

## 운전자 주행 패턴 분석 및 차량의 순항제어 기법

문 일 기<sup>1)</sup> · 이 경 수<sup>\*2)</sup>

한양대학교 대학원 자동차공학과<sup>1)</sup> · 한양대학교 기계공학부<sup>2)</sup>

### Human Drivers' Driving Pattern Analysis and An Adaptive Cruise Control Strategy

Il-ki Moon<sup>1)</sup> · Kyongsu Yi<sup>\*2)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Automotive Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

<sup>2)</sup>School of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

(Received 27 January 2004 / Accepted 7 June 2004)

**Abstract :** This paper presents experimental results for human drivers' driving patterns and an Adaptive Cruise Control(ACC) strategy. Analyses have shown that female drivers' driving characteristic values such as time-gap and minimum clearance are larger than those of male drivers'. Human drivers tend to have more clearance margins at high speed than at low speed. At low speed, drivers are much more sensitive to the desired clearance than at high speed. A multi-vehicle detection method is presented to improve ride quality of an ACC. Simulation results have shown that the proposed ACC can provide superior performance compared to the ACC strategy which uses a single-vehicle detection method.

**Key words :** Driving pattern(주행패턴), ACC(차량 순항제어), Time-gap(타입 갭), Minimum clearance(최소 유지 거리), TTC<sup>1</sup>(역 충돌시간), Single/Multi-vehicle detection(단/다차량 감지), Clearance margin(상대 거리 여유)

#### Nomenclature

#### Subscripts

$a$  : acceleration,  $m/sec^2$   
 $c$  : clearance or range,  $m$   
 $v$  : vehicle speed,  $m/sec$   
 $\tau$  : time-gap,  $sec$   
 $\lambda$  : forgetting factor  
 $k$  : optimal control gain  
 $TTC$  : time-to-collision,  $sec$   
 $y$  : clearance from radar sensor,  $m$

$s$  : subject vehicle  
 $f$  : forward vehicle  
 $des$  : desired  
 $o$  : minimum or initial value

#### 1. 서론

순항제어 시스템(Cruise control system)이 단순히 설정한 속도로 차량의 속도를 유지하는 시스템 인 데 반해 정지/서행 순항제어 시스템은 정지와 서행을 포함하는 주행상황에서 앞차와의 적절한 거리를 유지해주는 기능이 추가된 운전자 보조 시스템이

<sup>\*</sup>To whom correspondence should be addressed.  
kyongsu@hanyang.ac.kr

다. 이 시스템은 운전자의 운전 피로도를 감소시켜 주는 이외에도 적절한 가감속을 유지하므로써 필요 이상의 급작스러운 차량의 거동을 방지하여 연료 절감과 공해 방지의 효과를 기대할 수 있다. 정지/서행 순항제어 시스템과 구성에 필요한 센서의 필요 성능은 Venhovensl)에 의해서 논의되었으며 단순히 앞차를 추종하는 기능뿐만 아니라, 폭 넓은 운전 환경을 고려하여야 한다고 언급하고 있다. 차량 순항제어 및 정지/서행 순항 제어시스템에 응용 하기 위하여 차량의 종방향 제어에 관한 연구가 지난 수 년간에 걸쳐 이루어 졌으며<sup>2,6)</sup> 본 논문에 사용된 정지/서행 주행 제어 알고리즘<sup>7)</sup>과 실차 실험 결과<sup>8,9)</sup>가 이미 제시되어 검증된 바 있다. 정지/서행 순항제어 시스템은 운전자와의 상호작용을 통하여 동작하는 운전자 보조 시스템이기 때문에, 시스템의 동작에 대한 운전자의 반응<sup>10)</sup>에 대한 연구가 진행중이다. 본 연구에서는 운전자 주행시의 데이터를 저장하기 위하여 실험차량을 구성하여 실제 도로에서 전방 및 좌우 차선에서의 차량에 관한 정보와 운전자의 차량에서 나오는 다양한 차량 데이터를 수집하였으며, 이 같은 실험 결과를 다차량 감지를 이용한 차량의 순항제어를 위하여 시뮬레이션에 이용하였다. 또한 25명의 다양한 운전 경력과 연령대의 남녀운전자를 대상으로 실험을 실시하여, 이들의 주행 특성 파라미터를 재귀적 최소 자승법(Recursive Least Squares Method)를 이용하여 얻었다. 시뮬레이션을 통하여 단차량 및 다차량 감지에 관한 결과를 비교 분석하였으며, 다차량 감지를 이용한 순항 제어 알고리즘의 성능을 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

