JESK J Ergon Soc Korea 2023; 42(3): 179-195
https://dx.doi.org/10.5143/JESK.2023.42.3.179
https://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

The Effect of Simulated High-Speed Driving on the Drivers' Muscle Tension, PERCLOS (Percentage of Eyelid Closure), Saccade Duration, and Subjective Fatigue

Ju Eun Shin, Jung Yong Kim

Hanyang University, College of Computing, Ansan, 15588

운전 시뮬레이터 고속 주행이 운전자의 근육 긴장도, 눈감은 시간비율, 안구도약 지속시간 및 주관적 피로도에 미치는 영향

신주은, 김정룡

한양대학교 휴먼컴퓨터인터랙션학과

Corresponding Author
Jung Yong Kim
Hanyang University, College of Computing, Ansan, 15588
Email : jungkim@hanyang.ac.kr

Received : February 21, 2022
Revised : February 24, 2023
Accepted : April 27, 2023

Copyright@2023 by Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

Objective: The aim of this study is to analyze the psychophysical effects on the drivers at high-speed driving such as 100km/h, 120km/h, and 140km/h by using driving simulator.

Background: USA and Germany set the highway speed limit as 130km. Thus, the speed limit of highway is subject to change. However, the highway speed limit is always associated with the risk of accident. Therefore, driver's psychophysical workload needs to be assessed at high-speed driving for the safety of drivers.

Method: This experiment was conducted under a simulated driving condition. 10 participants drove four sessions including driving for familiarization. A repeated measure design was used to warrant the data size and parameter comparison among speeds. Dependent variables were RMS (Root Mean Square) value of EMG measurement, PERCLOS (Percentage of Eyelid Closure), Saccade Duration, and subjective fatigue. A series of statistical analyses were performed in order to discover the significant effects on drivers (1) Repeated measures ANOVA was performed to see the significant difference among different speeds. (2) post-hoc analysis was performed when significant results were derived from ANOVA, (3) Correlation analysis was performed between the main dependent variables. (4) Gender difference was examined by T-test.

Results: The muscle tension of the right and left pectoralis major muscle increased steadily as the driving speed increased. PERCLOS steadily decreased as the driving speed increased, which could be interpreted as the sign of increased vigilance at high-speed driving. Saccade duration increased as the driving speed increased, which could be interpreted as the sign of additional scanning by drivers. There was no significant difference in subjective muscle fatigue and subjective eye fatigue. Positive correlations were observed between the right pectoralis major and right middle deltoid, and between the left pectoralis major and left middle deltoid, which was the sign of muscle synergy. For male drivers, PERCLOS and Saccade duration were relatively lower than female subjects, which was the sign of active driving or increased alertness.

Conclusion: The increased muscle tension, decreased PERCLOS, and increased Saccade duration at high-speed driving indicated the significant psychophysical change of drivers. That is, subjects were adapting themselves to the high-speed driving by using muscle synergy or coordination as well as increased visual workload. Male drivers seemed to be more involved in the high-speed driving and affected by the increased speed than female drivers in terms of PERCLOS and Saccade duration. A further study is necessary to investigate the psychophysical effect at 125~135km/h speed range in order to suggest a safe highway speed limit as well as to disclose the high-speed driving pattern of different gender.

Application: The results of study could be use as one of reference for highway speed design. The parameters tested in this study can be referred in further studies.

Keywords: Highway speed Limit, Muscle tension, PERCLOS, Saccade duration, Simulator

1. Introduction

현재 대부분의 자동차들이 250km/h가 넘는 빠른 속도로 달릴 수 있고 경차 역시 최고속도 160km/h 달릴 수 있을 정도로 자동차 기술은 발전했다. 하지만 우리나라 고속도로의 제한속도는 편도 1차로에서 80km/h, 편도 2차로 이상에서 100km/h로(Ministry of Legislation, 2020) 자동차 자체 최고속도에 비해 턱없이 낮다. 이미 많은 해외 나라가 우리나라와 비교해 높은 고속도로 제한속도를 규정하고 있다. 미국과 독일과 같은 선진국의 경우에도 제한속도가 약 130km/h 이상으로 운영되고 있다(International Traffic Safety Data and Analysis Group (IRTAD), 2020).

도로교통공단의 통계 자료에 따르면, 2018년을 시점으로 전체 교통사고 사망자가 연간 3,000명대로 줄어들었고, 고속도로 사망자는 지난 2018년 227명, 2019년 176명으로 줄어든 후 2020년 179명, 2021년 171명 등 3년 연속 100명대를 기록했다. 특히 10년 전과 비교했을 때 고속도로 교통량이 하루 평균 362만대에서 465만대로 28.5% 증가한 상황에서도 고속도로 교통사고 사망자는 연간 265명에서 171명으로 35.5% 감소하였다. 이러한 결과는 자동차의 안전성능, 도로설계의 안전수준이 높아졌기 때문이라고 할 수 있다. 이러한 안전수준의 향상과 차량의 기술적 진보는 고속도로 제한속도를 상향할 수 있다는 의견에 힘을 실어주고 있다.

그러나, 도로에서의 속도제한은 주어진 도로 상황에 따라 안전 운전이 담보 될 수 있어야 하므로 반드시 신중히 검토돼야 한다(Kim et al., 2005). 고속도로에서 안전을 위협하는 원인을 살펴보면 인적 요인, 도로 환경적 요인, 차량적 요인 중 인적 요인(Human factor)이 대부분을 차지하고 있다는 것을 수치로 알 수 있다(Jeong, 2007). 해외에서도 미국 93.1%, 영국 84.8%, 일본 96%의 교통사고가 인적 요인에 의해 발생되고 있으므로(Koroad, 2012), 새로운 안전기준을 마련하는 경우에 인적 요인은 반드시 검토되어야 한다.

이러한 고속도로에서의 인적 요인의 위험성을 연구하기 위해 운전자의 행동 반응이나 생리 신호를 기반으로 한 연구가 한국도로공사를 중심으로 진행되었고(Kim et al., 2011; Kim and Yoon, 2004a; Kim and Yoon, 2004b; Kim et al., 2004a; Kim et al., 2004b), 이러한 생리측정방식은 주행 상황에 따른 인적 요인을 분석하기 위한 정량적 방법으로 그 결과가 실제 교통안전 설계분야에서 응용되고 있다(Korea Highway Corporation, 1999). 특히 고속 주행 상황에서의 운전자 인지 생리 반응에 관한 연구는 최근까지 활발히 진행 중이다. Choi et al. (2017)은 100km/h, 120km/h, 140km/h의 속도에서 제동 상황이 발생하였을 때 주행속도가 증가할수록 인지시간 및 반응시간이 모두 감소함을 보고하였고, Lim et al. (2013)의 연구에서는 최대 180km/h로 주행할 때 발생하는 뇌파 파워를 비교하여 도로의 설계속도가 높을수록 운전자가 불안감을 느끼는 주행속도 역시 증가함을 보고하였다. Jeong et al. (2000)은 0km/h, 40km/h, 100km/h, 160km/h의 주행속도에서 심박 변화율, 피부저항, 피부온도, 맥파를 측정하여 속도가 증가할수록 교감 신경이 활성화됨을 확인했다. Törnros (1995)는 70km/h, 90km/h, 110km/h에서 청각 반응시간을 측정하여 속도가 높을수록 반응시간이 빠르게 나타났음을 보고하였다.

