

개인고속이동시스템의 차량제어 알고리즘에 대한 실험적 평가

論 文
56-10-11

An Experimental Evaluation of the Vehicle Control Algorithm in Personal Rapid Transit System

李 浚 豪[†]
(Jun-Ho Lee)

Abstract - In this paper we deal with a design of the evaluation system to assess the vehicle operational control algorithm for Personal Rapid Transit(PRT) system. PRT system is different from the conventional rail traffic system in such that the station is off-line so as to guarantee a very short headway. In this study we propose an evaluation system to assess the performance of the proposed vehicle control algorithm. The evaluation system is composed of virtual vehicles, central control system, virtual wayside facilities, monitoring equipments. The virtual vehicles are made up by the laptop computers and the central control system employs Power PC process of Motorola Inc. The wayside facilities are implemented by employing the PXI module of the National Instruments Corporation. In order to test the proposed evaluation system a test algorithm is used, which has been simulated in the combined simulation system between Labview Simulation Interface Toolkit and Matlab/Simulink.

Key Words : Personal Rapid Transit System, Control System, Vehicle Control Algorithm, Operational Scenario.

1. 서 론

본 연구에서는 최고속도 40-50[km/h], 차량 당 1-5 명의 승객을 태우고 매우 짧은 운전시격으로 운행하는 개인고속 이동 시스템의 차량제어 알고리즘 설계 및 시험장치의 구성 방법에 대해서 다룬다 [1][2][3]. 개인고속이동시스템의 운행제어 장치는 기존의 열차제어 시스템인 ATC(Automatic Train Control: 자동열차제어), ATP(Automatic Train Protection: 자동열차보호), ATO(Automatic Train Operation: 자동열차운전), ATS(Automatic Train Supervision: 자동열차관리) 등과는 다른 구성을 갖고 있다, 기존의 열차제어 시스템은 열차의 위치를 검지하기 위해서 궤도회로를 이용하고 있지만 개인고속이동 시스템의 경우에는 궤도회로 대신에 네트워크 형상을 갖는 가이드웨이 상에서 차량의 운행이 이루어지고 출발지점에서 목적지점 까지 무정차 운행이 가능해야 하기 때문에 기존의 열차 제어 방식과는 다른 방식의 차량제어 방식이 적용되어야 한다 [4].

개인고속이동 시스템은 지상설비와 차상설비간의 신호 정보 전송을 위해서 기존의 열차제어 시스템에서 사용하는 궤도 레일을 대체로 사용하지 않기 때문에 무선통신 시스템과 같은 특성의 정보 전송용 통신시스템을 채용해야 한다. 일반적으로 최근 10년 사이 기술적 신뢰도 측면에서 눈부신 발전을 이룩한 무선통신을 이용한 정보 전송방식을 선택한다.

본 논문에서는 개인고속이동 시스템을 위한 차량운행제어

시스템의 구성에 대해서 다룬다. 제안된 차량운행제어 시스템은 두 부분으로 나누어져 있다. 하나는 시뮬레이션을 위한 부분이고 다른 하나는 제안된 운영시나리오의 구현 및 평가를 위한 장치의 구성에 대한 것이다. 모의시험을 위해서 Matlab/simulink와 Labview Simulation Interface Toolkit 이 결합된 simulation tool 을 이용하며, 설계된 시험용 운영 시나리오를 제안된 실험 장치에 업로드 하기 전에 simulation tool 이용하여 시험용 운영시나리오를 모의시험 한다. 제안된 평가 장치는 가상 차량, 중앙 제어 장치, 가상의 선로변 장치와 모니터링 장치로 구성된다. 가상 차량은 휴대용 노트북 컴퓨터로 구현할 수 있으며, 차량의 상태 정보를 생성하고 표시할 수 있는 기능을 포함한다. 휴대용 노트북 컴퓨터의 개수는 시스템의 설계에 따라서 임의로 변경될 수 있다. 중앙 제어 시스템은 차량의 운행상태 및 속도 정보를 포함하는 각 차량의 상태 정보를 수집하고 가상의 차량에서 속도 패턴을 계산 하는데 필요로 하는 매개변수 값들을 전송한다. 가상의 선로변 장치는 중앙 제어 장치로부터 전송된 정보를 바탕으로 각 차량의 현재 상태를 표시한다. 모니터링 장치는 중앙제어 시스템, 가상의 선로변 장치, 가상 차량의 상태를 검사하기 위해서 선택적으로 설치될 수 있다.

