

# 자율주행 개인화를 위한 역 충돌시간 및 차두시간 융합 기반 인간중심 제어 알고리즘 개발

오광석<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>한경대학교 기계공학과 교수, <sup>2</sup>한경대학교 기계융합연구소 연구원

## A Human-Centered Control Algorithm for Personalized Autonomous Driving based on Integration of Inverse Time-To-Collision and Time Headway

Kwang-Seok Oh<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Professor, Department of Mechanical Engineering, Hankyong National University

<sup>2</sup>Researcher, Institute of Machine Convergence Technology, Hankyong National University

요 약 본 논문은 자율주행 개인화를 위한 역 충돌시간 및 차두시간 융합 기반 인간중심 제어 알고리즘 개발에 관한 것이다. 운전자 및 탑승자의 자율주행에 대한 이질감 최소화를 위해 인간중심적 주행제어 기술이 필요하다. 운전자가 선행차량과 함께 주행하는 조건에서 운전자의 주행특성을 분석하고, 분석된 결과를 종방향 자율주행 제어에 반영하였다. 주행특성으로 가속도, 역 충돌시간, 차두시간 분포가 분석되었고, 운전자의 주행특성이 반영된 제어기 구성을 위해 역 충돌시간 및 차두시간을 이용한 종방향 제어를 구성하였다. 본 연구에서 제안된 제어 알고리즘은 Matlab/Simulink 환경에서 구성되었으며 실 주행데이터 기반 성능평가가 수행되었다.

주제어 : 자율주행 개인화, 역 충돌시간, 차두시간, 종방향 제어, 주행특성

**Abstract** This paper presents a human-centered control algorithm for personalized autonomous driving based on the integration of inverse time-to-collision and time headway. In order to minimize the sense of difference between driver and autonomous driving, the human-centered control technology is required. Driving characteristics in case that vehicle drives with the preceding vehicle have been analyzed and reflected to the longitudinal control algorithm. The driving characteristics such as acceleration, inverse time-to-collision, time headway have been analyzed for longitudinal control. The control algorithm proposed in this study has been constructed on Matlab/Simulink environment and the performance evaluation has been conducted by using actual driving data.

**Key Words** : Personalized autonomous driving, Inverse time-to-collision, Time headway, Driving characteristic

### 1. 서론

최근 카메라, 레이더, 라이다와 같은 환경 센서 및 소프트웨어 기술의 발전에 따라 자율주행 기술 개발이 가속화 되고 있으며, 국내외 우수 자동차 업체 및 연구소에 서 상용화를 위한 다양한 연구를 수행하고 있다. 자율주

행 기술의 상용화를 위해 안전을 포함한 다양한 관점에서 연구개발 및 실증이 필요하지만 운전자 및 탑승자 관점에서의 이질감 최소화 연구는 필수 연구 분야라 할 수 있다. 그러므로 다양한 운전자의 주행특성 분석을 통한 운전자 모델 개발 및 자율주행 개인화 연구가 활발히 진행되고 있다.

\*Corresponding Author : Kwang-Seok Oh (oks@hknu.ac.kr)

