

바이모달 트램 군집주행의 천이기동 시나리오를 위한 통신 기반 제어 알고리즘 개발

The development of communication-based control algorithms for transient maneuver scenario of bi-modality tram platoon system

정구용*, 황현철**, 이호용**, 김순오*, 이형철***†

Koo-yong Jeong*, Hyeon-Chyeol Hwang**, Ho-Yong Lee**, Soonoh Kim*, Hyeongcheol. Lee***†

Abstract For increase in the volume of traffic on Bimodality tram, we implement the platoon system by using the Adaptive Cruise Control (ACC) system which has been applied to vehicles. The study uses the Carsim that takes into account both the data and mechanical properties for modeling vehicle performance and implements the control algorithms by using MATLAB/Simulink. This paper also shows how to recognize the size of platoon and where the trams are located in the platoon. The method recognizes ACC on/off information instead of distance information between trams using communication. We design a transient maneuver and use computer simulations to investigate a applicability.

Keywords : Adaptive Cruise Control (ACC), Bi-modality Tram, Platoon system, Transient maneuver

초 록 바이모달 트램의 수송용량 증대를 위해, 현재 자동차에 적용되고 있는 Adaptive Cruise Control(ACC) 시스템을 바이모달 트램에 적용하여 군집주행을 구현한다. 바이모달 트램의 제원 및 역학 특성을 고려하여 Carsim을 이용하여 차량성능을 모델링하고, 제어 알고리즘은 MATLAB/Simulink를 이용하여 구현한다. 군집주행 시 군집 내에서 각 차량의 위치 정보와 군집의 크기를 확인 하는 방식을 기존의 차간 거리를 이용한 것이 아닌 차량간 통신을 이용하여 ACC의 on/off의 정보를 받아 확인하는 방식을 제안한다. 또한 이러한 방법을 이용하여 군집주행 천이기동 시나리오를 설계하고 시뮬레이션을 통해 적용성을 검증한다.

주요어 : Adaptive Cruise Control (ACC), 바이모달 트램, 군집주행, 천이기동

1. 서 론

자동차의 ITS 분야에서 가장 큰 주제는 제한된 도로 공간의 차량 통행량을 증가시켜 도로의 효율성을 극대화 시키는 동시에 안전성을 확보하는 방법을 찾는 것이다. 이를 위해 제안된 방법으로 차량 군집주행 (platoon system) 이 있다. 군집 주행은 여러 대의 차량이 짧은

† 교신저자: 한양대학교 공과대학 전기생체공학부(hclee@hanyang.ac.kr)

* 한양대학교 공과대학 전기공학과, ** 한국철도기술연구원

*** 한양대학교 공과대학 전기생체공학부

간격을 유지하면서 고속으로 주행하는 개념으로, 도로 효율성 측면뿐 아니라 에너지 효율성 측면에서도 많은 이점이 있다. 이러한 점과 수송용량 증대를 위해 바이모달 트램의 제원 및 역학 특성을 고려하여 Carsim을 이용해 차량성을 모델링하고, 제어 알고리즘은 MATLAB/Simulink를 이용하여 구현한다.

군집주행을 구현하기 위해서는 주행 중인 트램 주위의 많은 정보가 실시간으로 필요하고 각 트램의 상황과 위치가 정확하게 파악되어야 한다. 기존에는 이것을 군집 내에서 선두 차량과의 거리를 측정하여 position을 설정하는 방법을 이용하였는데 이러한 경우 merge나 split상황에서 거리가 기준치보다 떨어져 있을 경우 position 설정의 어려움이 있다. 이러한 문제점을 본 논문에서는 Adaptive Cruise Control (ACC) ON/OFF를 통해 해결하고자 한다. ACC가 ON이 될 경우 앞 트램과 연결이 되어 군집에 포함이 되었다고 생각하고 앞 트램의 position 정보를 받아서 자신의 position을 설정한다. 또한 현재 자신이 포함되어 있는 군집의 총 차량의 수도 ACC의 ON/OFF를 통해 계산 가능하다. 이 방법을 통해 바이모달 트램의 군집주행을 상황 별 시나리오를 구성하고 시뮬레이션 해 본다.

2. 본 론

2.1 바이모달 트램 모델링

본 논문에서 제안 하는 방식을 바이모달 트램에 적용하기 위해 Fig. 1과 같은 바이모달 트램의 제원과 역학적 특성을 고려하여 Carsim 모델로 구현하였다.

