

고령운전자의 고속도로 주행행태 및 작업부하 특성 분석

오민수¹ · 장지용² · 오철^{3*} · 한근수⁴

¹한양대학교 교통·물류공학과 석사, ²한양대학교 교통·물류공학과 박사과정, ³한양대학교 교통·물류공학과 교수, ⁴대구경북연구원 미래전략연구실 연구위원

Analysis of Driving Behavior and Workload of Elderly Drivers on Freeways

OH, Minsoo¹ · JANG, Jiyong² · OH, Cheol^{3*} · HAN, Keunsoo⁴

¹Master of Science, Department of Transportation & Logistics Engineering, Hanyang University, Gyeonggi 15588, Korea

²Ph.D. Student, Department of Transportation & Logistics Engineering, Hanyang University, Gyeonggi 15588, Korea

³Professor, Department of Transportation & Logistics Engineering, Hanyang University, Gyeonggi 15588, Korea

⁴Research Fellow, Department of Future Strategies Research, Daegu Gyeongbuk Development Institute, Daegu 42429, Korea

*Corresponding author: cheolo@hanyang.ac.kr

Abstract

The aging problem is a significant issue in terms of overall aspects of society, and the need for making traffic safety policies is of keen interest because the increase in elderly drivers may have an impact on traffic safety. Therefore, the primary purpose of this study was to identify the characteristics of elderly drivers' driving behaviors on freeways and to evaluate the workload of elderly drivers. The driving behavior of subjects was evaluated by utilizing the trajectory data obtained from driving simulation experiments. In addition, the workload of subjects was estimated based on the ratio of beta waves to entire brain waves, which were collected while the participants were conducting the driving experiment. As a result, the average of elderly drivers' speed was lower by 6% than non-elderly drivers. However, the average of the standard deviation of elderly drivers' speed, which is a measure of effectiveness to represent the longitudinal driving stability, was higher about 25% than non-elderly drivers. Moreover, the average of the standard deviation of the lane position of elderly drivers on freeways, which indicates how they are stable on lateral driving, was higher about 31% compared to non-elderly drivers. Besides, the amount of beta wave of elderly drivers, which shows a driver's psychological workload, was higher about 11% than non-elderly drivers. This study is expected to be utilized as a fundamental data when policies for elderly drivers are established in order to improve traffic safety in the aging society.

Keywords: driving behavior, driving simulation, elderly drivers, freeway, workload

초록

고령화는 사회 모든 측면에서 이슈이고 특히 도로교통 측면에서 고령운전자의 비율 증대는 교통안전에 밀접한 영향을 미치므로 이에 대응하기 위한 교통안전정책 수립의 필요성이 제기

ARTICLE HISTORY

Received: 13 February 2020

Revised: 21 March 2020

Accepted: 6 May 2020

Copyright ©
Korean Society of Transportation

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License

(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

되고 있다. 본 연구의 목적은 고속도로의 기본구간(본선) 및 연결로, 터널 구간을 대상으로 비고령운전자와 고령운전자간의 주행행태 및 작업부하를 비교·분석하는 것이다. 주행 시뮬레이터를 활용하여 주행 궤적과 뇌파 자료를 수집하였고 속도, 차로편측위치 표준편차 등을 주행 안정성 평가지표로 선정하였으며 뇌파 중 베타파를 운전자 작업부하 평가지표로 선정하였다. 분석 결과, 고령운전자의 평균주행속도는 대체적으로 비고령운전자 대비 약 6% 낮게 나타났음에도 종방향 주행 안정성 평가지표인 속도 표준편차와 횡방향 주행 안정성 평가지표인 차로편측위치 표준편차는 고령운전자가 각각 25%, 31% 높게 나타났다. 또한 심리적 작업부하 평가지표인 베타파 발생 비율은 고령운전자가 비고령운전자 대비 약 11% 높게 나타났다. 이는 고령운전자가 비고령운전자에 비해 평균주행속도가 낮음에도 불구하고 고속 주행환경에서 도로기하구조 변화에 따른 차로 유지 능력이 낮고 상대적으로 심리적 작업부하가 높음을 의미한다. 본 연구의 결과는 고령운전자 증가에 대비하여 교통안전 향상을 위한 정책 수립 시 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

주요어: 주행행태, 주행 시뮬레이션, 고령운전자, 고속도로, 작업부하

서론

우리나라는 급격한 고령화로 인하여 2018년 고령인구 비율이 14%가 넘어 고령사회로 진입하였고 2025년 고령인구 비율 20.3%, 2067년 46.5%가 될 것으로 예측된다(KOSTAT, 2019). 고령화 현상을 교통 측면에서 살펴보면, 고령자 운전면허 보유 비율은 2014년 7.0%에서 2018년 9.5%로 증가하여 고령운전자의 수가 급격하게 증가하는 추세에 있고 최근 10년간 고령운전자에 의한 사고건수와 부상자수는 연평균 4.5%, 4.8% 증가하여 고령운전자 안전 운전 문제가 사회적으로 대두되고 있다(KoROAD, 2019). 따라서 단기적인 측면에서 급증하는 고령운전자 사고건수 및 사망자수 증가 추세를 완화를 위한 대책 마련과 중·장기적인 측면에서 고령운전자를 위한 지속가능한 교통안전 정책 수립의 필요성이 제기되고 있다.

고령운전자를 위한 정책을 수립하기 위해서는 다양한 도로 환경에서 고령운전자의 주행행태 및 사고 특성에 대한 분석이 선행되어야 한다. 운전자의 주행행태 및 사고 특성 분석을 위한 최적의 방법은 실제 환경에서 고령운전자를 대상으로 주행실험을 하는 것이지만, 실제 도로에서 실험을 수행하면 교통사고 발생 개연성이 존재하기 때문에 안전성을 담보할 수 없다. 이에 따라, 본 연구에서는 현장 실험의 제약 사항을 극복하기 위하여 주행 시뮬레이터를 이용한 분석 방식을 채택하였다. 주행 시뮬레이션으로부터 수집된 차량 주행궤적자료를 기반으로 속도, 가·감속도 등 운전자의 주행 특성을 도출하였으며, 이와 동시에 운전자의 작업부하를 측정하기 위하여 뇌파 중 주행심리와 관련된 베타파(β)를 측정하였다. 고속도로 구간은 본선, 연결로, 터널 구간으로 구분하였고, 각각 고령운전자/비고령자 운전자 집단 간의 비교를 통해 고령자운전자 집단의 주행행태 특성 및 작업부하 특성을 평가하였다. 이를 통해 고속도로 내 다양한 도로기하구조에서 고령운전자 집단이 보이는 주행행태를 분석하고 작업부하를 측정하여 고령운전자를 위한 정책 및 대응 방안 마련을 위한 기반 연구를 수행하였다. 또한 연구의 결과를 바탕으로 향후 고령화 사회에서 고령운전자를 위한 대처 방안을 도로 기하구조적인 측면, 정책적인 측면에서 제시하였다. 본 연구의 결과는 향후 고령운전자 도로안전 정책 수립 및 연구에 활용되기 위한 기초 연구 자료로 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

기존문헌고찰

본 연구는 고령운전자의 주행 특성 파악하고 작업부하를 추정하여 고령화 사회에서 고령운전자를 위해 고려되어야 할 도로기하구조 측면과 정책적인 측면에서 제언하고자 한다. 따라서 논문 작성을 위한 기존 문헌 조사는 고령운전자의 주행 및 작업부하 특성 파악을 위한 주행 시뮬레이션 활용 연구 및 고령운전자 사고 특성 관련 연구를 대상으로 실시하였다.