Received July 25, 2018

Accepted October 20, 2018

Revised September 11, 2018

Published October 28, 2018

박창우 외 2 명은 운전자 친화형 순항제어 알고리즘 개발을 위해 시뮬레이터 기반 운전자 주행 데이터 확보 및 분석을 수행하였다. 주행데이터를 안정영역과 과도영역으로 구분하였으며 개발된 알고리즘의 시뮬레이션 결과를 실 주행데이터와 비교하였다[1]. 김태우 외 4 명은 측정 및 예측 불확실성을 고려한 차량 안전영역 설정에 따른 교통약자 거동 예측 기반 강건 자동비상제동 알고리즘을 개발하였다[2]. 이태영 외 2 명은 운전자의 인식 오차 및 실수요소를 반영한 활률적 분포 기반 운전자 모델을 제안하였고, 실 주행데이터와 비교하였다[3]. 손준우 외 4 명은 운전자 특성이 연비에 미치는 영향을 분석하기 위해 남녀성비 및 연령 조합에 따른 고속도로 실차 주행실험을 수행하였으며 유의미한 차이를 확인하였다. 도출된 결과를 기반으로 향후 예코 운전지원 서비스 제공 가능성을 도출하였다[4]. 오광석 외 1 명은 운전자의 주행특성을 도출하고 모델 예견 제어 알고리즘을 이용하여 주행특성을 반영하는 예견 운전자 모델을 개발하였다. 개발된 알고리즘은 실 주행데이터와 비교되었다[5]. 그리고 자율주행을 포함하는 다양한 시스템의 운전자 중심 제어 알고리즘 개발 및 분석에 대한 연구가 수행되었다[6-10]. 또한 부분적 자율주행 관점에서 운전자 친화형 순항제어 알고리즘의 개발 및 검증이 수행되었다[11-13]. 더불어 교통약자의 주행 특성을 고려한 강건 자동비상제동 알고리즘의 개발 및 제어권 전환과 관련된 연구가 진행되었다[14-15].

기존 연구들을 살펴보면 운전자 주행특성을 분석하고, 분석된 결과를 기반으로 운전자 모델 개발 및 운전자 친화형 순항제어 알고리즘 개발이 대부분임을 확인할 수 있다. 또한 운전자 주행특성에 따른 예코 지원시스템 및 구분 알고리즘 개발의 필요성을 확인할 수 있었으며 이를 위해 가속도와 같은 차량 상태정보를 이용하였다. 본 연구에서는 자율주행 자동차의 개인화를 위해 선행차량과 함께 주행하는 상황에서 운전자 주행특성으로 종방향 가속도, 역 충돌시간, 차두시간을 분석하였다. 분석된 결과를 기반으로 역 충돌시간 및 차두시간 기반 종방향 제어 알고리즘을 구성하였다. 구성된 제어 알고리즘은 사용되는 가속도 분포 기반 역 충돌시간 및 차두시간의 시간에 따른 변화율을 분석하고, 분석된 결과 기반 요구 역 충돌시간 및 차두시간을 추종하기 위한 차량의 요구 가속도를 역 충돌시간 - 차두시간 영역에서 도출한다. 본 연구에서 제안하는 알고리즘의 성능평가는 실 주행 데이

터 기반 3차원 차량 동역학 모델을 이용하여 수행되었으며, 성능평가 결과 제안하는 제어 알고리즘은 주행특성을 합리적으로 반영할 수 있음을 확인할 수 있었다. 본 논문의 나머지 부분은 다음과 같이 구성되었다.

2 장에서는 주행특성 분석 및 제어 알고리즘에 대해 기술하고, 3 장에서는 실 주행데이터 기반 성능평가 결과를 보여준다. 마지막 4 장에서는 본 연구의 한계점 분석에 따른 향후계획과 함께 결론을 기술한다.

## 2. 자율주행 개인화를 위한 주행특성 분석 및 제어 알고리즘

총 세 명의 운전자에 대한 일반 주행도로에서 선행차량과 함께 주행하는 실 주행 데이터를 기반으로 종방향 가속도, 역 충돌시간, 차두시간을 주행특성으로 분석하였다. 운전자마다 다양한 속도 구간에서 주행하는 경우에 대해 분석하였으며, Table. 1 은 분석한 실 주행데이터의 운전자 별 개수 요약을 나타낸다.

Table 1. Actual driving data

Division	The number of data
Driver - 1	3
Driver - 2	3
Driver - 3	3
Total	9

주행특성 분석을 위해 사용된 역 충돌시간( $TTC^{-1}$ )과 차두시간( $T_h$ )은 아래 수식 (1)과 (2)와 같이 정의되었으며 실 주행데이터를 이용하여 계산되었다.

$$TTC^{-1} = (v_p - v_s) / c \quad (1)$$

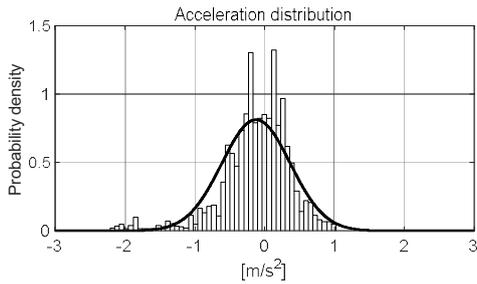
$$T_h = c / v_s \quad (2)$$

$v_p$ ,  $v_s$ ,  $c$  는 각각 선행차량과 자차량의 종방향 속도 그리고 선행차량과 자차량의 상대거리를 나타낸다. 다음 절에서는 분석된 운전자의 주행특성에 대해 기술한다.