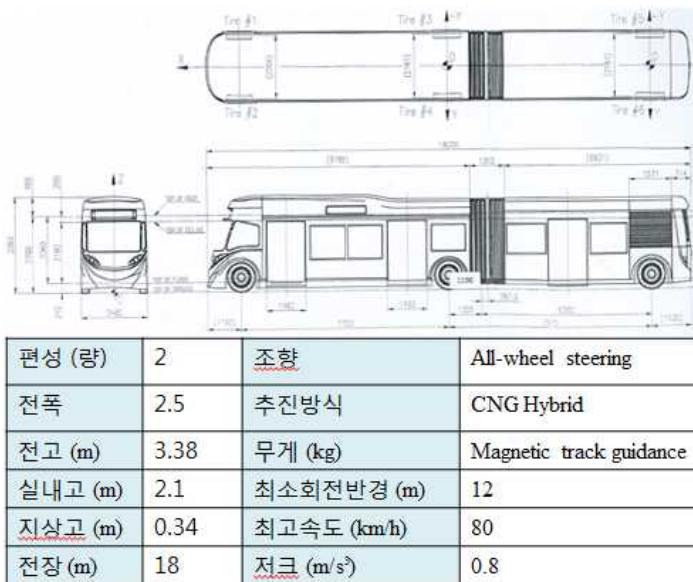


Fig. 1 Basic specification of bimodality tram (자료출처:한국철도기술연구원)

Fig. 2는 본 연구를 위해 개발한 MATLAB/Simulink-CarSim의 연동 시뮬레이션 환경을 나타낸다. CarSim으로부터 받은 트램의 운동정보를 레이더 센서 모델로 전송하고, 레이더 센서 모델에서 받은 전방 트램의 거리 및 속도 정보를 통하여 트램 간 거리 자동제어 알고리즘을 구현하였다.

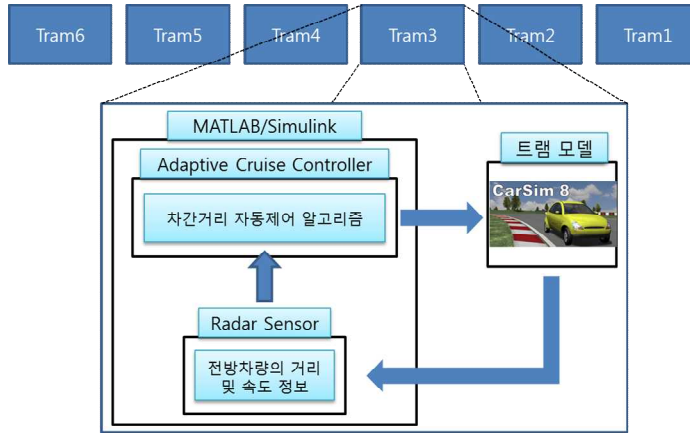


Fig. 2 MATLAB/Simulink-CarSim Software

2.2 바이모달 트램 군집 주행

2.2.1 Adaptive Cruise Control

일반적으로 차량의 Adaptive Cruise Control은 Fig. 3에서처럼 radar sensor에서 앞 차의 속도와 거리 차이의 정보를 Adaptive Cruise Controller에 전달하여 desired acceleration을 계산하고 대상 차량의 모델에 맞는 throttle angle과 brake pressure을 구한다. 이것을 본 논문에서는 바이모달 트램에 적용하여 ACC를 구현해보았다.

먼저 radar sensor에서 앞 차량의 속도와 거리 차이의 정보를 Adaptive Cruise Controller에 전달한다. 전달 받은 값은 식 (1)처럼 state equation으로 표현하고 linear quadratic regulator를 이용하여 throttle angle과 brake pressure을 구한다. 이때 setup distance는 time headway를 0.7로 설정하여 적용한다.

$$x_1 = r_1 - r_2 - \text{Setup Distance} \quad (r_1 : \text{앞차의 위치}, r_2 : \text{자신의 차 위치})$$

$$x_2 = \dot{r}_1 - \dot{r}_2 \quad (\dot{r}_1 : \text{앞차의 속도}, \dot{r}_2 : \text{자신의 차 속도})$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \end{bmatrix} u$$

(1)

$u = \text{throttle angle}$ 이고 $\ddot{r}_1 = 0$ 으로 가정한다. (매우 작은 시간의 변화에서 보면 앞차의 가속도 변화가 거의 없다고 가정)



Fig. 3 Configuration of adaptive cruise controller

Riccati Equation을 통해 cost function을 최소화 시키는 Gain K 값을 구해준다. 따라서 error x와 input u를 최소화 시키는 Feedback Input을 구할 수 있다. 마지막으로 자신의 가속도가 Feedback Input을 따라가도록 PID 제어를 해서 throttle angle과 brake pressure 값을 구한다.

