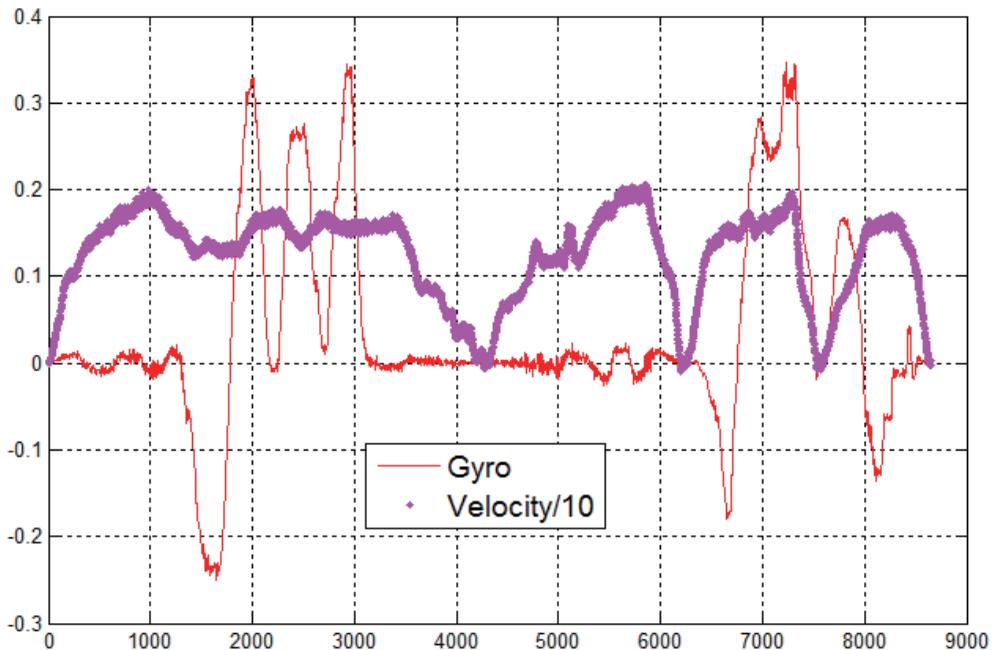


그림 11. 차량센서정보

가지고 향후 PRT 국제 표준제정에 주도적 지위확립을 이루어야 한다. PRT분야의 지속적 성장을 위해서는 국가차원의 지원과 제도정비가 필요하며 보다 많은 투자와 연구개발이 필요할 것으로 보인다. 미니트램은 기존의 타 교통수단과 연계된 소규모 맞춤형 친환경 신교통수단으로 구축되어 활용성을 높일 것으로 기대된다. 

참 고 문 헌

- [1] 정락교 외 20, “수요응답형 순환교통시스템[PRT] 핵심 기술개발”, 한국철도기술연구원 연구보고서, KRRI 연구 2014-126, pp248-291, 2014
- [2] <http://www.ultraglobalprt.com/>
- [3] <http://www.2getthere.eu/>
- [4] 변윤섭, 정락교, 황종규, 엄주환, “PRT 자동주행제어시스템 개발”, 대한전기학회 하계학술대회, 2013년 7월, pp1532-1533, 2013
- [5] 변윤섭, 김백현, 강석원, 엄주환, “자석표지기반 무인 자율주행 차량개발”, 대한전기학회 하계학술대회, 2014년 7월, 논문2014-0952
- [6] 변윤섭, 엄주환, 김백현, 강석원, 정락교, “PRT 차량 주행제어 시스템개발”, 한국산학기술학회 춘계 학술발표논문집, 2013년 5월,
- [7] 변윤섭, 엄주환, 김백현, 강석원, 정락교, “PRT 차량 자석검지 시스템 개발”, 한국산학기술학회 춘계 학술발표논문집, 2014년 5월, pp.196-198, 2014