

차상용 임베디드 제어보드를 이용한 PRT 차량 운행제어 알고리즘 시험을 위한 플랫폼 설계

논문

58-10-19

A Design of a Simulation Platform to Test PRT Vehicle Operational Control Algorithms Using On-board Embedded Process Board

이준호[†] · 정락교^{*} · 김용규^{**}
(Lee Jun-Ho · Jeong Rac-Gyo · Kim Yong-Kyu)

Abstract - This paper deals with a design of a platform to simulate PRT vehicle operational control algorithms using on-board embedded process board. The configuration of the platform is composed of the central control module, the station control module, man-machine interface and monitoring module. Since PRT system needs inherently very reliable vehicle operational control algorithm in order to avoid the impact between vehicles, it is very important to construct a simulation platform to test a designed vehicle operational control algorithm during the development process. For the test of the proposed platform a path of the each moving vehicle is predefined in the central control system before the dispatch order is given to the vehicle. The simulation results show the effectiveness of the proposed simulation platform for test and evaluation of the PRT operational control algorithms.

Key Words : PRT, Operational Control Algorithm, Vehicle, Simulation platform.

1. 서론

PRT 시스템의 기본 개념은 매우 짧은 운전 시격을 유지하면서 출발지에서 목적지까지 무정차로 운전자 없이 자동 운행하는 것이기 때문에 PRT 차량제어 시스템은 차량 간의 충돌을 방지하기 위해서 매우 중요한 역할을 담당한다 [1][2][3][4][5]. 본 논문에서 제안하는 운행제어 알고리즘 시험용 플랫폼의 차량제어 모듈은 중앙제어 모듈, 역제어 모듈, 차상제어 및 통신 모듈, 감시 및 모니터링 모듈로 구성된다. 중앙제어 모듈은 운행 시나리오를 생성하는 부분으로 각 출발 차량들의 출발지와 목적지, 목적지에 도달하기까지의 경로 및 경로상의 구간별 속도 테이블 생성 등의 역할을 수행한다. 역제어 모듈은 중앙제어 모듈에서 생성된 정보가 통신망을 통해서 전송되면 이를 기반으로 역 제어권내의 차량들을 제어하고 필요한 차량 상태 정보를 수집한다. 차상제어 및 통신 모듈은 임베디드화 되어 있는 on-board 프로세서로서 역제어 모듈에서 유무선 통신망을 통해서 차량의 속도제어에 필요한 정보를 전송 받는다. 또한 차상제어 및 통신 모듈은 차량의 현재 상태정보를 역제어 모듈 및 감시 모니터링 모듈에 전송한다. 차량의 상태 정보를 전송 받은 감시 및 모니터링 모듈은 차량의 현재 속도, 위치, 차량 스티어링의 방향, 운행제어 모드 등 차량의 상태와 관련된 정보를 감시모니터에 디스플레이 한다 [6][7][8].

PRT 시스템은 현재 많은 나라에서 개발을 추진 중이거나 상용화 사업을 추진하고 있다. West Virginia 대학은 미연방 정부의 자금지원으로 1970년대 중반 이후 세계에서 처음으로 PRT와 같은 개념의 GRT(Group Rapid Transit)를 대학구내에서 운영이 가능하도록 실용화 했으며 이 시스템은 특별한 안전사고 기록 없이 지금도 운영되고 있다. 1980년대에는 유럽 여러 나라와 미국등지에서 시스템 개발 및 실용화 사업을 추진해 왔으며 독일의 Cabintaxi, 영국의 Ultra, 미국의 Skyweb express 등이 있다. 최근에는 핀란드의 Techvillia Ltd., 미국의 MicroRail PRT, 싱가포르의 MonicPRT, 스웨덴의 Skycab, 한국의 Vectus 등이 활발한 실용화 사업을 추진하고 있다 [9].

본 논문에서는 PRT 차량 제어용 운행 알고리즘의 시험을 가능하게 하는 플랫폼을 제안하고 있으며 차상 장치는 차상제어 및 통신기능을 임베디드화한 프로세서를 사용하고 역제어 모듈에는 VME Bus type PowerPC 프로세서 보드를 채용한다. 운행 시나리오를 생성하는 중앙제어 모듈 프로세서는 산업용 PC인 PXI를 활용한다.