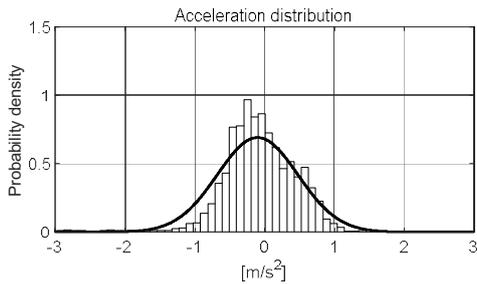
### 2.1 운전자 주행특성 분석

#### 2.1.1 종방향 가속도

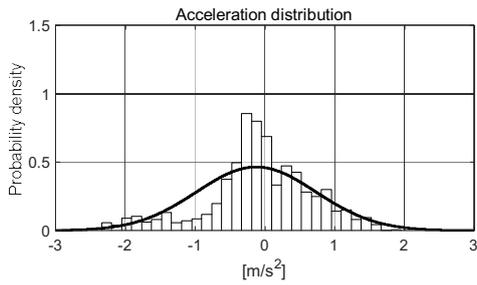
각 운전자의 실 주행데이터를 종합하여 각 운전자의 가속도 분포를 도출하면 Fig. 1 과 같다.



(a) Acceleration distribution: driver - 1



(b) Acceleration distribution: driver - 2



(c) Acceleration distribution: driver - 3

Fig. 1. Acceleration distributions of individual driver

Fig. 2 는 정규분포로 나타낸 모든 운전자의 종방향 가속도 분포를 보여준다.

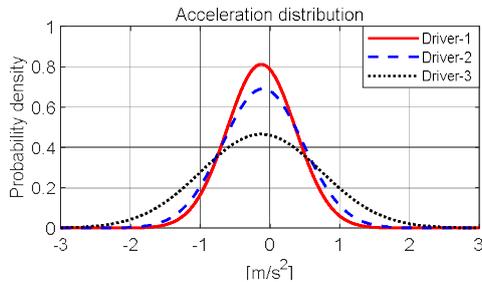


Fig. 2. Acceleration distributions of all drivers

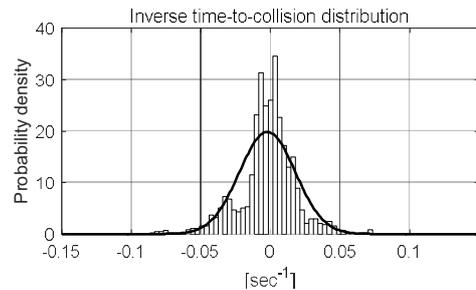
Table. 2 는 모든 운전자 가속도 분포의 평균 및 표준편차 그리고 99.9 % 확률 경계값을 나타낸다.

Table 2. Summary of acceleration data

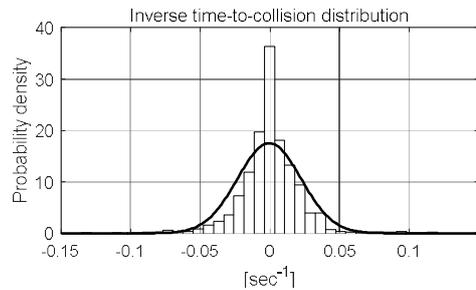
Division	Average	S.T.D	$\mu - 3\sigma$	$\mu + 3\sigma$
Driver - 1	-0.124	0.491	-1.598	1.350
Driver - 2	-0.102	0.578	-1.835	1.630
Driver - 3	-0.127	0.858	-2.701	2.447

