Transactions of KSAE, Vol. 14, No. 6, pp.82-88 (2006)
Copyright © 2006 KSAE
1225-6382/2006/084-11

적응순항제어시스템의 운전자 행동적응

이 운 성* · 김 영 석

국민대학교 자동차공학전문대학원

Behavioral Adaptation to an Adaptive Cruise Control System

Woon-Sung Lee* · Young-Suk Kim

Graduate School of Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 133-791, Korea
(Received 13 February 2006/ Accepted 4 May 2006)

Abstract : The study investigated how an adaptive cruise control system induced behavioral adaptation in drivers using a full-scale driving simulator. Forty drivers with different driving styles participated in the study to compare headway-time, vehicle lateral position variation, and head and eye movement when driving with and without the adaptive cruise control system. Results showed that system induced positive behavioral adaptation by drawing consistency in driving speed and headway-time regardless of the driving styles. However, the results also showed that the drivers' reliance on the system induced negative adaptation including reduced lane keeping ability and reduced attention during driving. As a strategy to prevent negative adaptation, the study proposed information service to drivers with the adaptive cruise control system status and driving environment, and investigated effectiveness of the service. Twelve drivers participated in the experiment to compare headway-time, vehicle lateral position variation and subjective ratings when driving with and without the information service. Results showed that the information service assisted the drivers to maintain safer and more comfortable headway-time without impairing drivers' steering ability.

Key words : Adaptive cruise control(적응순항제어), Driving simulator(차량 시뮬레이터), Behavioral adaptation (행동적응), Driving style(운전성향)

1. 서 론

선행차량과의 안전거리와 속도를 자동적으로 제어하여 운전자의 편의성과 안전성을 향상시키는 적응순항제어시스템(Adaptive Cruise Control : ACC)은 이미 해외의 다양한 차종에 적용되고 있으며 운전자들로부터 커다란 호응을 받고 있다.

적응순항제어시스템은 운전 중 시각적, 인지적, 신체적인 스트레스와 피로를 경감하여 운전자의 오류와 사고의 가능성을 감소시킬 수 있다. 또한 급가감속을 피할 수 있고, 차량들 간의 속도를 일치시킬 수 있으며, 원활한 차선변경을 도모할 수 있다.[1,2)]

그러나 적응순항제어시스템은 부정적인 행동적응을 야기할 수 있다. 차량 종방향의 자동제어로 인하여 운전자는 운전이 아닌 다른 작업에도 신경을 쏟아 주의가 산만하게 되고, 결과적으로 위급한 상황의 감지 및 대처에 늦어지는 위험을 초래할 수 있다. 또한 차선 유지능력이 감소되고, 필요 이상으로 제동페달을 자주, 심하게 밟는 등의 운전능력의 저하를 초래할 수 있다.[3-5)]

본 연구의 목적은 운전성향이 다른 운전자들을 대상으로 차량 시뮬레이터를 이용하여 적응순항제어시스템의 운전 행동적응 효과를 조사하는 데 있

*Corresponding author, E-mail: wslee@kookmin.ac.kr

다. 또한 부정적인 행동적응 효과를 방지하기 위한 적응순항시스템 정보제공의 효용성을 조사하는 데 있다.

2. 적응순항제어시스템 구현

2.1 차량 시뮬레이터

Photo 1은 본 연구에 사용된 국민대학교 차량 시뮬레이터 (KMUDS-3)를 보인다. 이 시뮬레이터는 (1) 전방 3채널, 후방 1채널의 시각시스템을 갖추어 운전자에게 150×40도, 60x40도의 넓은 시야의 현실감 높은 그래픽 이미지를 제공하고, (2) 롤과 피치, 2 자유도의 운동을 생성하는 고응답, 저소음 전기식 운동시스템을 갖추어 현실감 높은 차량의 거동을 운전자에게 피드백하고, (3) 시선추적시스템(faceLAB) 및 생체신호 측정장비 등을 갖추어 차량전자제어, 급발진사고, 음주운전, 도로설계, 교통안전 등의 다양한 분야에 응용되고 있다.

