

# 운전부하 추정을 위한 Driving Performance 특성 분석

김 만 호<sup>\*1)</sup>·김 대 현<sup>1)</sup>·이 용 태<sup>1)</sup>·손 준 우<sup>1)</sup>

대구경북과학기술원 공공원천기술연구센터<sup>1)</sup>

## Analysis of Driving Performance Characteristics for Estimating Driving Workload

Manho Kim<sup>\*1)</sup> · Daehyun Kum<sup>1)</sup> · Yongtae Lee<sup>1)</sup> · Joonwoo Son<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Public and Original Technology Research Center, Daegu Gyeongbuk Institute of Science & Technology, Dalseo-gu, Daegu, 704-230, Korea

**Abstract** : There has been recent interest in intelligent vehicle technologies, such as advanced driver assistance systems (ADASs) or in-vehicle information systems (IVISs) that offer a significant enhancement of safety and convenience to drivers and passengers. However, the use of ADAS- and IVIS-based information devices may increase driver distraction and workload, which in turn increase the chance of traffic accidents. The number of traffic accidents involving drivers has increased due to distraction, misjudgment, and delayed detection of danger related to the drivers declining physical and cognitive capabilities. According to the 2005 Road traffic Accidents in Korea report published by the Road Traffic Authority (ROTA), more than 60% of the traffic accidents in Korea are related to driver error caused by distraction. This paper analyzes characteristic of the driving performance using driving simulator to estimate driving workload while driving. The analyzed results of the driving performance suggest that could play a key variable to estimate driving workload.

**Key words** : driving workload(운전부하), driving performance(운전성능), cognitive workload(인지부하), older driver(고령운전자), driving distraction(운전 부주의)

### 1. 서 론

최근, 운전자 및 승객의 안전과 편의를 향상시키는 지능형 자동차에 대한 관심이 증가되고 있다.<sup>1-2)</sup> 지능형 자동차의 기술은 운전자의 안전 운전을 보조하는 ADAS과 운전자에게 다양한 정보를 제공하는 IVIS으로 구분되어 개발되고 있다.<sup>3)</sup> 특히, IVIS는 차량 내 운전자가 필요로 하는 교통, 환경, 주행 및 차량 정보와 같은 모든 정보를 분석하여 운전자

에게 유용한 정보를 제공해 주는 시스템을 의미하며, 운전자의 운전 편의를 향상시켜 준다.<sup>4-6)</sup> 또한, ADAS는 주변 상황을 실시간으로 감지하여 운전자에게 주행 위험 정보를 제공해 주는 시스템을 의미하며, 운전자의 운전 안전을 향상시켜 준다.<sup>7)</sup> 이와 같이, 첨단 지능형 자동차는 운전자에게 안전과 편의에 관련된 다양한 정보를 제공하여 보다 안전하고 편리하게 운전할 수 있도록 지원해준다.

하지만, ADAS와 IVIS의 정보기기 사용은 운전자에게 운전부하(driving workload)와 운전부주의(driving distraction)를 유발시켜 교통사고 위험을 높이고 있다.<sup>8)</sup> 특히, 운전부주의는 운전 중 핸드폰이

\* 김만호, mhkim@dgist.ac.kr

나 내비게이션과 같은 정보 기기의 조작과 같은 multitasking으로 인하여 높은 운전부하 상태에서 빈번하게 발생된다.<sup>8-9)</sup> 그림 1과 같이 ROTA의 2005년도 “Road traffic accident in Korea” 통계에 따르면, 한국 교통사고의 60% 이상이 운전자의 실수와 관련되어 있다고 한다.<sup>10-11)</sup> 유럽 자동차 충돌 사고의 25% 이상이 정보 기기의 조작으로 인하여 발생하는 운전부주의에 의해서 발생되었다고 한다.<sup>8)</sup> 또한, 일본의 National Police Agency의 1998년 통계에 따르면, 차량 충돌 사고의 89%가 운전 부주의와 같은 운전자의 실수에 관련되어 있다고 한다.<sup>12)</sup>