## 2. 실험을 통한 주행 정보 획득

### 2.1 주행 형태에 영향을 미치는 요인

지능화 차량에 관한 연구는 다양한 주행 조건 하에서 선행 차량과의 일정한 상대거리 및 상대속도를 유지하며 자율 주행 할 수 있는 차량의 개발과 그 성능을 개선하기 위한 연구가 그 대상이 되어 왔다. 하지만, 실제 운전자는 Fig. 1에서 보는 것과 같이 운전자의 연령이나 성별, 운전 경험과 같은 운전자 개인의 고유 인자와 운전 목적, 도로의 여건 및 날씨와 같은 외부 인자에 의해 매우 다양한 주행 형태를 보

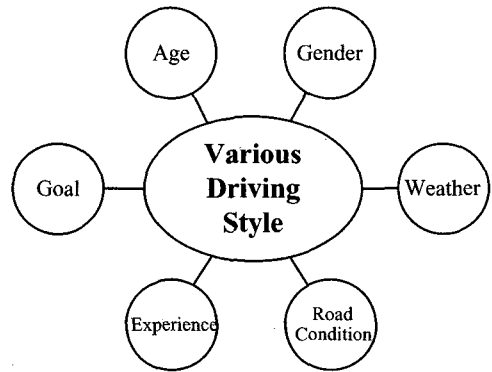


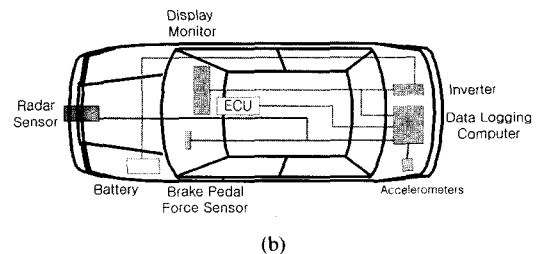
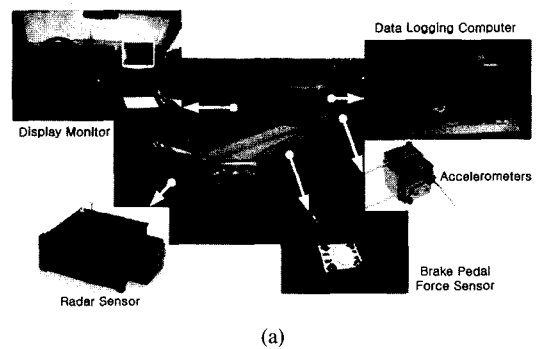
Fig. 1 Various driving style of human drivers

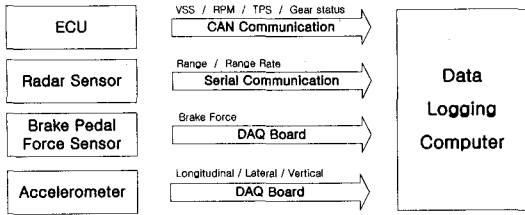
인다.

따라서, 이러한 운전자의 주행 패턴을 주행시 안전성을 해치지 않는 범위 내에서, 지능화 차량의 제어에 고려하는 것이 타당하며, 이를 위해서는 전체 운전자를 대표할 수 있는 다양한 운전자들의 실차 실험 데이터의 획득이 시급한 과제이다.

### 2.2 실험 차량의 구성

Fig. 2의 (a)는 실험차량의 센서 구성, (b)는 실제 장착된 위치와 전원구성을 (c)는 컴퓨터에 저장을 위한 네트워크를 보여주고 있다.