본 논문에서는 각각의 가상 차량이 각각의 속도 패턴을 계산하기 위해서 가상 차량 서로 간의 통신을 허용하고 있지 않으며 속도 패턴을 계산하기 위한 모든 정보는 중앙제어 시스템으로부터 전송되는 집중 식 차량 제어 방식을 이용한다 [5][6][7].

본 논문에서 제안하는 시뮬레이션 환경 및 설계된 운영시나리오의 평가를 위한 장치의 구성은 개인고속이동 시스템의 차량 운행 제어 시스템의 개발을 위해서 적용될 수 있으며, 특히 본 논문에서 제안하는 simulation tool 은 실시간

[†] 교신저자, 正會員 : 한국철도기술연구원 전기신호연구본부
선임연구원, 공학박사

E-mail : jhlee77@krii.re.kr

接受日字 : 2007年 6月 28日

最終完了 : 2007年 8月 20日

모의시험 환경을 제공하고 있으며 이를 이용하여 개발 과정에서 가장 중요한 인자 중의 하나로 인식되어 지고 있는 각 차량의 동적 특성을 파악 할 수 있게 해준다. 평가 시스템의 구성을 위해서 상업용 하드웨어를 채용하고 있으며 제어 알고리즘은 채용된 상업용 보드의 요구사항에 맞추어서 코드화 된다. 이것은 제안된 평가 시스템에서 시험된 제어 알고리즘이 본 논문의 평가 시스템과 같은 상업용 보드를 이용해서 설계된 실제 제어시스템에 소프트웨어 구조상의 큰 변화 없이 바로 적용가능하다는 것을 의미하며 시스템의 개발 시간을 단축시킬 수 있는 장점을 포함하고 있다.

본 논문에서는 먼저 차량의 속도 패턴을 계산하기위한 2차 방정식을 유도하고 Matlab/ Simulink 와 Labview Simulation Interface Toolkit 이 결합된 모의시험 환경에서 운용되는 차량제어 시스템을 보인다. 마지막으로 실험을 위한 평가 시스템의 하드웨어 구성 및 평가 시스템을 통한 간단한 시험을 통하여 평가 시스템의 효용성을 보인다.

2. 속도 패턴

제안된 평가 시스템의 하드웨어 구성을 시험하기 위해서는 제안된 평가 시스템에서 운용되어 질수 있는 시험용 제어알고리즘을 설계할 필요가 있다. 시험용 제어 알고리즘은 두 대의 차량이 같은 속도로 일정 거리를 유지하면서 달리다가, 앞 차량이 비상제동을 활성화 시킨 후, 후미 차량이 비상제동을 체결해서 두 대의 차량 간의 추돌을 피하기 위해서 앞 차량이 정차하기 전에 후미 차량이 먼저 정차해야 한다는 가상의 시나리오에 기초해서 코드화 된다.

속도 패턴을 만들기 위해서는 그림 1에 보이는 것과 같이 두 차량 간의 상대 속도를 고려할 필요가 있다.

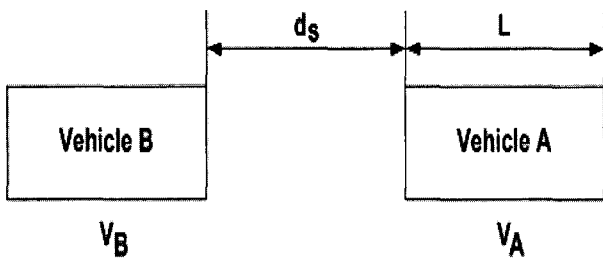


그림 1 차량 간의 상대 속도
Fig. 1 Relative speed between two vehicles

만약 차량 A 가 V_A 의 속도에서 어떤 임의의 속도로 차량의 속도를 줄인다면 차량 B 도 A 차량과의 안전거리 d_s 를 유지하기 위해서 차량의 속도를 줄여야한다. 이 경우에 차량 B의 초기속도 v_{ci} 는 안전거리를 유지하기 위한 어떤 임의의 속도 v_{cf} 로 감속도 a 에 의해서 감속되어야 한다. 따라서 만약 감속도가 일정 하다면 차량 B의 속도는