최근 운전 부하에 대한 생리측정방식으로 근전도(Electromyography; EMG)와 아이트래킹이 사용되고 있다. Lecocq et al. (2020)은 최근 연구에서 EMG를 이용해 장시간 운전에서 좌석에 따른 운전자들의 피로감을 비교하여 시간이 지남에 따른 전신불편감이 증가하였음

을 보고하였다. 또 Lee et al. (2018)은 장거리 주행 동안 운전자의 눈감은 시간비율을 일컫는 PERCLOS (Percentage of Eyelid Closure)를 측정하여 운전자의 피로가 발생 시 편차가 증가됨을 확인하였다. Di Stasi et al. (2012)는 운전 직후 주관적 안구피로도가 가장 높게 측정되며 Saccade duration(안구도약 지속시간)은 3ms 증가하는 것으로 보고하여 안구도약 운동 파라미터가 운전자의 피로 변화를 감지할 수 있는 도구로 사용될 수 있음을 보였다.

고속 주행 상황에서 주행 시뮬레이터는 효율성, 저렴한 비용, 안전, 실험 제어 및 데이터 수집 용이성과 같은 이점 때문에 수많은 연구에서 사용되고 있다(Hault-Dubrulle et al., 2011). 더욱이 자동차 충돌 사고(Perron, 2001), 노약자 대상 실험(Lee et al., 2003)과 같은 위험한 상황에서 실험참가자들의 안전을 보장하면서 실험을 진행하기 위해서는 주행 시뮬레이터가 필수인 것이다. 하지만 실제 주행 자체와 얼마나 유사할 것인지에 대한 유효성 여부를 확인하는 것은 아직도 어려운 과제이나, 현재 많은 연구에서 주행 시뮬레이터가 실제 주행과 유사하다는 연구 결과를 내놓고 있다(Hussain et al., 2019; Li et al., 2013; Godley et al., 2002).

이와 같이 다양한 고속 주행 시 안전을 담보하기 위하여 인적 요인에 대한 연구가 진행되고 있으나, 아직 안전성을 전제로 한 고속도로 속도의 한계를 결론적으로 제공하기에는 데이터의 축적이 충분하지 않다고 판단된다. 그러므로 본 연구에서는 최근 연구에서 사용되고 있는 측정방법을 사용하여 근육 부하의 변화, 전방 주시 집중에 의한 안구운동의 변화, 눈 깜박임에 의해 발생하는 PERCLOS 값의 변화 등을 시뮬레이터 환경에서 측정함으로써 향후 고속도로 제한속도 상향 조정에 따른 안전성의 문제를 정량적으로 평가할 수 있는 데이터를 축적하기 위한 목적으로 연구를 진행하였다.

2. Method

2.1 Participants

운전면허를 소지하고 1년 이상의 운전 경력을 가지고 있으며 최근 6개월 이내에 눈과 관련된 질환이 없고 어깨, 목의 통증이나 관련 질환으로 병원치료를 받은 이력이 없는 20~30대 남녀 10명이 참여하였다. 총 10명의 실험참가자들의 성별은 남자 6명, 여자 4명으로 이루어졌다. 실험참가자들의 나이는 25 (±3세)이고 평균 운전 경력은 3.3 (±2.)년이었다. 본 실험은 한양대학교 기관생명윤리위원회 심의를 받아 규정에 따라 수행되었다(IRB 승인번호: HYUIRB-202109-006).

2.2 Apparatus

2.2.1 Driving simulation equipment

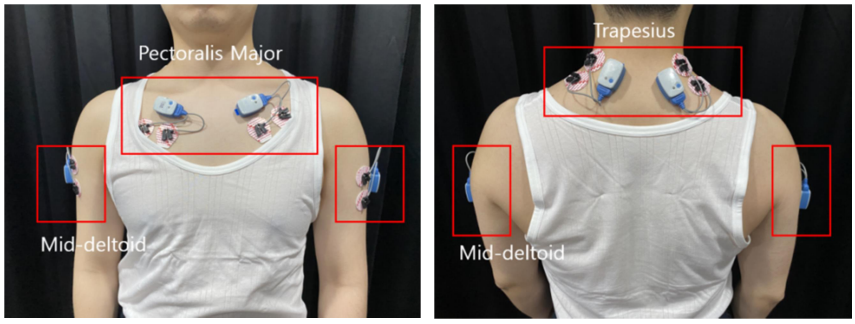
연구의 고속 주행 실험을 위해 사용된 주행 시뮬레이터 장비로는 Thrustmaster 사의 레이싱 휠 T300RS GT Edition 모델과 레이싱 휠 시트 거치대 PNS GTs special 모델을 사용하였다(Figure 1). 게임의 즉각적인 몰입감을 극대화하기 위해 소리를 진동으로 바꾸어 주는 체감형 음향기기인 Buttkicker Gamer2를 설치하였고, 실험참가자 좌우에 스피커 Bitway a505를 사용했다. 실험참가자에게 실제와 같은 시야각을 제공하기 위해 화면 비율, 해상도와 응답속도를 고려하여 알파스캔 사의 Agon 322FCX 144 curved monitor 3개를 설치하였다(Figure 2).

Figure 1. Driving simulator (Thrustmaster Inc., PNS GTs special)

Figure 2. Displayed simulation in the monitor (Alphascan Inc., AGON 322FCX 144 curved monitor)

2.2.2 EMG equipment and muscle selection

근긴장도를 알아보기 위한 근전도 측정 장비로 Noraxon 사의 Surface EMG 측정 장비(Ultium)를 사용하였다. 근긴장도는 근전도 신호에서 추출한 RAW EMG 데이터를 기반으로 RMS (Root Mean Square) 값을 사용하여 근육의 활성도를 측정하였고, 데이터 수집 소프트웨어는 동일 사의 MR 3.14를 사용하였다. 표본수집율(sampling rate)은 2,000Hz으로 설정하였으며 대역통과필터(band-pass filter)는 8~500Hz로 설정하였다. 실험에서 측정할 근육은 운전 중 나타나는 상지 운동(Upper extremity movements)을 고려하여 좌우 중간삼각근(L/R Middle deltoid), 좌우 대흉근(L/R Pectoralis major), 좌우 승모근(L/R Trapezius)로 선정하였다(Figure 3).



(a) Mid-deltoid and pectoralis major (b) Mid-deltoid and trapesius

Figure 3. EMG electrode attachments

2.2.3 Eye-tracker

총 주행시간 대비 눈감은 시간비율(PERCLOS)과 안구도약 지속시간(Saccade duration)을 측정하기 위하여 Ergoneers Inc. 사의 Diskablis Glasses 3 장비를 사용하였다(Figure 4). 데이터 수집 소프트웨어는 D-Lab 3.5를 사용하였다.