(c)

Fig. 2 Configuration of experimental vehicle for data acquisition

실험 차량의 전면에 부착된 mmW(mili-meter Wave) Radar 센서로부터 주행차량의 전방에 위치한 12대의 대상에 대한 상대거리, 상대속도, 상대각도의 정보를 수집한다. 거리분해능은 1m이고 갱신시간은 100ms 이다. 실험차량의 3축 가속도를 측정하기 위한 가속도 센서와 브레이크 페달에 가해지는 힘을 측정하기 위한 답력계가 DAQ(Data Acquisition)를 통하여 측정된다. 차량의 속도, 엔진RPM, 토크컨버터의 터빈속도, 쓰로틀의 개도각, 자동변속기의 기어 단수 등의 정보가 CAN(Controller Area Network)을 통하여 수집된다.

### 2.3 운전자 주행 패턴

차량 주행시 전방에 차량이 있는 경우에는 그 차량과 일정한 거리를 유지하며 주행 하려는 성향을 보인다. Fig. 3의 운전자의 실험 데이터 분석을 통하여, 운전자가 원하는 상대거리가 선행 차량의 속도에 비례하는 것을 알 수 있다.

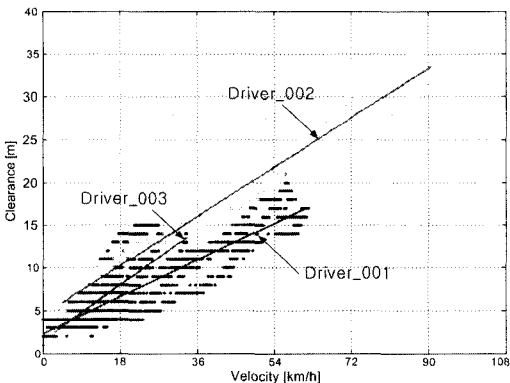


Fig. 3 Relationship between the clearance and front vehicle speed

### 2.4 주행 패턴을 고려한 적응 제어

Fig. 3의 그래프에 나타난 운전자의 주행 패턴은 식 (1)과 같이 표현된다.  $v_f$ 는 앞차의 속도,  $c_{des}$ 는 목표 상대거리,  $c_o$ 는 최소 유지 거리를 의미한다.

$$c_{des} = v_f \cdot \tau + c_o \quad (1)$$

식 (1)로부터 운전자 주행 패턴을 반영하기 위한 운전자 주행 특성 파라미터로 타임 갭과 최소 유지 거리를 선정하여, 실시간으로 운전자의 주행 패턴을 적용한 제어를 설계하였다.

정지/서행 순항 제어시스템<sup>7,8)</sup>은 식 (2)와 같이 운전자의 주행패턴을 고려한 목표 상대거리 식 (1)을 사용하였고 차량의 목표속도는 선행차량의 속도와 같게 적용하여 항상 선행차량과 일정한 거리를 유지하게 제어된다. 여기서  $a_{des}$ 는 목표 가속도,  $c$ 는 상대거리,  $v_s$ 는 자차량의 속도를 나타낸다.

$$a_{des} = -k_1(c_{des} - c) - k_2(v_f - v_s) \quad (2)$$

Fig. 4는 운전자 주행 특성 파라미터를 고려한 지능화 차량의 적응제어 알고리즘을 나타낸다.

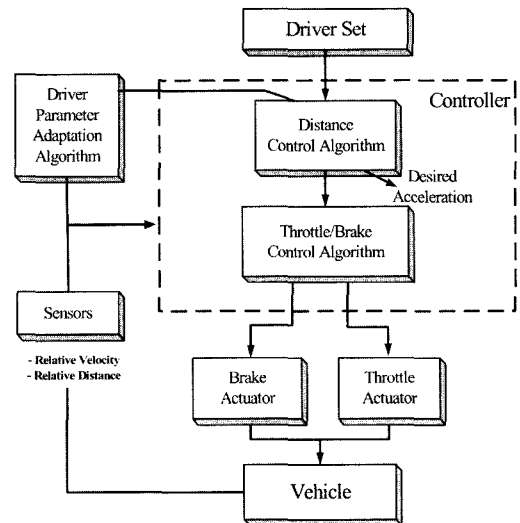


Fig. 4 Control algorithm with driving pattern recognition

실시간 운전자 주행 특성 파라미터 추정을 위하여 식 (3), (4)의 재귀적 최소자승법을 사용하였다.