본 논문에서는 먼저 차량의 속도를 제어하기 위해서 필요한 속도 패턴 생성과 관련된 간단한 수식을 보이고, 중앙제어 모듈에서 생성하는 차량 경로설정 및 운행 시나리오의 형태에 대해서 설명한다. 마지막으로 차량제어용 운행 알고리즘의 플랫폼을 이용한 시험을 통해서 제안된 장치의 효용성을 보인다.

2. 속도 패턴

PRT 차량과 같이 완전 자동화된 시스템에 의해서 차량이 제어될 때 차량 속도 제어 장치는 전체 PRT 제어 시스템에서 가장 중요한 한 부분을 차지한다. 차량 간의 충돌을 방

[†] 교신저자, 정회원 : 한국철도기술연구원 선임연구원

E-mail : jhlee@krrri.re.kr

^{*} 정 회원 : 한국철도기술연구원 책임연구원

^{**} 정 회원 : 한국철도기술연구원 열차제어통신연구실장

접수일자 : 2009년 7월 8일

최종완료 : 2009년 9월 11일

지하기 위해서는 각 차량들이 각 차량들에 할당된 속도 패턴을 추종해야한다. 속도 패턴은 중앙제어 모듈이나 차상제어 프로세서에서 생성된다. 그림 1은 두 차량 간의 상대적인 속도 특성을 보여 준다.

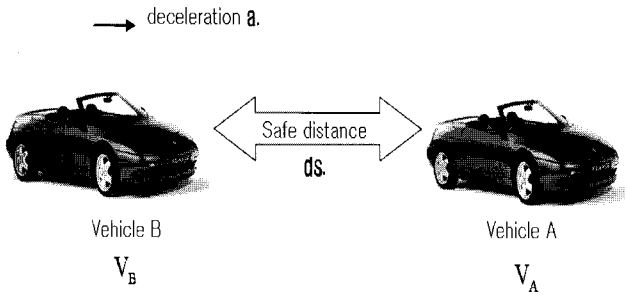


그림 1 두차량간의 상대속도 특성
Fig. 1 The relative speed between two vehicles

그림 1에 보이는 것처럼 만약 차량 A (선행차량)가 차량의 속도를 줄인다면 차량 B (후미차량)도 차량 간의 안전거리 d_s 를 유지하기 위해서 차량의 속도를 줄여야한다. 이 경우에 차량 B의 초기속도는 안전거리를 유지하기 위해서 필요한 속도로 감속되어야 한다. 이와 같은 특성을 구현하기 위해서 후미차량의 최종 도달속도를 나타내는 식(1)을 도입할 수 있다.

$$v_{Bf} = \sqrt{2a(D_B - d_{Bp}) + v_{Bi}^2} \quad (1)$$

식(1)은 만약 후미차량의 초기속도, v_{Bi} . 후미차량의 현재 속도, d_{Bp} , 페쇄거리 또는 브릭웰 평가 안전거리, D_B , 그리고 감속속도, a , 를 안다면 후미차량의 최종속도, v_{Bf} , 를 산출할 수 있다는 것을 의미한다. 일반적으로 차량의 속도는 시간의 함수 이지만 식(1)은 차량의 속도 대비 차량의 상대 거리를 나타내는 차량의 속도패턴 또는 차량의 감속곡선을 표현한다. 식(1)은 후미차량 B의 제동 반응시간을 고려하지 않거 있다. 제동 반응시간은 선행차량 A가 제동을 체결한 후 이를 인자한 후미차량 B가 제동을 체결하는데 걸리는 지연시간을 의미한다. 차량 B의 제동 반응시간 t_{Br} 을 고려하면 식(1)은 다음과 같이 표현된다.

$$v_{Bf} = \sqrt{2a(D_B - d_{Bp} - v_{B}t_{Br}) + v_{Bi}^2} \quad (2)$$

차량의 속도 패턴을 좀더 정확하게 분석하기 위해서는 차량의 동특성이나 차륜과 guideway 표면과의 마찰특성등과 같은 PRT 차량의 이동 역학 특성을 고려할 필요가 있지만 본 논문에서는 차량의 동역학 특성이나 마찰특성 등은 고려하지 않는다. 차량의 모델링은 본 논문의 연구 범위를 넘어 나며 차량의 동특성을 포함하기 위해서 변형된 식(2)를 적용하더라도 본 연구에서 제안되는 플랫폼은 특별한 변경 없이 적용이 가능하기 때문이다.