$$v_B = \int_{t_0}^{t_f} -adt \tag{1}$$

$$= at_0 - v_{cf}$$

이며 t_0 는 차량 B의 제동 시스템이 활성화 되는 초기시간 이고, t_f 는 차량 B가 v_{cf} 에 도달하는데 걸리는 시간을 나타낸다. t_0 와 t_f 에 대한 속도의 적분은 이동 거리를 나타내므로

$$d_B = \int_{t_0}^{t_f} v_B dt \tag{2}$$

$$= \frac{1}{2}a\Delta t^2 - v_{cf}\Delta t$$

을 얻을 수 있고, $\Delta t = t_f - t_0$ 를 나타낸다. 만약 차량이 이동할 수 있는 제한거리 D_b 를 기존의 열차제어 시스템에서 채용하고 있는 폐색시스템이나 폐색 시스템을 채용하지 않는 브릭 월(brick wall)제한 조건에 의해서 제한 한다면, 시스템 사양으로부터 이동 제한거리 D_b 값을 알 수 있다. 일반적으로 기존의 열차제어 시스템에서는 D_b 를 한개의 블록 길이(one block distance)로 정의하고 비 폐색 시스템에서는 브릭 월 조건을 만족하는 거리로 정의 할 수 있다. 이들 조건들로부터 현재 차량이 이동하고 있는 지점의 위치는

$$d_{bp} = D_b - (\frac{1}{2}a\Delta t^2 - v_{cf}\Delta t) \tag{3}$$

이 된다.

(3) 식으로부터 (4)식에 표현하는 것과 같이 차량의 속도와 차량의 위치와의 관계를 나타낼 수 있다.

$$D_b - d_{bp} = \frac{1}{2}a\Delta t^2 - v_{cf}\Delta t \tag{4}$$

$$= \frac{1}{2}a\left(\frac{v_B + v_{cf}}{a}\right)^2 - v_{cf}\left(\frac{v_B + v_{cf}}{a}\right)$$

$$= \frac{v_B^2 - v_{cf}^2}{2a}$$

식 (4)로부터 다음을 유도 할 수 있다.

$$v_B = \sqrt{2a(D_b - d_{bp}) + v_{cf}^2} \tag{5}$$

식(5)는 만약 도달해야 하는 최종 속도를 알고, 차량의 현재 위치, 한 블록의 길이, 감속도를 알고 있으면, 차량의 현재 속도를 계산할 수 있다는 것을 의미한다. 차량의 속도 v_B 는 시간의 함수 이고 속도와 시간의 관계가 차량의 속도 패턴을 나타낸다. 이 속도 패턴은 기존의 열차 제어 시스템인 ATC 시스템에서 에서 볼 수 있는 것과 같이 운전사에 의해서 지정되는 속도 명령이나 선로변 신호 장치로부터 전송되는 속도 코드 명령과 같은 의미를 갖는다.

식 (4)에는 후미 차량의 제동 시스템이 활성화되기 위해서 필요한 시간이 포함 되어 있지 않다. 후미 차량의 제동 활성화 시간은 앞 차량의 제동 시스템이 활성화되고 이를 후미차량이 인지해서 후미 차량의 제동 시스템이 활성화 되는데 걸리는 시간을 의미하며 이 항을 (4) 식에 포함시키면 다음과 같다.

$$D_b - d_{bp} = \frac{v_B^2 - v_{cf}^2}{2a} + v_B t_{br} \tag{6}$$

$$v_B = \sqrt{2a(D_b - d_{bp} - v_B t_{br}) + v_{cf}^2} \tag{7}$$

여기서 t_{br} 은 후미차량의 제동시스템이 활성화 되는 걸리는 지연 시간을 의미한다.

3. 시험을 위한 차량제어 시나리오

본 절에서는 제안된 평가 시스템을 시험하기 위한 가상의 차량제어 시나리오에 대해서 다룬다. 그림 2는 가상의 차량제어 시나리오의 Task 흐름을 보여준다. 그림 2에서 초기 매개변수 값들은 차량의 속도 패턴을 계산하기 위해서 미리 설정 되어야 한다. 만약 각각의 차량에서 비상제동 시스템이 활성화 되지 않으면 각각의 차량은 일정속도로 가이드웨이에서 운행 중인 것으로 가정한다. 그러나 만약 앞차의 비상제동 시스템이 활성화 되면 후미 차량은 이를 인지하는 것과 동시에 자신의 비상제동 시스템을 활성화 시켜야한다.