1. 고령운전자 사고 특성 연구

기존 연구를 살펴보면 일반운전자 대비 고령운전자의 사고 발생률과 사고 심각도가 높은 것으로 나타난다. Hing et al.(2003)은 고령운전자 연령대별 운전자 부주의 사고 대비 전체 운전자 부주의 사고 백분율을 정의하였고 이를 기반으로 상대적 사고 발생 비율 지표(Relative Accident Involvement Ratio)를 개발하였다. 75세 이상 고령운전자 집단의 상대적 사고 발생 비율 값이 65-74세 집단의 값보다 0.8 높게 측정되어 75세 이상의 고령운전자가 교통사고를 유발할 가능성이 높은 것으로 판단하였다. 또한 Rakotonirainy et al.(2012)은 2000년부터 8년간 65세 이상 운전자의 사상사고 성향을 분석하였다. 60대 운전자의 사상사고는 교차로에서 주로 발생하였으며 원인은 피로와 음주로 나타났다. 또한 70대 운전자 집단의 사고는 'Stop and Go' 표지판이 있는 구간에서 교통사고 발생 비율이 가장 높았으며, 80대 운전자 집단은 사고 유형과 상관없이 고령운전자 집단 중 사상자 발생 비율이 가장 높은 것으로 나타났다. 고령운전자의 사고는 주로 교차로 부근에서 대거 발생하였으며 연령 구간별로 사고의 유형 차이가 있기 때문에 고령운전자 집단별 안전성 증진을 위한 정책 마련이 필요하다는 점을 강조하였다. Mullen et al.(2013)은 1975년부터 2008년까지의 사고이력자료를 기반으로 2025년까지 고령운전자 연령 구간별 사망자 발생 건수를 함수식을 이용하여 모델링하였다. 80대 이상 고령운전자 집단의 사상사고는 지속적으로 증가하는 것으로 추정되었으며 향후 이를 방지하기 위한 방안 모색이 중요하다고 판단하였다. 더욱이 Centers for Disease Control and Prevention(2015)에서는 75-79세 운전자 집단에서 교통사고 사망자가 급격히 증가하고 있으며, 85세 이상의 고령운전자 사상사고 증가가 가장 높게 나타나는 것으로 추정하였다. 고령운전자 집단의 사상사고 증가의 원인은 고령화로 인한 신체 능력의 쇠퇴와 인지 능력 저하 등으로 나타났다. Lim et al.(2012)은 국내 고령운전자 운전 및 신체적 특성 자료를 수집하여 교통사고 분석 모델을 개발하였다. 고령운전자의 경우 속도 예측, 주의 전환, 인지능력 등이 사고 발생에 영향을 미치는 요인으로 나타났다. 특히 Choi(2018)는 우리나라의 인구 구조가 빠르게 고령화 될 것으로 예측하며, 공공안전성 측면에서 고령운전자 교통사고 사상자 수 감소를 위하여 면허관리, 안전교육 등의 강화 필요성을 제기하였으며, 자동차 첨단 운전자 보조시스템(Advanced Driver Assistance System)의 적용을 고령운전자의 안전성 향상 대책으로 제시하였다.

고령운전자 관련 연구를 고찰한 결과, 고령운전자 관련 연구는 사고 자료를 이용한 원인 분석 및 사고 예측이 주축을 이루는 것으로 나타났다. 이를 바탕으로 고령운전자의 도로 주행이 사고 발생 개연성을 높이고 사고 발생 시 사고 심각도가 높아 교통 안전성에 부정적인 영향을 미치는 사실을 확인하였다.

2. 주행 시뮬레이션을 이용한 주행 및 작업부하 특성 분석 연구

주행 시뮬레이션은 현장 주행실험과 비교 시 안전하고 경제적이며 도로기하구조나 교통 상황, 그리고 날씨 요소를 조절한 다양한 교통 환경 구현이 가능하기 때문에 운전자의 주행행태를 평가하기 위한 도구로 각광받고 있다(Risto and Martens, 2014). 최근 주행 시뮬레이션을 이용한 연구는 국내·외에서 다양하게 수행되었다. 특히 운전자의 주행행태 파악을 위한 연구로 Kim et al.(2018)은 피실험자 32명을 모집하여 운전자 공격운전 주행패턴을 검지하고자 하였으며 Erratic Driving Index (EDI)를 개발하여 공격 운전 검지에 활용하였다. 또한 Hwang et al.(2019)은 터널 내 갓길차로에서의 주행 안정성을 평가하기 위해 주행 시뮬레이터를 이용하였고 뇌파를 측정하여 운전자의 뇌 기능 상태를 파악하고자 하였다. 해당 연구에서는 비고령운전자 25명, 고령운전자 22명(65세 이상), 총 47명을 피실험자로 모집하였다. 또한 Jang and Oh(2014)는 차내 경고정보시스템 효과평가를 위하여 주행 시뮬레이션을 이용한 연구를 수행하였으며, 피실험자를 6명을 두 개 집단으로 나누어 비교·평가하였다. Lee and Lim(2019)은 2+1도로의 효과평가를 수행하기 위해 30명의 피실험자를 대상으로 실험하였으며 65세 이상 피실험자의 시뮬레이터 적응성을 고려하여 55세 이상을 고령자로 설정하였다. 또한 EEGs (Electroencephalograms)를 이용하여 운전자의 스트레스, 작업부하, 그리고 불편함을 평가하였다. Suh et al.(2017)은 군집주행 환경에서 비자율차량의 반응행태를 분석하고,