3. 시스템 구성

그림 2는 제안된 PRT 차량 운행제어 알고리즘 시험용 플랫폼의 전체 시스템 구성도를 보여준다. 그림에서 보듯이 플랫폼은 중앙제어 모듈(Command system), 역제어 모듈(Station system), 차상제어 및 통신 모듈(Virtual vehicles), 감시 및 모니터링 모듈(Monitoring system) 으로 구성된다. 각 모듈간의 정보전송 방식은 유선과 무선에 의해서 이루어 지고, 특히 차상제어 및 통신 모듈과 역제어 모듈 및 모니터링 모듈간의 통신은 무선통신에 의해서 이루어진다. 이는 가상차량의 이동 특성을 확보하기 위함이다.

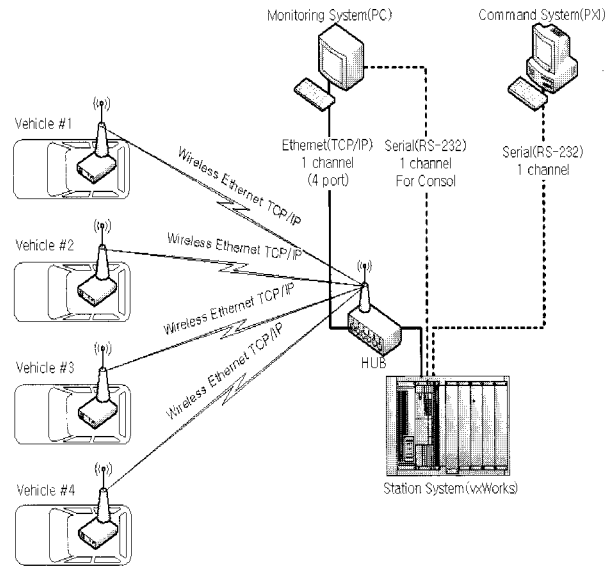


그림 2 전체 시스템 구성도
Fig. 2 The overall system configuration

3. 모듈별 기능

본 장에서는 앞 장에서 제시한 전체시스템 구성에서 각 하부 모듈별 기능에 대해서 기술한다. 그림 3은 각 모듈별 기능에 대한 개념적 설명도를 보여준다.

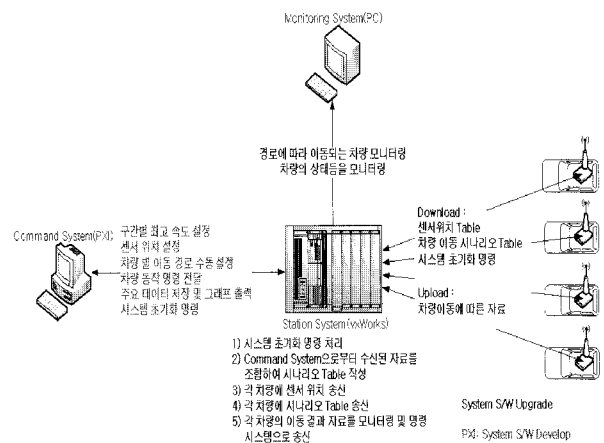


그림 3 모듈별 기능 설명도
Fig. 3 Functions for each module

3-1. 중앙제어 모듈 (Command system)

중앙제어 모듈은 각 차량의 출발지와 목적지에 대한 이동 경로를 설정하고 이동경로 상의 분기 및 병합을 위한 센서 위치를 설정한다. 또한 이동경로의 구간별 속도를 설정하고 이들 정보들을 테이블화 한다. 그림 4. 중앙제어 모듈의 명령 실행 개념도를 보여준다. 명령은 상업용 PC 인 PXI 모듈에서 GUI (Graphic User Interface) 를 활용해서 생성된다.