Photo. 1 Kookmin university driving simulator

2.2 적응순항제어 알고리즘

Fig. 1은 적응순항제어 알고리즘의 기본 흐름을 보인다. 운전자의 입력에 의해 설정된 목표 속도 및 차간거리를 바탕으로 전방 선행차량의 유무 및 차간거리에 따라 제어모드가 변경된다. 선행차량이 발견되지 않거나, 선행차량이 발견되어도 운전자가 설정한 차간거리보다 멀리 위치한 경우에는 속도제어를 하게 되고, 선행차량과의 거리가 설정한 차간거리보다 가까운 경우에는 거리제어를 하게 된다. 거리제어를 할 경우에는 스로틀제어만으로 충분한 감속을 할 수 없으므로 브레이크제어를 같이 수행하고, 속도제어는 스로틀제어만을 수행하게 된다.

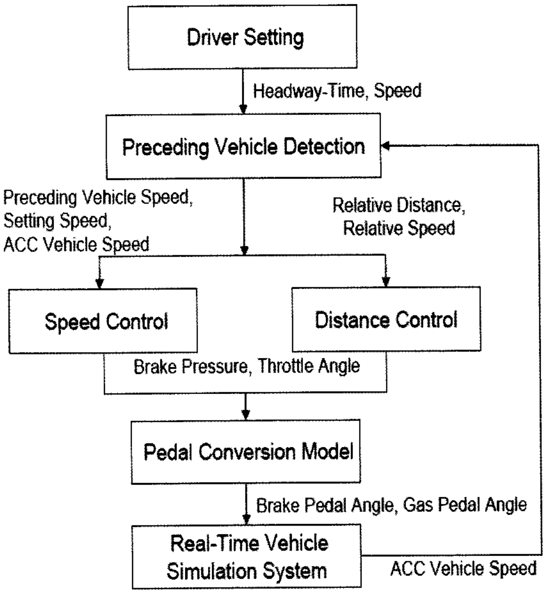

Fig. 1 ACC algorithm

브레이크 및 스로틀제어의 제어 입력값은 페달각도로 변환되어 차량시뮬레이터의 실시간 차량시뮬레이션시스템으로 입력된다.[6]

2.3 시스템 통합

Fig. 2는 적응순항제어시스템을 차량 시뮬레이터에 구현하기 위한 개념도를 보인다. 시뮬레이터 운용소프트웨어인 SCANeR II[7]는 여기서 적응순항제어시스템의 센서 역할을 수행하는 데, 실시간 차량시뮬레이션시스템으로부터 시뮬레이터 차량의 위치, 속도정보를 받아 선행차량의 속도 및 차간거리를 계산하고, 이 정보를 적응순항제어 시뮬레이션 시스템으로 보낸다.

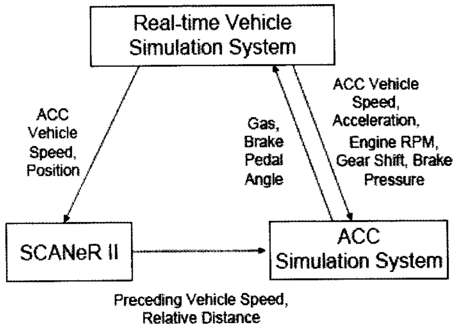

Fig. 2 ACC implementation concept

적응순항제어 시뮬레이션시스템에서는 앞 절에서 설명한 알고리즘을 기반으로 속도제어 또는 거리제어를 수행하여 현 상황에서 최적의 목표 감가속도를 생성하기 위한 제동 또는 가속 페달각도를 결정한다. 이 페달각도는 실시간 차량시뮬레이션시스템으로 보내진다.

실시간 차량시뮬레이션시스템에서는 차량의 운동을 시뮬레이션하고, 이 정보를 시뮬레이터 각 서브시스템에 보내어 시뮬레이터를 구동한다. 또한 적응순항제어 시뮬레이션시스템과 SCANeR Ⅱ에도 차량의 운동정보를 보낸다.