Figure 4. Subject wearing the eye-tracker

2.3 Experimental design

본 연구의 실험은 3수준(100km/h, 120km/h, 140km/h)을 가진 주행속도(speed)를 독립변수로 선정하여 집단 내 비교(Within subject design)로 설계하였다. 이에 따른 종속변수로는 좌우 중간삼각근(L/R Middle deltoid)의 근긴장도(RMS), 좌우 대흉근(L/R Pectoralis major)의 근긴장도(RMS), 좌우 승모근(L/R Trapezius)의 근긴장도(RMS), 안구활동 중 눈감은 시간비율(PERCLOS), 안구도약 지속시간(Saccade duration), 그리고 주관적 피로도(subjective fatigue)를 설정하였다. 생체 신호에 영향을 줄 수 있는 알코올 섭취를 실험 전 24시간 동안 제한했으며 흡연은 금단현상을 고려해 실험 시작 2시간 전까지 허용했다. 본 연구는 다음과 같은 실험가설을 토대로 분석을 실시하였다.

H0: $RMS_{at\ 100km/h} = RMS_{at\ 120km/h} = RMS_{at\ 140km}$ for 좌우 중간삼각근, 좌우 대흉근, 좌우 승모근
H0: $PERCLOS_{at\ 100km/h} = PERCLOS_{at\ 120km/h} = PERCLOS_{at\ 140km}$
H0: $Saccade\ duration_{at\ 100km/h} = Saccade\ duration_{at\ 120km/h} = Saccade\ duration_{at\ 140km}$

남녀 차이에 대한 분석은 경향성을 분석하기 위해 추가적으로 실시되었고 다음과 같은 가설에 근거하여 진행되었다.

H0: $RMS_{at\ all\ speeds,\ male} = RMS_{at\ all\ speeds,\ female}$ for 좌우 중간삼각근, 좌우 대흉근, 좌우 승모근
H0: $PERCLOS_{at\ all\ speeds,\ male} = PERCLOS_{at\ all\ speeds,\ female}$
H0: $Saccade\ duration_{at\ all\ speeds,\ male} = Saccade\ duration\ at_{all\ speeds,\ female}$

전반적인 남녀 차이가 발견된 변수에 대해서 다음과 같은 가설에 따라 추가적인 분석이 진행되었다.

H0: $PERCLOS_{at\ 100km/h,\ male} = PERCLOS_{at\ 100km/h,\ female}$
H0: $PERCLOS_{at\ 120km/h,\ male} = PERCLOS_{at\ 120km/h,\ female}$
H0: $PERCLOS_{at\ 140km/h,\ male} = PERCLOS_{at\ 140km/h,\ female}$
H0: $Saccade\ duration_{at\ 100km/h,\ male} = Saccade\ duration_{at\ 100km/h,\ female}$
H0: $Saccade\ duration_{at\ 100km/h,\ male} = Saccade\ duration_{at\ 100km/h,\ female}$
H0: $Saccade\ duration_{at\ 100km/h,\ male} = Saccade\ duration_{at\ 100km/h,\ female}$

2.4 Simulator software setting

주행 시뮬레이션은 사실적인 시뮬레이션 성을 강화하여 기존 운전자 피로 측정연구(Jagannath and Balasubramanian, 2014)에 활용된 레이싱 게임인 일렉트로닉 아츠 사의 'Need For Speed: Shift'를 선정하였다. 고속도로의 주행 상황과 가장 비슷한 트랙(Figure 5)을 선정하여 실험참가자가 고속도로 주행 시 느낄 수 있는 피로와 비슷한 피로를 유발하고자 하였다.

Figure 5. Track map

선정한 트랙은 한 트랙당 2.51km 거리로 각 주행속도 실험당 실험참가자가 약 50km를 달리도록 하였다. 게임 트랙 주행에 있어 실험참가자 별로 동일한 주행이 될 수 있도록 가급적 주행 안내 화살표를 따라 달리도록 권고하였다. 실험 수행 시 실험참가자는 해당 속도를 유지하기 위해 스티어링 휠 조작과 더불어 페달을 이용해 속도를 유지하였다. 주행 중 스티어링 휠은 레이싱 게임의 규칙에 따라 휠을 한쪽으로만 계속 돌리거나 한 손으로 운전하지 않도록 하였다. 실제 실험 환경은 Figure 6과 같다.

Figure 6. Simulated driving situation

2.5 Procedure

본 연구의 실험은 실험참가자가 게임에 몰입할 수 있도록 독립된 공간에서 진행하였으며 모니터의 주사율, 명도 등의 모든 설정값을 동일하게 제공하였다. 실험을 시작하기 전 참가자들에게 주의사항, 절차, 실험방법 및 목적에 대해 충분히 설명하였다. 주행에 적응할 수 있도록 10분 정도 연습시간을 주었다. 실험 수행 시 실험참가자는 100, 120, 140km/h를 유지해야 하므로, 해당 속도를 유지하기 위해 스티어링 휠 조작과 페달링을 연습하였고, 속도의 오차가 ±2km/h를 벗어나지 않도록 하였다. 시뮬레이터 좌석은 시트의 앞뒤 거리와 등받이 각도를 본인이 조절하도록 하였다.

실험은 총 20트랙을 완주하는 것을 하나의 task로 정의하였다. 트랙 한 바퀴 도는데 1분 20초에서 40초 내외가 소요되므로 task 당 약 30~40분이 소요되었고 이를 속도 변화에 따라 3번 수행하였다. 생체신호 측정은 주행 task 별로 초기, 중기, 후기에 각각 1번씩 총 3번을 측정하였다. 즉, 1회 task 분량 총 20회 트랙 주행 중, 2번째, 11번째, 20번째 주행 시 각각 1분 동안을 측정하였다. 하나의 task가 끝났을 때마다 5분의 휴식시간을 주었으며 눈을 감은 상태로 쉬도록 하였다. 주행해야 하는 속도 순서는 이월효과(carry-over effect)를 방지하기 위하여 라틴방격법에 따라 무작위로 배치하였다(Table 1). 자세한 실험 절차는 Figure 7와 같다.