### 2.1.2 역 충돌시간( $TTC^{-1}$ )

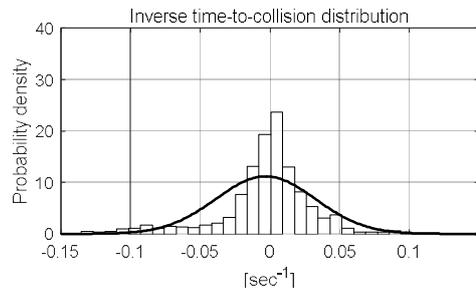
Fig. 3 과 4 는 각 운전자의  $TTC^{-1}$  분포를 보여준다. 역 충돌시간의 경우 가속도 분포와 마찬가지로 평균적의 값을 유지하는 것을 확인할 수 있었다.



(a) Inverse time-to-collision distribution: driver - 1



(b) Inverse time-to-collision distribution: driver - 2



(c) Inverse time-to-collision distribution: driver - 3

Fig. 3.  $TTC^{-1}$  distributions of individual driver

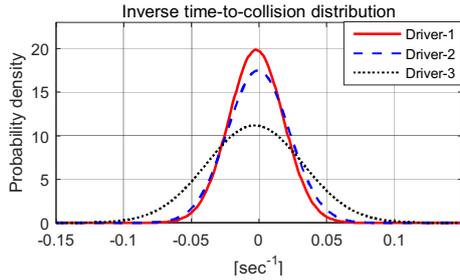


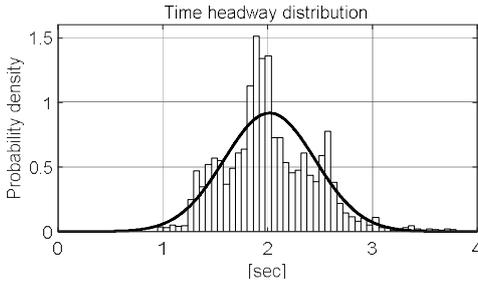
Fig. 4.  $TTC^{-1}$  distributions of all drivers

Table 3. Summary of inverse time-to-collision data

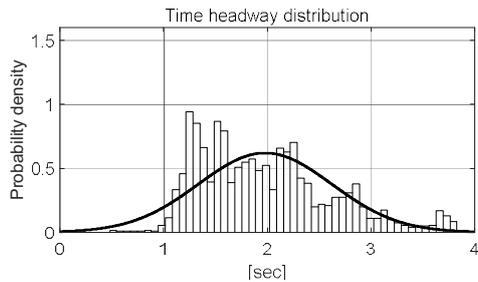
Division	Average	S.T.D	$\mu - 3\sigma$	$\mu + 3\sigma$
Driver - 1	-0.0022	0.0201	-0.0624	0.0581
Driver - 2	-0.0006	0.0228	-0.0690	0.0677
Driver - 3	-0.0033	0.0357	-0.1103	0.1038

2.1.3 차두시간( $T_h$ )

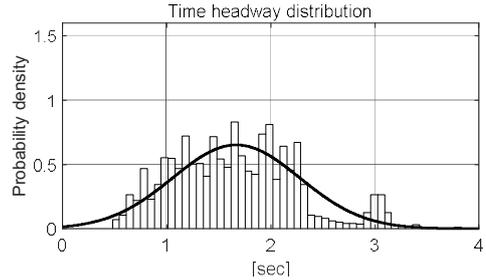
Fig. 5 과 6 는 각 운전자의  $T_h$  분포를 보여준다. 실 주행데이터 분석 결과 종방향 가속도의 경우 세 명의 운전자 모두 0 에 가까운 평균값을 보이지만 사용하는 영역은 차이가 있었다. 역 충돌시간의 경우 평균 0, 사용하는 영역은 운전자에 따라 다른 값을 보였다. 마지막 차두시간의 경우 운전자에 따라 평균값과 표준편차 모두 서로 다른 값을 보이는 것을 확인할 수 있었다.