3. 운전자 행동적응

3.1 개요

교통심리 관점에서 볼 때 행동적응은 도로교통시스템의 변화에 부응하기 위하여 운전자가 능동적으로 행동을 바꾸는 능력을 의미한다. 행동적응은 기본적으로 교통사고 감소, 소통원활 등의 긍정적인 효과를 가져온다. 그러나 예를 들어, 운전자가 무분별하게 첨단 운전자보조시스템에 의존할 경우 과속, 주의산만 등의 부정적인 결과를 초래할 수 있다.[8]

적응순항제어시스템의 경우에도 앞서 밝혔듯이 운전자의 과신으로 인하여 주의산만, 제어능력의 저하, 상황인지 및 대처능력의 저하 등의 다양한 부정적인 행동적응을 야기할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 행동적응을 차간거리 시간, 차선유지, 머리 및 시선 움직임 측면에서 관찰하고자 하였다.

3.2 실험 방법

3.2.1 실험참가자

차량 시뮬레이터 실험에 참여한 참가자는 19세에서 52세사이의 남성 21명과 여성 19명으로 구성하였다. 이들은 모두 운전면허를 소지한 자들로 평균 운전경력은 3.7년이다.

실험참가자들의 운전습성을 파악하기 위하여 Driving Style Questionnaire (DSQ)[9]를 사용하였다. 이 설문지는 15문항 (6점 척도), 6영역으로 구성되었는데, 속도영역과 집중영역이 운전성향과 가장 밀접한 관계를 갖고 있다. 두 영역의 평균점수를 기준으로 운전자그룹을 나누었다. 속도영역의 점수가 높은 그룹은 낮은 그룹에 비해 더 과속하고, 제한속도를 초과하는 경향을 보인다. 집중영역의 점수가 높은 그룹은 낮은 그룹에 비해 더 집중하고, 주의 산만함에 영향을 덜 받는 경향을 보인다.

3.2.2 가상 주행환경

가상 주행환경은 왕복 2차선의 자동차 전용도로로 구성하였다. 현실감을 높이기 위해 여러 대의 주변차량을 양방향차선에 배치하여 자연스럽게 주행하도록 구성하였다. 도로주변에는 속도제한표시 및 가로등이 존재하며, 맞은편 차선과 주행 중인 정방향 차선 간에는 중앙분리대가 존재하는 전형적인 자동차 전용도로로 구성되어 있다(Photo. 2).

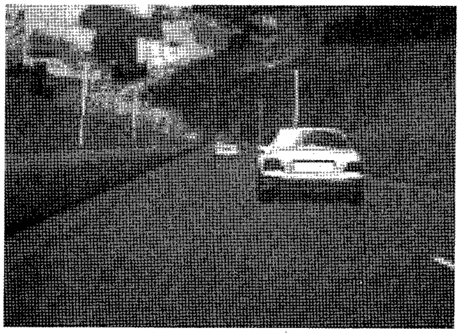

Photo. 2 Virtual driving environment

3.2.3 실험 절차

실험참가자들이 도착하면 먼저 차량 시뮬레이터, 적응순항제어시스템과 실험목적에 대해 설명하고, DSQ를 작성하도록 하였다. 그 후 시뮬레이터에 적응하기 위하여 약 10분 동안의 연습주행을 하였다. 약간의 휴식을 취한 후 본 실험을 수행하였다.

본 실험은 적응순항제어시스템 작동과 미작동의 두 경우로 나누어 진행하였다. 적응순항제어시스템 작동 시에는 운전자가 조향휠에 부착된 버튼을 눌러 가장 편한 차간거리 시간을 설정한 후, 이 상태로 선행차량을 추종하도록 하였다. 버튼은 0.5초에서 2.5초까지 누를 때마다 0.5초의 간격으로 차간거리 시간이 증가하도록 설정하였다. 0.5초의 간격은 운전자의 차간거리 시간 인식능력 및 실험 반복횟수를 고려하여 결정하였다. 적응순항제어시스템 미작동 시에는 운전자가 선행차량과의 거리를 적절하게

유지하면서 추종하도록 하였다. 선행차량의 속도는 40km/h에서 80km/h까지의 범위 내에서 무작위로 변화하도록 설정하였다. 실험 중 차간거리 시간, 차량 횡방향위치 표준편차, 시선 및 머리 움직임을 측정하였다.

