

# 차량 시뮬레이터를 이용한 운전자 인지능력이 주행행태에 미치는 영향 연구

황순천<sup>1</sup> · 이동민<sup>2\*</sup> · 김선훈<sup>3</sup> · 김도훈<sup>1</sup>

<sup>1</sup>서울시립대학교 교통공학과 박사과정, <sup>2</sup>서울시립대학교 교통공학과 & 스마트시티학과 조교수, <sup>3</sup>한국교통연구원 도로교통연구본부 도로정책연구팀 연구원

## Driving Performance Evaluation Based on Cognitive Abilities Using a Driving Simulator

HWANG, Sooncheon<sup>1</sup> · LEE, Dongmin<sup>2\*</sup> · KIM, Sunhoon<sup>3</sup> · KIM, Dohoon<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ph.D. Course, Department of Transportation Engineering, University of Seoul, Seoul 02504, Korea

<sup>2</sup>Associate Professor, Department of Transportation Engineering & Department of Smart City, University of Seoul, Seoul 02504, Korea

<sup>3</sup>Researcher, Department of Road Transport, The Korea Transport Institute, Sejong 30147, Korea

\*Corresponding author: dmlee@uos.ac.kr

### Abstract

Recently, traffic accidents caused by high-risk drivers such as elderly drivers have emerged as a major social problem. People feel uneasy about driving by high-risk drivers, so it is argued that they should be institutionally restricted from driving. However, it is difficult to determine suitabilities of driving by inspecting factors that affect the actual driving abilities. For elderly drivers, restricting their driver licenses can be factors infringing on mobility rights. For this reason, a prudent approach is needed to improve the driver aptitude test system. In order to solve this problem, if the driver license is determined by assessing physical and cognitive abilities which are identified to affect driving, it will be a better system which all ages agree. In this study, human factors that can influence driving were analyzed by comparing between cognitive abilities and driving behaviors using a driving simulator. Cognitive abilities of 65 subjects were measured using special apparatus. The results of measured cognitive abilities were used to categorize into two groups which were with good abilities and with poor abilities. Next, driving behaviors of the subjects in various road environments were analyzed through collected log data using a driving simulator. First, it was confirmed that the subjects with relatively higher age belonged to the group with poor cognitive abilities. Second, the group with good cognitive abilities showed better driving behavior than the worse group. Third, it was analyzed that there were more differences in urban roads between two groups. Fourth, it is confirmed that there were more differences in driving behavior among the groups at nighttime than at daytime. The results of this study are meaningful because this was carried out empirical studies to find the factors affecting driving behaviors. This research can be used to carry out future research on the driver license and driving behaviors.

**Keywords:** cognitive abilities, driver license, driving behavior, driving simulator, elderly drivers

J. Korean Soc. Transp.  
Vol.38, No.5, pp.375-389, October 2020  
<https://doi.org/10.7470/jkst.2020.38.5.375>

pISSN : 1229-1366  
eISSN : 2234-4217

#### ARTICLE HISTORY

Received: 3 July 2020

Revised: 24 July 2020

Accepted: 8 August 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.

## 초록

최근 고령운전자 등 고위험군 운전자들에 의한 교통사고가 주요 사회적 문제로 대두되고 있다. 이에 고위험군 운전자들이 운전을 하는 것에 대하여 사람들은 불안감을 느끼며, 이들이 운전을 하는 것에 대하여 제도적으로 제약이 필요하다는 주장이 제기되고 있다. 하지만 실제 운전능력에 영향을 미치는 요인을 검사하여 운전 적합 여부를 판별하기는 어려운 문제라 신중한 제도 개선이 필요하다. 이러한 문제를 해결하기 위한 한 가지 방안으로 운전능력에 영향을 미치는 것으로 확인된 신체적·인지적 능력 평가 요소들로 운전적성을 평가한다면 모두가 인정하는 제도가 될 수 있을 것이다. 이에 본 연구에서는 인지능력 검사와 차량 시뮬레이터를 이용한 주행행태를 분석하여 운전능력에 영향을 줄 수 있는 요인을 분석하였다. 먼저 65명의 피실험자를 대상으로 인지능력을 측정하였다. 측정된 인지능력 결과를 토대로 인지능력이 상대적으로 높은 그룹과 낮은 그룹으로 군집분석을 수행하였다. 다음으로 차량 시뮬레이터를 이용하여 수집된 피실험자들의 주행행태를 분석하였다. 분석 결과 첫째, 상대적으로 연령이 높은 피실험자가 인지능력 결과가 낮은 그룹에 속하는 경우가 많음을 확인하였다. 둘째, 인지능력이 상대적으로 높은 그룹이 낮은 그룹보다 안정된 주행행태가 관측되었다. 셋째, 도시부 도로보다는 지방부 도로에서 그룹 간 주행행태 차이가 더 많은 것으로 분석되었다. 넷째, 주간 상황과 야간 상황을 비교한 경우에도 야간 상황에서 그룹 간 주행행태 차이가 더 나타나는 것을 확인하였다. 본 연구 결과는 운전행태에 미치는 요인을 찾아내는 실증 연구를 수행했다는 점에 의의가 있으며, 향후 운전면허 제도 및 운전행태 관련 연구를 수행하는데 활용될 수 있을 것이라 판단된다.