교통사고의 주요한 원인이 되는 운전 중 정보기기의 조작으로 발생하는 운전부주의와 운전부하에 대한 연구가 많은 연구자에 의해서 수행되고 있다. 2002년부터 3년간 EU에서 수행된 HASTE는 운전자의 운전 부주의 및 운전 부하를 평가하는 지표와 방법을 제안하였다.<sup>13)</sup> HASTE 연구를 계속하여 AIDE는 ADAS와 IVIS를 대상으로 운전자 및 차량 상태를 고려한 최적의 HMI 시스템 개발 및 평가에 대해서 연구를 수행하고 있다.<sup>14-15)</sup> 미국에서 수행하고 있는 SAVE-IT는 교통사고의 주요 원인이 되는 시각적 부주의를 줄이는 방법에 대해서 연구를 수행하고 있다.<sup>4, 16)</sup> 또한, 운전자의 운전 특성을 분석하는 연구와 휴대폰이나 내비게이션과 같은 정보 기기의 조작으로 인하여 발생하는 운전부하와 운전 부주의에 대한 연구가 진행되고 있다.<sup>10, 17-19)</sup>

본 연구는 운전자의 운전부주의 및 운전부하를 경감시키기 위하여 운전부하를 추정하는 방법을 개발하고 있다. 본 논문은 운전부하를 추정하기 위한

첫 단계로 운전 중 발생하는 driving performance 변수를 문헌 조사하여, 운전부하의 변화에 따른 운전자의 driving performance의 변화를 분석하고자 한다. 운전부하의 변화에 따른 driving performance 변화의 분석을 통하여 운전부하를 추정할 수 있는 유용한 driving performance가 어떤 것인지를 제안한다.

본 논문은 서론을 포함하여 총 5장으로 구성되어 있으며, 2장에서는 운전 중 운전부하를 추정할 수 있는 driving performance에 대해서 소개한다. 3장에서는 운전부하의 변화에 따른 driving performance 분석을 위한 실험 절차를 소개한다. 4장에서는 실험 결과를 분석 및 토의하고, 5장에서는 결론 및 향후 연구 방향에 대해서 기술한다.

## 2. Driving Performance 개요

운전부하의 변화에 따른 driving performance는 크게 세 가지 형태로 구분된다. 첫 번째는 차량의 횡측 방향(lateral)에 관련된 driving performance이며, 대표적으로 속도(speed), 가속도(acceleration)와 각각의 표준편차(standard deviation)가 있다. 특히, 차량의 속도는 운전부하를 평가하는 지표보다는 운전 성능의 변화를 관찰하는데 더 많이 활용되며, 속도의 표준편차가 크면 운전자의 운전 성능이 떨어진 것을 의미한다. 또한, 속도의 증가는 정보기기의 조작과 별도로 운전부하가 증가하는 것을 의미한다.

두 번째는 차량의 종측 방향(longitudinal)에 관련된 driving performance이며, 대표적으로 reversal rate, LANEX(number of lane exceedences), TLC(time to line crossing), LP(lateral position)가 있다. Reversal rate는 steering wheel의 회전 방향을 변경한 횟수를 의미하며, zero-crossing과 비교하여 곡선 구간에서 효과적인 방법이다. 또한, Reversal rate는 steering wheel의 dead zone에 의한 오차를 고려하여 측정을 해야 한다. LANEX는 차선을 벗어난 횟수를 의미하며, 실차 환경에서는 효과적인 방법이 아닌 것으로 알려져 있다. 왜냐하면, 차선을 이탈하는 것은 의도적이지 않은 경우도 많지만, 차선 변경이나 장애물을 피하기 위하여 의도적으로 이탈하는 경우도 많