운전자의 작업부하를 측정하기 위하여 60명의 피실험자를 모집하여 실험하였다. 비자율차량의 종방향 주행안전성을 평가하기 위한 평가지표로 평균속도와 가속소음(가속도의 표준편차)을 이용하였으며 운전자의 작업부하는 NASA-TLX 분석을 기반으로 결과를 제시하였다. 더욱이 Lee et al.(2018)은 주행 시뮬레이션을 이용하여 피실험자 30명을 대상으로 군집주행 환경에서 운전자의 차로변경 특성을 분석하였다. 군집주행 환경에서 운전자는 차로변경 시 조향각이 크고 조향 속도가 높은 과격한 주행행태를 보이는 것으로 나타났으며, 분석 결과를 바탕으로 군집주행 환경을 대비한 새로운 교통 운영 관리 전략의 필요성을 주장하였다. Erkuş and Özkan(2019)은 젊은 운전자 스스로 인지하는 운전 실력과 실제 운전행태 간 차이를 비교하였다. 특히 동일 나이의 택시 운전자와 개인 차량 운전자 간 유사점과 차이점을 80명의 피실험자를 대상으로 분석하였다. 주행 시뮬레이션을 이용한 작업부하 특성 분석 측면에서 Kar et al.(2010)은 EEGs 신호를 이용하여 5가지 효과척도를 계산하였고 운전 중 피로도의 양을 상대적으로 정량화하는 방법을 제안하였다. 운전자의 피로도 수준을 추정하는 방법론 개발을 위해 알파파의 상대값과 알파파, 베타파, 델타(δ)파 비율, 엔트로피 값을 이용하였으며, 데이터는 가상주행실험과 실차실험을 통해 수집하였고, 설문조사를 통해 주관적인 운전자의 피로도를 평가하였다. 제시한 5가지의 효과척도 값은 운전자 피로도의 단계가 높을수록 증가하는 것으로 나타났다. Rossi et al.(2011)은 주행 시뮬레이터를 운전자의 피로가 주행 행태에 미치는 영향을 분석하였다. 10명의 피실험자를 모집하여 다양한 시간대에서 주행 실험에 참여하도록 연구를 설계하였으며 조향오차 절대 값의 평균(Mean of Absolute Steering Error, MASE)과 차로편측위치 표준편차(Standard Deviation of Lateral Position, SDLP)를 이용하였고, 각 효과척도의 값이 증가할수록 주행안정성은 감소되는 것으로 나타났다. Gillberg et al.(1996)은 트럭 시뮬레이터를 이용하여 트럭운전자들의 졸음도와 주행 능력을 낮과 밤 환경에서 비교하였다. 9명의 피실험자를 대상으로 실험하였으며 졸음도는 알파파, 세타파, 눈 깜빡임을 이용하여 측정하였고 주행 특성은 평균 속도, 속도 표준편차, 차로편측위치 표준편차를 평가지표로 선정하였다. 평균 주행속도가 낮음에도 불구하고 속도의 표준편차, 차로편측위치의 표준편차 값이 높은 경우 운전자의 주행안정성이 낮은 것으로 나타났다.

주행 시뮬레이션 관련 연구를 고찰한 결과, 주행 시뮬레이션은 도로기하구조에 따른 운전자 주행 특성 분석이나 자율주행 및 군집주행 등 미래 교통 환경에서의 운전자 주행 및 작업부하에서 분석 시 활용도가 높은 것으로 판단된다. 특히 주행 시뮬레이션 실험 시, EEGs와 같은 생체 신호 검측 장비가 활용된다면 운전자의 주행 특성뿐 아니라 운전자의 심리적 부하까지 동시에 측정 가능한 것으로 판단된다. 또한 주행 시뮬레이션을 활용한 연구 사례별로 피실험자 표본수가 상이한 것으로 나타났으며, 피실험자의 주행 시뮬레이션 적응 문제를 원인으로 고령자 나이 기준을 유연하게 적용하였다.

3. 기존 연구와의 차별성

고령운전자 주행 특성 관련 연구에서는 기존 사고 자료를 활용한 사고 원인 파악이 중점적으로 수행되었다. 또한 주행 시뮬레이션을 이용한 다수의 연구에서는 주로 도로기하구조나 새로운 교통 환경이 운전자에게 미치는 영향 분석이 수행된 것으로 확인되었다. 그러나 교통사고 발생의 기저가 되는 고령운전자의 주행행태나 심리적 작업부하 분석을 통한 고령운전자 특성 파악을 목적으로 한 연구 사례는 부족한 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 고속도로 주행 환경에 대한 전반적인 고령운전자의 주행행태 및 작업부하 특성 파악을 목적으로 고속도로 본선, 연결로, 터널부 등을 포함한 주행 시뮬레이션 네트워크를 구현하였고, 도로기하구조에 따른 고령운전자 주행 및 작업부하 특성의 차이를 비고령운전자와 비교하여 평가하였다. 본 연구에서 도출된 고령운전자의 주행특성 및 작업부하 특성은 향후 고령화 사회를 대비한 정책 및 대책 마련의 기초 자료로 활용 가능할 것으로 기대된다.

방법론

본 연구에서는 고령운전자의 고속도로 내 주행행태 및 작업부하 특성을 분석하기 위하여 주행 시뮬레이터를 이용한 가상주행실험을 수행하였다. 가상주행실험은 고속도로 내 다양한 기하구조를 포함하기 위하여 본선, 연결로, 터널로 구분하여 시뮬레이션 네트워크를 제작하였다. 주행 시뮬레이션을 이용하여 주행행태 분석을 위한 차량의 주행 궤적자료를 수집하였고, 이와 동시에 운전자의 작업부하를 측정하기 위하여 뇌파를 측정하였다. 이후 수집된 자료를 기반으로 고령운전자와 비고령운전자 간의 비교를 수행하여 고령자 집단의 주행 특성 및 작업부하 특성을 정의하였고 이에 따른 문제점과 대처 방안에 대하여 제시하였다. 본 연구의 흐름도는 Figure 1에 제시하였다.

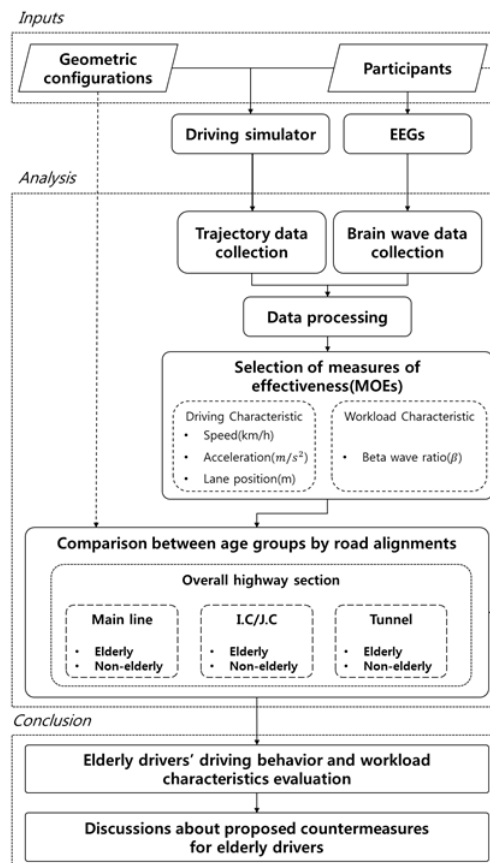


Figure 1. Study framework

1. 자료 수집 처리 과정

가상주행환경 제작 소프트웨어인 UC-win/Road를 이용하여 주행도로를 구현한 후 Figure 2(a)에 제시한 바와 같이 축 모션 기능이 적용되지 않은 소형 주행 시뮬레이터를 이용하여 주행 특성 자료를 수집하였다. 주행 시뮬레이터는 3대의 모니터(120° 시야각), 액셀, 브레이크 페달, 풋레스트, 운전대, 계기판, 기어와 사이드 브레이크를 포함한 콘솔박스가 탑재된 운전석 모듈로 구성되어 있다. 주행 특성 자료는 UC-win/Road로부터 출력되는 로그 데이터를 이용하였고 주행하는 차량을 중심으로 3축 방향의 위치 좌표(Position, m), 속도 벡터(Speed Vector, m/s), 요각(Yaw, radian), 피치각(Pitch, radian), 롤각(Roll, radian), 속도(Speed, km/h), 가속도(Acceleration, m/s^2), 조향(Steering, ratio), 조향각속도(Steering Velocity, ratio), 브레이크(Brake, ratio), 차로편측위치(Lane position, m) 등의 자료를 포함하고 있으며 샘플링 레이트는 10Hz이다. 다양한 지표 중 차량의 종방향 주행 상태를 확인하기 위

하여 속도, 가속도의 값을 평가 지표로 채택하였으며 속도 표준편차와 가속도 표준편차를 산출하여 종방향 주행 안정성을 파악하고자 하였다. 횡방향 주행 안정성을 확인하기 위해 차로편측위치 표준편차 값을 평가 지표로 선정하였다. 차로편측위치(Lane position)란 차로의 중심으로부터 주행차량의 중심까지의 이격거리(Offset)로 정의하며 차로편측위치의 절대값이 증가할수록 주행차량이 한 방향으로 치우쳐 주행하는 것을 의미한다. 차로편측위치 표준편차 증가는 차량이 차로의 중심을 따라 주행하지 못하는 결과로 차로 유지 능력이 저하되는 것을 나타낸다. 즉, 차로편측위치 표준편차가 높아질수록 횡방향 주행 안정성이 낮아지는 것을 의미한다.