**주요어:** 주행행태, 인지능력, 차량 시뮬레이터, 운전면허, 고위험군 운전자

## 서론

교통사고는 많은 사상자와 사회적 비용을 발생시키는 점에서 교통 부분에서 가장 중요하게 다뤄지는 문제이다. 교통사고를 줄이기 위하여 도로환경을 개선하고, 운전자 의식 변화를 위한 캠페인 활동을 하는 등 다방면으로 많은 개선방안들이 시행되고 있다. 이러한 정책들도 중요하지만, 무엇보다 선행되어야 하는 부분은 운전이 부적격한 사람들이 운전을 하지 못하도록 제도적으로 판별하여 인적 요인에 의한 사고 발생을 최소화하는 방안을 수립해야 한다. 이러한 관점에서 최근 운전면허 적성검사 제도의 실효성과 개선방안에 대해 논의가 이루어지고 있는 것은 시의 적절하다고 볼 수 있다. 특히 고령운전자 등 고위험군 운전자로 인식되는 사람들에 의하여 발생하는 교통사고가 사회적으로 논란이 되고 고위험군 운전자에 대하여 운전면허 제도가 강화되어야 한다는 여론이 높아지고 있는 만큼 운전능력을 판별할 수 있는 방법에 대한 실증적인 연구가 필요하다.

본 연구에서는 사람의 인지능력이 실제 운전행태와 연관성이 있는지를 차량 시뮬레이터 실험을 통하여 분석해보고자 하였다. 이를 통해 운전행태에 영향을 미칠 수 있는 인지능력을 확인하여 운전면허 제도에서 운전 적합 여부를 검사하는데 고려해야 할 운전적성 항목이 추가적으로 필요함을 제언하고자 한다.

## 기존문헌 검토

고령운전자가 고위험군 운전자로 인식되는 것은 노화로 인하여 시력감퇴, 청력 민감도 감소, 근골격 시스템 구성 요소 약화로 인한 유연성 감소 등의 신체적 기능 저하가 나타나며, 이러한 신체적 기능 저하가 반응을 느리게 하고, 쉽게 피로감을 느끼게 하며, 같은 충격의 교통사고에도 심각성이 더 높게 나타날 가능성이 높기 때문이다(Evans, 1991). 또한 신체적 노화는 자극에 대한 인지·판단과정에도 영향을 미치며, 이러한 인지기능 저하가 정보처리를 어렵게 만들고, 제한된 시공간 내에서 올바른 판단을 어렵게 만든다(Lee et al., 2005). Park et al.(2006) 연구에 따르면 운전자의 위험행동을 위험 정도와 위반, 오류, 착오로 구분하여 비교해봤을 때, 비고령자의 경우 상대적으로 위반 행위 비율이 높은 반면, 고령운전자의 경우 의도치 않은 오류 행위 비율이 높은 특징을 보인다고 밝히며 고령운전

자의 위험행동은 안전운전능력에 따라 좌우될 수 있음을 제시하였다.

세계적으로 고령운전자의 경우 일반운전자와는 다른 별도의 면허 체계를 구축하여 고령운전자에 의한 사고위험을 예방하고 있다. Baek(2016)에 따르면 일본은 고령운전자에 대한 인지능력검사, 별도의 강습 등을 통해 유효면허를 발급하는 절차를 엄격하게 시행하고 있으며, 영국은 짧은 간격으로 적성검사를 받게 함으로써 고령운전자의 운전능력을 지속적으로 평가한다. 반면 독일, 프랑스 등은 고령운전자에 대한 별도의 면허제도를 운영하지는 않지만, 자가진단 등을 통해 고령운전자 스스로 운전능력을 진단할 수 있도록 유도한다. 적성검사 제도 상에서 인지능력 검사는 주로 고령운전자 스스로 운전능력을 평가해보는 자가진단 차원과 안전운전 능력이 의심되는 대상을 찾는 방식으로 주로 활용되고 있다. 인지능력 검사와 운전능력 간 명확한 인과관계가 입증되지 않아 아직 공인된 제도가 도입된 사례는 없지만, 고령운전자의 운전능력을 가늠해보는데 활용되는 만큼 관련 연구가 지속적으로 수행될 필요가 있다.

