

An on-road assessment of cognitive demand: Drivers' Gaze Dispersion on Highway Driving

Myoungouk Park¹, Taeyoung Lee¹, Joonwoo Son¹

¹HumanLAB, Daegu Gyeongbuk Institute of Science & Technology, Daegu, 704-230

ABSTRACT

Objective: This paper aims to understand the driving performance degradation and gaze dispersion changes under auditory cognitive workload conditions which consists of three different levels of cognitive complexity. **Background:** As the use of in-vehicle technologies became more popular, there is concern about a concomitant increase in driver distraction arising from their use. While the introduction of voice recognition systems is intended to reduce the distraction due to manual operation of these units, a significant proportion of the distraction associated with their use may arise not from the manual manipulation but rather the cognitive consequences. It is also known that the risk of inattentive driving varies with age. **Method:** In this study, 15 younger drivers (aged 25-35) engaged in three levels of a delayed auditory recall task, so called N-back task, while driving on a highway. **Results:** It was observed that gaze dispersion decreased with each level of demand, demonstrating that these indices can correctly rank order cognitive workload. **Conclusion:** Effects were also observed on driving performance measures including average speed and standard deviation of lane position, but they were subtle, nonlinear, and did not effectively differentiate. **Application:** The results of the publishing trend analysis might help to assess automotive human machine interface (HMI) design.

Keywords: Intelligent Vehicle, Driver Distraction, Cognitive Workload, Field Operational Test, Driving Performance

1. Introduction

최근 차량용 정보기기는 운전자에게 안전과 편의에 관련된 다양한 정보를 제공하여 보다 안전하고 편리하게 운전할 수 있도록 도와준다. 차량용 정보기기에 대한 보급이 증가함에 따라 운전자와 승객의 안전과 편의를 향상시키기 위한 휴대전화, 문자 메시지, SNS, 인터넷 정보 검색 등 다양한 서비스가 주행 중에 이용되고 있다. 하지만 운전 중 차량용 정보기기의 사용은 운전자에게 운전 부주의를 유발시켜 차량사고의 원인이 될 수 있다(Lee et al., 2009). 특히 운전 부주의는 운전 중 핸드폰이나 내비게이션과 같은 정보기기의 조작과 같은 다중작업으로 인하여 높은 운전부하 상태에서 빈번하게 발생된다 (Kim et al., 2009).

이러한 문제점을 해결하기 위하여 최근에는 운전자가 음성으로 차내 시스템을 조작하는 음성인식 기술의 적용이 진행되고 있다. 운전 중 전화통화나 대화와 관련한 음성적 인지부하 작업에서도 복잡도에 따라 시선 집중화 현상

(Visual Tunneling)이 나타난다(Reimer, 2009). Visual Tunneling 효과는 인지부하 정도에 따라 시선의 할당에 변화가 나타나는 것으로, 운전에만 집중할 때와 비교하여 인지부하가 주어진 동안 운전자는 정면을 집중하여 응시하기 때문에 유효시야가 좁아지며, 인지 부하 작업이 어려워질수록 유효시야는 더욱 좁아진다.

본 논문에서는 이중과업으로 N-Back task (Son et al., 2010)를 이용하여 운전자에게 음성적 인지부하를 부가하고 난이도에 따른 운전자의 시선분포 변화를 관찰하였다. 그 결과 인지부하가 증가함에 따라 Visual Tunneling 현상도 더불어 증가함을 확인 수 있었으며, 특히, 운전자의 횡방향 시야각의 변화가 부가된 인지부하의 난이도를 추정하는 데 유용하게 사용될 수 있음을 확인하였다.

2. Method

2.1 Subjects

인지부하가 운전자의 시선분포에 미치는 영향을 분석하기 위하여 25~35세 운전자 15명을 모집하였다. 실험참가자의 평균연령은 27.9세($SD=3.13$), 평균운전경력 6.5년($SD=3.56$)이다. 실험참가자는 주 3회이상 운전을 하며, 신체적, 정신적으로 건강한 사람들로 선정하였다. 또한 기본적인 인지능력을 검사하기 위하여 MMSE(Mini Mental Status Exam)를 시행하였으며(Folstein et al., 1975), 30점 만점에 27점 이상을 통과한 사람만 참가시켰다.