2.2.2 군집 크기 및 위치 파악

ACC를 이용하여 여러 대의 바이모달 트램을 군집주행 할 때 각 트램은 자신이 속해 있는 군집의 정보를 받을 수 있어야 한다. 자신이 군집 내에서 어느 위치에 속해 있는지 또는 자신이 속해 있는 군집에는 트램이 몇 대가 있는지를 알아야 군집 주행의 문제점을 string stability를 통해 해결 할 수 있고 다양한 군집주행 시나리오를 구현할 수 있다. Fig. 4는 6대의 트램이 군집 주행하는 것을 그림으로 표현 한 것이다. 6대가 ACC로 연결 되어 있고 각 차량은 자신이 군집에서 몇 번째 차량인지 알고 있으며 총 군집의 크기가 얼마인지도 인지하고 있다.

Fig. 4 처럼 구현하기 위해서는 Fig. 5와 같은 Platoon position algorithm이 필요하다. ACC가 on 이 되어 있을 때는 앞 트램의 position을 통신을 통해 받아서 그 값에 1을 더해줘서 자신의 position 값을 정하고 ACC가 off 되었을 경우에는 position 값을 1로 정해준다.

군집의 크기를 계산 하기 위한 방법은 각 트램에 1이라는 상수 값을 저장하고 ACC로 연결 되어 있는 트램끼리 그 값을 더해주면 군집의 총 트램 수를 알 수 있다.

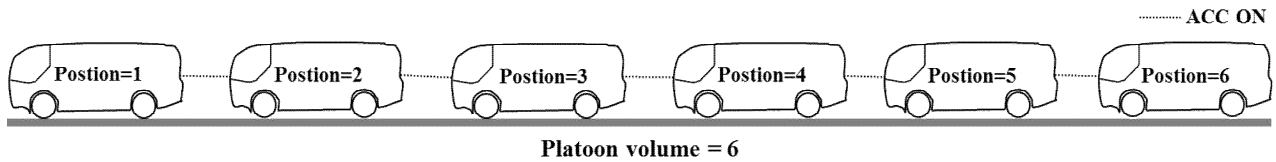


Fig. 4 Platoon system

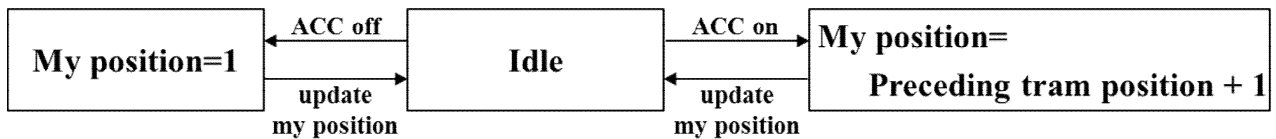


Fig. 5 Platoon position algorithm

2.3 천이기동 시나리오

2.3.1 Merge

군집주행 천이기동 시나리오로 서로 다른 군집이 하나의 군집으로 합쳐지는 것을 merge라고 한다. Fig. 6는 merge를 그림으로 표현한 것이다. 앞서 가는 총 3대의 트램 군집과 뒤에서 오는 총 3대의 트램 군집이 하나로 합쳐져서 6대의 트램이 하나의 군집으로 되는 것이다. Fig. 7는 merge를 구현하는 algorithm을 표현한 것이다. 뒤에서 따라오는 군집의 선두 차량이 앞서가는 군집에 merge 신호를 보내면 앞서가는 군집에서는 merge를 할 수 있는 상황인지 busy 판단을 한다. 만약 다른 통신을 하고 있는 상황이라면 busy 신호를 전달하고 그렇지 않다면 not busy 신호를 전달한다. not busy 신호를 받으면 ACC를 요청하고 승인 받으면 ACC on 상태가 되어

하나의 군집이 된다. 이때 군집 수용 용량이 초과되었거나 군집 내의 문제가 발생 했다면 ACC 요청을 거절하여 merge 할 수 없도록 한다.