인지능력이 실제 운전엔 영향을 미치는지에 대한 연구 사례를 찾아보면 McKnight and McKnight(1999)는 62세 운전자 407명을 대상으로 구조화된 도로에서 주행 테스트를 실시한 결과 안전하지 않은 운전행태와 주의, 지각 등의 인지능력 간 유의한 상관관계가 있음을 제시하였다. De Raedt and Ponjaert-Kristoffersen(2000)은 65세 이상의 고령운전자 84명을 대상으로 시각인지, 선택주의, 분산주의 등 7가지 신경인지능력 검사와 주행 테스트 결과를 비교한 결과 신경인지능력 검사 결과에 따라 주행 테스트 결과에 영향을 주는 것을 확인하였다. Odenheimer et al.(1994)은 인지능력 평가 결과와 주행 테스트 평가 점수 간 유의성을 연구하였으며, 인지능력이 다양하게 분포하는 고령운전자들을 대상으로 보다 체계적인 도로주행평가가 이루어져야 함을 제시하였다. Stutts et al.(1998)는 65세 이상 고령운전자 3,238명 데이터를 바탕으로 Trail making test 등의 인지능력 평가 결과와 3년 간 사고 데이터를 비교분석한 결과 인지능력 검사 결과가 가장 낮은 하위 10% 운전자는 상위 10% 운전자에 비하여 충돌 가능성이 1.5배 높다는 분석 결과를 제시하였다. 이와 같은 결과를 종합해보면 인지능력에 따라 운전 능력에 차이가 나타날 수 있으며, 인지능력 검사 결과로 위험군 운전자인지 판단해볼 수 있는 기준으로 활용될 수 있다고 판단된다.

운전능력을 평가하기 위하여 인지능력을 검사하는 장비는 다양한 모델로 개발되어 활용되고 있다. 국내에서는 운전정밀적성검사(도로교통공단), 운전인지평가도구(CPAD, 국립재활원), 운전정밀검사(교통안전공단) 등이 운전능력 평가를 위해 사용되고 있다. Choi et al.(2014) 보고서에 따르면 운전인지평가도구는 깊이지각검사, 스트룹 검사, Trail making test 등 총 8개 항목으로 구성되어 있어 인지능력 평가를 통한 운전능력을 평가하는데 활용되고 있다. 도로교통공단은 PC 기반 기초인지검사를 통해 실제 고령운전자의 운전능력을 평가하기 위하여 15가지 항목으로 구성된 전문 검사 도구인 고령운전자 평가시스템 장비를 새로 개발하였다(Road Traffic Authority, 2018). 고령운전자 평가시스템 장비는 운전자의 운전행태를 인지적, 운전오류 및 습관 관점에서 평가하기 위해 개발된 전문 장비로 선나누기 검사, 시계기억 검사 등 총 15가지의 신경인지능력을 측정할 수 있는 검사항목으로 구성되어 있다. 본 연구에서는 고령운전자 평가시스템 장비를 활용하여 피실험자의 인지능력을 평가하였다.

국외에서는 Vienna Test System-Traffic, Cognitive Behavioral Driver's Inventory 등이 있다. Vienna Test System-Traffic은 오스트리아에서 개발된 모듈방식의 운전자 안전운전 적합도 평가 검사로 21가지 심리학적 평가 검사로 구성되어 있으며 운전능력을 평가하는 도구로 활용되고 있다(Vujanić et al., 2016). Cognitive Behavioral Driver's Inventory는 미국에서 개발된 장비로 국내에서 활용되고 있는 운전인지평가도구(CPAD)의 원형모델이다. 운전행동 관련 인지 및 조작능력을 평가하는데 활용되고 있으며, 운전자의 주의지속력, 인지능력, 반응속도 등을 평가할 수 있는 도구이다(Duquette et al., 2010). 이외에도 Stroke Driver's Assessment for Driving(SDSA), Useful Field of View(UFOV), D-CAT, Medical Psychological Assessment(독일) 등의 평가도구가 활용되고 있음을 확인할 수 있었다(Choi et al., 2014).

운전 능력이나 행태를 평가하기 위하여 현실 환경을 가상현실로 묘사하여 시뮬레이터를 이용한 실험은 다양한 연구목적에 맞춰 수행되었다. Kang and Lee(2013)은 고령운전자 집단과 비고령운전자 집단의 인지기능 및 주행특성