본 연구에서는 운전자의 뇌파를 측정하여 작업부하를 추정하고자 하였다. 연구에서 활용한 뇌파 측정 장치는 21 채널의 전극수를 가진 DSI-24(제조사: Wearable Sensing, US)로 샘플링 주기는 300Hz이고 국제 뇌파학회연합에서 권고하는 표준 전극배치법인 10-20법을 적용한 장치이다. 21개 채널 중 2개 채널은 귀 볼에 부착하는 센서로 실제 뇌파를 측정하는데 사용된 전극수는 총 19개 채널이다. 전기신호로 출력되는 뇌파의 원시자료는 전기신호를 분해하여 주파수 대역의 진폭으로 변환한 후 연구 목적에 부합하는 주파수 영역의 뇌파를 추출하는 전처리 과정이 필요하다. 뇌파의 원시자료를 처리하는 방법은 다양한 신호처리 기법이 적용된 오픈소스의 프로그래밍 코드를 사용자의 요구에 맞게 수정하여 활용하거나 특정 분석 소프트웨어를 이용하여 분석을 수행한다. 본 연구에서는 LAXTHA에서 배포한 TELESCAN 소프트웨어를 이용하여 뇌파 원시자료를 처리하였다. 운전자의 심리적 작업부하를 분석하기 위해 운전자의 외적의식을 나타내는 베타파를 수집하였다.

뇌파의 세기는 개인의 특성에 따라 파형 진동 세기와 범위가 상이하기 때문에 뇌파의 절대값을 비교하는 것은 객관적인 비교·분석 방법으로 부적절하다. 뇌파는 종류에 관계없이 두뇌 전 영역에서 산출되므로 각 채널에서 산출되는 알파파, 베타파, 감마파, 세타파 등 전체 뇌파의 총 발생량에 대한 베타파의 발생량 비를 산출하여 운전자의 외적 의식을 분석하였다. 주행실험 시작에 앞서 주행 시뮬레이터와 뇌파 측정 장치에 대한 적응을 위해 사전 주행 연습(30분/인)을 선행하였다. 피실험자에게 뇌파 측정 장치를 장착하고 뇌파 신호의 오차를 최소화하기 위해 센서에서 출력되는 신호의 형태를 관찰하며 센서 위치 및 신체 접촉 상태를 조정하였다(Figure 2(b) 참조). 실험을 통해 수집된 주행 시뮬레이션 자료와 뇌파 자료의 샘플링 레이트가 다르기 때문에 데이터 기준 시간을 맞추기 위하여 주행시간에 대하여 보간하였고, 도로 구간별 산출결과를 비교하기 위해 주행 거리기준으로 데이터 보간을 수행하였다.

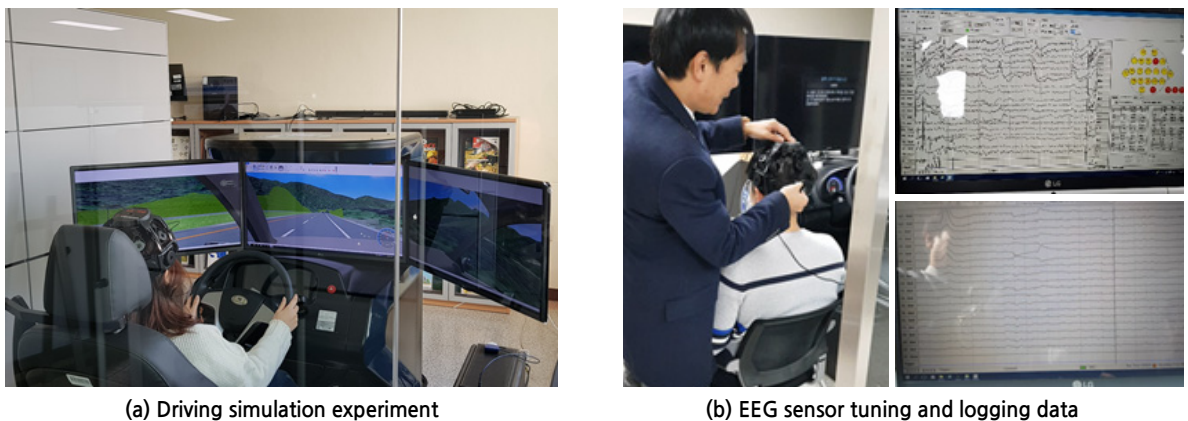


Figure 2. Driving simulation

분석대상 구간인 고속도로 본선, 연결로, 터널 구간에 대한 운전자의 주행특성 및 뇌파자료를 수집하였다. 자료 수집 시 운전자의 주행속도를 기준으로 속도 전처리 과정을 수행하였다. Figure 3에서 제시한 바와 같이 피실험자의 주행 시작점(A)부터 정상적인 고속도로 주행속도 범위 도달지점(B)까지의 속도는 구간별 속도 집계 시 해당 구간의 평균주행속도 하향을 초래할 것으로 판단하여 자료 전처리 과정을 통해 제거하였다. 정상적인 고속도로 주행속도 범위에 도달하는 시점(B)은 피실험자의 주행속도가 평균주행속도에서 1시그마(σ) 낮은 수준에 도달하였을 때 종

료하는 것으로 정의하였으며 기준치 이하의 주행속도 자료를 제거하였다. 수집 자료의 전처리 과정을 Figure 4에 제시하였다. 본 실험에서 운전자 그룹은 고령자와 비고령자로 구분하여 설정하였고, 분석대상 구간별로 개별 피실험자에 대해 평가지표 결과를 산출한 후 Equation 1과 같이 구간별 대표값으로 산정하였다.

$$\bar{x}_s = \frac{1}{m_s} \times \sum_{j=1}^{m_s} \left(\frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} x_{j,i} \right) \tag{1}$$