3.3 실험 결과

Fig. 3은 운전자 그룹간의 차간거리 시간을 보인다. 적응순항제어시스템 미작동시, 집중영역의 점수가 높은 그룹이 낮은 그룹보다 그리고 속도 영역의 점수가 높은 그룹이 낮은 그룹보다 차간거리를 더 크게 유지함을 볼 수 있다. 차간거리 시간이 일반적으로 큰 이유는 속도가 무작위로 변하는 선행차량을 안전하게 추종하기 위하여 운전자가 선행차량과의 간격을 크게 유지한 때문으로 판단된다.

반면에 적응순항제어시스템 작동 시, 그룹간의 차이는 거의 보이지 않고, 모든 그룹이 1.5초 정도의 차간거리 시간을 유지함을 볼 수 있다. 이는 운전자들이 적응순항제어시스템을 신뢰하고, 이에 적응함을 의미한다.

차량 횡방향위치 표준편차는 Fig. 4에 보인다. 적응순항제어시스템 미작동시, 집중영역의 점수가 높은 그룹이 낮은 그룹보다 그리고 속도영역의 점수가 높은 그룹이 낮은 그룹보다 차량 횡방향위치 편차가 더 작음을 볼 수 있다. 적응순항제어시스템 작동 시에도 비슷한 경향을 보인다.

또한 적응순항제어시스템 작동 시에는 집중영역의 점수가 높은 그룹을 제외하고는 모든 그룹의 위치편차가 미작동시보다 더 큼을 확인할 수 있다. 이 결과는 실제 차량과 시뮬레이터를 이용한 선행연구 결과와 부합된다.[3,5] 이러한 경향은 운전자가 부정적인 행동적응을 하게 됨을 의미한다.

faceLAB[10]을 이용하여 적응순항제어시스템의 작동과 미작동시 운전자의 머리 움직임을 측정하였다. 머리 움직임 영역은 운전자의 머리방향 단위벡터를 얼굴과 평행한 평면에 투영하여 얻었다. Fig. 5는 DSQ 점수가 높은 대표적인 운전자의 머리 움직

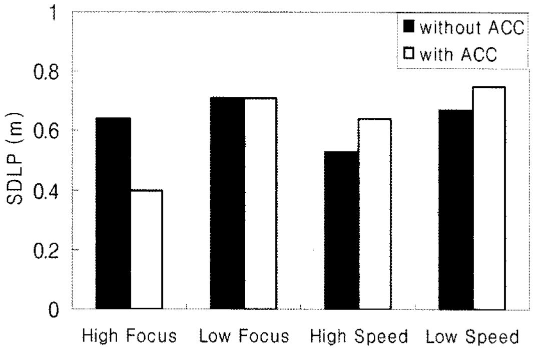

Fig. 4 Standard deviation of lateral position for different groups with and without ACC