차이를 운전정밀적성검사 기기 결과와 차량 시뮬레이터 실험 결과를 이용하여 분석하였다. 차량시뮬레이터 실험 분석 결과, 차로유지능력 등에서 고령운전자가 비고령운전자 보다 안 좋은 결과를 보임을 제시하였다. Lee et al.(2013)은 초보운전자에 대한 심리적 특성 및 운전행동에 관한 분석을 실시하였다. 차량 시뮬레이터를 활용하여 초보 및 일반운전자와의 운전행동 특성을 비교분석한 결과, 운전자의 위험예측, 과속, 위반, 정보제공생략, 갑작스러운 변화, 사고건수 모든 부분에서 초보운전자가 일반운전자에 비해 높은 평균값이 나타났으며, 초보운전자가 일반운전자에 비해 통계적으로 유의한 위험수준을 보이는 것으로 나타났다. Horikawa et al.(2009)은 고령운전자의 인지 기능, 운전 조건 및 운전 행동 사이의 관계를 분석하기 위하여 운전면허 갱신과정에서 교육을 수강한 79명을 대상으로 차량 시뮬레이터 실험, 실제 운전 행동 평가, 고유 설문지 및 Trail making test를 이용하여 인지 기능과 운전 행동에 대한 데이터를 수집하였다. 실험 분석 결과 Trail making test 검사를 완료한 집단이 완료하지 못한 집단보다 반응시간 편차, 핸들 조향 오류율 등에서 더 나은 결과를 보이는 것으로 나타났다. Lee et al.(2003)은 차량 시뮬레이터를 이용하여 시각 주의 능력이 시간에 따라 어떻게 변화하는지 연구하였다. 연구 결과, 나이가 들면서 시각적인 주의 능력이 떨어지는 것을 확인하였으며, 차량 시뮬레이터를 고령운전자 운전평가를 위한 효과적인 분석 도구로 사용할 수 있음을 제시하였다. 이와 같이 현실에서 실험하기 어려운 주행행태를 평가하기 위하여 차량 시뮬레이터를 이용한 다양한 실험이 이루어져 왔으며, 유의미한 성과가 도출되었다. 본 연구는 다양한 연령대의 피실험자를 대상으로 직접 검사한 인지능력검사 결과에 따른 주행행태를 비교분석 했다는 점에서 의의가 있다.

## 연구방법

### 1. 실험 개요

본 연구에서는 운전행태와 관련된 사람의 인지능력을 측정하기 위하여 고령운전자 평가시스템 장비와 주행행태를 분석하기 위한 차량 시뮬레이터 장비를 이용하였다. 본 연구에서 사용한 차량 시뮬레이터는 I-drive 3ch., 2DOF MP품종으로서, PCIG영상 엔진, 32인치 3채널, 1/4차량 형태 캐빈 및 CFLS, 2축 전기식 1인승 모션플랫폼, 운영 computer 1식, 조명 및 Air Conditioner 1식으로 구성되어 있다. 차량 시뮬레이터와 연동되어 있는 모니터는 총 3개로 차량 전면과 좌우측을 각각 표출한다. Figure 1의 사진이 본 연구에서 사용한 검사 및 실험 장비 모습이다.



Figure 1. The picture of apparatuses used on this research

차량 시뮬레이터 상에서 구동되는 가상현실 구현은 일본 Forum 8사에서 개발한 전문 시뮬레이션 프로그램인 UC-winRoad(ver.12)를 이용하였다. UC-winRoad프로그램은 차량 시뮬레이터 연동 시 주행 과정이 자동적으로



### 3. 차량 시뮬레이터 실험 시나리오

차량 시뮬레이터 실험 진행을 위해 UC-winRoad프로그램으로 가상도로환경을 제작하였다. 제작한 시나리오는 Table 2와 Figure 3에서 설명하는 바와 같이 총 4가지로 도시부/지방부, 주간/야간 상황을 각각 반영하여 제작한 것으로 다양한 도로 환경에서 나타나는 주행행태를 분석하고자 하였다. 또한 장시간의 시뮬레이터 운전은 고령자들에게 무리가 될 수 있어 총 주행 시간을 30분 정도가 될 수 있도록 설계하였다.

Table 2. List of virtual scenarios

# of scenario	Contents
1	Daytime / 1.3km (road length) / 60km/h (speed limit)
2	Nighttime / 1.3km (road length) / 60km/h (speed limit)
3	Daytime / 3.5km (road length) / 70, 80km/h (speed limit)
4	Nighttime / 3.5km (road length) / 70, 80km/h (speed limit)