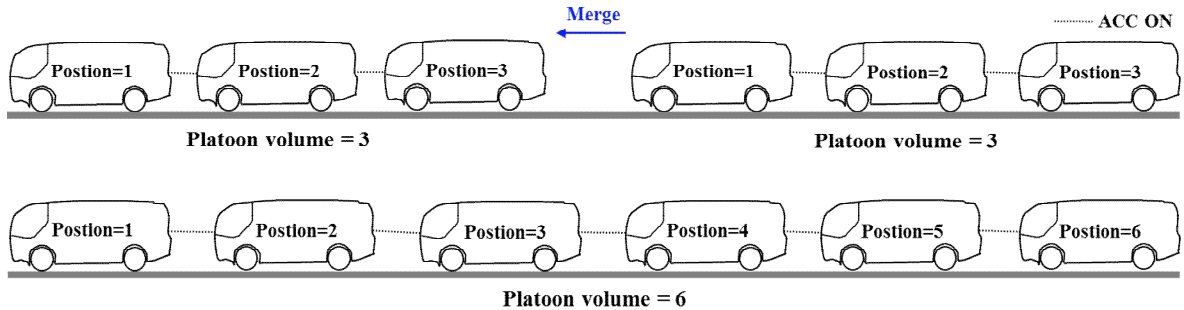


Fig. 6 Merge

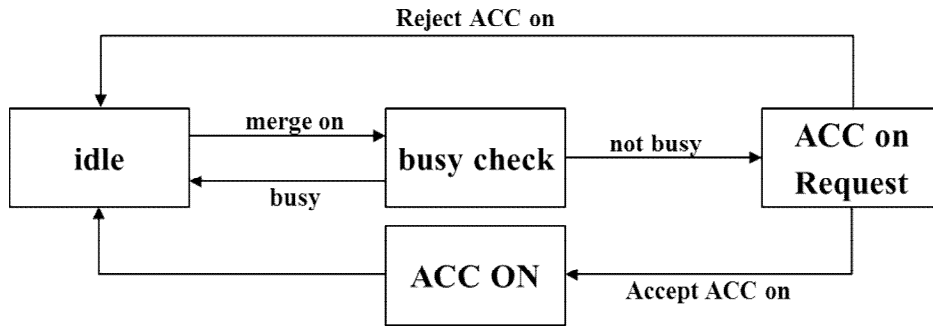


Fig. 7 Merge algorithm

2.3.2 Split

군집주행 천이기동 시나리오로 하나의 군집이 두 개의 군집으로 나뉘는 것을 split이라고 한다. Fig. 8는 split을 그림으로 표현한 것이다. 총 6대의 트램이 속해 있는 군집에서 4번째 트램이 split을 하여 각 3대씩 2개의 군집으로 분리 된다. Fig. 9은 split을 구현하는 algorithm을 표현한 것이다. Split을 신호를 앞 트램에게 보내면 앞 트램은 split을 할 수 있는 상황인지 busy 판단을 한다. 만약 통신을 하고 있는 상황이라면 busy 신호를 전달하고 그렇지 않다면 not busy 신호를 전달한다. not busy 신호를 받으면 ACC off 요청을 하고 승인 받으면 ACC off 상태가 되어 두 개의 군집으로 분리된다. 이때 군집이 split하기에 적합한 상황이 되지 않을 경우에는 ACC off 요청을 거절하여 split 할 수 없도록 한다.