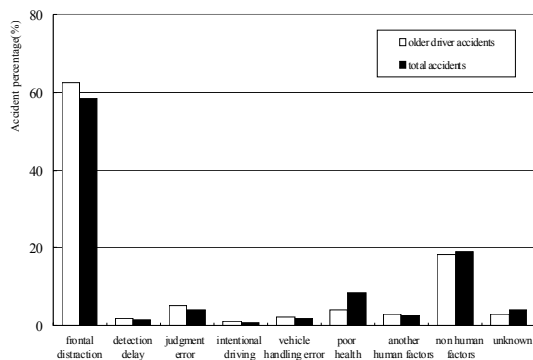


Fig. 1 Distribution of older driver distractions based on the 2006 ROTA data

기 때문이다. TLC는 현 상태에서 차선을 벗어나는데 걸리는 시간이며, TLC의 분포를 통하여 운전자의 운전부하를 판단할 수 있다. LP는 차량의 왼쪽 앞바퀴의 휠 바깥쪽과 왼쪽 차선의 오른쪽까지의 거리를 의미하며, 구간의 평균값으로 분석을 할 수 있다.

세 번째는 앞 차량(front vehicle)에 관련된 driving performance이며, 대표적으로 TH(time headway)와 TTC(time to collision)가 있다. TH는 앞차와의 거리를 시간으로 환산한 값을 의미하며, 앞차와의 거리 및 절대 속도를 이용하여 계산한다. TTC는 현재 차량 상태를 유지할 때 앞차와 충돌 시간을 의미하며, 앞차와의 거리와 상대 속도를 이용하여 계산한다. 표 1은 앞에서 설명한 실험실, 시뮬레이터와 실차 환경에서 요구되는 driving performance의 요구 사항을 나타내고 있다.

### 3. 실험 절차

#### 3.1 피험자

Table 1 Driving performance measures

Measure(unit)	Field	Simulator	Lab.	Requirement
Mandatory driving performance measures				
Reversal rate(number)	OK	OK	OK	Later Position (e<10cm)
LANEX(number)	OK(not urban)	OK	OK	Later Position (e<5cm)
LP(cm)	OK(not urban)	OK	OK	Later Position (e<5cm)
SDLP	OK(not urban)	OK	OK	Later Position (e<5cm)
TLC(sec)	OK	OK	OK	Later Position (e<5cm)
Speed(km/h)	OK	OK	OK	Speed(e<1km/h)
STD Speed	OK	OK	OK	Speed(e<1km/h)
Time headway(sec)	OK	OK	OK	Dis.(e<0.5m), Speed(e<1km/h)
Dis. headway(m)	OK	OK	OK	Dis.(e<0.5m)
TTC(sec)	OK	OK	OK	Dis.(e<10cm), Speed diff. (e<5km/h)
Reaction time to unexpected events	OK	OK	OK	
Optional driving performance measures				
High freq comp of steering wheel angle	OK	OK		Steering wheel angle(e<0.5°)
Steering entropy	OK	OK		Steering wheel angle(e<0.5°)
Abrupt onsets of brakes	OK	OK		Long. acc (e<0.1m/s <sup>2</sup> )
Time spend out of lane(sec)	OK	OK	OK	Lateral Position (e<10cm)
FET(sec)		OK	OK	

운전부하의 변화에 따른 driving performance 변화를 분석하기 위하여 약 60명의 피험자를 모집하였으며, 본 논문에서는 전체 계획된 약 60명중 일부 피험자를 대상으로 한 실험의 결과를 이용하였다. 실험에 참여한 피험자는 최소 주 2회 이상, 3년 이상의 운전 경력을 소유하고, 3시간 전후의 실험을 수행할 수 있는 자들로 구성하였다. 특히, 고혈압 등의 지병이 있거나 정신과 치료를 요구하는 질병을 소유한 피험자는 제외하였다. 피험자 모집을 위하여, 20대는 30,000원, 40대와 60대는 50,000원의 비용을 지불하였다.