$$y(k) = \phi^T(k) \cdot \theta(k)$$

$$\phi^T(k) = [\phi_1 \ \phi_2] = [v_f(k) \ 1] \quad (3)$$

$$\theta(k)^T = [\theta_1 \ \theta_2] = [\tau \ c_o]$$

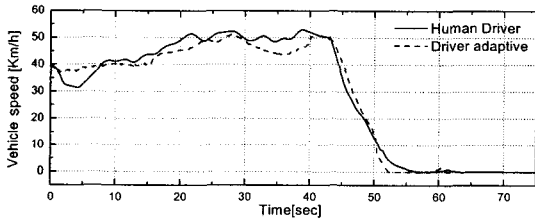
$$\hat{\theta}(k) = \begin{cases} \hat{\theta}(k-1) + P(k)\phi(k)[y(k) - \phi^T(k) \cdot \hat{\theta}(k-1)] & \text{if } |TTC^{-1}| \leq \epsilon \\ \hat{\theta}(k-1) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

$$P(k) = \frac{1}{\lambda} \left( P(k-1) - \left[ \frac{P(k-1)\phi(k)\phi^T(k)P(k-1)}{\lambda + \phi^T(k)P(k-1)\phi(k)} \right] \right)$$

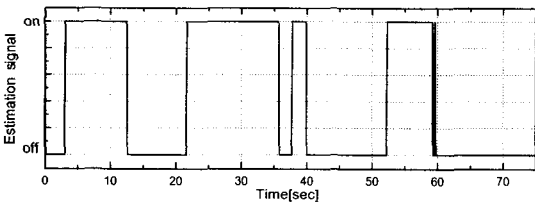
앞차의 급격한 가속 변화시 운전자의 상황인지와 대처에는 일정한 시간이 필요하므로 주행시의 모든 데이터가 운전자의 의도를 반영하지는 않는다. 급격한 가속이 일어나지 않는 구간에서는 앞차의 속도와 목표상대거리에 추종하려는 제어 형태를 보이므로 식 (5)와 같은  $TTC^{-1}$ 이 매우 작아진다.

$$TTC^{-1} = \frac{v_s - v_f}{c} \quad (5)$$

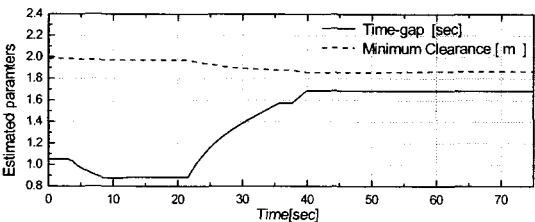
본 연구에서는 이 같은 구간에서  $\hat{\theta}$ 가 갱신 되도록



(a) Vehicle speed



(b) Estimation Signal



(c) Driving Parameters

Fig. 5 Driving Characteristic Parameter Estimation

록 식 (4)와 같이 설정하였고  $\epsilon=0.05$ 를 사용하였다. 추정된 타임 갭과 최소 유지 거리를 제어에 반영하면 목표 상대거리는 식 (6)과 같이 변경할 수 있다.

$$c_{des} = \hat{\theta}_1 \cdot v_f + \hat{\theta}_2 \quad (6)$$

Fig. 5는 실험을 통해 얻어진 운전자 주행 특성 파라미터를 추정된 결과를 보여준다. 추정된 타임 갭과 최소 유지 거리는 1.685sec와 1.806m이다.

Fig. 6은 다차량 감지 시뮬레이션에 사용한 실험 데이터로 레이더 센서로부터 운전자 차량(subject vehicle)과 그 주위에 주행 중인 다차량에 대해 시간에 따른 주행 상황을 그린 그래프이다. x좌표 상의 0점에 위치한 '□'은 운전자 차량을 표시하고 중앙에서 좌측으로 진행하는 '\*'은 전방에 위치하다가 약 40초 무렵에 좌측 차선으로 빠져 나가는 차량이며, 우측에서 전면으로 이동하는 'O'은 그 직후 오른쪽 차선에서 전면으로 들어오는 차량이다.