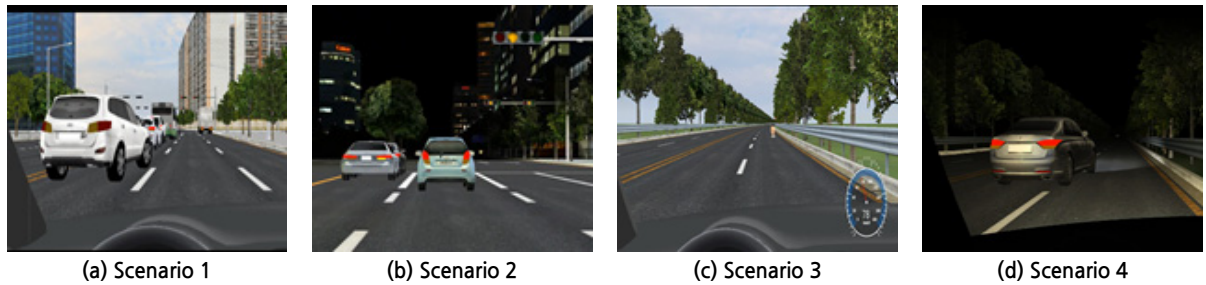


Figure 3. Scenes of virtual scenarios on driving simulator

시나리오 1은 도시부 도로에서 주간 상황을 배경으로 제작하였다. 총 1.3km 구간으로 4지 교차로 2곳과 3지 교차로 2곳을 통과하도록 제작하였다. 시나리오 2는 도시부 도로에서 야간 상황을 배경으로 제작하였다. 총 1.3km 구간에서 4지 교차로 2곳과 3지 교차로 1곳을 통과하도록 제작하였다. 시나리오 3, 4는 동일한 지방부 도로에서의 주행 환경을 묘사하였으며, 시나리오 3은 주간 상황, 시나리오 4는 야간 상황으로 각각 제작하였다. 시나리오 3, 4는 일방향 2차로 도로가 3.5km 이어지는 연속류 구간을 묘사하였으며, 직선부와 곡선부가 혼재되어 있다. 도로형태를 도시부와 지방부로 구분한 것은 도로환경에 따라 운전자의 운전부하가 상이한 것으로 알려져 있기 때문에 이를 반영하고자 하였으며(Patten et al., 2006; Schwarze et al., 2014; Teh et al., 2014; Bongiorno et al., 2017), 주간보다 야간 환경에서 운전자 부하가 큰 것으로 알려져 있어(Shinar, 2017) 관련 내용을 반영하여 제작하였다. 모든 시나리오는 정해진 주행 경로에 맞춰 주행하는 과정에서 속도 준수, 차로 변경 등 일반적인 주행행태가 나타날 수 있도록 하였다.

### 4. 실험진행방법

실험은 인지능력 검사, 차량 시뮬레이터 실험 순으로 진행되었다. 먼저 실험에 참가한 피실험자는 고령운전자 평가시스템 장비로 3가지 항목을 검사 받도록 하였다. 각 검사항목 별로 시작 전에 피실험자가 진행 방법을 충분히 이해할 수 있도록 연구자가 사전 설명을 진행하였으며, 검사 도중에는 어떤 개입도 하지 않았다.

다음으로 차량 시뮬레이터 실험을 진행하기 전에 피실험자가 시뮬레이터 기기에 익숙해질 수 있도록 사전 주행 연습을 진행하였다. 사전 주행 연습은 피실험자가 차량 시뮬레이터 기기의 조향 감각과 엑셀 및 브레이크 답력에 익숙해지는 것을 목표로 하였으며, 피실험자가 충분히 되었다고 판단될 때까지 연습을 지속할 수 있도록 하였다. 본 실험

험이 시작되면 실험자는 어떤 개입도 하지 않았으며, 피실험자는 사전에 정해진 임의 순서에 따라 시나리오를 순차적으로 수행하였다.

## 5. 분석방법

본 연구에서는 인지능력이 실제 주행행태에도 영향을 미치는지 확인하기 위하여 피실험자들의 인지능력 검사 결과를 군집화 하여 그룹 간 주행행태 차이를 통계적으로 분석하여 유의미한 결과를 도출하고자 하였다. 먼저 피실험자들의 인지능력 결과를 프로그램 R을 이용하여 군집분석 하여 인지능력이 상대적으로 높은 그룹과 낮은 그룹으로 분류하였다. 군집분석 방법으로 비계층적 군집 방법 중 대표적인 방법으로 알려진 K-Means 군집분석 방식을 이용하였다. K-Means 군집분석 방법은 먼저 전체 데이터에 대하여 k개의 분류 군집을 선택한 후 개별 데이터와 k개 군집 간 거리를 계산하여 초기 군집을 형성한다. 이렇게 선택된 군집과 개별 데이터 간 거리를 반복계산하여 최종적으로 가장 근접한 데이터끼리 군집이 형성되도록 분류하여 최적 결과를 도출하는 방법이다(Kim and Chang, 2012).