#### 3.2 차량 시뮬레이터

운전부하의 변화에 따른 driving performance 변화를 분석하기 위하여 그림 2와 같은 대구경북과학기술원(DGIST)의 차량 시뮬레이터를 활용하여 실험하였다. 차량 시뮬레이터는 DLP 프로젝터, 스크린, 제어용 PC와 차량(Benz사의 Smart)로 구성되어 있

다. 그리고 소프트웨어는 System Technology사의 STISIM Drive™를 사용하였으며, 20~30Hz 주기로 도로와 차량 영상이 1024×768 해상도로 스크린 화면에 표시된다.

### 3.3 운전부하

운전부하의 변화에 따른 driving performance 변화를 분석하기 위하여 운전부하는 음성으로 제시된 숫자를 기억하는 N-back 과업으로 선정하였다.<sup>20-21)</sup> 본 실험에서는 3수준의 인지 부하를 부가하기 위하여 0-back, 1-back과 2-back이 사용되었다. N-back에서 제시되는 숫자는 0~9까지의 정수이며, 제시되는 순서는 랜덤하게 들려주었다. 예를 들면, 실험자가 3, 5, 8, 4, 7의 숫자를 일정한 주기를 가지고 들려준다고 할 때, 0-back 경우는 숫자 “3”을 들려줄 때 바로 숫자 “3”을 답하고, 1-back의 경우에는 숫자 “3”, “5”를 들려줄 때 숫자 “3”을 답하며, 2-back의 경우에는 숫자 “3”, “5”, “8”을 들려줄 때 숫자 “3”을 답하게 하여 그 응답 결과로 평가하였다.

### 3.4 실험 절차

운전부하의 변화에 따른 driving performance 변화를 분석하기 위하여 실험 절차를 그림 3과 같이 설계하였다. 전체 실험 절차는 모의 주행 실험을 중심으로 주행 전 단계와 주행 후 단계로 구성하였다. 실험 전 단계는 서명 및 설명(consent and overview), 피험자 자격 검토(eligibility review), N-back 훈련(N-back training), 모의 주행 훈련(Simulator training), 실험 전 N-back 수행 능력(N-back pre-baseline)과 사



Fig. 2 DGIST driving simulator

전 설문(pre questionnaire)으로 구성하였다. 구간별 모의 주행 실험(Driving segment of experiment)은 도심 구간과 고속도로 구간을 나누어 각각 N-back task를 수행하도록 구성하였다. 여기서, 도심 구간과 고속도로 구간의 시작은 랜덤하게 설정하여 학습효과에 의한 구간별 주행 특성이 달라지지 않도록 하였다. 실험 후 단계는 실험 후 N-back 수행능력(N-back post-baseline)과 사후 설문(post-questionnaire)으로 구성하였다.

## 4. 결과 및 토론

그림 4는 여러 가지 driving performance 중에서 운전부하 상태에 따라 고속도로 구간의 reversal rate를 나타내고 있다. 그림에서, baseline 상태에서 2-back으로 인지적인 운전 부하가 증가할수록 reversal rate가 감소하는 것을 볼 수 있다. 실험에서 운전부하가 없는 baseline 구간에서 steering wheel의 회전 방향을 16회 변경하였지만, 난이도별 인지적인 운전부하가 발생하는 0-back에서는 15회, 1-back에서는 12회와 2-back에서는 5번 변경하였다. Baseline 구간보다 2-back 구간의 reversal rate가 더 작은 이유는 운전 중 인지 부하가 발생하면 운전자는 정면을 응시하며 집중하여 유효시야가 작아지면서 집중하게 되는 visual tunneling 현상이 발생하기 때문이다. 즉, 운전부하가 증가하면 유효시야가 좁아지고 운전 집중