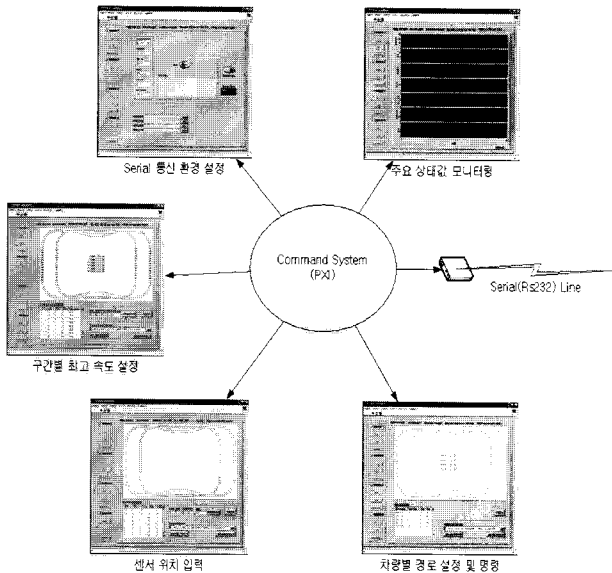


그림 4 중앙제어모듈 Command 실행 개념도
Fig. 4 The central control module Command flow

3-2. 역제어 모듈 (Station system)

역 제어 시스템의 메인 프로세서는 VME Bus type PowerPC 프로세스 보드이며 운영체제로는 실시간 운영체제인 vxWorks 를 장착한다. 역 제어 시스템의 역할은 PXI에서 code화된 차량제어 운영 시나리오를 차상제어 및 통신 모듈에 전달해서 차량의 운행에 필요한 정보를 차상에서 생성하도록 하고, 차상제어 및 통신모듈로부터 전송된 차량의 상태정보를 수집 분석해서 현재 차량의 상태조건을 생성하고 이들 정보들을 감시 및 모니터링 모듈로 전송한다.

3-3. 차상 제어 및 통신 모듈 (Virtual vehicles)

차상용 프로세스 보드는 차량제어기능, 역 제어 모듈 및 감시 모니터링 모듈과 통신이 가능하도록 하는 기능이 임베디드화 되어 있다. 제어기능과 통신기능을 임베디드화 함으로서 차상 장치를 단순화 할 수 있는 장점이 있으며 제어 및 통신관련 데이터의 동시 처리로 인해서 제어기능과 통신기능의 분리로부터 발생할 지도 모르는 데이터 지연을 방지할 수 있다. 그림 5는 설계 제작된 차상 제어 및 통신 모듈을 보여준다.

3-4. 감시 및 모니터링 모듈 (Monitoring system)

중앙제어 모듈에서 설정된 차량제어 운행 시나리오의 감

시 및 모니터링 기능을 수행한다. 감시 항목으로는 설정된 경로의 차량 진행 상태, 차량의 현재 속도, 차량의 현재 위치, 분기 또는 병합점에서 스티어링의 방향, 차량의 운행 모드 등이며 이외에도 필요에 따라서 감시 정보를 추가할 수 있도록 설계되어 있다. 그림 6은 감시 및 모니터링 모듈의 GUI를 보여주고 있으며 그림의 하단에 차상제어 및 통신 모듈에서 전송된 차량의 상태 관련 정보들이 현시된다. 그림의 좌측에는 차량의 운행 상태를 현시한다.