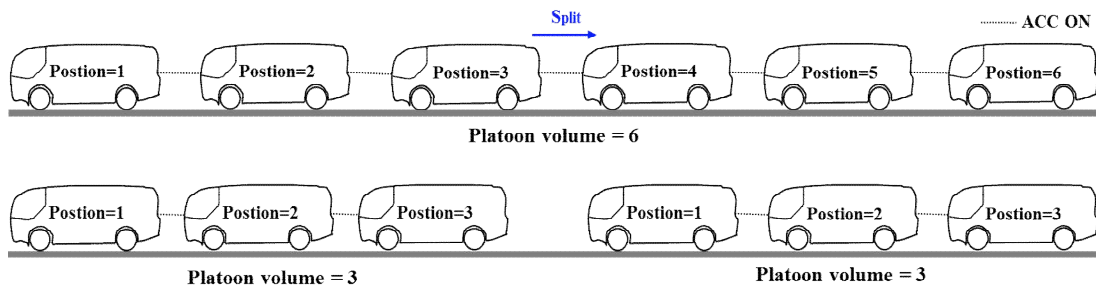


Fig. 8 Split

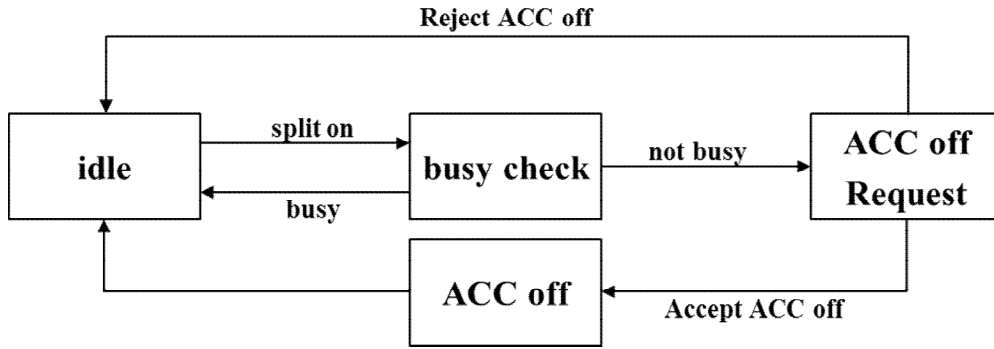


Fig. 9 Split algorithm

2.4 Simulation Result

2.4.1 Normal Platoon System

Fig. 4의 군집 주행을 시뮬레이션으로 구현했다. 6대의 트램을 하나의 군집으로 하고 트램 간의 거리는 time headway 0.7초로 설정하여 구현했다. 선두 트램의 속도 프로파일은 속도 변화에 따라 트램 간의 거리 변하는 것을 보여주기 위하여 20초까지 60km/h로 가속하고 35초까지 정속 주행 하다가 50초 까지 90km/h로 가속하고 그 이후에 약 70km/h로 감속 하도록 하였다. Fig. 10은 각 트램의 속도를 나타낸 것으로 굵은 선의 선두 트램의 속도에 따라서 후속 트램들이 일정한 거리를 맞추기 위해 따라가는 것을 확인 할 수 있다. Fig. 11은 트램 간의 거리를 나타낸 것으로 속도가 증가함에 따라 time headway 0.7초를 맞추기 위해 거리가 증가 하고 속도가 감소하면 거리도 감소하는 것을 확인 할 수 있다.