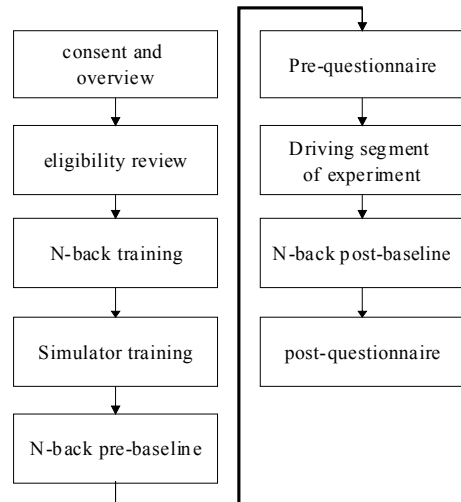


Fig. 3 Experimental procedure sequence

하려는 경향 때문에 reversal rate 줄어드는 경향을 가진다. 운전부하의 추정에 reversal rate는 효과적인 driving performance 임을 확인하였다.

#### 4. 결론

본 연구는 운전자의 운전부주의 및 운전부하를 경감시키기 위하여 운전부하를 추정하는 방법을 개발하고 있다. 운전부하를 추정하는 첫 단계로 운전 중 발생하는 driving performance 변수를 문헌 조사하여 운전부하를 추정할 수 있는 유용한 driving performance 중 하나인 reversal rate 특성을 분석하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 운전부하의 변화에 따라 유사한 경향을 가지는 운전자의 driving performance를 문헌을 통하여 확인하였다.
- 2) Reversal rate는 운전자의 운전부하 상태와 유사한 경향을 가지는 운전자의 driving performance임을 차량 시뮬레이터 실험을 통하여 확인하였다.

하지만, 본 연구는 제한된 일부 피험자를 대상으로 여러 가지 driving performance 중에서 일부에 국한되어 실험을 수행하였다. 따라서 신뢰성 있는 연구 결과를 위하여 다수의 피험자를 대상으로 다양한 driving performance에 변화를 분석해야 한다. 또한, 차량 시뮬레이터의 주행 환경에 대한 영향을 줄이기 위한 시나리오 설계에 대한 연구도 필요하다.

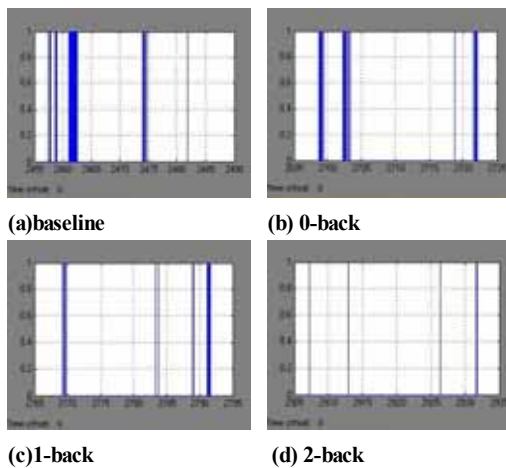


Fig. 4 Experimental result of reversal rate with varying driving workload condition

#### 후 기

본 연구는 국토해양부 교통체계효율화 사업의 연구비와 교육과학기술부의 “대구경북과학기술원” 연구사업의 연구비의 지원을 받아 수행되었습니다.