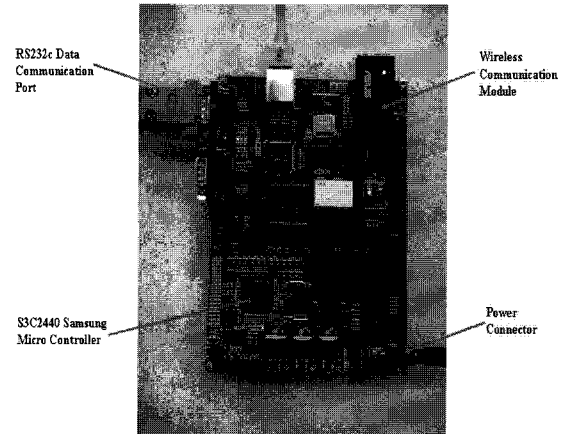


그림 5 차상 제어 및 통신 프로세서
Fig. 5 The on-board vehicle control and communication board

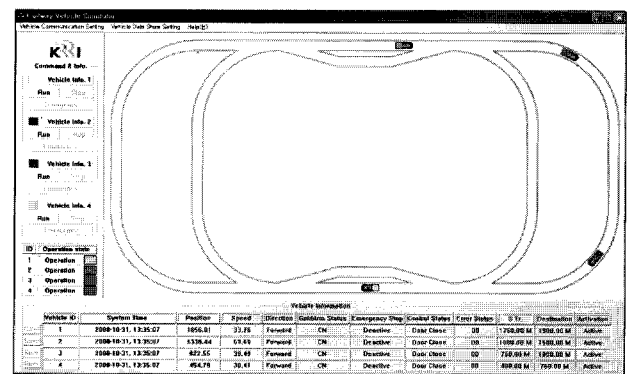


그림 6 감시 및 모니터링 모듈
Fig. 6 Monitoring module

4. 경로 및 구간별 속도 설정

4-1. 경로설정

그림 6의 감시 및 모니터링 모듈에 보이는 가상의 차량 주행 노선은 중앙제어 모듈의 PXI에 같은 형태로 현시되며 PXI에서 각 차량의 주행 경로를 설정한다. 각 차량의 주행 경로를 설정은 그림 7, 8에 보이는 것과 같이 각 주행 구간의 track ID 및 sector ID (한 sector 의 거리는 20m)를 설정하는 것에 의해서 이루어진다.

예를 들면 그림 9에 보이는 것과 같이 4번 차량의 가상 노선을 푸른색으로 표시되는 경로로 설정 하고자 할 때는 track id 128번의 출발 sector id 15에서 종료 sector id 24로 설정하고, 경유경로는 track id 5번의 출발 sector id 0에서 종료 sector id 35까지로 설정하고, 도착지점은 track id 129번의 출발 sector id 0에서 종료 sector id 9까지로 설정하면 4번 차량은 상단의 역에서 하단의 역까지 가장 주행하는 경로를 설정하게 된다.