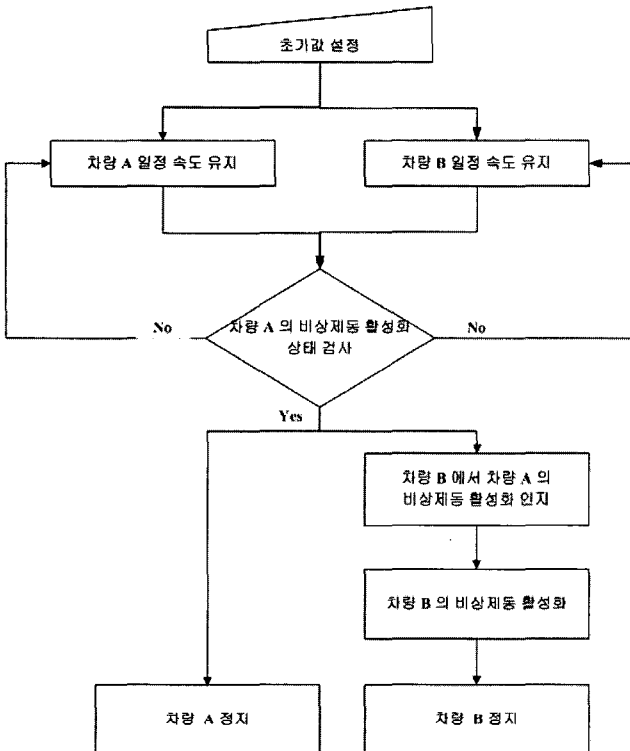


그림 2 가상의 차량제어 시나리오에 대한 Task 흐름도
Fig. 2 Task flow of the virtual scenario for the vehicle control

4. 모의시험

가상의 차량제어 시나리오에 대한 모의시험을 위해서 본 논문에서는 Matlab/Simulink 와 Labview Simulation Interface Toolkit 이 결합된 새로운 개념의 simulation tool 을 채용한다. 그림 3 Matlab/Simulink platform에서 운용되는 속도 패턴 생성을 위한 모델을 보여준다. 이 그림에서 A 차량의 속도 패턴과 B 차량의 속도 패턴은 초기화 블록으로부터 받은 초기화 정보를 바탕으로 속도 패턴 생성 블록에서 생성된다. 속도 패턴의 모니터링을 위해서 Labview Simulation Interface Toolkit 이 사용되고 그림 4는 초기 파라메타 값과 정상 상태 및 비상 상태에 대한 각 차량의 속도 패턴을 포함하는 Labview 의 front panel 을 보여준다.