군집으로 분류된 그룹 간 주행행태 차이를 비교하기 위하여 UC-winRoad 프로그램을 통해 도출된 주행특성 기초 데이터 중 주행속도, 핸들조향, 브레이크 답력, 차량 편측위치 값을 이용하였다. 주행속도는 해당 시점의 속도값 km/h 단위로 기록되며, 핸들조향은 정중앙에 위치했을 때 0 값을 기준으로 좌측으로 조향되면 음의 값으로 최대 -1까지, 우측으로 조향되면 양의 값으로 최대 1까지 기록된다. 브레이크 답력은 0을 기준으로 최대 답력값 1 사이 범위에서 답력 정도에 따라 해당 값이 기록되며, 차량 편측위치는 차로 중심 0을 기준으로 좌측이면 음의 값, 우측이면 양의 값이 기록된다. 주행행태의 안정성을 평가하기 위하여 각 데이터의 분석 구간별 편차 값을 이용하여 편차가 작을수록 행태가 좋았던 것으로 정의하였다. 이와 같은 평가척도는 드라이빙 시뮬레이터를 이용한 주행안정성 평가에서 활용되는 것으로 상대비교를 통해 특정 구간 혹은 특정 피실험자 군에 대한 안정성 여부를 평가하는데 활용된다(Ryu et al., 2011; Hwang et al., 2019; Oh et al., 2020). 즉, 주행 구간 내에서 피실험자가 불안정한 주행행태를 보이는 만큼 주행속도 편차가 커지고, 핸들 조향을 많이 하게 되며, 갑자기 브레이크를 강하게 밟거나, 차량의 횡방향 움직임이 커지는 등의 행태가 나타날 것이라고 가정하여 분석에 활용하였다. 주행 구간 분석은 각 시나리오별로 도로 기하구조 특성에 맞춰 도시부 도로는 직선 구간과 교차로에서의 좌회전, 우회전 구간으로 분류하여 분석하였으며, 지방부 도로는 직선 구간과 곡선 구간으로 분류하여 분석하였다.

마지막으로 실제 두 그룹 간 주행행태 차이가 유의미한지 분석하기 위하여 프로그램 R을 이용하여 t-검정으로 그룹 간 평균 차이의 통계적 유의성 유무를 제시하였다.

## 연구결과

### 1. 인지능력 검사 결과

본 연구에서는 고령운전자 평가시스템 장비로 측정된 피실험자들의 인지능력 검사 결과를 총 7가지 변수로 정의하여 데이터화하였다. 전체 피실험자 검사 결과를 데이터화 하여 기초통계치를 산출한 결과 Table 3과 같이 선나누기 검사 결과의 전체 평균은 0.11mm 였으며 표준편차가 0.12mm로 나타났다. 선잇기 검사 12단계 평균 소요시간은 26.84초, 20단계 평균 소요시간은 56.52초 였으며 최대 제한시간 이내에 완료하지 못한 피실험자도 있어 이들의 데이터는 최대 제한 시간(75초, 105초)으로 처리하였다. 방향스트룹 검사의 경우 피실험자들이 A단계에서 B단계보다 좀 더 빠르게 응답하였으며 두 단계의 평균 정답 개수는 비슷한 경향을 보이는 것으로 나타났다.

**Table 3. Result of inspecting cognitive abilities**

Categories	Variable	Mean	S.D	Min.	Max.
Line bisection test	A1	0.11mm	0.12mm	0	0.68mm
Trail-making test	B1	26.84sec	16.06sec	8.85sec	75sec
	B2	56.52sec	29.07sec	18.43sec	105sec
Stroop test	C1	0.87sec	0.16sec	0.63sec	1.4sec
	C2	36.40times	8.12times	3times	40times
	C3	1.03sec	0.2sec	0.77sec	1.53sec
	C4	36.32times	7.76times	1times	40times

인지능력 검사 결과를 비고령자 그룹(20-59세)과 고령자 그룹(65세 이상)으로 분류하여 분산분석을 수행한 결과 Table 4 내용과 같이 선나누기 검사를 제외한 나머지 6가지 검사 항목 모두 두 그룹 간 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것으로 분석되었다. 세부내용을 보면 고령자 그룹이 비고령자 그룹보다 선잇기 검사에 소요되는 평균 소요 시간이 난이도에 따라 21.83초, 44.78초 더 소요되었다. 방향스트룹 검사에서도 고령자 그룹은 비고령자 그룹보다 반응하는 시간이 평균 0.2초 정도 더 소요됐으며, 오답횟수도 평균 6개 정도 더 많은 것으로 분석되었다.

**Table 4. Result of ANOVA analysis about cognitive abilities between elderly and non-elderly group**

Categories	Variable	Group	Mean	Mean difference	F test
Line bisection test	A1	Non-elderly	0.09mm	0.05mm	3.460
		Elderly	0.14mm		
Trail-making test	B1	Non-elderly	17.10sec	21.83sec	52.889*
		Elderly	38.93sec		
	B2	Non-elderly	36.54sec	44.78sec	89.352*
		Elderly	81.32sec		
Stroop test	C1	Non-elderly	0.78sec	0.19sec	32.669*
		Elderly	0.97sec		
	C2	Non-elderly	39.06times	-5.95times	9.656*
		Elderly	33.10times		
	C3	Non-elderly	0.93sec	0.22sec	26.687*
		Elderly	1.15sec		
	C4	Non-elderly	39.08times	-6.19times	11.753*
		Elderly	32.90times		

\*Correlation is significant at the 0.05 level.