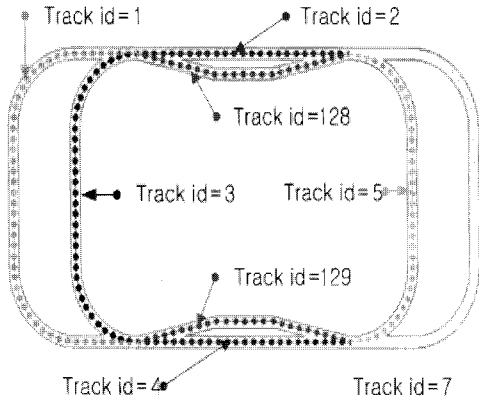


그림 7 가상 차량주행노선 track id
Fig. 7 The virtual vehicle path track id

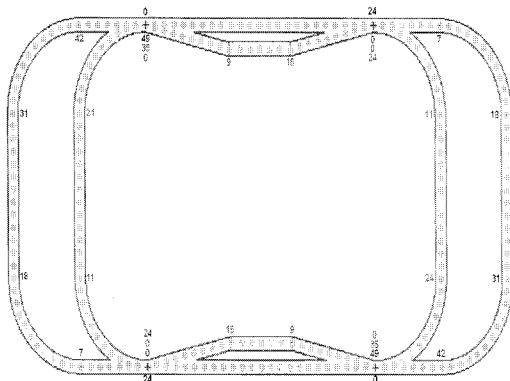


그림 8 가상 차량주행노선 sector id
Fig. 8 The virtual vehicle path sector id

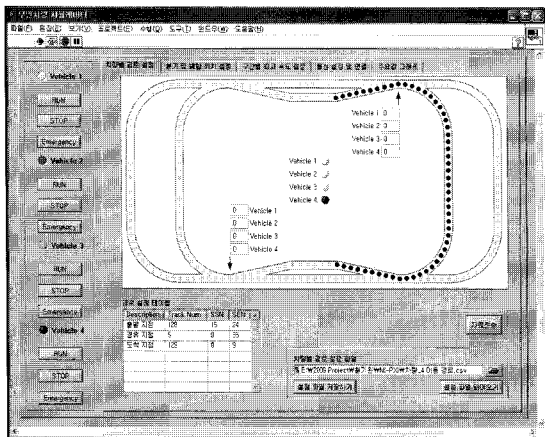


그림 9 4번 차량의 가상 주행경로 설정
Fig. 9 The virtual vehicle path for vehicle id 4

4-2. 구간별 속도 설정

구간별 차량의 경로를 차량별로 임의로 설정했던 것과 같이 차량의 구간별 주행속도를 임의로 설정할 수 있다. 그림 10은 구간별 차량의 주행속도 설정에 대한 예를 보여주고 있다. 속도 구간의 설정은 차량의 주행 경로 설정 방법과 같은 방법으로 설정할 수 있으며 구간설정이 이루어지면 해당구간에 대한 속도를 설정한다. 그림 10에서는 6개의 임의의 다른 속도 영역이 있고 각각의 속도 영역은 사용자에게 의해서 임의로 각 구간에 할당되어진다.

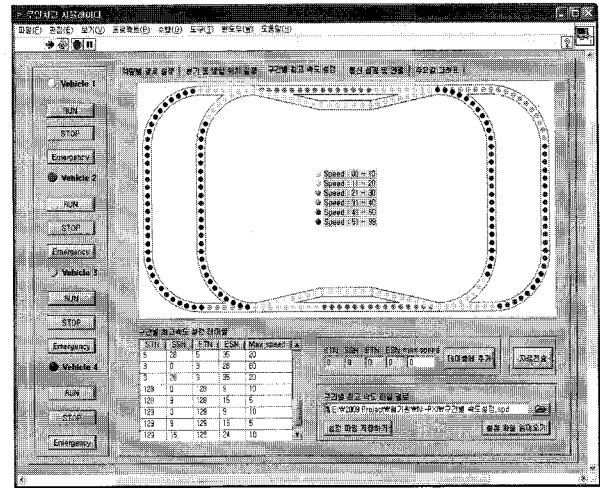


그림 10 구간별 차량 주행속도 설정
Fig. 10 The vehicle speed for each region

5. 모의시험

5-1. 경로 및 속도 테이블

각 차량의 이동경로 테이블은 표 1-4에 보이는 것과 같 으며 구간별 속도 테이블은 표 5에 보인다.

표 1 1번차량 경로

Table 1 The path for vehicle id 1

	1번 차량		
	Track ID	출발 Sector ID	도착 Sector ID
출발지점	128	14	24
경유지점	5	0	35
도착지점	129	0	14

표 2 2번차량 경로

Table 2 The path for vehicle id 2

	2번 차량		
	Track ID	출발 Sector ID	도착 Sector ID
출발지점	129	14	24
경유지점	1	0	49
경유지점	2	0	24
경유지점	7	0	49
도착지점	129	0	13

표 3 3번차량 경로

Table 3 The path for vehicle id 3

	3번 차량		
	Track ID	출발 Sector ID	도착 Sector ID
출발지점	129	13	24
경유지점	3	0	35
도착지점	128	0	13

표 4 4번차량 경로

Table 4 The path for vehicle id 4

	4번 차량		
	Track ID	출발 Sector ID	도착 Sector ID
출발지점	128	13	24
경유지점	7	0	49
도착지점	129	0	12

표 1-5에서 보는 것과 같이 차량의 이동 경로 설정 및 구간별 차량의 속도는 track id 및 sector id 정보를 이용하여 설정하는 것이 가능하다. 또한 차량의 이동경로 및 구간별 차량의 이동 속도는 본 논문에서 제안된 플랫폼의 사용자에게 의해서 원하는 대로 설정하는 것이 가능하기 때문에 다양한 차량운행 제어 시나리오를 작성해서 차량 운행 알고리즘을 시험하는 것이 가능하다.