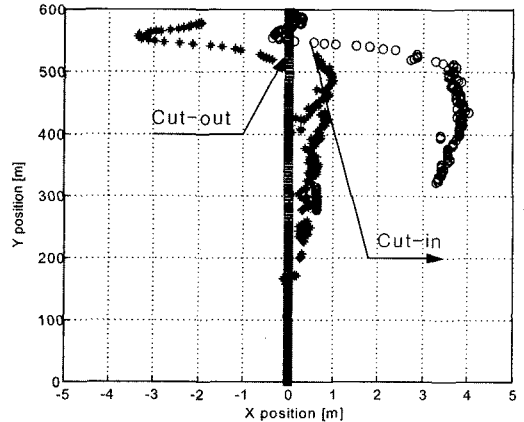
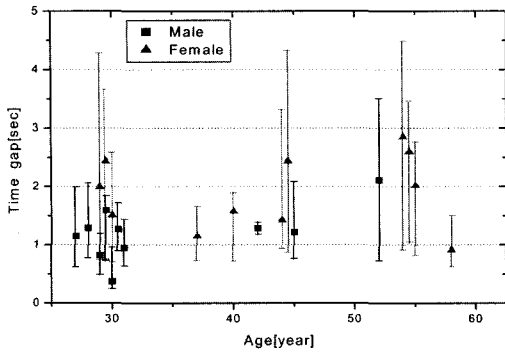


Fig. 6 Multi-vehicle detection in various situation

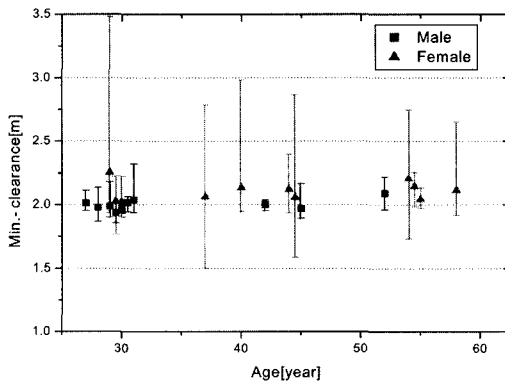
### 3. 실험 및 시뮬레이션 결과

#### 3.1 운전자 주행 특성 파라미터

Fig. 7은 25명의 운전자로부터 수집한 데이터를 분석하여 각 운전자의 평균 타임갭과 최소 유지 거리를 연령과 성별로 도시한 그래프이다. 남성 운전자에 비해 여성운전자의 타임 갭 및 최소 유지 거리의 표준 편차가 더 큰 것을 알 수 있다. 이는 여성 운전자가 남성 운전자에 비해서 운전자 고유의 성향이 반영된 목표 상대거리를 잘 추종하지 못하는 성



(a) Time-gap versus Age



(b) Minimum clearance versus Age

Fig. 7 Driving characteristic parameters for different ages

향이 있음을 보여준다.

### 3.2 시뮬레이션 결과

#### 3.2.1 운전자 주행 패턴을 고려한 정지/서행 주행 시스템

Fig. 8의 'Human'은 운전자가 주행 하면서 수집한 주행 데이터를 표시하고, 'Adaptive'는 추정되어진 주행 특성 파라미터인 타임갭 0.86sec, 최소 유지 거리 2.28m를 적용한 시뮬레이션 결과이며, 'Nominal'은 기존에 적용하던 타임갭 1.2sec와 최소 유지 거리 2m를 사용한 시뮬레이션 결과이다.

속도그래프의 경우 운전자의 실험 데이터와 두가지의 시뮬레이션 결과가 거의 일치하는 것을 볼 수 있지만, 상대 거리 그래프는 운전자의 주행 특성 파라미터를 적용한 결과가 'Nominal'한 파라미터를 적용한 시뮬레이션 결과에 비해 운전자의 실험결과와 유사한 결과를 보이는 것을 볼 수 있다.