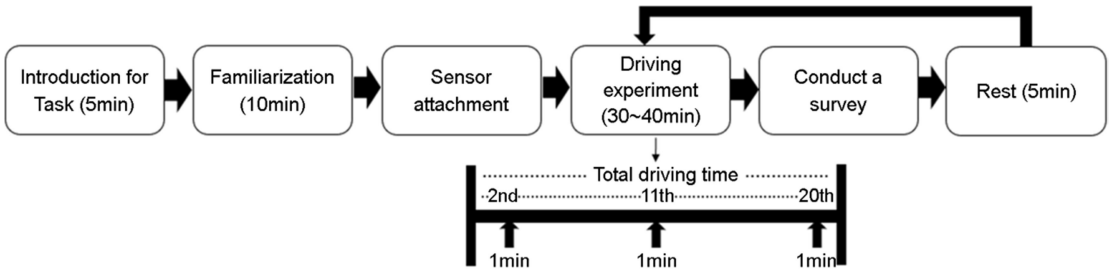


Figure 7. Simulated driving procedure

Table 1. Randomly designed experimental order

Subject No.	1st trial	2nd trial	3rd trial
Subject 1	100km/h	120km/h	140km/h
Subject 2	120km/h	140km/h	100km/h
Subject 3	140km/h	100km/h	120km/h
Subject 4	100km/h	140km/h	120km/h
Subject 5	120km/h	100km/h	140km/h
Subject 6	140km/h	120km/h	100km/h
Subject 7	120km/h	100km/h	140km/h
Subject 8	140km/h	120km/h	100km/h
Subject 9	100km/h	140km/h	120km/h
Subject 10	120km/h	140km/h	100km/h

하나의 task가 끝날 때마다 주관적 근피로도 10문항, 안구피로도 10문항으로 구성된 설문조사를 실시하였다. 설문조사 문항은 7순위의 간격척도로 가정해 7-point Likert scale로 구성하였다. 주관적 근피로도 문항은 유동 좌판의 효과성을 평가한 연구(Kim, 2021)를 참고하여 팔, 다리의 불편감과 피로감 등 주행 상황 시 느낄 수 있는 부위로 설정했으며 안구피로도의 경우 눈의 묵직함, 두통, 복시 등 게임 환경에서 주사율 변화와 화면 움직임에 따른 안구피로를 분석한 연구(Lee, 2019) 문항을 이용하였다. 문항별 내용은 Table 2, 3에 정리하였다.

Table 2. Questionnaire for muscle discomfort of individuals body part

1	Did you feel any discomfort in your neck muscle?
2	Did you feel any discomfort in your shoulder muscles?
3	Did you feel any discomfort in your arms?
4	Did you feel any discomfort in your elbows?
5	Did you feel any discomfort in your palms?
6	Did you feel any discomfort in your wrists?
7	Did you feel any discomfort in your lower back?
8	Did you feel any discomfort in the hip area?
9	Did you feel any discomfort in your legs?
10	Did you feel discomfort in your ankles?

Table 3. Questionnaire for the eye discomfort and fatigue

1	Did you experience the eye fatigue?
2	Did you experience the heaviness of eyelid?
3	Did you have a headache?

Table 3. Questionnaire for the eye discomfort and fatigue (Continued)

4	Did you experience the double vision(a phenomenon in which objects appear as two)?
5	Did you feel a burning sensation in your eyes?
6	Did you experience an irritation due to foreign substances in your eyes?
7	Did you experience dry eyes?
8	Did you have the tears coming out?
9	Did you experience blurry eyes?
10	Did you feel dizzy?

2.6 Data analysis

본 연구에서는 근긴장도(RMS), 눈감은 시간비율(PERCLOS), 안구도약 지속시간(Saccade duration), 주관적 피로도를 분석하였다. 근긴장도는 RMS (Root Mean Square) 값을 사용하였으며, 근육이 이완된 상태에서 실험을 시작하여 근육 긴장과 함께 RMS 값이 증가하는 것을 관찰하였다. 각각의 속도에서(1분 × 3회) 측정한 데이터의 처음과 끝 10초를 제외하고 40초의 데이터를 이용해 분석하였다. 또한 개인 간, 근육 간 차이에 따른 RMS 값의 해석 오차를 줄이고 근전도 분석의 정확성을 높이기 위해(Kim et al., 2013) 운전 하기 전 준비자세에서 30초 동안 측정한 RMS 값을 기준으로 데이터를 정규화(Normalization)하였다.

분석에 사용한 PERCLOS는 아이트래커 실험 장비를 통해 1분간 측정하였고, 눈꺼풀에 의해 가려져 동공이 감지되지 않은 시간의 프레임 수를 총 프레임 수로 나누어 계산하였다.

$$PERCLOS(\%) = \frac{P_c}{P_t}$$

P_c: 동공이 측정되지 않은 프레임 수, P_t: 전체 프레임 수

본 연구에서의 PERCLOS에서 동공이 측정되지 않은 프레임의 수는 눈 깜박임의 횟수에 따라 변화하며, PERCLO의 증가는 이는 주행 시 발생하는 운전 부하로 인한 안구피로의 증가로 해석될 수 있다. 기존 주행 상황의 운전자의 피로도를 분석한 연구에서도 PERCLOS는 안구피로도를 나타내는 간주되어 사용되어왔다(Lee et al., 2003). Saccade duration은 시선이 한 고정점에서 다른 고정점으로 이동할 때 눈 움직임의 지속시간(Kim et al., 2013)을 의미하며, 이는 Eye-Tracker를 통해 관찰되고 소프트웨어를 통해 결과를 추출하게 된다. 급격히 시선을 점프하는 행위는 안구 주변 근육을 급격히 사용한다는 것을 뜻하며 이는 장기적인 관점에서 안구 주변의 근육 부하가 늘어나 안구피로를 유발할 수 있음을 시사한다(Lee, 2019). 또 다른 관점은 고속 주행이 시선 이동량에 어떤 영향을 미치는가 하는 것이다. 만일 Saccade duration이 속도의 증가에 따라 같이 증가한다면 운전에 필요한 운전자가 안구운동을 통해 주변에 대한 scanning이 증가한 것으로 해석될 수 있으므로 관찰의 의미가 있다. 이러한 PERCLOS 및 Saccade Duration은 RMS 측정과 동일한 시간대에서 동시에 측정되었다.

본 연구의 통계적 분석의 순서는 다음과 같다. 첫째, 속도에 따른 종속변수의 유의한 차이를 보기 위하여 반복측정 분산분석(Repeated measures ANOVA)을 수행하였다(α=0.05). 둘째, 반복측정 분산분석에서 유의미한 결과가 도출된 경우에 한해 사후분석을 수행하였으며 사후분석은 Bonferroni test를 사용하였다. 셋째, 주요 종속변수 간의 상관관계를 파악하기 위해 상관분석(Pearson correlation coefficient)을 실시하였다. 넷째, 남녀 운전자 간의 유의한 차이 여부를 확인하기 위해 T-test를 진행하였다(α=0.05). 다섯째, 성별에 의한 차이가 있는 변수에 대해 추가로 남성과 여성 실험참가자를 대상으로 속도에 따른 유의한 차이를 보기 위해 반복측정 분산분석(Repeated measures ANOVA)을 실시하였다.

3. Results

3.1 Mauchly's test of sphericity

본 연구는 10명의 실험참가자를 대상으로 Within-subject design을 하였으므로 데이터의 신뢰성을 확보하고 반복측정 분산분석을 실시하기 위해 Mauchly's test를 사용한 구형성 검정을 실시하였다. 그 결과 좌우 중간삼각근의 근긴장도, 좌우 대흉근의 근긴장도, 좌우 상부승모근의 근긴장도, PERCLOS, Saccade duration, 주관적 근불편도 설문, 주관적 안구피로도 설문 모두에서 구형성 가정을 만족하였다(p>0.05) (Table 4).