표 5 구간별 속도 설정 테이블

Table 5 The vehicle speed table for each region

Track ID	출발 Sctor ID	출발 Sctor ID	구간 속도
128	0	15	20 km/h
128	15	24	30 km/h
129	0	15	20 km/h
129	15	24	30 km/h
1	1	18	30 km/h
1	18	31	60 km/h
1	31	49	30 km/h
2	0	24	30 km/h
3	0	11	30 km/h
3	11	24	60 km/h
3	24	35	30 km/h
4	0	24	30 km/h
5	0	11	30 km/h
5	11	24	60 km/h
5	24	35	30 km/h
7	0	18	30 km/h
7	18	31	60 km/h
7	31	49	30 km/h

5-1. 모의시험 결과

그림 11-14는 앞 절에서 설정한 차량 운행 시나리오에 근거해서 차량 운행 제어 알고리즘을 모의 시험한 결과이다. 그림 11-14에서 볼 수 있듯이 모의 시험결과는 표 1-4에서 설정된 경로를 정확히 추종하고 있으며 해당 구간에서의 속도 변화도 표 5의 구간별 속도 운용 시나리오를 정확하게 추종하고 있음을 알 수 있다. 이 모의 시험 결과는 가상의 차량 운행 시나리오를 본 플랫폼의 사용자에게 의해서 원하는 대로 설정하는 것이 가능하기 때문에 여러 가지 다양한 차량 운행 시나리오를 검증하는 것이 가능하다는 것을 의미한다.