인지능력 검사 결과를 세부적으로 보기 위하여 실험에 참가한 피실험자 인지능력 측정 결과 값을 항목별로 점수화하여 상대적으로 가장 좋았던 결과 값을 0점, 안 좋았던 결과 값을 10점으로 도출하여 Figure 4와 같이 정리하였다. 분석 결과, 선나누기 검사(A1)에서는 연령대 간 큰 차이는 보이지 않았다. 선잇기 검사(B1, B2)에서는 상대적으로 20-40대는 좋은 결과(0-4점)를 보이는 반면, 60대 이상은 상대적으로 안 좋은 결과(5-10점)를 보였다. 특히, 난이도가 어려운 검사(B2)에서 더 안좋은 결과를 보이는 것으로 나타났다. 방향스트룹 검사의 경우 소요시간(C1, C3)을 측정한 결과에서도 연령대가 높아질수록 안좋은 결과가 나타났으며, 특히 정답 수를 측정한 결과(C2, C4)에서는 70대에서 안 좋은 결과를 도출한 피실험자가 많았음을 확인할 수 있다. 이를 통하여 전반적으로 연령대가 높아질수록 인지능력이 상대적으로 낮아지는 경향이 나타남을 확인할 수 있다.



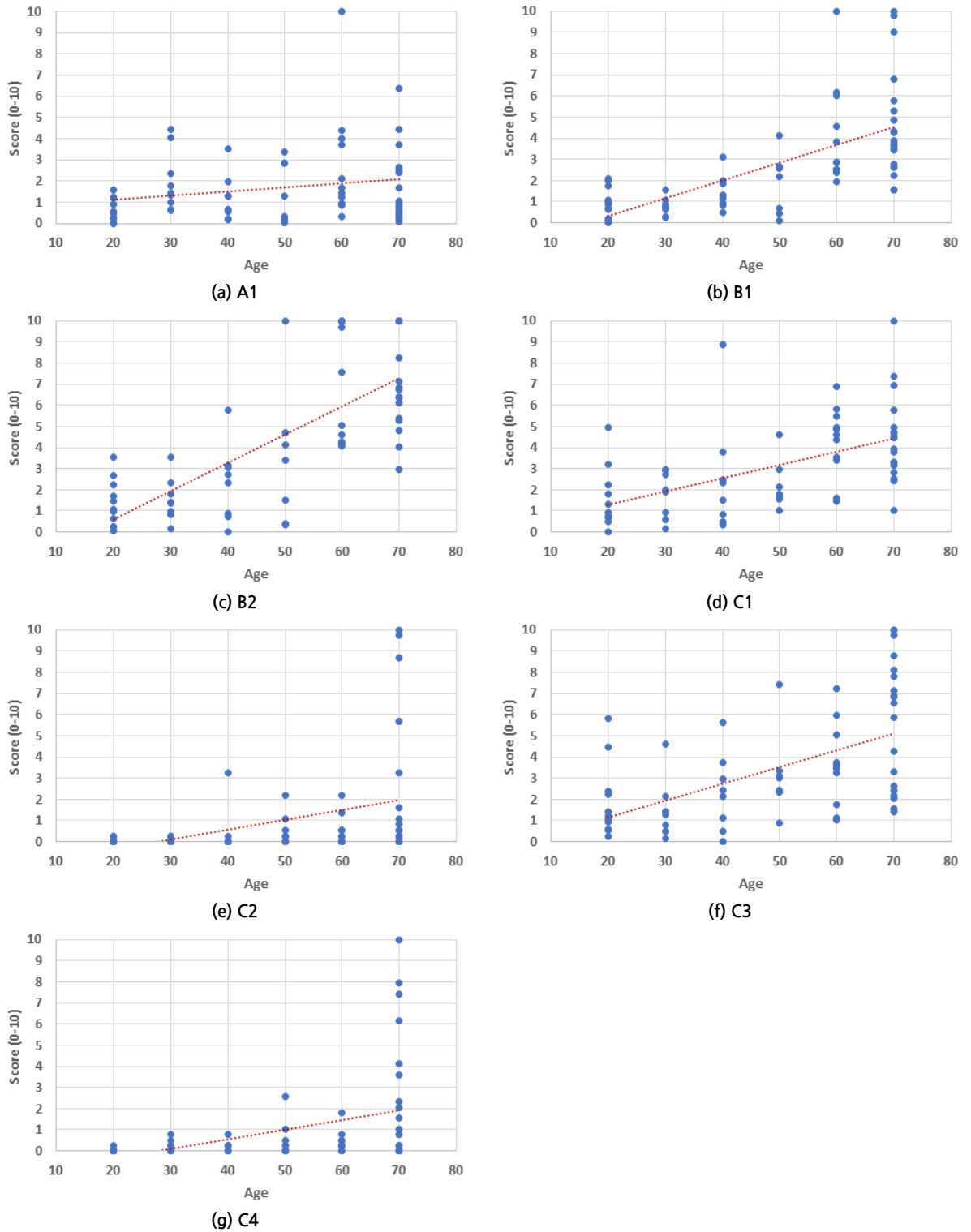


Figure 4. Plotting score of cognitive abilities

## 2. 군집분석 결과

인지능력 검사 결과를 토대로 최적 군집 분석 개수를 분석한 결과 Figure 5와 같이 두 그룹으로 군집을 분류하는 것이 가장 적절한 것으로 분석되었다. 