여기서, \bar{x}_s : 도로 기하구조 s 에서 효과척도 x 의 평균값

m_s : 도로 기하구조 s 의 표본 수

n_j : 표본 j 의 time steps 수

$x_{i,j}$: Time step i 에서 표본 j 의 효과척도 값

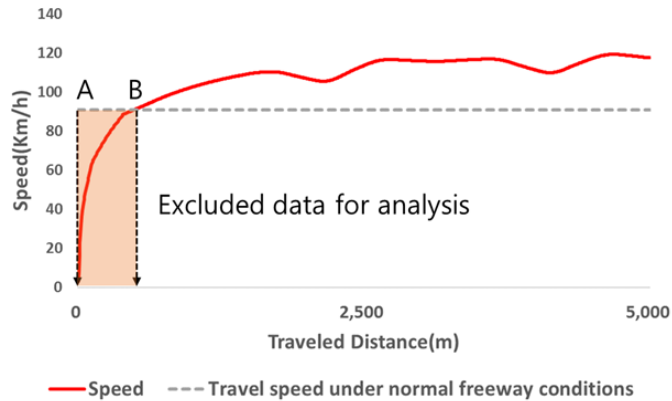


Figure 3. A sample of speed profile

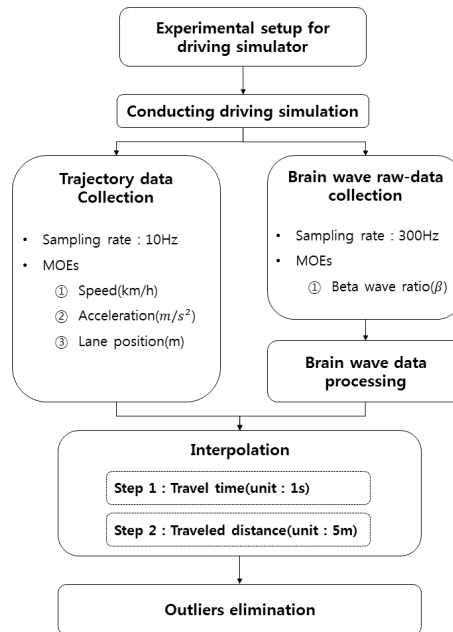


Figure 4. Data processing procedure

2. 시뮬레이션 실험 개요 및 분석 대상 구간 소개

주행 시뮬레이션 실험은 3차례로 나누어 진행하였다. 첫 번째 실험의 대상구간은 고속도로 14호선 함양-창녕구간(9공구)로 설계 단계에서 장대 터널 구간 내의 운전자의 주행행태 및 작업부하를 측정하기 위함을 목적으로 2018년 1월에 수행되었으며, 피실험자 수는 14명으로 실험에 소요된 평균 시간은 약 1시간으로 나타났다. 두 번째로는 새만금 남북도로(2공구) 주행실험을 수행하였으며 설계 수준의 본선 및 연결로에 대한 평가를 목적으로 2018년 4월에 실시되었다. 새만금 남북도로(2공구) 주행실험에 참여한 피실험자 수는 15명으로 실험 시 소요 시간은 평균적으로 약 2시간 소요되었다. 세 번째 실험 대상 구간은 문산-도라산 고속도로 제1공구로 본선 및 복합 연결로 구간에 대한 평가를 목적으로 2019년 8월에 수행되었다. 평균 실험 소요 시간은 약 2시간으로 나타났으며 피실험자 수는 15명 모집되었다. 피실험자는 소셜 네트워크 서비스, 기존의 피실험자 인력풀 등을 이용하여 모집하였으며, 총 44명으로 고령자(60세 이상) 22명, 비고령자(60세 미만) 22명이 실험에 참여하였다. 일반적인 사회 통념상 65세 이상의 인원을 고령자로 구분하나, 본 연구에서는 주행 시뮬레이션 적응 문제로 인하여 60세 이상의 피실험자를 고령자로 설정하였다. 또한 피실험자 집단은 남성 22명, 여성 22명으로 구성되었고 비고령자 집단에는 20대부터 50대까지의 연령대가 포함되었다. 피실험자 연령대 및 성별 특성은 Figure 5에 제시하였다.

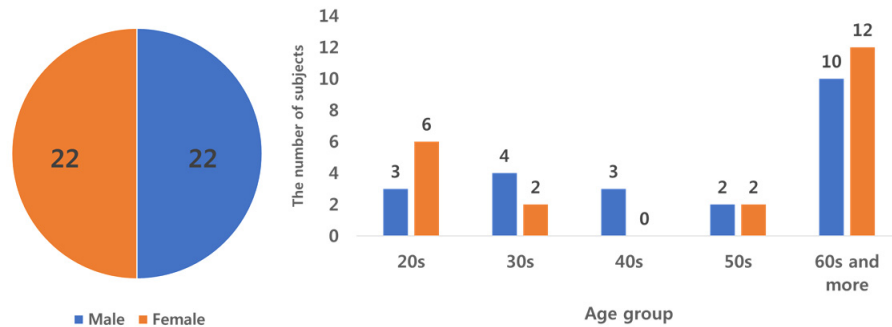


Figure 5. The characteristics of subjects

본 연구에서 실험에 활용한 전체 고속도로 공간적 범위는 3개 구간으로 설정하였다. 첫째, 고속도로 본선 구간 분석 대상지로 새만금 남북도로(일반국도) 2공구(총연장: 10,000m)를 구현하였다. 왕복 6차로의 도로이며 직선구간으로 이루어져 있다. 또한 문산-도라산 고속도로의 본선 네트워크를 활용하였으며 총연장은 14,000m로 왕복 4차로이다. 둘째, 고속도로 램프 유형별 분석을 수행하기 위하여 새만금 남북도로(일반국도) 2공구 구현 시 다이아몬드형, 트럼펫형, 준직결형, 회전교차로 형식으로 4가지 유형을 포함하여 구현하였다. 또한 문산-도라산 고속도로 구간에서 평면교차와 입체교차가 포함된 2가지 구간으로 구성하였다. 마지막으로 터널 구간 구현 범위는 고속도로 14호선 함양-창녕구간(9공구)로 설정하였다. 해당 구간은 연속터널 구간을 포함한 진입부, 터널 내부, 진출부로 구성되어 다양한 터널 환경에서 운전자의 주행 특성 및 심리적 작업부하를 파악하기 용이한 것으로 판단된다. 총연장은 10,000m이며, 터널 구간에서의 곡선 반경이 각각 2.4m, 4.8m인 두 개의 구간으로 구성하였다. 왕복 6차로의 도로로 피실험자는 편도 또는 왕복 구간을 1회씩 주행하였다.

운전자 집단별 전체 표본 수는 382개로 고령운전자 196개, 비고령운전자 186개 수집되었다. 본 연구에서 활용한 표본은 피실험자가 도로기하구조 및 실험환경에서 1회 주행한 결과로 각 표본은 독립적인 것으로 가정하였다. 또한, 터널구간의 고령자 표본을 제외한 모든 표본의 수가 30개 이상으로 중심극한정리 이론에 입각하여 각 표본 집단은 정규성을 나타내는 것으로 판단하였으며, 터널구간의 고령운전자 표본은 효과적도 별 Kolmogorov-Smirnov 정규성 검정을 수행한 결과 각 효과적도 표본 집합이 통계적으로 유의한 정규성을 갖는 것으로 나타났다. 본 연구에서

활용한 도로 구간 설명 및 구간 별 표본 수는 Table 1에 제시하였으며 터널구간의 고령운전자 효과적도 별 정규성 검정 결과는 Table 2에 제시하였다.