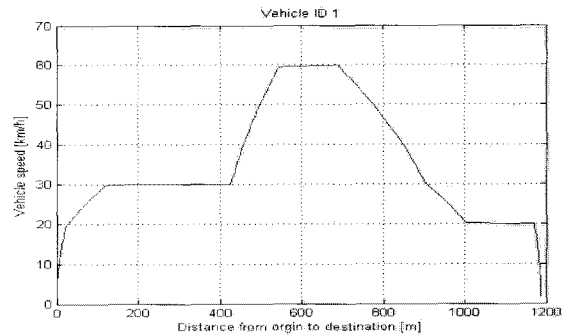


그림 11 차량 ID 1의 모의 주행 시험

Fig. 11 Simulation for vehicle ID 1

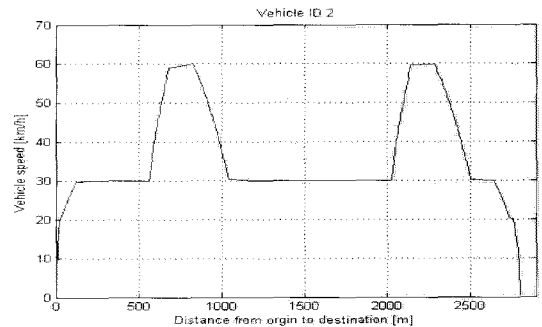


그림 12 차량 ID 2의 모의 주행 시험

Fig. 12 Simulation for vehicle ID 2

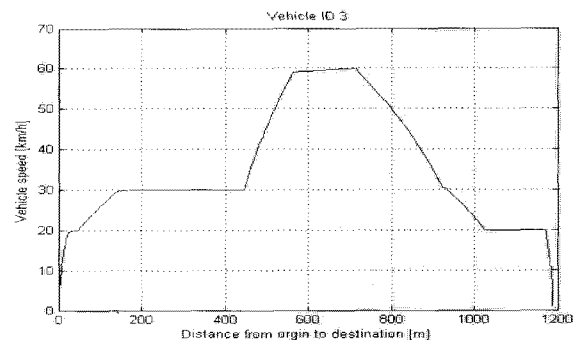


그림 13 차량 ID 3의 모의 주행 시험

Fig. 13 Simulation for vehicle ID 3차량

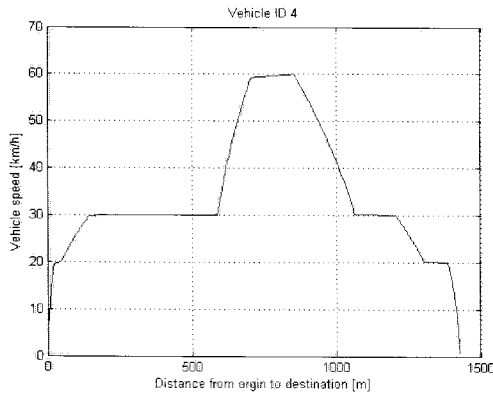


그림 14 차량 ID 4의 모의 주행 시험
 Fig. 14 Simulation for vehicle ID 4차량

6. 결 론

본 논문에서는 PRT 차량 운행 알고리즘의 구현 및 검증 을 위한 차상용 임베디드 보드를 포함하는 플랫폼을 제안했 다. 차량의 속도 패턴 또는 제동 곡선은 2차 함수식으로 표 현되며 속도 패턴의 연산은 차상용 임베디드 보드에서 이루 어진다. 가상의 차량 운행 시나리오 및 설정 구간별 차량 속 도는 중앙제어 모듈에서 사용자가 원하는 데로 설정하는 것 이 가능하다. 차상용 임베디드 보드는 차량 제어 및 통신 기 능을 갖추고 있으며 차량의 제어 정보 및 상태 정보를 송수 신하고, 차량의 속도 제어에 필요한 속도 패턴을 구성한다.

이후의 연구 과제로서는 차량의 운행 시나리오 설정시 수 동 설정 기능만이 포함되어 있는 것을 자동설정 기능도 포 함되도록 확장하는 것이다.

감사의 글

본 연구는 2009년도 한국철도기술연구원의 자체연 구 사업에 의하여 이루어진 연구로서 한국철도기술연 구원의 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] Markus Theodor Szillat, "A Low-level PRT Microsimulation", *Ph. D. dissertation, University of Bristol, April 2001.*
 [2] Advanced Transit Association, "Personal Rapid Transit (PRT): Another Option for Urban Transit", *Journal of Advance Transportation*, Vol. 22, pp. 192-314, 1988
 [3] J. E. Anderson, *Transit System Theory*, Lexington Books: 1978
 [4] Jack, H. Irving, *Fundamentals of Personal Rapid Transit*, Lexington Books: 1987
 [5] Duncan Mackinnon, "High Capacity Personal Rapid Transit System Developments", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. VT-24, No. 1, pp. 8-14, 1975

[6] J.E. Anderson, "Control of Personal Rapid Transit", *Teletronikk 1*, 2003
 [7] Jun-Ho Lee, "A Design of a Simulation Apparatus for the Control of the Personal Rapid Transit (PRT) Vehicles", *The Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol. 57, No. 11, pp. 2001-2005, 2008.
 [8] Jun-Ho Lee, "An Experimental Evaluation of the Vehicle Control Algorithm in Personal Rapid Transit System", *The Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol. 56, No. 10, pp. 1770-1774, 2007.
 [9] Ollie Mikosza, Wayne D. Cottrell, "MISTER and other New-Generation Personal Rapid Transit Technology", *Transportation Research Board*, 2007

저 자 소 개



이 준 호 (李浚豪)

1964년 7월 3일생. 1987년 광운대학교 공 대 전기공학과 졸업. 1989년 광운대학교 전기공학과 대학원졸업(석사). 광운대학 교 전기공학과 대학원 박사수료. 1998년 일본 가나자와 국립 대학교 전기컴퓨터 공학과 졸업(공학박사). 1998년 5월 - 2005년 1월 Univ. of Virginia 주립대 기 계항공공학과 연구원. 2005년 2월 - 현재 한국철도기술연구원 전기신호연구본부 선임연구원.



정 락 교 (鄭樂教)

1964년 1월 25일생. 1991년 인하대 전기 공학과 졸업. 1999년 동 대학원 졸업(석 사). 1990~1994년 (주)한진중공업철차 사업부. 2003년 현재 한국철도기술연구원 도시철도기술개발사업단 선임연구원
 Tel : 031-460-5725
 Fax : 031-460-5749
 E-mail : rgjeong@krri.re.kr



김 용 규 (金容圭)

1987년 단국대학교 전자공학과 석사졸업. 1993년 프랑스 Institute National Polytechnique de Lorraine 제어공학 DEA 및 1997년 동대학원 Ph.D 졸업. 1997년~현재 한국철도기술연구원 열차 제어통신연구실장.
 Tel : 031-460-5434
 Fax : 031-460-5449
 E-mail : ygkim1@krri.re.kr