(a) Time headway distribution: driver - 1



(b) Time headway distribution: driver - 2



(c) Time headway distribution: driver - 3

Fig. 5.  $T_h$  distributions of individual driver

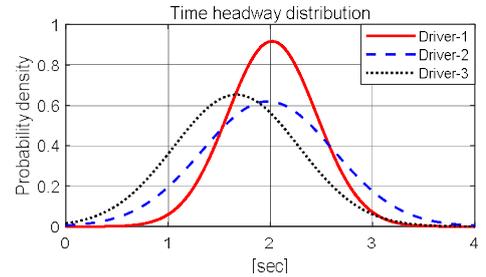


Fig. 6.  $T_h$  distributions of all drivers

Table 4. Summary of time headway data

Division	Average (sec)	S.T.D (sec)
Driver - 1	2.018	0.435
Driver - 2	1.979	0.644
Driver - 3	1.669	0.611
Average	1.889	0.563

운전자 주행특성 반영을 위해 본 연구에서는 운전자가 사용하는 가속도 영역, 역 충돌시간의 평균값, 그리고 차두시간의 평균값을 이용하여 종방향 제어 알고리즘을 설계하였다.

2.2 종방향 제어 알고리즘

Fig. 7 은 본 연구에서 제안하는 역 충돌시간-차두시간 기반 종방향 제어 알고리즘의 개념도를 나타낸다.

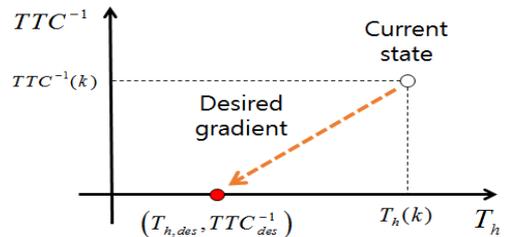


Fig. 7. Concept of the  $TTC^{-1} - T_h$  based algorithm

$TTC_{des}^{-1}$  와  $T_{h,des}$  은 각각 요구 역 충돌시간 및 차두 시간을 나타낸다. 요구 값을 추종하기 위해 역 충돌시간 및 차두시간 평면에서의 요구 기울기(desired gradient)를 정의하였으며, 정의된 평면에서 요구 기울기를 만족하기 위한 변화율 기반 종방향 요구 가속도( $a_{s,des}$ )를 도출하였다. 다음 수식은 역 충돌시간 및 차두시간의 시간에 대한 변화율을 가속도( $a_s$ )에 대해 표현한 것이다.

$$\frac{dTTC^{-1}}{dt} = -\frac{a_s}{c} - (TTC^{-1})^2 \quad (3)$$

$$\frac{dT_h}{dt} = -\frac{T_h}{v_s} a_s + TTC^{-1} \cdot T_h \quad (4)$$

수식 (3) 과 (4) 를 이용하여 역 충돌시간-차두시간 평면에서의 기울기를 계산하면 수식 (5) 와 같다.

$$\frac{dTTC^{-1}}{dT_h} = \frac{T_h^{-1} a_s + v_s (TTC^{-1})^2}{T_h a_s - v_s (TTC^{-1}) T_h} \quad (5)$$

수식 (5) 를 기반으로 요구 기울기( $Gr_{des}$ )에 따른 종방향 요구 가속도를 계산하면 수식 (6) 과 같다.

$$a_{s,des} = \frac{v_s TTC^{-1} T_h Gr_{des} + v_s (TTC^{-1})^2}{T_h Gr_{des} - T_h^{-1}} \quad (6)$$

요구 값 추종을 위해 사분면에 따른 요구 값 기준 기울기( $Gr$ ) 기반 요구 기울기는 아래와 같이 정의 되었다.

$$Quadrant - 1,3 : Gr + \pi + \pi/6 \quad (7)$$

$$Quadrant - 2,4 : Gr + \pi - \pi/6 \quad (8)$$

### 3. 실 주행데이터 기반 성능평가

제안된 제어 알고리즘의 합리적 성능평가를 위해 실 주행데이터와 3차원 차량 동역학 모델을 이용하였다. Fig. 8 은 성능평를 위해 구성된 모델 개략도를 나타낸다.