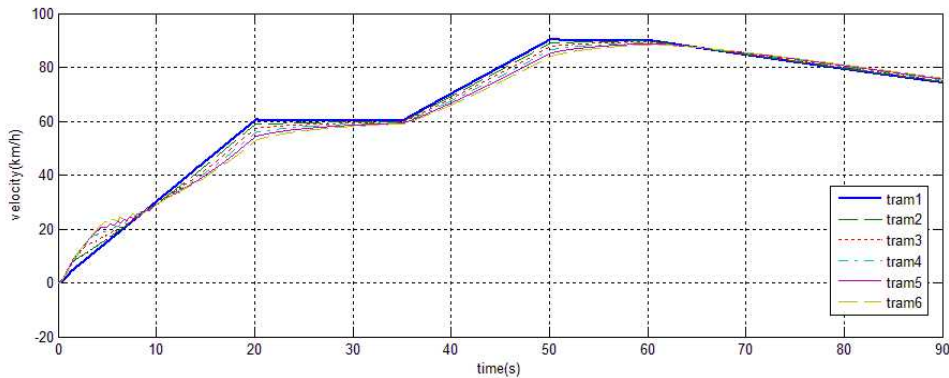


Fig. 10 Velocity profiles of the platoon system

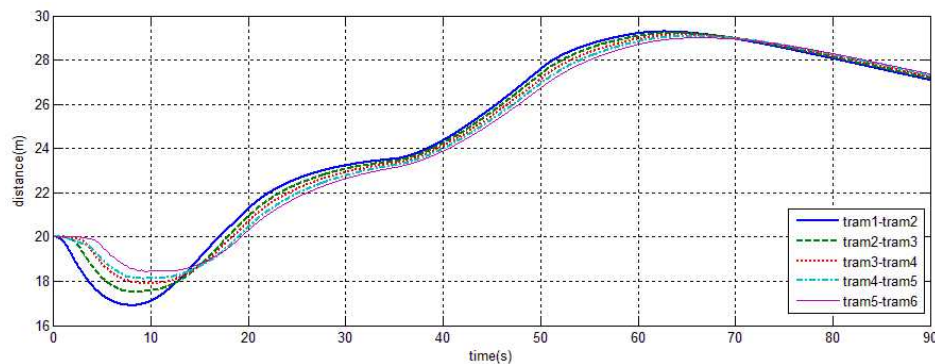


Fig. 11 Distance between trams of the platoon system

2.4.2 Merge

Fig. 6의 군집주행 merge 시나리오처럼 각 3대의 트램을 하나의 군집으로 갖는 2개의 군집이 따로 주행을 하다가 15초에 두 번째 군집에서 merge를 하여 하나의 군집이 되는 과정을 시뮬레이션으로 구현했다. Fig. 12은 각 트램의 속도를 나타낸 것으로 15초까지 서로 다른 군집으로 주행하다가 15초 이후에 두 번째 군집이 속력을 내어 merge하는 것을 확인 할 수 있다. Fig. 13은 트램 간의 거리를 나타낸 것으로 15초 이후 4번째 트램이 3번째 트램으로 merge하여 트램 간 거리가 time headway 0.7초에 맞게 따라 가는 것을 확인 할 수 있다.

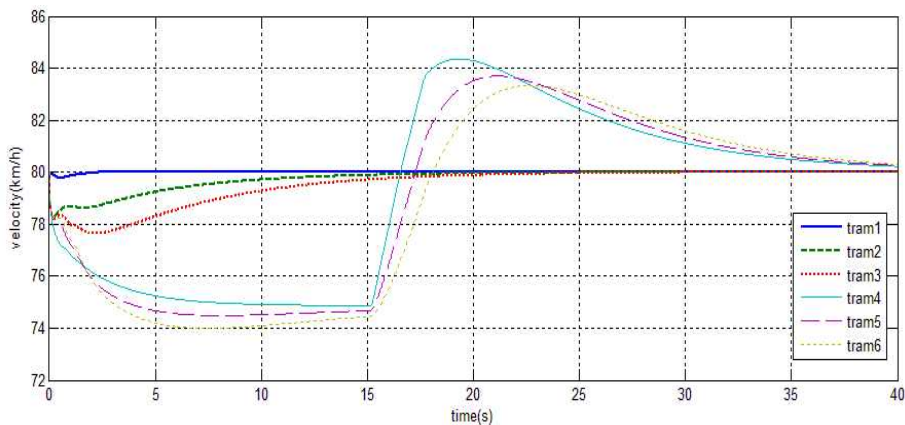


Fig. 12 Velocity profiles of the platoon merge

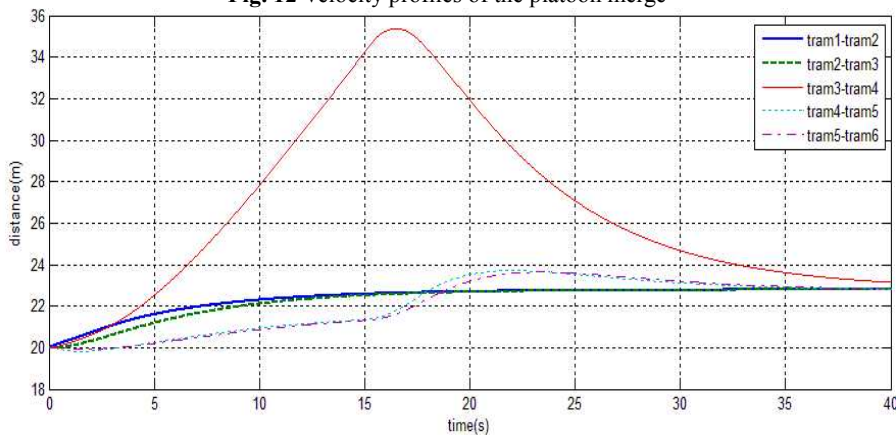


Fig. 13 Distance between trams of the platoon merge

2.4.3 Split

Fig. 8의 군집주행 split 시나리오처럼 하나의 군집에서 두 개의 군집으로 분리 되는 것을 시뮬레이션 하였다. Fig. 14는 각 트램의 속도를 나타낸 것으로 25초까지 하나의 군집으로 주행하다가 25초 이후에 4번째 트램이 속도를 줄여 군집에서 분리되고 40초부터는 따로 주행 하는 모습 것을 확인 할 수 있다. Fig. 15은 트램 간의 거리를 나타낸 것으로 25초 이후 4번째 트램이 split하여 앞 군집과 거리가 멀어지는 것을 확인 할 수 있다.