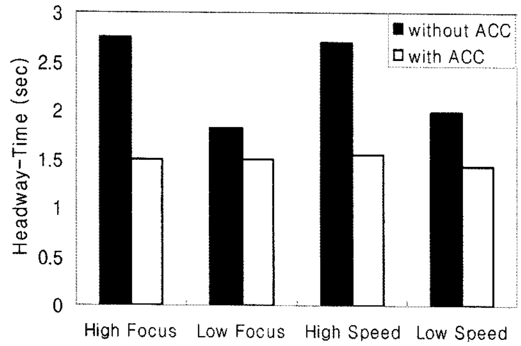

Fig. 3 Average headway-time for different groups with and without ACC

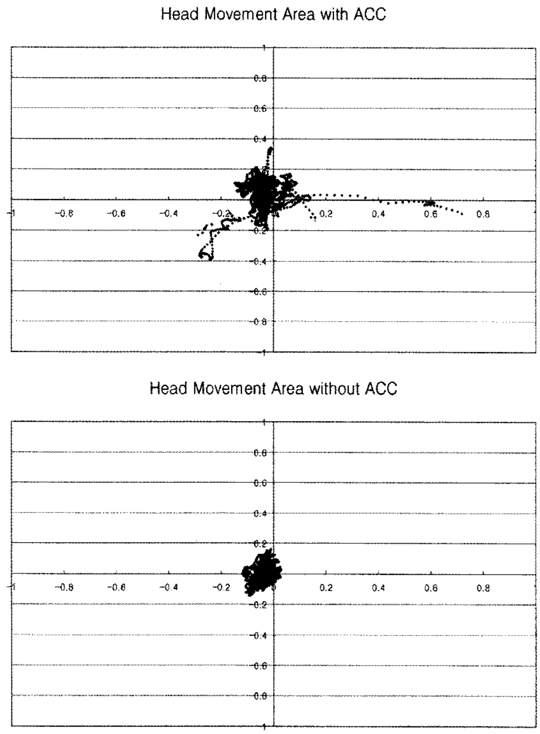

Fig. 5 Head movement Area with and without ACC

임을 보이는 데, 적응순항제어시스템 작동 시 머리 움직임 영역이 미작동시보다 더 크고, 분산되어 있음을 알 수 있다.

Fig. 6은 동일한 운전자의 시선 움직임을 보인다. 움직임 영역은 운전자의 시선방향 단위 벡터를 얼굴과 평행한 평면에 투영하여 얻었다. 머리 움직임처럼 확연하지는 않으나, 적응순항제어시스템 작동 시 시선 움직임 영역이 미작동시보다 옆으로 더 넓게 분산되어 있음을 알 수 있다.

앞의 결과를 정리하면, 적응순항제어시스템 작동 시 운전자들은 운전습성에 관계없이 일정한 차간거리 시간을 설정하였다. 이는 운전자가 적응순항제어시스템의 성능을 신뢰함으로써 행동적응을 하게 되었음을 의미한다.

그러나 적응순항제어시스템 작동 시 운전자의 차선 유지능력은 저하되었다. 운전자의 머리 및 시선 움직임 결과는 이를 뒷받침하고 있는데, 주의 산만이라는 부정적인 행동적응을 하게 되었음을 의미한다. 그리고 이는 적응순항제어시스템의 기본목표인 안전성과 편의성 향상에 저해가 될 수 있음을 의미한다.

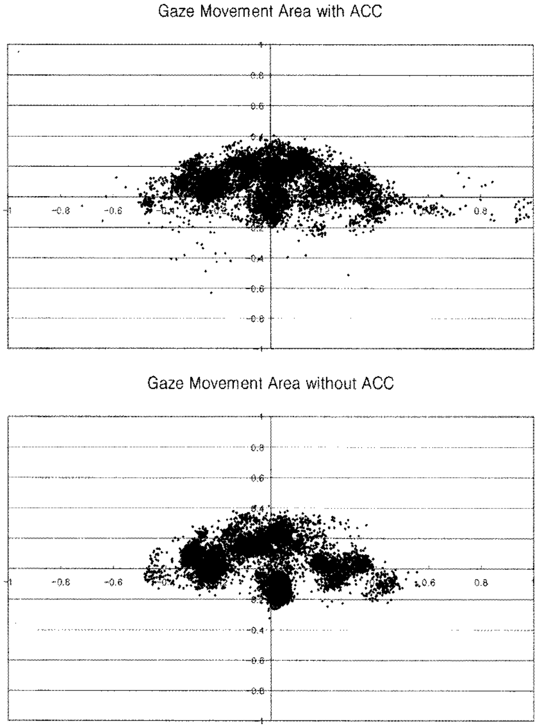

Fig. 6 Eye Movement area with and without ACC

4. 정보 제공

4.1 개요

적응순항제어시스템의 부정적인 행동적응 효과를 감소하기 위한 방법으로 적응순항제어시스템의 작동원리 및 성능한계에 대한 인지교육과, 운전자의 무분별한 의존에 대한 인식교육 등이 제안되었다.[3]

본 연구에서는 적응순항제어시스템 작동 시 시스템의 작동상태 및 주위상황에 대한 정보를 시각 및 청각정보 전달장치를 통해 운전자에게 제공함으로써 부정적인 행동적응을 감소시킬 수 있음을 제안하고, 이러한 정보제공의 효용성을 조사하고자 하였다.