Table 1. Experimental section description based on road alignments

Section	Description
Mainline	1. Alignments (1) Saemangeum north-south road, length: 10,000m, 3 lanes (one-way), Round trip (2) Munsan-Dora mountain highway, length: 14,000m, 2 lanes (one-way), Round trip 2. The number of samples (1) Elderly drivers: 104 (2) Non-elderly drivers: 46
I.C/J.C	1. Alignments (1) Saemangeum north-south road, length: 10,000m, 3 lanes (one-way), One-way trip - Diamond type - Trumpet type - Roundabout type - Semi-direct ramp type (2) Munsan-Dora mountain highway 1, length: 8,900m, 2 lanes (one-way), Round trip (3) Munsan-Dora mountain highway 2, length: 6,100m, 2 lanes (one-way), Round trip 2. The number of samples (1) Elderly drivers: 76 (2) Non-elderly drivers: 44
Tunnel	1. Alignments (1) Hamyang-Changnyeong section of highway 14, length: 10,000m, 3 lanes (one-way), Round trip - Continual tunnel section, length: 3,400m - Entrance section, length: 1,500m - Tunnel inner section, length: 3,945m - Exit section: 1,605m 2. The number of samples (1) Elderly drivers: 16 (2) Non-elderly drivers: 96

Table 2. Kolmogorov-Smirnov normality test result of MOEs (Measure of Effectiveness) of elderly drivers in tunnel sections

Measure	Tests of normality		
	Statistic	Sig.	df
Speed (km/h)	0.182	0.161	16
Speed Std. (km/h)	0.137	0.200	
Acceleration (m/s ²)	0.130	0.130	
Acceleration Std. (m/s ²)	0.163	0.200	
Lane position Std. (m)	0.105	0.200	
Beta wave (ratio)	0.212	0.054	

분석 결과

본 장에서는 분석된 결과를 바탕으로 고령운전자의 주행 및 작업부하 특성을 비고령자 집단과 비교하여 제시하였다. 먼저 본 연구에서 활용한 모든 고속도로 기하조건에서의 전반적인 고령운전자의 주행 및 작업부하 특성을 제시하였고, 이후 본선, 연결로, 그리고 터널 순으로 기하구조 별 고령운전자의 특성을 비고령운전자 집단과의 비교·분석을 통해 파악하였다.

본 연구의 고속도로로 분석대상 구간 전체의 분석 결과를 Table 3에 제시하였다. 고속도로 내 운전자 집단 별 주행 특성 및 뇌파 특성을 분석한 결과, 고령자 집단의 평균주행속도는 95.99km/h로 비고령자 집단의 평균주행속도인

102.03km/h보다 6.04km/h(▼6%) 낮은 것으로 나타났으며, 종방향 주행 안정성을 나타내는 주행속도 표준편차 평균이 비고령운전자 대비 3.10(△25%) 높은 것으로 분석되었다. 또한 횡방향 주행 안정성을 의미하는 고령자 집단의 차로편측위치 표준편차 평균이 0.46m으로 비고령자 집단의 표준편차 평균인 0.35m보다 0.11m(△35%) 높은 것으로 나타났다. 고령운전자는 비고령운전자와 비교하여 저속으로 주행하지만 종·횡방향 주행 안정성 지표를 고려하였을 때 차로 유지 능력과 속도 유지 능력이 부족한 주행행태를 보이는 것으로 판단된다. 또한 고령운전자의 베타파 발생 비율은 0.3936으로 비고령운전자의 베타파 발생 비율 값인 0.3560과 비교하여 6% 높은 것으로 나타났으며 유의수준 95%에서 통계적인 차이가 유의함을 확인하였다. 이는 고령운전자가 주행 시물레이션을 통한 실험 시, 불안감 혹은 긴장감이 높고 작업부하를 많이 받기 때문으로 판단하였다.

Table 3. Overall analysis results

Measure	Statistics					
	Non-elderly drivers	Elderly drivers	Difference		T-value	P-value
Speed (km/h)	102.03	95.99	▼6.04	▼6%	3.195	0.002
Speed Std. (km/h)	12.54	15.64	△3.10	△25%	-3.972	0.000
Acceleration (m/s ²)	0.20	0.08	▼0.12	▼60%	17.659	0.000
Acceleration Std. (m/s ²)	0.29	0.37	△0.08	△28%	-4.362	0.000
Lane position Std. (m)	0.35	0.46	△0.11	△31%	-6.974	0.000
Beta wave (ratio)	0.3560	0.3936	△0.0376	△11%	-8.689	0.000
The number of sample	186	196			-	

고속도로 본선 구간 분석 결과를 살펴보면 고속도로 전체 분석 결과와 동일하게 고령운전자 그룹이 비고령운전자 그룹보다 9.63km/h(▼9%) 낮은 속도로 주행함에도 불구하고 종방향 주행 안정성을 나타내는 주행속도 표준편차 평균이 2.24(△17%) 높은 것으로 나타났다. 또한 고령운전자의 차로편측위치 표준편차 평균이 비고령운전자 대비 0.12m(38%) 높은 것으로 분석되었다. 뇌파 특성 분석 결과를 살펴보면 고령운전자의 베타파 발생 비율은 0.3946으로 비고령운전자의 비율인 0.3716보다 0.0230(△6%) 높은 것으로 나타났으며 두 집단 간의 베타파 발생 비율 차이가 통계적으로 유의하였다. 고속도로 기본 구간인 본선이 연결로 구간보다 직선 행태를 보이며 터널 구간보다 시각적인 밝기 변화와 같은 외부 자극이 적다는 점을 고려할 때, 고령운전자는 안정적인 주행 환경에서도 비고령운전자보다 불안정한 주행을 보이고, 심리적인 작업부하를 많이 느끼는 것으로 판단된다. 고속도로 본선 구간의 분석 결과는 Table 4에 제시하였다.

Table 4. Results of mainlines

Measure	Statistics					
	Non-elderly drivers	Elderly drivers	Difference		T-value	P-value
Speed (km/h)	110.12	100.49	▼9.63	▼9%	3.456	0.001
Speed Std. (km/h)	12.85	15.09	△2.24	△17%	-2.187	0.031
Acceleration (m/s ²)	0.20	0.07	▼0.13	▼65%	11.919	0.000
Acceleration Std. (m/s ²)	0.28	0.37	△0.09	△32%	-3.026	0.003
Lane position Std. (m)	0.32	0.44	△0.12	△38%	-5.742	0.000
Beta wave (ratio)	0.3716	0.3946	△0.0230	△6%	-2.923	0.004
The number of sample	46	104			-	

고속도로 연결로 구간(IC/JC)의 분석 결과에서는 고령운전자 집단의 평균주행속도가 비고령운전자 집단보다 8.38km/h(△10%) 높고 종방향 주행 안정성을 나타내는 속도 표준편차 평균에서는 2.95km/h(▼14%) 낮아 비고

령운전자보다 일정 속도로 주행하는 것으로 나타났다. 그러나 횡방향 주행 안정성 지표인 차로편측위치 표준편차 평균을 보았을 때 비고령자 집단 대비 고령자 집단의 값이 0.08m($\Delta 20\%$) 높은 것으로 분석되었다. 감속이 필요한 연결로의 특성을 고려하면 고령운전자가 연결로 내 적정속도에 대한 판단 능력이 낮아 연결로 진입 시 고속 주행으로 인하여 차로 유지에 어려움을 겪는 것으로 판단된다. 또한 연결로 주행 시 고령운전자의 베타파 발생 비율 평균이 비고령운전자 보다 0.0510($\Delta 15\%$) 높아 비고령자 집단과 비교하여 작업부하를 더 받는 것으로 나타났다. 연결로 구간의 분석 결과는 Table 5에 제시하였다.