2.2 Experiment equipment

실제 고속도로에서 실험을 수행하기 위하여 Figure 1과 같이 운전 행동 모니터링 차량을 구축하였다. 구축된 차량은 주행정보, 운전자 시선좌표, 생체신호, GPS, 운전행동 영상 정보(운전자의 얼굴 영상과 페달조작 영상)와 차량의 주변 영상(전방, 후방, 좌/우 측방)을 수집할 수 있도록 제작되었다. 모든 데이터들은 100Hz의 마스터 시간(master time)에 의해 동기화되어 저장된다(Park et al., 2011).

운전자의 시선 정보를 검출하기 위하여 FaceLAB 4.6(Seeing Machines, 호주)을 사용하여 60 Hz로 측정하였다.

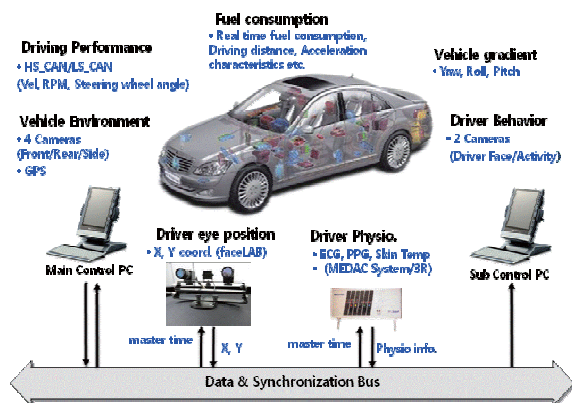


Figure 1. Instrumented vehicle for monitoring driving behavior

2.3 Secondary task

운전 중 이중 과업을 부과하기 위해 사용된 인지 부하는 음성으로 제시된 숫자를 기억하여 대답하는 N-back 과업으로 선정하였다(Son et al., 2010). 본 실험에서는 3수준의 인지 부하를 추가하기 위하여 숫자를 듣고 바로 말하는 0-back, 한 숫자 전에 제시된 숫자를 기억하여 말하는 1-back, 그리고 두 숫자 전에 제시된 숫자를 말하는 2-back을 이용하였다. N-back에서 제시되는 숫자로 0-9사이의 정수를 사용하였으나, 4번은 발음상의 혼동을 피하기 위하여 사용하지 않았다. N-back 과업은 각 난이도별로 30초 동안 10개의 숫자

를 들려주는 과정을 4회 반복함으로써 인지부하가 2분간 지속되도록 설계하였다. 각각의 숫자는 약 2.1초 주기로 제시되었으며, 다른 난이도의 N-back을 수행한 이후에 인지능력이 회복될 수 있도록 2분의 휴식시간을 포함하였다.

개인별 인지능력의 차이를 최소화하기 위하여, 0-back을 100% 맞추고, 1-back의 경우 2개 이하의 오답, 2-back의 경우는 3개 이하의 오답 조건을 만족시킬 때까지 충분한 N-Back 사전 연습을 실시하였다.

2.4 Experiment procedure

고속도로 주행 시 인지부하가 운전자 시선분포에 미치는 영향을 분석하기 위하여 Figure 2와 같이 실험 절차를 설계하였다. 전체 실험 절차는 주행실험을 중심으로 주행 전 단계와 주행 후 단계로 구성하였다. 실험 전 단계는 안전운전의 가능여부(Safety Protocol) 파악과 서명 및 설명(Consent & Overview), 사전 설문(Pre-Survey), N-back 훈련(N-back Task Training), 시선 측정 장비 set-up으로 구성하였다. 주행 실험(Driving Experiment)은 N-back baseline 수행, 연습주행(Pre-Driving Experiment), 고속도로(Highway) 상에서 본 실험으로 구성되었다.