Table 4. Mauchly's test of sphericity results

Parameter	Mauchly's W	Approx. Chi-square	df	p-value
Middle Deltoid R	0.777	2.021	2	0.364
Middle Deltoid L	0.977	0.188	2	0.910
Pectoralis Major R	0.574	4.435	2	0.109
Pectoralis Major L	0.770	2.087	2	0.352
Trapezius R	0.551	4.762	2	0.092
Trapezius L	0.479	5.883	2	0.053
PERCLOS (%)	0.780	1.985	2	0.371
Saccade Duration (ms)	0.681	3.074	2	0.215
Subjective muscle fatigue (7 point scale)	0.956	0.357	2	0.836
Subjective eye fatigue (7 point scale)	0.604	4.029	2	0.133

3.2 Repeated measures ANOVA results

3.2.1 Repeated measures ANOVA results for muscle tension

주행속도에 따른 근긴장도에 대한 반복측정 분산분석 결과 우측 대흉근(Pectoralis Major)과 좌측 대흉근에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다(p<0.05). 반면 좌우 중간삼각근(L/R Middle deltoid), 좌우 승모근(L/R Trapezius)에서 유의한 차이를 발견할 수 없었다(p>0.05). Bonferroni test로 사후분석을 실시한 결과, 우측 대흉근의 100km/h vs. 120km/h, 100km/h vs. 140km/h에서 유의미한 차이를 발견하였다. 좌측 대흉근에서는 120km/h vs. 140km/h에서만 유의미한 차이를 발견할 수 있었다.

3.2.2 Repeated measures ANOVA results for PERCLOS

주행속도에 따른 눈감은 시간비율(PERCLOS)의 반복측정 분산분석 결과 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. Bonferroni test로 사후분석을 실시한 결과, PERCLOS의 100km/h vs. 120km/h, 100km/h vs. 140km/h에서 유의미한 차이를 발견하였다.

3.2.3 Repeated measures ANOVA results for Saccade Duration

주행속도 변화에 따른 전체 실험참가자에 대한 Saccade duration의 유의미한 차이는 발견되지 않았다(p>0.05).

3.2.4 Repeated measures ANOVA results for subjective muscle fatigue and eye fatigue

주행속도에 따른 주관적 근피로도, 안구피로도에 대한 반복측정 분산분석 결과, 통계적으로 유의한 차이를 발견할 수 없었다(p>0.05) (Table 5).

Table 5. Repeated measures ANOVA results of dependent variables

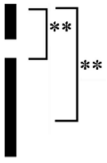
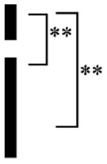
Parameter	N	SS	df	MS	F	p-value
Middle Deltoid R	30	251.062	2	125.531	3.164	0.066
Middle Deltoid L	30	130.935	2	65.467	3.030	0.073
Pectoralis Major R	30	534.394	2	267.197	10.620	0.001***
Pectoralis Major L	30	500.682	2	250.341	6.541	0.007***
Trapezius R	30	96.258	2	48.129	1.258	0.308
Trapezius L	30	37.757	2	18.878	0.718	0.501
PERCLOS (%)	30	38.794	2	17.397	8.573	0.002***
Saccade duration (ms)	30	720.685	2	360.343	3.383	0.057*
Subjective muscle fatigue (7 point scale)	30	0.650	2	0.325	1.226	0.317
Subjective eye fatigue (7 point scale)	30	0.225	2	0.112	0.478	0.628

*p<0.1, **p<0.05, ***p<0.01

3.2.5 Post-hoc analysis for all subjects

주요 유의한 변수에 대한 사후분석 결과, 우측 대흉근 부위의 근긴장도는 100km/h와 비교하여 120km/h, 140km/h로 속도가 증가할수록 유의미하게 증가했다. 좌측 대흉근 부위의 근긴장도는 140km/h에서 유의미하게 증가했다. PERCLOS는 120km/h부터 감소하기 시작했고, 140km/h에서도 이 상황이 유지되었다. 즉, 눈 깜박거림이 줄어들었고 시각적 긴장이 높아진 것으로 해석된다. Saccade duration의 경우 120km/h에서는 36.4ms, 140km/h에서는 48.4ms로 12ms 증가하였고 이는 주변 상황을 살피는 안구운동시간이 늘어난 것으로 해석된다(Table 6).

Table 6. Post-hoc analysis results

	Speed (N=10)	Pectoralis Major R	Pectoralis Major L	PERCLOS	Saccade Duration
Post-hoc	100km/h				
	120km/h				
	140km/h				

**p<.05

3.3 Correlation analysis with dependent variable

3.3.1 Correlation analysis among dependent variables

주요 변수 간 상관관계 분석 결과, 우측 대흉근과 우측 중간삼각근 간의 양의 상관관계(r=.724, p<0.01)와 좌측 대흉근과 우측 중간삼각근 간의 낮은 단계이나 양의 상관관계(r=0.476, p<0.01)가 나타났다. 또한 좌측 승모근과 우측 승모근 간의 낮은 단계이나 유의미한 상관관계(r=0.439, p<0.05)를 확인할 수 있었다(Table 7).

Table 7. Correlation coefficient among dependent variables

Parameter	Middle Deltoid R	Middle Deltoid L	Pectoralis Major R	Pectoralis Major L	Trapezius R	Trapezius L	PERCLOS	Saccade duration
Middle Deltoid R	1							
Middle Deltoid L	0.334	1						
Pectoralis Major R	0.724***	0.360	1					
Pectoralis Major L	0.151	0.476***	0.285	1				
Trapezius R	-0.004	0.118	-0.026	0.042	1			
Trapezius L	0.142	0.157	0.056	0.330	0.439**	1		
PERCLOS (%)	-0.005	0.353	-0.106	0.189	0.149	0.045	1	
Saccade duration (ms)	-0.134	0.001	-0.217	0.180	0.190	0.021	0.206	1

**p<0.05, ***p<0.01

3.3.2 Correlation analysis between subjective muscle fatigue and other variables

주요 변수와 주관적 근피로도와 안구피로도 간의 상관관계 분석 결과, 주관적 근피로도 설문과 주관적 안구피로도 설문에서 낮은 단계의 상관관계가 관찰되었다(p<0.05) (Table 8).

Table 8. Correlation coefficient among dependent variables

Parameter	Middle Deltoid R	Middle Deltoid L	Pectoralis Major R	Pectoralis Major L	Trapezius R	Trapezius L	PERCLOS	Saccade duration
Subjective muscle fatigue	0.020	0.074	0.365**	-0.016	0.024	-0.324	0.074	-0.108
Subjective eye fatigue	0.334	-0.042	0.452**	-0.069	-0.102	-0.061	0.222	-0.149

**p<0.05

3.4 T-test results between male and female

3.4.1 T-test results between male and female for all speeds

PERCLOS와 Saccade duration에서 남녀 간 유의미한 차이가 있었다(p<0.05). PERCLOS는 여성 운전자가 남성 운전자보다 2.27배 주행

중 눈감은 시간비율이 더 높았으며, Saccade duration은 여성 운전자가 남성 운전자보다 1.19배 더 안구운동 지속시간이 긴 것으로 나타났다(Table 9).