모의시험을 위해서 표 1에 보이는 것과 같이 초기 파라메타 값들을 설정한다. 표 1에 보이는 것과 같이 차량 제어

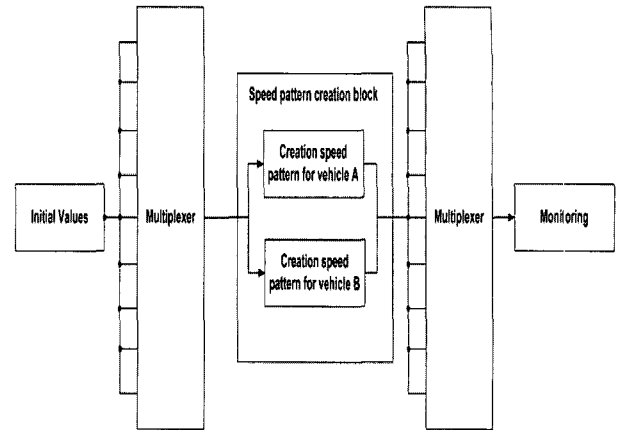


그림 3 모의시험을 위한 simulink 모델
Fig. 3 Simulink model for the simulations

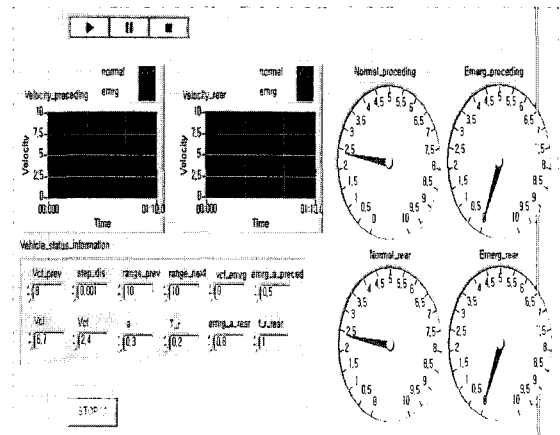


그림 4 Labview front panel
Fig. 4 Labview front panel

표 1 속도 패턴을 계산하기위한 초기 파라메타 값
Table 1 Initial parameter values to calculate the speed patterns

Variables	Value	Unit
Initial vehicle speed	6.7	[m/s]
Final vehicle speed in the normal state	2.4	[m/s]
Deceleration in the normal state	0.3	[m/s ²]
Brake activation delay time of the real vehicle	1	[sec]
Deceleration of the preceding vehicle in the emergency state	0.5	[m/s ²]
Deceleration of the rear vehicle in the emergency state	0.8	[m/s ²]
Final vehicle speed in the emergency state	0.0	[m/s]

명령인 감속도 값은 비상 상태의 경우 앞 차량과 후미 차량에 대해서 서로 다른 값을 설정 했다. 이유는 앞 차량이 비상 제동 시스템을 활성화 시키면 후미 차량은 이를 인지하고 앞 차량과의 추돌을 피하기 위해서 앞 차량이 정지하기 이전에 먼저 정지해야 하기 때문이다. 하지만 실제 시스템

의 경우에 차량들은 같은 제동 성능을 갖는다고 가정하고 있기 때문에 차량운행 제어 시스템에 가변 불력 시스템에 의한 안전거리 확보 방식이 포함되어야 한다. 본 논문에서는 차량제어 명령은 수동으로 입력하는 것으로 가정한다.

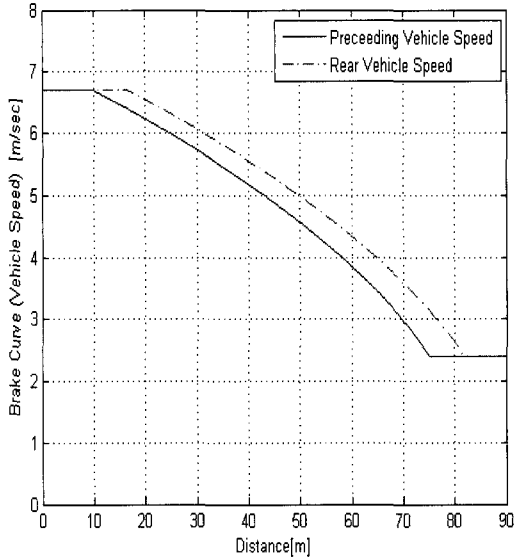


그림 5 정상 상태의 속도 패턴
Fig. 5 Speed pattern for the normal state

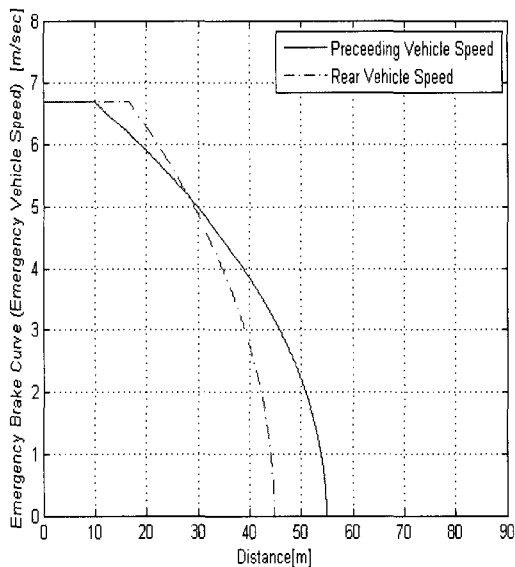


그림 6 비상 상태의 속도 패턴
Fig. 6 Speed pattern for the emergency state

그림 5와 6은 모의시험 결과를 보여준다. 정상상태의 경우에 해당하는 그림 5에서 보듯이 후미차량은 약 1초의 제동 시스템 활성화 지연시간을 갖고 제동시스템을 활성화 시키는 것을 알 수 있다. 1초의 지연시간으로 발생하는 거리 오차는 약 6,7[m] 이다. 그러나 가가 차량은 1초의 시차를 두고 최종 속도인 2.4[m/s]에 도달하는 것을 알 수 있다 이것은 속도 제어명령인 감속도 값을 두 차량에 대해서 같은 0.3[m/s²] 를 설정했기 때문이다. 그림 6은 비상 상태에 대