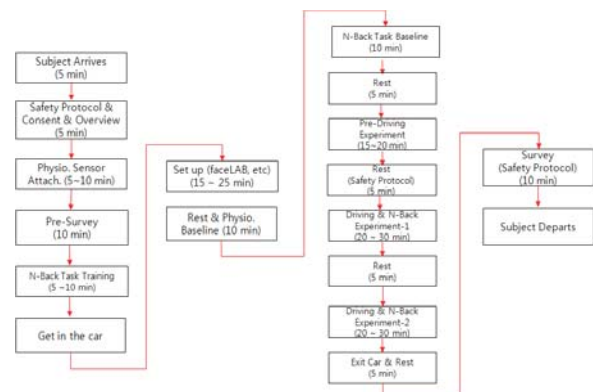


Figure 2. Experimental protocol

실험 시 주행 도로는 약 36Km(약 20분)의 중부내륙고속도로 및 지선 구간을 Figure 3과 같이 구성하였다. 주행 도로는 제한속도 100kph의 편도 2차로 고속도로이며, 3~5%의 오르막길과 내리막길이 약 8Km 포함되어 있다. 주행실험 중 주변 교통량이 동일한 수준으로 유지되도록 하기 위하여, 출퇴근 시간을 피하여 오전 실험은 11시~11시 30분경, 오후 실험은 3시 30분~4시경에 실험 구간을 주행하였다. 즉, 피험자가 평소 운전스타일과 유사하게 운전할 수 있도록 상대적으로 낮은 교통량과 도로상황에서 실험이 진행되었다.



Figure 3. Experimental highway

2.5 Analysis method

SPSS version 17 프로그램을 활용하여 Task를 수행하지 않은 사전 및 사후 구간과 3수준의 인지부하(0, 1, 2-back)를 수행한 구간에 대하여, 운전수행능력과 시선의 X축, Y축 방향의 변화를 알아보고자 반복측정 분산분석을 실시하였다.

3. Results

3.1 Secondary Task Performance

운전 주행 중 이중과업으로 인한 인지 처리 능력의 저하 정도를 평가하는 지표로 N-Back task의 오답율을 사용하였으며, N-Back 기준오답율(Non-driving)과 이중과업 수행오답율(Dual-task)은 Table 1과 같다. 즉, 정차 상황에서 수행한 N-Back task에서 난이도가 증가함에 따라 오답율이 증가하는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 0, 1, 2-Back으로 올라감에 따라 인지부하의 난이도가 증가함을 의미한다. 또한 Dual-task상황(주행실험과 동시에 N-Back task를 수행하였을 때의 상황)에서는 인지부하가 더욱 증가하여 모든 난이도에 대하여 오답율이 더욱 증가함을 알 수 있다.

Table 1. Secondary task error rate

Condition	0-back	1-back	2-back
Non-driving	1.1%	2.3%	2.7%
Dual-task	2.7%	4.2%	4.6%

3.2 Driving Performance

이중과업에 따른 운전수행능력(Driving Performance Ability) 변화를 분석하기 위하여, 평균 주행속도(Mean Speed)과 조향 반전 횟수(Steering wheel Reversal Count, SRC)를 관찰하였다. 평균주행속도의 변화는 운전부하 발생시 운전자가 취하는 보상행위의 정도를 의미하며, 조향 반전 횟수는 조향 오차를 바로 잡기 위한 횡방향 제어행동으로 수정횟수가 증가할수록 제어 능력이 감퇴하였음을 의미한다.

Figure 4는 난이도에 따른 평균 주행 속도(Mean Speed)와 조향 반전 횟수(Steering wheel Reversal Count, SRC)를 나타낸다. 평균 주행 속도의 경우, 이중과업 난이도가 증가함에 따라 운전자들은 속도를 감소시켜서 N-back task 수행에 보다 더 집중하고자 하는 경향을 관찰 할 수 있었다. 또한, 조향 반전 횟수에서도 N-back 난이도가 증가함에 따라 조향 수정횟수가 증가하는 것을 확인 할 수 있었으며, 이는 난이도가 증가할수록 횡방향 제어능력(Lateral Control Ability)이 감소함을 의미한다.