4.2 정보제공 장치

Photo. 3은 본 연구에서 제작되어 차량의 계기판 우측에 부착된 정보제공 장치를 보인다. 싱글칩 마이컴을 이용하여 제작된 이 장치는 차량 시뮬레이터의 실시간 시뮬레이션 컴퓨터로부터 RS232C 통신을 통해 적응순항제어시스템 및 주변상황 정보를 제공받아 LCD 화면과 스피커를 통해 각각 시각과 음성정보를 제공한다.

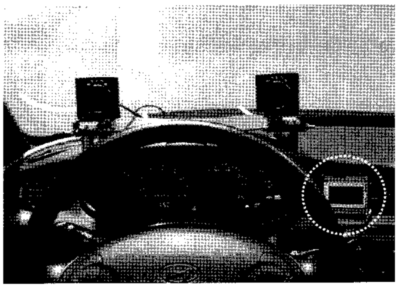

Photo. 3 Information service device

시각정보는 Photo 4에서 보이는 것처럼 적응순항제어시스템의 작동여부, 운전자 설정속도, 선행차량과의 차간거리, 현재 차량의 감 · 가속 상태 등의 네 가지 정보를 제공한다.

음성정보의 경우 적응순항제어시스템의 작동여부, 선행차량과의 차간거리, 근접거리 경고메시지를 제공한다. 메시지는 Table 1에서 보이는 바와 같이 문장형태로 구성되었다.

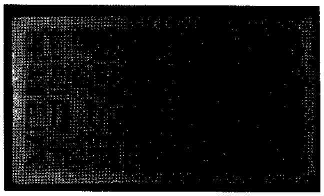

Photo 4 Visual information

Table 1 Auditory information

Information type	Message
Adaptive cruise control status	- The adaptive cruise control system has been activated. The acceleration and deceleration will be controlled automatically. - The adaptive control system has been deactivated. It will be switched to a manual driving mode.
Time headway	The distance to a preceding vehicle is 100 meters.
Distance warning	Be careful. The distance to a preceding car is too short.

4.3 실험 방법

4.3.1 실험참가자

본 실험에 참여한 참가자는 앞의 행동적응 실험에 참여하지 않았던 남성 11명과 여성 1명으로 구성하였다(평균 연령: 26.6세). 이들은 모두 운전면허를 소지한 자들로 평균 운전경력은 4.3년이다.

4.3.2 가상 주행환경

실험의 연속성을 유지하기 위하여 앞의 행동적응 실험에서 사용한 가상 주행환경을 본 실험에서도 그대로 사용하였다. 선행차량의 속도는 40km/h에서 80km/h까지의 범위 내에서 무작위로 변화하도록 설정하였다

4.3.3 실험 절차

실험참가자들이 도착하면 먼저 차량 시뮬레이터, 적응순항제어시스템과 실험목적에 대해 설명하였다. 그 후 시뮬레이터에 적응하기 위하여 약 10분 동안의 연습주행을 하였다. 약간의 휴식을 취한 후 본 실험을 수행하였다.

본 실험은 적응순항제어시스템 작동상태에서 정보제공 장치를 사용하거나 사용하지 않는 두 경우로 나누어 진행하였다. 차간거리 시간은 운전자가 조향휠에 부착된 버튼을 눌러 가장 편한 값을 설정하도록 하였다. 버튼은 0.5초의 간격으로 차간거리 시간이 증가하도록 설정되었다. 주행을 마친 후 정보제공의 효용성에 대한 설문지를 작성하도록 하였다. 실험 중 차간거리 시간 및 차량 횡방향위치 표준편차를 측정하였다.

4.4 실험 결과

차간거리 시간과 차량 횡방향위치 표준편차를 비교한 결과가 Table 2에 보인다. 통계적으로 유의하지는 않으나 운전자가 정보를 제공받는 경우 차간거리 시간은 0.2초 증가되었다. 이는 운전자들이 정확한 차간거리 정보를 제공받음으로써 보다 안전한 거리를 확보한 결과로 판단된다. 횡방향위치 표준편차의 경우 차이가 없음을 보이는 데, 이는 정보제공 장치의 사용이 운전자의 주의집중에 영향을 미치지 않음을 의미한다.