한속도 패턴을 보여준다. 후미 차량은 1초의 지연 시간을 갖고 제동 시스템을 활성화 시키지만 후미차량이 앞 차량보다 임의의 안전거리를 두고 먼저 정지하는 것을 볼 수 있다.

5. 시스템 구성

본 절에서는 제안된 제어 시스템을 구축하기 위한 하드웨어 구성에 대해서 다룬다. 그림 7에서 보듯이 제안된 제어 시스템은 가상차량, 중앙제어 시스템, 가상의 선로변 설비, 모니터링 장치로 구성된다.

중앙제어 장치에서 연산을 위해서 Motorola 사의 VME 버스 기반 MPC7410 마이크로프로세서를 채용했으며, 이 프로세서는 ethernet port 와 VMEVMI2356 입출력 보드를 포함하고 있다. Ethernet port 는 중앙제어 장치와 가상의 차량 간의 차량 제어 정보와 차량의 상태정보를 전송하기 위해서 할당된다. 중앙제어장치에서 연산된 결과는 National Instruments 사의 산업용 PC 인 PXI module을 이용해서 구현 가능한 가상의 선로변 장치에 RS-232 port, 입출력 보드, 계전기 블록을 통해서 전송된다.

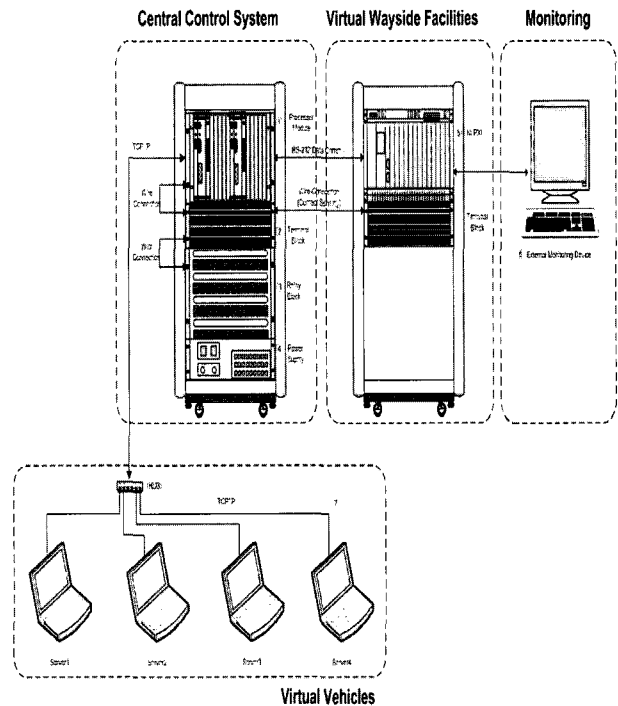


그림 7 제안된 제어 알고리즘을 구현하기 위한 하드웨어 구성

Fig. 7 Hardware configuration for the implementation of the proposed control algorithm

6. 실험 결과

그림 8과 9는 MPC7410 마이크로프로세서에서 연산된 연산 결과를 보여준다. 그림에서 알 수 있듯이 실험 결과는 simulink 모델의 연산 결과에서 보여주는 속도 패턴과 같은 연산결과를 보여준다. 이것은 제안된 하드웨어 구성은 타당하다는 것을 의미하고 가상차량과 중앙제어장치간의 통신 프로토콜을 통한 인터페이스가 적절히 이루어졌음을 뜻한다.