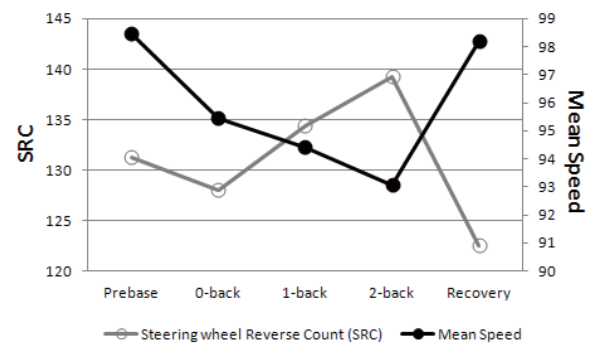


Figure 4. Driving Performance Measures

3.3 Glance Behavior

주행 중 인지부하 난이도가 증가함에 따라 운전자의 시선분포가 집중화되는 현상(Visual Tunneling)을 토대로 운전자의 시선 분포 변화를 관찰하였다. 그 결과, Figure 5와 같이 인지부하가 증가함에 따라 시선이 집중화되는 현상이 관찰되었으며, 이는 선행연구(Reimer, 2009)와 일관성을 보였다.

운전자 시선의 집중화 정도를 보다 체계적으로 분석하기 위하여 Figure 6와 같이 횡방향 및 종방향 시선의 표준편차를 살펴보았다. 횡방향 시선 표준편차 분석 결과, 이중과업 상황에 대하여 통계적으로 유의한 차이를 나타내었으며 ($F(2.566, 35.929)=5.443, p=.005$), 난이도 간에도 0-Back과 2-Back간에 유의한 차이를 나타내었다($p=.012$). 종방향 시선에서도 이중과업 난이도가 증가함에 따라 시선분포가 감소

하는 경향을 보였으나 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다($F(3.046, 42.642)=1.484, p=.232$).

본 실차 도로주행 연구결과는 모의주행 실험을 통한 선행연구결과(Park et al., 2010)와 유사한 경향을 나타내었으나, 이중과업구간에서의 시선 집중화(Visual Tunneling)현상이 모의주행에서와 같이 두드러지지 않았다. 이는 실차 도로주행에서는 운전자가 안전을 위하여 높은 인지부하 상황에서도 지속적으로 주변상황을 감시하고자 노력하였음을 의미한다.

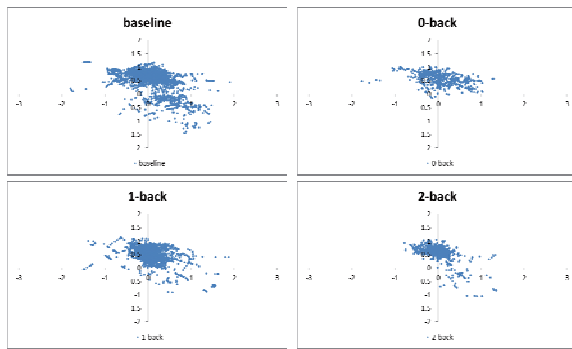
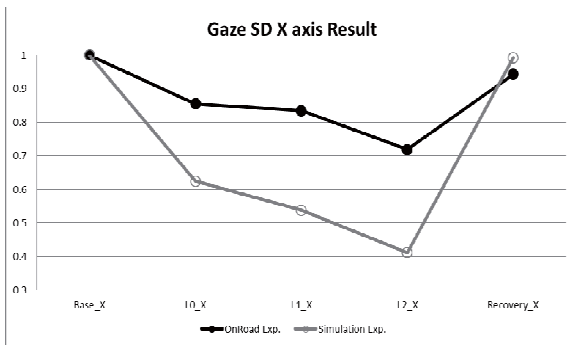
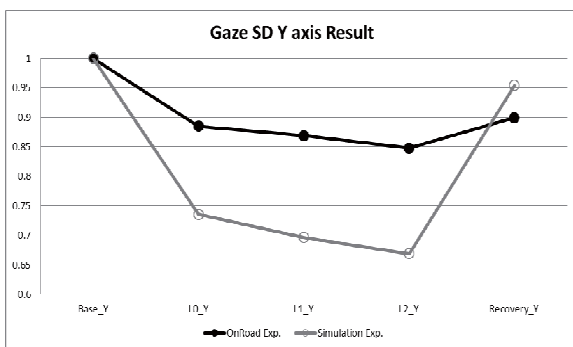