Table 2 Headway-time and SDLP results

Variable	Without information	With information
Headway-time	1.75 sec	1.95 sec
SDLP	0.49 m	0.50 m

정보제공의 효용성에 대한 설문조사에서는 67%의 운전자들이 정보 전달장치를 사용하는 경우 안전하고, 편안한 차간거리 시간의 설정에 전혀 어려움이 없다고 답하였다. 반면에 장치를 사용하지 않는 경우에는 42%의 운전자들이 조금 어렵다고 답하였고, 전혀 어려움이 없다고 답한 운전자들은 25%에 불과하였다. 이는 정보제공이 안전하고, 편안한 차간거리 설정에 기여하고 있음을 의미한다.

정보 전달장치의 사용이 조향휠 조작에 미치는 영향에 대한 설문조사에서는 장치를 사용하지 않을 경우와 동일한 분포(42%)의 대다수 운전자들이 장치를 사용할 경우에도 조향휠 조작에 어려움이 전혀 없다고 답하였다. 이는 장치의 사용으로 인한 운전장애나 주의분산의 영향이 없음을 의미한다.

5. 결 론

본 연구에서는 운전성향이 다른 운전자들을 대상으로 적응순항제어시스템의 운전 행동적응 효과와

이러한 적응의 부정적인 효과를 감소하기 위한 적응순항시스템 정보제공의 효용성을 조사하였다.

행동적응 실험 결과 적응순항제어시스템은 운전성향에 관계없이 주행속도와 차간거리 시간의 일관성을 유지하도록 하는 긍정적인 적응효과를 도출함을 확인할 수 있었다. 그러나 시스템은 동시에 차선유지능력의 저하, 주의분산의 부정적인 적응효과도 도출함을 확인하였다. 이는 사전 연구의 결과와 일치한다.

부정적인 행동적응을 감소하는 방법으로 적응순항제어시스템의 정보제공을 제안하고, 이의 효용성을 조사하였다. 실험 결과 정보제공이 운전자의 운전을 방해하지 않으면서, 안전거리 확보에 기여함을 확인하였다.

적응순항제어시스템이 보다 견실하게 운전자 편의성 및 안전성 향상에 기여하기 위해서는 정보제공, 인식교육 등의 종합적인 방안이 필요할 것이다.

References

1) I. Moon and Y. Ki, "Human Driver's Driving Pattern Analysis and an Adaptive Cruise Control Strategy," Transactions of KSAE, Vol.12, No.4, pp.191-197, 2004.
2) P. A. Ioannou and M. Stefanovic, "Evaluation of ACC Vehicles in Mixed Traffic: Lane Change Effects and Sensitivity Analysis," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol.6, No.1, pp.79-89, 2005.
3) C. M. Rudin-Brown and H. A. Parker, "Behavioural Adaptation to Adaptive Cruise Control (ACC): Implications for Preventive Strategies," Transportation Research Part F, 7, pp.59-76, 2004.
4) N. A. Stanton and M. S. Young, "Driver Behaviour with ACC," Ergonomics, Vol.48, No.10, pp.1294-1313, 2005.
5) M. Hoedemaeker and K. A. Brookhuis, "Behavioral Adaptation to Driving with an Adaptive Cruise Control (ACC)," Transportation Research Part F, 1, pp.95-106, 1998.
6) H. K. Nam, Development and Human Factor Study of Adaptive Cruise Control Using a Driving Simulator, M. S. Thesis, Kookmin University, Seoul, Korea, 2003.
7) OKTAL, A SCANeR II User's Manual, Paris, France, 2001.
8) R. Koyordanyi, "When will Adaptive Support Systems be User-adaptive? The Case of Adaptive Cruise Control," AAAI Spring Symposium on Challenges to Decision Support in a Changing World, Menlo Park, USA, pp.21-23, 2005.
9) R. West, J. Elander and D. French, Decision making, Personality and Driving Style as Correlates of Individual Accident Risk, Transport Research Laboratory Contractor Report 309, Berkshire, UK, 1992.
10) SeeingMachines, A FaceLAB User Manual, Canberra, Australia, 2003.