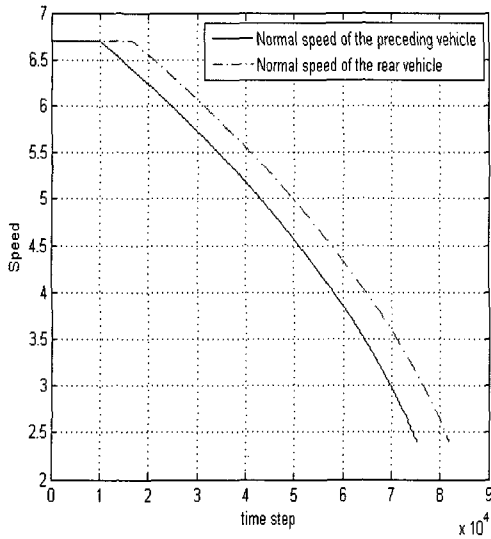


그림 8 MPC7410 마이크로프로세서 연산결과 (정상상태)
 Fig. 8 Calculation result in MPC7410 micro processor (normal state)

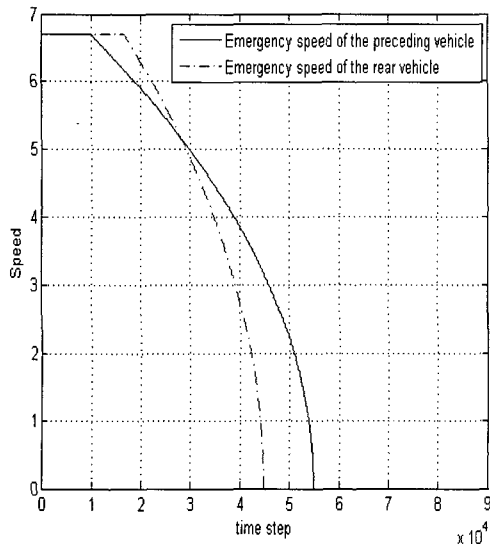


그림 9 MPC7410 마이크로프로세서 연산결과 (비상상태)
 Fig. 9 Calculation result in MPC7410 micro processor (emergency state)

7. 결 론

본 논문에서 각 차량의 속도 패턴을 계산하기 위한 이차 방정식을 유도했고, Matlab/Simulink와 Labview Simulation Interface Toolkit이 결합된 simulation tool에서 운용이 가능한 test용 차량제어 알고리즘 및 시나리오를 보였다. 중앙제어 시스템, 가상차량, 가상의 선로변 장치, 모니터링 장치로 이루어진 하드웨어 구성을 소개했으며 이를 이용한 실험 결과는 모의시험 결과와 일치함으로써 제안된 실험장치의 구성에 대한 적합성을 보였다.

앞으로의 연구는 차량 간의 충돌을 방지하기 위한 정교한 운영 시나리오의 개발이 이루어져야 한다.

감사의 글

본 연구는 한국철도기술연구원의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Ollie Mikosza, Wayne D. Cottrell, "MISTER and other New-Generation Personal Rapid Transit Technology", *Transportation Research Board*, 2007
- [2] Jun-Ho Lee, Ducko Shin, Yong-Kyu Kim, "A Study on the Headway of the Personal Rapid Transit System", *Journal of the Korean Society for the Railway*, Vol. 8, No. 6, pp. 586-591, 2005.
- [3] Jun-Ho Lee, Kyung-Ho Shin, Jea-Ho Lee, Yong-Kyu Kim, "A Study on the Construction of a Control System for the Evaluation of the Speed Tracking Performance of the Personal Rapid Transit System", *Journal of the Korean Society for the Railway*, Vol. 9, No. 4, pp. 449-454, 2006.
- [4] Markus Theodor Szillat, "A Low-level PRT Microsimulation", *Ph. D. dissertation, University of Bristol*, April 2001.
- [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] Bih-Yuan Ku, Jyh-Shing R. Jang, Shang-Lin Ho, "A modularized Train Performance Simulator for Rapid Transit DC Analysis", *Proceedings of the 2000 ASME/IEE Joint Railroad Conference*, pp. 213-219, April, 2000.

저 자 소 개



이 준 호 (李浚豪)

1964년 7월 3일생. 1987년 광운대학교 공대 전기공학과 졸업. 1989년 광운대학교 전기공학과 대학원졸업(석사). 광운대학교 전기공학과 대학원 박사수료. 1998년 일본 가나자와 국립 대학교 전기컴퓨터공학과 졸업(공학박사). 1998년 5월 - 2005년 1월 Univ. of Virginia 주립대 기계항공공학과 연구원. 2005년 2월 - 현재 한국철도기술연구원 전기신호연구본부 선임연구원.