Table 5. Results of IC/JC sections

Measure	Statistics					
	Non-elderly drivers	Elderly drivers	Difference		T-value	P-value
Speed (km/h)	80.89	89.27	$\Delta 8.38$	$\Delta 10\%$	-2.589	0.011
Speed Std. (km/h)	20.85	17.90	$\blacktriangledown 2.95$	$\blacktriangledown 14\%$	1.972	0.050
Acceleration (m/s^2)	0.16	0.07	$\blacktriangledown 0.09$	$\blacktriangledown 56\%$	10.236	0.000
Acceleration Std. (m/s^2)	0.51	0.43	$\blacktriangledown 0.08$	$\blacktriangledown 16\%$	2.451	0.082
Lane position Std. (m)	0.40	0.48	$\Delta 0.08$	$\Delta 20\%$	-2.833	0.005
Beta wave	0.3402	0.3912	$\Delta 0.0510$	$\Delta 15\%$	-7.173	0.000
The number of sample	44	76			-	

터널 구간에서는 고령운전자의 주행속도가 비고령운전자 대비 9km/h($\blacktriangledown 8\%$) 낮은 것으로 나타났으나 종방향 주행 안정성을 나타내는 속도 표준편차에서는 P-value가 0.05 이상으로 측정되어 유의수준 95%에서 통계적인 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 횡방향 주행 안정성에서는 고령운전자의 차로편측위치 표준편차 평균값이 비고령운전자보다 0.11($\Delta 31\%$) 높은 것으로 나타나 낮은 속도로 주행함에도 불구하고 불안정적인 주행행태를 보이는 것으로 나타났다. 또한 고령운전자의 베타파 발생 비율 평균이 비고령운전자에 비해 0.0424($\Delta 12\%$) 높아 다른 고속도로 구간과 동일하게 비고령운전자와 비교하여 고령운전자가 심리적 작업부하를 많이 받는 것으로 나타났다. 터널 구간의 분석 결과는 Table 6에 제시하였다.

Table 6. Results of tunnel sections

Measure	Statistics					
	Non-elderly drivers	Elderly drivers	Difference		T-value	P-value
Speed (km/h)	108.51	99.51	$\blacktriangledown 9.00$	$\blacktriangledown 8\%$	29.510	0.006
Speed Std. (km/h)	4.62	4.68	$\Delta 0.06$	$\Delta 1\%$	-0.080	0.937
Acceleration (m/s^2)	0.20	0.18	$\blacktriangledown 0.02$	$\blacktriangledown 10\%$	1.516	0.132
Acceleration Std. (m/s^2)	0.14	0.11	$\blacktriangledown 0.03$	$\blacktriangledown 21\%$	1.435	0.158
Lane position Std. (m)	0.34	0.45	$\Delta 0.11$	$\Delta 32\%$	-3.055	0.014
Beta wave	0.3562	0.3986	$\Delta 0.0424$	$\Delta 12\%$	-3.599	0.000
The number of sample	96	16			-	

심리적 작업부하 측면에서 고속도로 세부 구간별 비교를 하였을 때, 고령운전자 집단은 연결로 및 터널 환경과 같은 외부 요인뿐만 아니라 일반적인 주행 환경인 본선 구간에서도 비고령운전자 집단과 비교하여 심리적인 부담, 즉 작업부하를 많이 받는 것으로 판단된다. 특히, IC/JC와 같은 횡방향 조각이 요구되는 상황에서 고령운전자가 비고령운전자보다 심리적 작업부하를 받는 것으로 나타났다(Figure 6 참조). 결과적으로 본 연구에서는 고령운전자의 불안정한 주행행태와 비고령운전자보다 상대적으로 높은 작업부하로 인하여 고령운전자가 고속도로에서 통행 시 주변 차량의 원활한 주행을 방해할 수 있는 개연성이 존재함을 확인하였다. 이처럼 고령운전자의 불안정한 주행행

태는 교통류 측면에 있어 교통류 흐름을 방해하고 사고 발생 개연성을 높일 수 있기 때문에 고속도로 내 고령운전자 수의 증가는 고속도로의 교통안전 측면에서 부정적 영향을 미칠 것으로 예상된다.

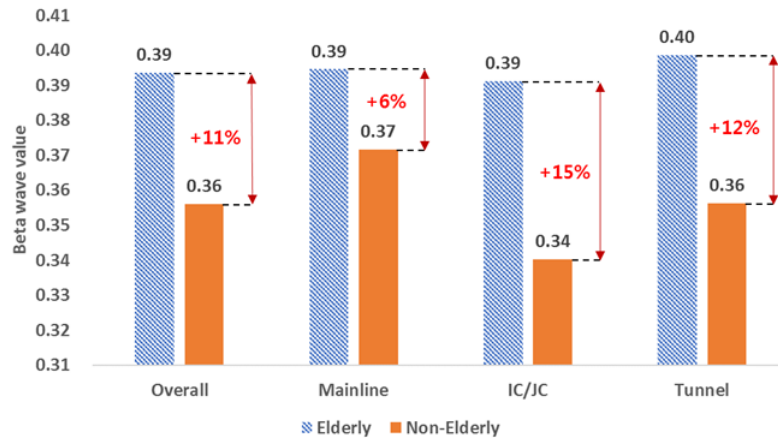


Figure 6. Comparison of beta-wave for each road section

결론

본 연구는 급격하게 진행되고 있는 고령화 시대를 맞이하여 고령운전자의 고속도로에서 보이는 주행 특성 및 작업부하를 분석하였다. 다양한 고속도로 기하구조에서 수행된 연구를 바탕으로 고속도로 내 고령운전자의 주행행태를 파악하였으며, 뇌파를 이용한 작업부하 분석을 수행하였다. 본 연구에서 포함한 고속도로 기하구조는 본선, 연결로, 터널로 구분되었으며 각 구간 별 비고령운전자와 비교를 통하여 고령자운전자의 특성을 파악하였다.

분석 결과, 전체 구간에서 고령운전자의 주행속도가 비고령운전자의 주행속도보다 낮음에도 불구하고 차로 유지능력을 나타내는 차로편측위치 표준편차가 높은 것으로 나타났다. 운전자 작업부하 분석을 위하여 뇌파의 한 종류인 베타파를 이용하였으며, 고령자운전자의 베타파가 비고령운전자와 비교하여 높은 것으로 나타났다. 본 연구에서는 이를 고령운전자가 비고령운전자보다 불안정한 주행행태를 보이며 불안 심리를 강하게 느끼고 작업부하를 많이 받는 것으로 판단하였다. 특히, 고속도로 모든 구간에서 고령자운전자의 횡방향 주행 안정성이 비고령운전자 집단과 비교하여 낮으며, 외부 도로 환경에 대한 작업부하가 높고, 불안감 혹은 긴장감을 많이 느끼기 때문에 향후 고령화 사회로 진입함에 따라 고속도로 주행 시 긴장감이 높고 불안정적인 주행행태를 보이는 고령운전자가 늘어날 것으로 예상하였다.