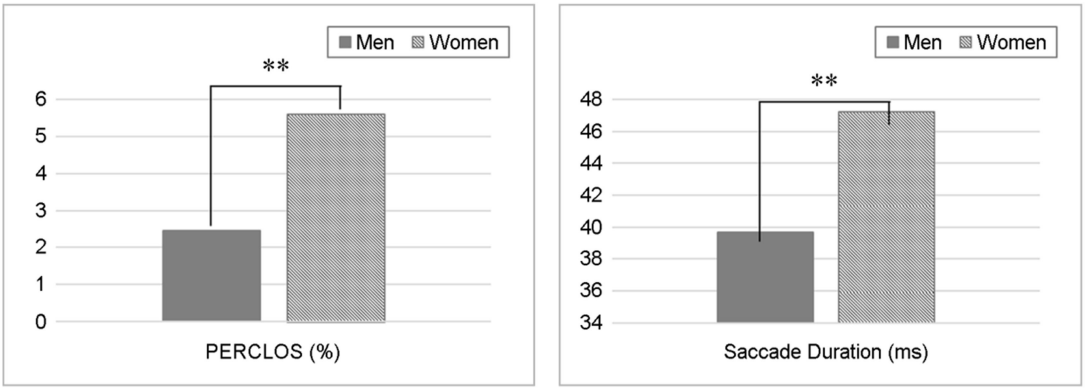
Table 9. T-test results between male and female for all driving speeds

Parameter	Male (N=18))		Female (N=12)		*t*	*p*-value
	Mean	SD	Mean	SD		
Middle Deltoid R	2.679	0.661	2.532	2.103	0.163	0.874
Middle Deltoid L	1.525	0.599	3.426	2.269	-2.005	0.080
Pectoralis Major R	9.181	4.931	7.908	7.066	0.339	0.744
Pectoralis Major L	3.168	1.532	5.390	3.062	-1.541	0.162
Trapezius R	1.824	0.474	2.200	0.101	-1.532	0.164
Trapezius L	1.967	1.106	2.220	0.418	-0.429	0.679
PERCLOS(%)	2.458	1.460	5.590	1.718	-3.106	0.015**
Saccade duration(ms)	39.655	2.984	47.228	4.488	-3.239*	0.012**
Subjective muscle fatigue (7 point scale)	2.894	1.001	2.533	0.163	0.701	0.503
Subjective eye fatigue (7 point scale)	2.967	1.356	2.408	0.185	0.802	0.446

**$p<0.05$

3.4.2 T-test results of PERCLOS and Saccade duration between male and female at different driving speeds

성별에 따라 눈감은 시간비율(PERCLOS)와 안구도약 지속시간(Saccade duration)에서도 유의미한 차이를 속도 별로 보면 100km/h, 120km/h, 140km/h 즉 모든 속도에서 여성 운전자가 남성 운전자에 비해 눈감은 시간비율이 더 높았다(Figure 8). 한편, Saccade duration에서는 140km/h 속도에서만 남녀 차이가 나타났으며 여성 운전자가 남성 운전자보다 상대적으로 안구운동 지속시간이 긴 경향성을 보였다(Figure 9). 자세한 결과는 Table 10과 같다.



(a) PERCLOS (b) Saccade duration

Figure 8. Significantly different dynamics of eye movement between male and female subjects for driving speeds (**$p<.05$)

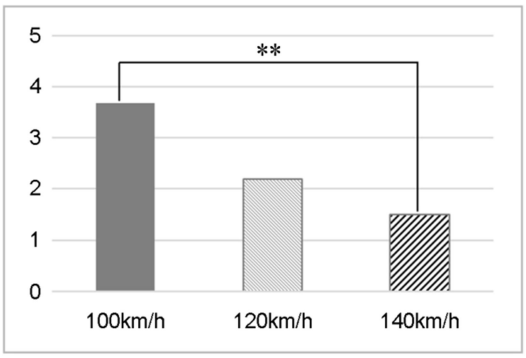


Figure 9. Saccade duration results of male subjects at different speed (**p<.05)

Table 10. T-test results between male and female at different driving speeds

Parameter	Driving speed	Male (N=6)		Female (N=4)		t	p-value
		Mean	SD	Mean	SD		
PERCLOS (%)	100km/h	3.675	1.644	7.579	3.350	-2.490	0.037**
	120km/h	2.196	2.068	5.174	1.787	-2.345	0.047**
	140km/h	1.503	1.177	4.016	1.982	-2.545	0.034**
Saccade duration (ms)	100km/h	41.789	12.451	45.421	13.104	-0.443	0.670
	120km/h	34.583	7.937	39.180	6.228	-0.970	0.360
	140km/h	42.593	6.144	57.082	7.039	-3.457	0.009***

**p<0.05, ***p<0.01

4. Discussion

본 연구에서는 고속 주행 상황(100km/h, 120km/h, 140km/h)에서 속도 변화에 따른 근긴장도(RMS), 눈감은 시간비율(PERCLOS), 안구도약 지속시간(Saccade Duration) 그리고 주관적 피로도의 차이를 분석하였다. 또한 상관분석을 통하여 부위별 근긴장도의 상관관계와 주관적 피로도 설문 간의 상관관계에 대해 분석하였다. 더불어 특정 변수에 대해 성별에 따른 통계분석을 진행하였다. 본 연구의 시사점은 다음과 같다.

첫째, 주행속도에 따른 부위별 근긴장도(RMS)에 관해서는 속도의 변화에 따라, 좌우 대흉근 부위에서 유의미한 차이를 확인하였다. 우측 대흉근 부위의 근긴장도는 주행속도가 빨라질수록 꾸준히 근긴장도가 증가했다. 좌측 대흉근 부위에서는 120km/h 비해 140km/h에서 근긴장도가 증가한다는 결과가 나타났다. 이는 1차적으로 스티어링에 필요한 추가적인 힘을 실험참가자의 주 팔로 감당을 하다가 속도가 더 빨라지면 좌우 팔의 근육을 동시에 사용하고 있다고 추정할 수 있다. 안구운동에 관해서는 PERCLOS가 주행속도 증가에 따라 꾸준히 감소하는 것을 관찰했다. 이는 속도 증가에 따라 실험참가자가 시뮬레이터 화면에 더 집중하면서 연속적 주시도가 높아진 것으로, 전체적인 시각적 긴장도와 각성이 높아졌다고 볼 수 있다. 이는 비교적 짧은 실험 주행시간(30분)에 관찰된 현상으로 실제 고속도로에서 주행시간이 길어지게 된다면 운전자는 안구피로가 증가시키는 원인이 될 수 있다 있다고 예상할 수 있다. Saccade duration은 120km/h부터 증가되기 시작하는데 이는 주변 시야의 활동이 활발해진 증거이다. 주변에 대한 스캔의 양이 많아진 것이 도로와 환경에 대한 것인지 주변 차량에 대한 것인지는 추가적인 분석이 필요하다. 주관적 근피로도 설문에서는 유의미한 차이를 확인할 수 없었는데, 이는 실제 운전에 비해 상대적으로 짧은 주행 테스트의 영향일 가능성도 있다. Sjøgaard et al. (1986)의 연구에 따르면 이는 실험참가자가 실제 피로를 느낄 수 있는 주관적 한계값(threshold)까지 도달하지 못한 것으로 해석할 수 있다.