Figure 5. Gaze distribution changes under different cognitive workload complexity



(a)



(b)

Figure 6. Driving Performance Measures as a Function of Task Level : (a)Gaze SD X axis Result and (b)Gaze SD Y axis Result

4. Conclusion

본 연구를 통하여 운전자의 시선분포 특히, 횡방향 시선 분포가 운전수행 중 인지부하의 난이도에 가장 민감한 측정변수라는 것을 확인할 수 있었으며, 해외 연구(Reimer, 2009) 및 모의주행을 통한 선행연구(Park et al., 2010)와 일관된 결과를 보였다. 또한, 운전수행능력을 나타내는 평균 주행 속도와 조향 반전 횟수도 인지부하를 추정할 수 있는 지표임을 확인할 수 있었다. 다만 운전수행능력의 경우, 인지부하 난이도에 따른 차이를 나타내지는 못하므로 제한적으로 활용될 수 있다. 또한, 인지부하의 난이도가 증가함에 따라 운전자의 시선분포가 좁아지는 현상(Visual Tunneling)이 관찰되었으며, 이는 인지적 부주의로 인하여 사고 가능성이 증가함을 의미한다.

따라서, 시각적 부주의를 유발하지 않는 음성인식 인터페이스를 설계할 경우, 인지부하로 인한 부주의의 유발 가능성을 고려하여야만 한다. 이 때 보다 객관적으로 인지부하를 측정하기 위하여 운전자의 횡방향 시선분포의 집중화 정도를 활용할 수가 있다.

Acknowledgements

This research was supported in part by Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology (DGIST) Research Program of the Ministry of Education, Science, and Technology (MEST), and Industrial Strategic Technology Program of the Ministry of Knowledge Economy (MKE).

References

- Lee, Y. T., Kim, M. H., And Son, J., "Effects of Advancing Age on Drivers' Cognitive Workload", *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 28(3), 73-79, 2009.
- Kim, M. H., Kum, D. H., Lee, Y. T. And Son, J., "Analysis of Driving Performance Characteristics for Estimating Driving Workload", *KSAE Annual Conference*, (pp.1770-1775), Incheon. KOREA, 2009.
- Reimer, B., "Impact of Cognitive Task Complexity on Drivers' Visual Tunneling", *Journal of the Transportation Research Board of the National Academies*, 13-19, 2009.
- Son, J., Reimer, B., Mehler, B., and et al., "Age and cross-cultural comparison of drivers' cognitive workload and performance in

simulated urban driving”, *International Journal of Automotive Technology*, 11(4), 533-539, 2010.

Folstein, M.F., Folstein, S.E., McHugh, P.R., “Mini-mental state: A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician”, *Journal of Psychiatric Research*, 12(3), 189-198, 1975.

Park, Y., Park, S., Lee, T. and Son, J., “Impact of Cognitive Demand on Drivers’ Visual Attention in Driving Simulator,” *Proc. on Ergonomic Society of Korea 2010 Fall Conference*, 180-183, 2010.

Author listings

Myoungouk Park: violet1211@dgist.ac.kr

Highest degree: M.A. Candidate, Department of Cognitive psychology, Kyungpook National University

Position title: Research Engineer, Daegu Gyeongbuk Institute of Science & Technology (DGIST)

Areas of interest: Agencies including Ministry of Knowledge Economy (MKE), Ministry of Education, Science and Technology

Taeyoung Lee: tylee@dgist.ac.kr

Highest degree: M.S., Department of Electronic Engineering, Kyungpook National University

Position title: Research Engineer, HumanLAB, Daegu Gyeongbuk Institute of Science & Technology (DGIST)

Areas of interest: Areas of driver’s workload assessment methodology, Eco-drive assistant technologies

Joonwoo Son: json@dgist.ac.kr

Highest degree: PhD, Department of Mechanical Engineering, Pusan National University

Position title: Senior Research scientist, HumanLAB, Daegu Gyeongbuk Institute of Science & Technology (DGIST)

Areas of interest: Design for older drivers, driver’s workload assessment methodology (on-road & simulator study), Advanced human-vehicle interface, Eco-drive assistant technologies, Automotive engineering, Human factors and transportation