따라서 발생 가능한 고령운전자 문제를 해결하기 위한 도로 기하구조 측면, 정책적인 측면에서 대처 방안 마련의 필요하다. 도로 기하구조 측면에서는 차로폭 개선 및 차로 중앙 표시 등 고령운전자가 안정적으로 주행할 수 있도록 개선 대책이 제시되어야 하며, 정책적인 측면에서는 자동차 첨단 운전 보조 기능 장착 제도화와 같이 고령운전자의 안전 주행을 유도해 주는 차량 내부 환경 형성에 기여할 필요가 있다. 본 연구에서는 제시한 연구 결과는 향후 고령운전자 관련 정책 수립 시 기초 자료로 활용 가능할 것으로 판단되며 고령운전자의 고속도로 전체 구간뿐만 아니라 고속도로 세부 구간에서의 주행 특성을 비고령운전자와의 비교를 통해 정의하였다는 점에 의의가 있다.

그러나 본 연구에서 다루지 못한 요인에 대한 심층적인 분석이 요구된다. 첫 번째, 본 연구에서는 주행 시물레이션 실험 설계 시 도로 내 서비스 수준을 고려하지 않았다. 차량의 주행행태는 주변 차량과의 상호작용에 의하여 크게 영향을 받기 때문에 도로 내 서비스 수준을 고려한 연구가 반드시 수행되어야 한다. 두 번째, 고속도로 전체적인 분석 시 활용된 표본 수는 기존 연구와 비교하였을 때 충분한 수준으로 판단되나, 도로기하구조 별 분석에 활용된 표본 수가 적은 것으로 판단된다. 따라서 각 도로기하구조 별 실험 시 충분한 피실험자를 확보하여 분석한다면 설득력 있


는 연구 결과를 도출할 것으로 기대된다. 특히, 기대수명이 증가함에 따라 고령운전자의 연령대 폭이 점차 늘어나고 있어 고령운전자 집단 내에서도 연령대에 따른 주행 능력 및 작업부하에 대한 차이가 있을 것으로 판단된다. 그러나 본 연구에서는 주행 시뮬레이션 적응 상태 파악 이후 연구자의 판단으로 60세 이상의 피실험자를 고령운전자로 분류하였으며, 사회 전반적인 고령자 기준인 65세 이상의 고령운전자 연령 집단 내에서의 비교·분석을 수행하지 못하였다. 따라서 향후 65세 이상의 피실험자를 충분히 수집하고, 고령운전자 집단 내에서도 연령대를 구분하여 주행 능력 및 작업부하 평가를 수행한다면 고령화가 교통안전에 미치는 영향을 보다 면밀하게 분석할 수 있을 것으로 기대된다. 세 번째, 본 연구는 공용개시되기 전 설계 단계의 고속도로를 대상으로 도로주행 시뮬레이션을 통해 자료를 수집하였고 비고령/고령운전자의 주행 안정성과 심리적 작업부하를 평가하였다. 따라서 각 효과척도와 실제 사고발생 빈도간의 상관분석, 주행 시뮬레이션과 실제 도로상의 주행 특성 주행 특성 차이를 비교·분석하는 것은 공간적·시간적 제약이 존재한다. 향후에 본 연구에서 분석대상 구간으로 선정된 도로가 운영된다면 실제 현장으로부터 수집한 다양한 자료를 기반으로 주행안전성 및 심리적 작업부하 평가지표와 실제 사고자료 기반 사고발생 빈도간의 상관관계 분석, 시뮬레이션과 실도로 주행간의 주행 특성 비교 연구를 수행함으로써 평가지표의 정량적 기준을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

ORCID

OH, Minsoo  <http://orcid.org/0000-0003-4909-4784>

JANG, Jiyong  <http://orcid.org/0000-0003-4225-8475>

OH, Cheol  <http://orcid.org/0000-0002-1431-9480>

HAN, Keunsoo  <http://orcid.org/0000-0002-2883-0108>

References

- 2019 The Elderly Statistic (2019), KOSTAT.
- Centers for Disease Control and Prevention (2015), Motor Vehicle Safety: Older Adult Drivers.
- Choi J. (2018), Study on Fatality Risk of Older Driver and Traffic Accident Cost, Journal of the Korean Society of Safety, 33(4), 111-118.
- Erkuş U., Özkan T. (2019), Young Male Taxi Drivers and Private Car Users on Driving Simulator for Their Self-reported Driving Skills and Behaviors, Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 64, 70-83.
- Gillberg M., Kecklund G., Åkerstedt T. (1996), Sleepiness and Performance of Professional Drivers in a Truck Simulator —Comparisons between Day and Night Driving, Journal of Sleep Research, 5(1), 12-15.
- Hing J. Y. C., Stamatiadis N., Aultman-Hall L. (2003), Evaluating the Impact of Passengers on the Safety of Older Drivers, Journal of safety research, 34(4), 343-351.
- Hwang S., Kim S., Lee D. (2019), Driving Behavior on Hard-Shoulder Lanes in Tunnels using a Driving Simulator, International journal of highway engineering, 21(3), 87-96.
- Jang J. Y., Oh C. (2014), Methodology for Evaluating Effectiveness of In-vehicle Pedestrian Warning Systems Using a Driving Simulator, J. Korean Soc. Transp., 32(2), Korean Society of Transportation, 106-118.
- Kar S., Bhagat M., Routray A. (2010), EEG Signal Analysis for the Assessment and Quantification of Driver's Fatigue, Transp. Res. Part F: Traffic Psychol. Behav, 13, 297-306.

- Kim Y., Oh C., Choe B., Choi S. (2018), Development of a Methodology for Detecting Intentional Aggressive Driving Events Using Multi-agent Driving Simulations, *J. Korean Soc. Transp.*, 36(1), Korean Society of Transportation, 51-65.
- Korea Road Traffic Authority (2019), Traffic Accident Statistic Analysis 2019 (교통사고 통계분석 2019년판).
- Lee D., Lim J. (2019), Driver Behavior Analyses of 2+1 Roads Based on a Driving Simulation Experiment, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 23(3), 1351-1359.
- Lee S., Oh C., Hong S. (2018), Exploring Lane Change Safety Issues for Manually Driven Vehicles in Vehicle Platooning Environments, *IET Intelligent Transport Systems*, 12(9), 1142-1147.
- Lim S. J., Park J. T., Kim Y. I., Kim T. H. (2012), Analysis of Elderly Drivers Accident Models Considering Operations and Physical Characteristics, *J. Korean Soc. Transp.*, 30(6), Korean Society of Transportation, 37-46.
- Mullen N. W., Dubois S., Bedard M. (2013), Fatality Trends and Projections for Drivers and Passengers: Differences between Observed and Expected Fatality Rates with a Focus on Older Adults, *Safety science*, 59, 106-115.
- Rakotonirainy A., Steinhardt D., Delhomme P., Darvell M., Schramm A. (2012), Older Drivers' Crashes in Queensland, Australia, *Accident Analysis & Prevention*, 48, 423-429.
- Risto M., Martens M. H. (2014), Driver Headway Choice: A Comparison between Driving Simulator and Real-road Driving, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 25, 1-9.
- Rossi R., Gastaldi M., Gecchele G. (2011), Analysis of Driver Task-related Fatigue Using Driving Simulator Experiments, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 20, 666-675.
- Suh S., Lee S., Oh C., Choi S. (2017), Impacts of Automated Vehicle Platoons on Car-following Behavior of Manually-Driven Vehicles, *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, 16(4), 107-121.