둘째, 상관관계 분석에서는 실험참가자들의 주요 변수 간 상관관계 분석 결과, 우측 대흉근과 우측 중간삼각근 간의 강한 양의 상관관계와 좌측 대흉근과 좌측 삼각근 간의 약한 양의 상관관계가 나타났다. 이는 스티어링을 조작하는 과정에서 적정한 힘(activation)을 얻기 위한 주변 근육 간의 협조(muscle synergy)가 일어난 현상으로 보인다. 다른 한편으로는 Prilutsky (2000)의 연구에서도 언급한 관절(joint)를 중심으로 특정한 운동동작(motor control)을 만들어내기 위한 주변 근육(Adjacent Muscle) 간의 근육 협응(muscle coordination)으로 해석할 여지도 있다. 또한 좌우 대흉근에서는 나타나지 않은 좌측 승모근과 우측 승모근 간의 약한 양의 상관관계를 확인했다. 이는 스티어링을 잡고 있는 자세가 좌우 승모근의 긴장을 동시에 유발시켰다고 해석된다.

셋째, 성별에 따른 통계분석을 진행하였다. 남녀의 차이는 안구운동에서만 관찰되었다. PERCLOS의 경우 모든 속도에서 남녀 간의 차이가 있었고, 속도가 증가됨에 따라 눈 깜박거림이 줄어드는 비율도 남성의 경우가 더 강하게 나타났다. 이는 남성 운전자가 속도 증가에 더 민감하게 반응한다는 것을 의미하고, 더 적극적으로 전방 주시 강도를 높이고 있다고 해석된다. 즉, 속도 증가에 따른 시각각성(vigilence)의 정도가 남성이 여성에 비해 높게 나타났다고 판단된다. Saccade duration의 경우는 140km/s에서만 남녀 차이가 나타났다. 이는 초고속 운전의 경우 여성 운전자가 남성에 비해 주변을 스캔하는데 더 많은 시간을 할당하는 것을 의미한다. 이 현상은 속도 별로 분석하면 140km/h일 때 유의하게 나타나고, 여성이 남성에 비해 34% 정도 saccade duration이 큰 것을 볼 수 있다. 이는 성별에 따른 운전 수행방법의 차이가 있을 수 있다는 가정을 해볼 수 있고 추가적인 검증이 필요하다. 현재 남녀 실험참가자의 수가 매우 제한적이므로 본 연구 결과로는 전체적인 경향성을 추정할 뿐이나, 다양한 환경에서 충분한 수의 실험참가자를 대상으로 실험이 이루어진다면 유의미한 결론이 나올 수 있을 것으로 기대된다.

넷째, 본 연구는 고속 주행 시 고속도로의 완만한 횡단경사를 가진 트랙을 사용하여 같은 주행을 긴장감 있게 반복하게 함으로써, 운전 시 근육과 눈의 작업 부하(workload)를 짧은 시간에 극대화하려고 하였다. 그러나 다양한 실제 운전 상황을 포함하지 못한 점이 있어, 시뮬레이션 주행을 하는 경우 발생할 수 있는 실험적 한계를 가지고 있다. 그러나 본 연구는 운전자의 신체 반응의 변화를 속도에 따라 상대적으로 관찰하고 120Km/h 이상의 주행이 신체에 미치는 영향을 가능한 객관적인 지표로 관찰하고 정량적 데이터를 축적하여 운전자의 심리생리변화를 구체적으로 서술하였다는 데서 본 연구의 의미가 있다고 할 수 있다.

본 연구의 결과를 통하여 고속 주행 상황에서 100km/h, 120km/h, 140km/h로 속도가 증가할수록 운전자의 근피로도나 안구 긴장도의 변화가 발생하는지를 확인할 수 있었다. 이는 기존 연구에서 나타난 주행속도 상향에 따른 피로 증가 경향성과의 다를 바 없으나(Oh et al., 2008; Kim et al., 2003), 근육의 긴장도와 시각적 피로도를 동시에 측정하였고, 발생한 신체 변화를 정량적인 파라메터로 보고하였다는 데서 본 연구의 의의가 있다고 판단된다. 특히 140km/h 조건에서 확연히 관찰되는 운전자의 신체적 변화를 고려할 때, 향후 125, 130, 135km/h에서의 변화를 집중적으로 관찰하는 것도 매우 중요한 주제라고 판단된다. 또한 여성 운전자의 사회 심리적 특성과 신체적 특성을 동시에 고려하여 장시간 고속 주행이 이루어질 때 발생하는 성별에 따른 운전자의 피로도 추이를 분석하는 연구도 필요하다고 판단된다.

5. Conclusion

본 연구는 가상적인 고속 트랙 주행 상황에서 속도 변화에 따른 신체 변화를 관찰하기 위하여 100km/h, 120km/h, 140km/h 속도에서 부위별 근긴장도(RMS), 눈감은 시간비율(PERCLOS), 안구도약 지속시간(Saccade Duration) 및 주관적 피로도를 측정하고 분석하였다. 또한 추가적으로 성별 간의 차이를 조사하였다. 그 결과 속도 증가에 따라 좌우 대흉근 근긴장도와 PERCLO, saccade duration과 같은 안구 긴장도에서 변화가 관찰되었고 이는 운전에 주로 사용하는 부위의 근긴장도와 전방 주시 긴장도가 유의미하게 증가한 것을 관찰하였다. 이러한 성향은 특히 남성 운전자에게 보다 유의하게 나타난 경향을 보였고, 성별의 차이에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 본 연구는 시뮬레이션 상황에서 수행되어 실험적 한계를 가지고 있으나, 고속 주행 시 운전자가 경험하는 신체적 변화에 대한 객관적인 데이터를 확보하였다는데 의의가 있다. 향후 신체 변화에 민감한 속도 구간, 즉 125~135km/h를 포함한 다양한 주행 환경에 대한 추가적인 연구가 이루어진다면, 고속도로 속도제한 상향 조정이 필요할 경우, 인적 요인을 고려하기 위한 의미있는 정량적 데이터를 제공할 수 있을 것으로 기대한다.

Acknowledgement

이 논문은 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2022-00155885, 인공지능융합혁신인재양성(한양대학교 ERICA)).

References

Choi, J., Jeong, S., Kim, J., Kim, T. and Shin, J., A Study on Driver Perception-Reaction Time in High-Speed Driving Situations, International Journal of Highway Engineering, *International Journal of Highway Engineering*, 107-119, 2017.