#### References

- 1) Cena, G., Valenzano, A., and Vitturi S., “Advances, in automotive digital communications,” Computer Standards and Interfaces, Vol. 27, No. 6, pp. 665 - 678, 2005.
- 2) Kim, M. H., Lee, K. C., and Lee, S., “Kalman predictive redundancy system for fault tolerance of safety-critical systems,” IEEE Transactions on Industrial Informatics, Accepted for future publication, 2009.
- 3) Doshi, A., Cheng, S. Y., and Trivedi, M. M., “A novel active heads-up display for driver assistance,” IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, Vol. 39, No. 1, pp. 85 - 93, 2009.
- 4) Vashitz, G., Shinar, D., and Blum, Y., “In-vehicle information systems to improve traffic safety in road tunnels,” Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior, Vol. 11, No. 1, pp. 61 - 74, 2008.
- 5) Maciej, J. and Vollrath, M., “Comparison of manual vs. speech-based interaction with in-vehicle information systems,” Accident Analysis and Prevention, Vol. 41, No. 5, pp. 924 - 930, 2009.
- 6) Jamson, A. H. and Merat, N., “Surrogate in-vehicle information systems and driver behavior: Effects of visual and cognitive load in simulated rural driving,” Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior, Vol. 8, No. 2, pp. 79 - 96, 2005.
- 7) Lee, J. K. and Lee, I. S., “Intelligent advanced safety vehicle technology development,” Auto Journal, Vol. 28, No. 4, pp. 22 - 27, 2006.
- 8) Wang, J. S., Knipling, R. R., and Goodman, M. J., “The role of driver inattention in crashes: New statistics from the 1995 Crashworthiness Data System,” 40th Association for the Advancement of System, Vancouver, Canada, pp. 377 - 392, 1996.

- 9) Horberry, T., Anderson, J., Regan, M. A., Triggs, T. J., and Brown, J., "Driver distraction: The effects of concurrent in-vehicle tasks, road environment complexity and age on driving performance," *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 38, No. 1, pp. 185 - 191, 2006.
- 10) Koo, T. Y., Park, K. J., Kim, B. Y., Kim, H. J., and Suh, M. W., "A study on driver's workload of telematics using a driving simulator: A comparison among information modalities," *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 10, No. 3, pp. 59 - 63, 2009.
- 11) ROTA (Road Traffic Authority), "Road traffic accidents in Korea," pp. 19 - 83, 2005.
- 12) National Police Agency, "Statistics of road traffic accidents in Japan," pp. 24 - 75, 1998.
- 13) Anttila, V. and Luoma, J., "Surrogate in-vehicle information systems and driver behavior in an urban environment: A field study on the effects of visual and cognitive load," *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior*, Vol. 8, No. 2, pp. 121 - 133, 2005.
- 14) Victor, T. W., Harbluk, J. L., and Engström, J. A., "Sensitivity of eye-movement measures to in-vehicle task difficulty," *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior*, Vol. 8, No. 2, pp. 167 - 190, 2005.
- 15) Patten, C. J. D., Kircher, A., Östlund, J., Nilsson, L., and Svenson, O., "Driver experience and cognitive workload in different traffic environments," *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 38, No. 5, pp. 887 - 894, 2006.
- 16) Donmez, B., Boyle, L. N., Lee, J. D., and McGehee, D. V., "Drivers' attitudes toward imperfect distraction mitigation strategies," *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior*, Vol. 9, No. 6, pp. 387 - 398, 2006.
- 17) Lee, W. C. and Cheng, B. W., "Effects of using a portable navigation system and paper map in real driving," *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 40, No. 1, pp. 303 - 308, 2008.
- 18) Dressel, J. and Atchley, P., "Cellular phone use while driving: A methodological checklist for investigating dual-task costs," *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior*, Vol. 11, No. 5, pp. 347 - 361, 2008.
- 19) Cho, J. H., Nam, H. K., and Lee, W. S., "Driver Behavior with adaptive cruise control," *International Journal of Automotive Technology*, Vol. 7, No. 5, pp. 603 - 608, 2006.
- 20) Mehler, B., Reimer, B., Coughlin, J. F. & Dusek, J. A., "The impact of incremental increases in cognitive workload on physiological arousal and performance in young adult drivers," Paper presented at the Transportation Research Board annual meeting, Washington, DC, 2009.
- 21) Zeitlin, L. R., "Subsidiary task measures of driver mental workload: A long-term field study," *Transportation Research Record* 1403, 23-27, 1993.