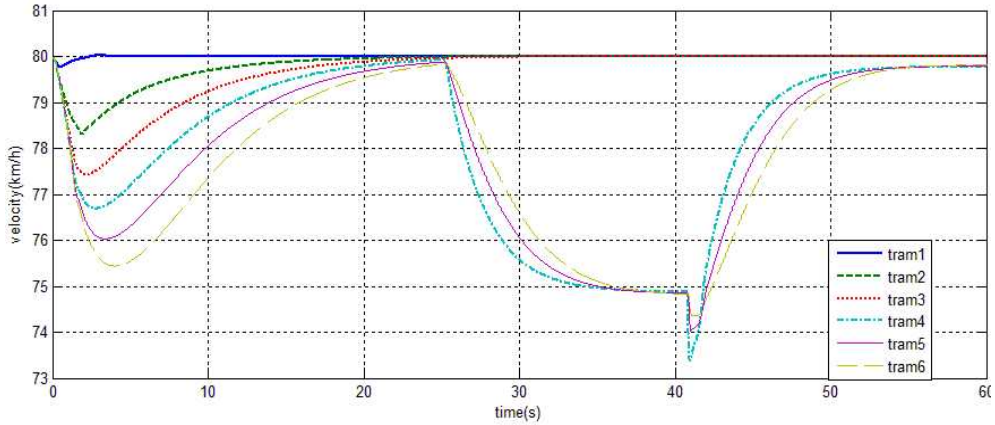


Fig. 14 Velocity profiles of the platoon split

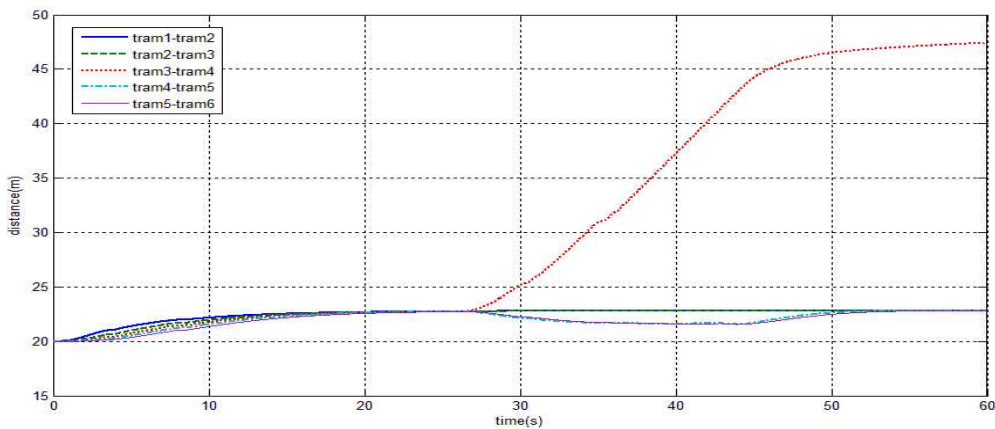


Fig. 15 Distance between trams of the platoon split

3. 결론

본 논문에서는 트램 간의 통신을 이용하여 군집주행을 시뮬레이션 하고 Merge, Split platoon scenario를 구현해 보았다. 이때 ACC on/off를 이용하여 각 트램의 position과 군집의 크기를 확인 할 수 있도록 했다. 선두 차와의 거리를 이용하여 position을 정하는 것보다 각 상황에 맞게 빠르게 position이나 군집의 크기를 인지 할 수 있다. 또한 앞으로 Adaptive Cruise Controller의 설계와 string stability를 보완 하여 바이모달 트램의 성능에 맞게 구현 한다면 보다 안정성 있는 수송 용량의 증대를 기대할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Hakgu Kim, Kyongsu Yi (2012) Design of a Model Reference Cruise Control Algorithm, SAE Int.J.Passeng.Cars-Electr.syst., Volume 5, Issue 2
- [2] K Yi, S Lee, Y D Kwon (2001) An investigation of intelligent cruise control laws for passenger vehicles, Proc Instn Mech Engrs, Volume 215, Part D
- [3] Levine, W. and Athans, M. (1966) On the optimal error regulation of a string of moving vehicles, IEEE Trans. Automat. Contr., vol.11, no.3, pp.355-361