Di Stasi, L.L., Renner, R., Catena, A., Cañas, J.J., Velichkovsky, B.M. and Pannasch, S., Towards a driver fatigue test based on the saccadic main sequence: A partial validation by subjective report data, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 21(1), 122-133, 2012.

Godley, S.T., Triggs, T.J. and Fildes, B.N., Driving simulator validation for speed research, *Accident Analysis & Prevention*, 34(5), 589-600, 2002.

Hault-Dubrulle, A., Robache, F., Pacaux, M.P. and Morvan, H., Determination of pre-impact occupant postures and analysis of consequences on injury outcome. Part I: A driving simulator study, *Accident Analysis & Prevention*, 43(1), 66-74, 2011.

Hussain, Q., Alhajyaseen, W.K., Pirdavani, A., Reinolsmann, N., Brijs, K. and Brijs, T., Speed perception and actual speed in a driving simulator and real-world: A validation study, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 62, 637-650, 2019.

International Traffic Safety Data and Analysis Group (IRTAD), Road safety annual report 2020, *International Traffic Safety Data and Analysis Group*, 2020.

Jagannath, M. and Balasubramanian, V., Assessment of early onset of driver fatigue using multimodal fatigue measures in a static simulator. *Applied Ergonomics*, 45(4), 1140-1147, 2014.

Jeong, C.W., A study on the influencing factors of the main causes of highway traffic accidents, *Police Studies*, 7(1), 221-247, 2007.

Jeong, S.C., Min, B.C., Kim, Y., Shin, M.J. and Kim, C.J., A study on the measurement of driver's emotion according to speed change in image simulator, *Emotional Science*, 103-112, 2000.

Kim, J.Y. and Yoon, S.Y., The Study to Diagnose the Road-Driver Compatibility I: Comparison of Methods for Bio-Signal Analysis, *Journal of Korean Institute of Industrial Engineers*, 30(1), 44-49, 2004a.

Kim, J.Y. and Yoon, S.Y., The Study to Diagnose the Road-Driver Compatibility III: Development and Validation of Diagnostic Model, *Journal of Korean Institute of Industrial Engineers*, 30(1), 58-64, 2004b.

Kim, J.Y., Park, J.S. and Yoon, S.Y., Assessment of Driver's Emotional Stability by Using Bio-signals, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 30(1), 203-211, 2011.

Kim, J.Y., Yoon, S.Y. and Park, J.S., The Study to Diagnose the Road-Driver Compatibility II: Data Collection, Variable Selection and

Parameter Quantification, *Journal of Korean Institute of Industrial Engineers*, 20(1), 50-57, 2004a.

Kim, J.Y., Whang, M.C., Park, J.S. and Yoon, S.Y., Analysis of Optimal and Pleasant Driving Condition using Physiological Signals, *Korean Journal of the Science of Emotion & Sensibility*, 7(3), 27-35, 2004b.

Kim, J.W., Biomechanical Analysis of the Effectiveness of a Newly Designed Moving Seat Pan (Doctoral dissertation, Hanyang University), 2021.

Kim, M., Kang, Y. and Abu Bakar, S., A nightscape preference study using eye movement analysis. *ALAM CIPTA*, 6(2), 85-99, 2013.

Kim, T.W., Gong, S.J., Park, J.C., Jeon, H.Y., Song, J.H. and Chae, W.S., Electromyography analysis, 2013.

Kim, Y.S. and Jo, W.B., A study on the relationship between road design speed, driving speed, and speed limit, *Journal of the Korean Transportation Society*, 23(7), 35-42, 2005.

Korea Highway Corporation, Driver Behavior and Reaction Detection Vehicle Improvement Study, *Korea Highway Corporation Road Research Institute*, 47(7), 69, 1999.

Koroad Home Page, https://www.koroad.or.kr (retrieved May 21, 2012).

Lecocq, M., Lantoine, P., Bougard, C., Allègre, J.M., Bauvineau, L., Bourdin, C. and Dousset, E., Neuromuscular fatigue profiles depends on seat feature during long duration driving on a static simulator, *Applied Ergonomics*, 87, 103118, 2020.

Lee, H.C., Lee, A.H., Cameron, D. and Li-Tsang, C., Using a driving simulator to identify older drivers at inflated risk of motor vehicle crashes. *Journal of Safety Research*, 34(4), 453-459, 2003.

Lee, S.H., Kim, L.J., Ko, J.B., Oh, J.H. and Yoo, H.C., Analysis of driver fatigue during actual vehicle driving using driver's bio-signals and vehicle driving information, *Proceedings of the Korean Society of Ergonomics Conference*, 243-243, 2018.

Lee, Y.J., Analysis of user performance and eye fatigue according to refresh rate change and screen movement in FPS game environment (Doctoral dissertation, Hanyang University), 2019.

Li, J., Zhao, X., Xu, S., Ma, J. and Rong, J., The study of driving simulator validation for physiological signal measures, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 96, 2572-2583, 2013.

Lim, J.B., Lee, S.B., Joo, S.G. and Shin, J.S., Anxiety EEG analysis by driving speed on different design speed roads, *Proceedings of the Korean Society of Civil Engineers*, 2049-2053, 2013.

Ministry of Legislation Home Page, http://www.easylaw.go.kr (retrieved August 15, 2021)

Oh, J.T., Lee, S.Y. and Kim, Y.S., Analysis of vehicle control ability and PERCLOS according to normal and fatigued driving, *Journal of the Korean Road Society*, 10(4), 127-138, 2008.

Perron, T., Kassaagi, M. and Brissart, G., Active safety experiments with common drivers for the specification of active safety systems (No. 2001-06-0004), *SAE Technical Paper*, 11, 2001.

Prilutsky, B.L., Coordination of two-and one-joint muscles: functional consequences and implications for motor control, *Motor Control*, 4(1), 1-44, 2000.

Sjøgaard, G., Kiens, B., Jørgensen, K. and Saltin, B., Intramuscular pressure, EMG and blood flow during low-level prolonged static contraction in man, *Acta Physiologica Scandinavica*, 128(3), 475-484, 1986.

Törnros, J., Effect of driving speed on reaction time during motorway driving, *Accident Analysis & Prevention*, 435-442, 27(4), 1995.

Author listings

Ju Eun Shin: wn8952@hanyang.ac.kr
Highest degree: Bachelor's degree, Department of Industrial & Management Engineering, Hanyang University
Position title: Undergrad. Student, Department of Human Computer Interaction, Hanyang University
Areas of interest: Human-computer Interaction, Physical User Interface (PUI) Product Design, Diagnosis and Prevention of Musculoskeletal Diseases, UX research and Design, DVI Design and Evaluation of Autonomous Car

Jung Yong Kim: jungkim@hanyang.ac.kr
Highest degree: PhD, IWSE (Industrial, Welding and Systems Engineering), Ohio State University
Position title: Professor, the Division of Media, Culture, and Design Technology, Hanyang University
Areas of interest: Human-computer Interaction, Psychophysiology, Physical User Interface (PUI) Product Design, Diagnosis and Prevention of Musculoskeletal Diseases, DVI Design and Evaluation of Autonomous Car