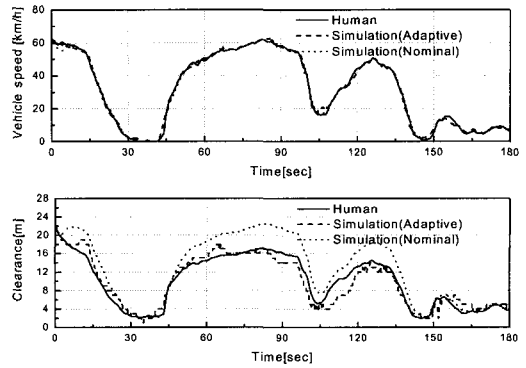


Fig. 8 Comparison between simulation using driving pattern and using nominal parameter

#### 3.2.2 단차량 감지

Fig. 9는 주행차량의 전방에 위치한 단차량 감지에 대한 시뮬레이션 결과와 실제 운전자의 주행 데이터를 비교한 그래프이다. 시뮬레이션에 사용한 타임갭과 최소 유지 거리는 운전자 실험데이터로부터 추정한 값으로 각각 1.685sec와 1.806m를 사용하였다. 시뮬레이션을 시작 후 약 40초에서 주행차선의 전방에 주행하는 차량이 왼쪽 차선으로 cut-out을 한 후 전방에 더 먼 거리의 저속 차량이 감지되고, 약 2초후에 오른쪽 차선의 차량이 주행차선으로 cut-in을 한다. 이 상황은 우측 차선에서 cut-in하는 차량이 내차의 전방으로 들어온 이후에 급작스럽게 좁혀진 상대거리를 인지하여 급격히 최대 감가속도로 감속하게 되는 경우이다. 가속도 그래프를 살펴보면 목표가속도와 시뮬레이션 가속도가 약 -0.45G로 최대 감가속을 하는 것에 비해 운전자는 반대쪽 차선의 차량이 cut-in 할 것임을 좀더 일찍 인지하고 충분한 거리를 유지하는 행동을 하여서 실제 cut-in 시에 감속량이 크지 않은 결과를 보인다. 이처럼 차선 전방의 단차량 감지 결과만을 정지 서행 시스템에 적용할 경우 급격한 가감속 제어로 운전자의 승차감을 크게 저하시키는 결과를 가져오게 된다.

#### 3.2.3 다차량 감지

Fig. 10은 앞의 단차량 감지 시뮬레이션과 같은 상황에 대해서, 다차량 감지를 적용한 시뮬레이션 결과이다. 전방차량이 cut-out한 후 나타나는 전방 차량과 동시에 옆차선에서 cut-in하는 차량에 대해 목표 가속도를 설정함으로써 급감속을 피할 수 있