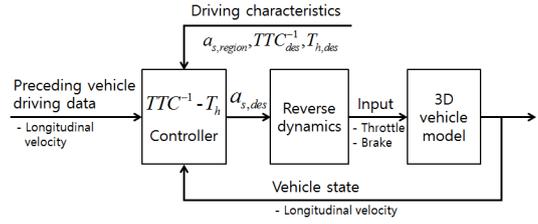
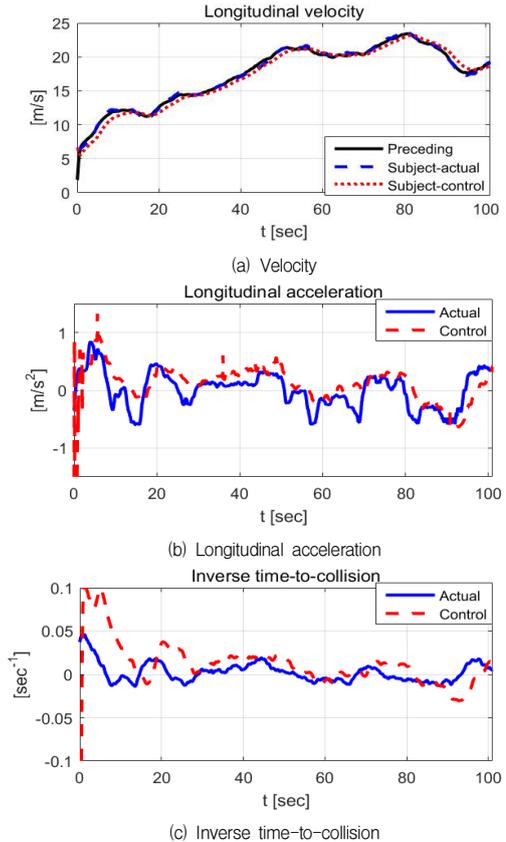
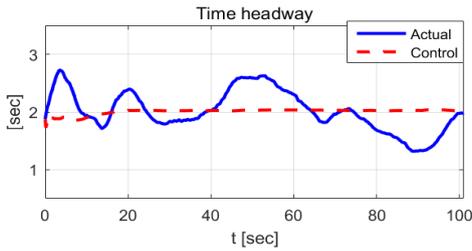


Fig. 8. Model schematics for performance evaluation

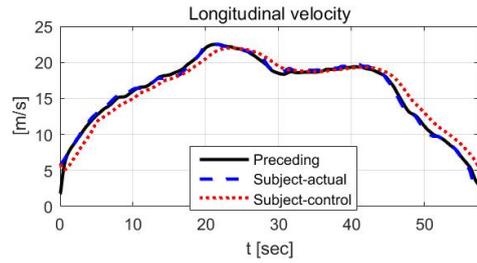
앞서 기술된 주행특성 분석 결과를 기반으로 각 운전자의 가속도 사용 영역 및 요구 역 충돌시간 그리고 차두 시간을 제어기의 한계값 및 목표값으로 적용하였다. 성능평가를 위해 사용된 3차원 차량동역학 모델이 요구 가속도를 추종하기 위해 역 동역학 모델 기반 종방향 제어를 위한 스로틀 및 브레이크 입력을 도출하였다. Fig. 9, 10, 11 은 실 데이터 기반 성능평가 결과를 보여준다.



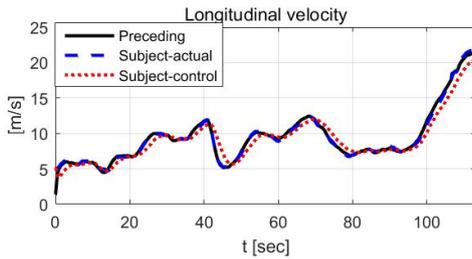


(d) Time headway

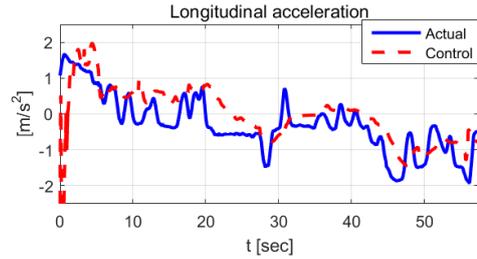
Fig. 9. Performance evaluation: driver - 1