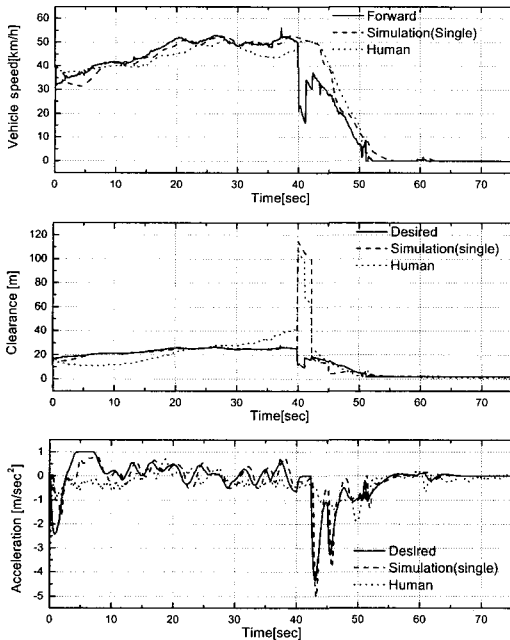


Fig. 9 Simulation results in case of single-vehicle detection

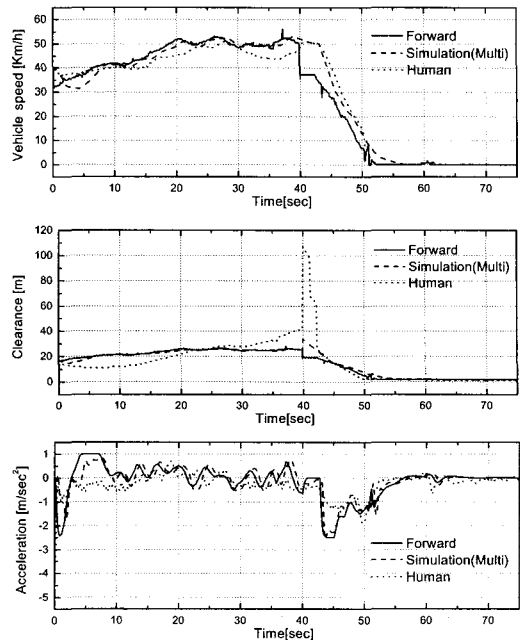


Fig. 10 Simulation results in case of multi-vehicle detection

는 결과를 보여준다. Fig. 10의 가속도 그래프를 보면, 최대감가속도가 약  $-0.25G$  정도로 Fig. 9의 단차량 감지 경우의 최대감가속도보다 보다  $-0.2G$ 나 줄어들었다. 또한 약 46초에서 55초에 이르는 구간에서는 Fig. 9의 감가속도보다 큰값을 유지 함으로써 전반적으로 부드럽게 차량이 정지 할 수 있도록 제어 되는 결과를 보이고 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 다양한 연령대와 운전 경력을 가진 남녀운전자 25명을 대상으로 실차실험을 수행하여, 운전자 주행 특성 파라미터인 타임 갭과 최소 유지 거리를 추정하여 결과를 분석하였다. 운전 패턴 인식 및 다차량 감지를 통한 차량의 적응제어에 관한 알고리즘을 제안하였고, 이같은 알고리즘 적용시의 성능 향상을 시뮬레이션을 통하여 검증하였다. 현재 더 많은 운전자에 대한 실험을 통하여 데이터를 축적하여 통계적으로 의미있는 주행 특성 파라미터에 대한 연구가 진행 중이다. 차후에는 궤적 예측 기법을 통합한 실차 실험을 진행하여 제어기 성능 향상을 목표로 연구를 진행할 계획이다.

#### 후 기

이 연구는 과학 기술부 국가지정 연구실(NRL) 사업의 지원에 의해 수행 되었습니다.

#### References

- 1) P. Venhovens, K. Naab, Adiprasito, "Stop and Go Cruise Control," Seoul 2000 FISITA World Automotive Congress, Seoul Korea, June 12-15, 2000.
- 2) C. Liang, H. Peng, "Optimal Adaptive Cruise Control with Guaranteed String Stability," Vehicle System Dynamics, Vol.32 No.4-5, pp.313-330, 1999.
- 3) J. K. Hedrick, D. McMahon, V. Narendra, D. Swaroop, "Longitudinal Vehicle Controller Design for IVHS Systems," Proceedings of the 1991 American Control Conference, pp. 3107-3112, June 1991.
- 4) C. C. Chien, P. Ioannou, M. C. Lai, "Entrainment and Vehicle Following Controllers Design for Autonomous Intelligent Vehicles,"

- Proceedings of the 1994 American Control Conference, Baltimore, Maryland, pp.6-10, June 1994.
- 5) D. Swaroop, S. M. Yoon, "The Design of a Controller for a Following Vehicle in an Emergency Lane Change," California PATH Working Paper UCB-ITS-PWP-99-3. pp.1-6, 1999.
  - 6) Y. Yamamura, M. Tabe, M. Kanehira, T. Murakami, "Development of an Adaptive Cruise Control System with Stop-and-Go Capability," SAE 2001-01-0798, 2001.
  - 7) K. Yi, J. Hong, Y. D. Kwon, "A Vehicle Control Algorithm for Stop-and-go Cruise Control," Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D, Vol.215, No.10, pp.1099-1115, 2001.
  - 8) K. Yi, H. J. Yoon, K. Huh, D. Cho, I. Moon, "Implementation and Vehicle Tests of a Vehicle Stop-and-Go Cruise Control System," Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Journal of Automobile Engineering, Vol.216, Part D, pp.537-544, 2002.
  - 9) S. M. Cho, K. Yi, K. Huh, "Vehicle Distance Control using Vehicle Trajectory Prediction Method," Transactions of KSAE, Vol.10, No.3, pp.123-129, 2002.
  - 10) P. Fancher, Z. Bareket, R. Ervin, "Human-Centered Design of An ACC-With-Braking and Forward-Crash-Warning System," Proceeding of AVEC2000, Ann Arbor, Michigan, August, 2000.