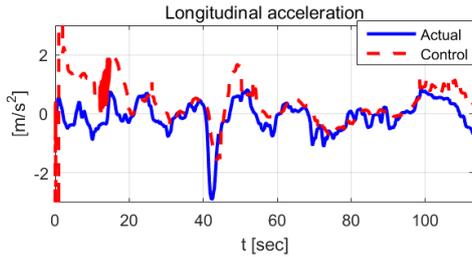
(a) Velocity



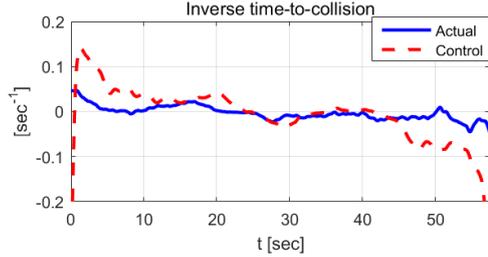
(a) Velocity



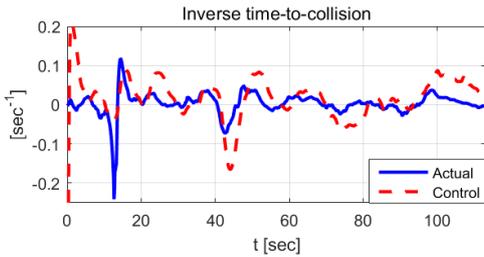
(b) Longitudinal acceleration



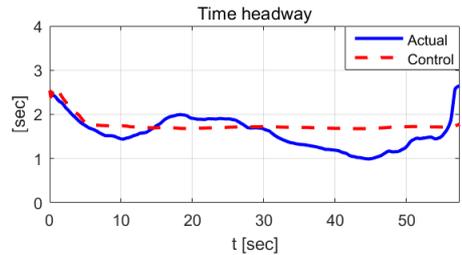
(b) Longitudinal acceleration



(c) Inverse time-to-collision

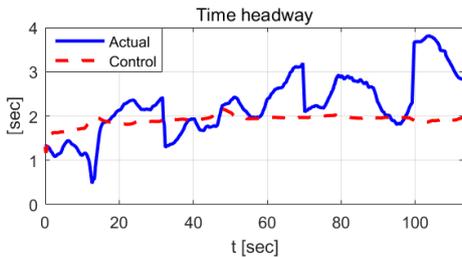


(c) Inverse time-to-collision



(d) Time headway

Fig. 11. Performance evaluation: driver - 3



(d) Time headway

Fig. 10. Performance evaluation: driver - 2

#### 4. 결론

본 논문에서는 자율주행 개인화를 위한 역 충돌시간 및 차두시간 융합 기반 인간 중심 종방향 제어 알고리즘을 제안하였다. 선행차량과 함께 주행하는 실 주행데이터 기반 역 충돌시간 및 차두시간 그리고 가속도 분포를 분석하였다. 인간 중심 제어를 위해 분석된 결과 기반 가속도 사용 영역 및 평균 역 충돌시간 그리고 차두시간을

제어 알고리즘에 반영하였다. 제어 알고리즘은 역 충돌 시간-차두시간 평면에서 기울기 방법을 이용한 요구 가속도를 도출하도록 설계되었다. 차량 동역학 모델을 이용하여 성능평가를 수행하였으며, 제안된 알고리즘은 실 운전자의 주행특성을 잘 반영할 수 있었다. 평가 결과 본 연구에서 제안하는 알고리즘은 운전자의 주행특성을 합리적으로 반영할 수 있는 구조이며, 실 운전자의 주행 데이터와 큰 차이를 보이지 않았다. (가속도의 경우 오차 범위  $\pm 1$ , 역 충돌시간의 경우  $\pm 0.1$ , 차두시간의 경우 상대적으로 큰 오차를 보였으며 운전자는 일정한 차두시간을 유지하면서 주행하지 않는 특성을 확인할 수 있었다.) 향후 자율주행 개인화 및 운전자 특성 기반 자율주행 제어권 전환의 판단 알고리즘으로의 적용이 가능할 것으로 예상된다. 향후 역 충돌시간과 차두시간의 확률적 분포를 반영한 인간 중심 제어 알고리즘의 고도화와 운전자 및 탑승자 감성의 실시간 학습을 통한 주행특성 반영 알고리즘의 개발 및 검증을 계획하고 있다.

REFERENCES

[1] C. W. Park, W. B. Na, H. C. Lee. (2018). Driver Friendly Adaptive Cruise Control by Driver Behavior. *The Transaction of Korean Society of Automotive Engineers*, 26(3), 416-425.

[2] T. W. Kim, S. G. Heo, K. S. Yi, K. C. Min, J. K. Shin. (2018). Robust Autonomous Emergency Braking Algorithm for Vulnerable Road Users. *The Transaction of Korean Society of Mechanical Engineers*, 42(7), 611-619.

[3] T. Y. Lee, K. Y. Yi, C. H. Jeong. (2011). Analysis of the Driver Characteristic for Development of the Stochastic Driver Model. *Proceedings of Spring Conference, Korean Society of Mechanical Engineers*, 161-167.

[4] J. W. Son, M. O. Park, H. S. Oh, J. E. Lee, T. Y. Lee. (2013). Age and Gender Difference in Fuel Efficiency on Highway Driving. *Proceedings of Spring Conference, Korean Society of Automotive Engineers*, 264-268.

[5] K. S. Oh and K. Y. Yi, (2014). A predictive driver model with physical constraints for closed loop simulation of vehicle-driver system. *2014 IEEE 17th International Conference on Intelligent Transportation Systems*, 3126-3131.

[6] K. S. Oh, (2017). A RLS-based Convergent Algorithm or Driving Characteristic Classification for Personalized Autonomous Driving. *Journal of the Korea Convergence*

*Society*, 8(9), 285-292.

[7] C. S. Kim, Y. G. Jin, J. Y. Park, (2018). Exploring the influence of commuter's variable departure time in autonomous driving car operation. *Journal of the Korea Convergence Society*, 9(5), 7-14.

[8] B. J. Song and H. J. Ahn, (2011). Development of the Logistics Network Diagnostic Assessments and Monitoring Service to promote Eco-driving Behaviors for Truck Drivers. *Journal of the Korea Convergence Society*, 2(4), 15-19.

[9] J. M. Cho, S. K. Kim, K. S. Huh, (2015). Development of the Autonomous Emergency Braking System Considering Driver Steering Intervention. *Proceedings of Spring Conference, Korean Society of Automotive Engineers*, 401-404.

[10] B. C. Jang, (2011). Driver Adapted MDPS Variable Base Current Control Strategy. *Proceedings of Conference, Korean Society of Automotive Engineers*, 1121-1124.

[11] I. K. Moon and K. S. Yi, (2004). Human Drivers' Driving Pattern Analysis and An Adaptive Cruise Control Strategy. *Transactions of KSAE*, 12(4), 191-197.

[12] C. W. Park, W. B. Na, H. C. Lee, (2018). Driver Friendly Adaptive Cruise Control by Driver Behavior. *Transactions of KSAE*, 26(3), 416-425.

[13] W. S. Lee and Y. S. Kim, (2006). Behavioral Adaptation to an Adaptive Cruise Control System. *Transactions of KSAE*, 14(6), 82-88.

[14] H. J. Kim, H. J. Lim, J. H. Yang, (2016). Design and Evaluation of Alert Threshold for Takeover Request in Partial Autonomous Vehicles Considering Human Factors(1/2). *Proceedings of Conference, Korean Society of Automotive Engineers*, 1337.

[15] T. W. Kim, S. G. Heo, K. S. Yi, J. K. Shin, K. C. Min, (2018). Robust Autonomous Emergency Braking Algorithm for Vulnerable Road Users. *Transactions of KSME*, 42(7), 611-619.

오 광 석(Oh, Kwang Seok)

[정회원]



- 2009년 2월 : 한양대학교 기계공학부 (공학사)
- 2016년 8월 : 서울대학교 기계항공공학부 (공학박사)
- 2017년 9월 ~ 현재 : 한경대학교 기계공학과 교수

· 관심분야 : 자율주행 자동차 제어

· E-Mail : oks@hknu.ac.kr