군집으로 분류된 결과를 보면 Figure 6과 같이 군집 1은 22명의 데이터가 넓은 분포를 보이며 군집을 이루었으며, 군집 2는 43명의 데이터가 상대적으로 좁은 분포를 보이며 군집을 이룬 것을 확인할 수 있다. Figure 7에서 보는 바와 같이 군집 1은 고령자 20명과 40대 1명과 50대 1명으로 분류되었으며, 군집 2는 비고령자 33명과 고령자 10명으로 분류된 것을 확인되어, 군집 1의 경우 군집 2에 비하여 상대적으로 고령자 특성을 더 많이 반영하고 있음을 알 수 있다.

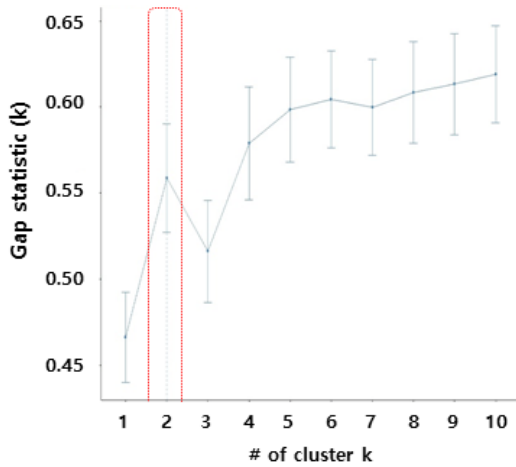


Figure 5. Analysis of optimal # of clusters

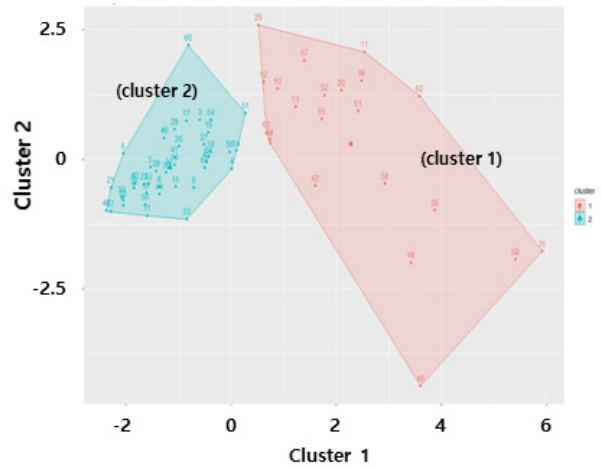


Figure 6. Result of cluster plot

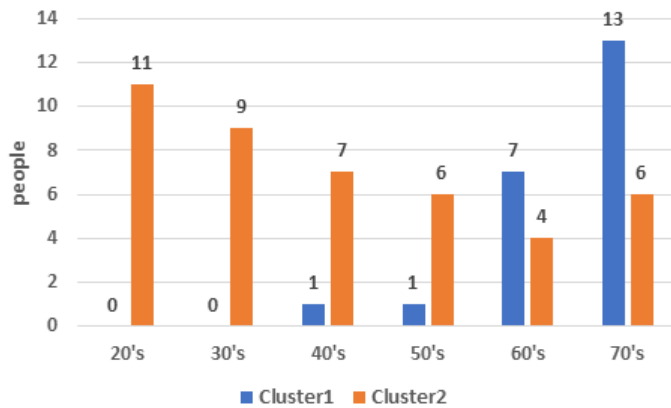


Figure 7. Analysis of clustering by generations

군집 1과 군집 2를 결정하는 요인들을 분석한 결과 Figure 8과 Figure 9와 같이 나타났다. 그래프에서 빨간색 점선은 평균 기여도의 기대 값을 나타낸다. 변수의 기여도가 균일하다면 예상 값은 1/총 변수가 되며, 여기서는 1/7≃ 14%가 될 것이다. 이 기대 값보다 큰 기여도를 가진 변수는 군집을 형성하는데 중요한 것으로 간주할 수 있다. 즉, 군집 1의 경우 선나누기 검사 결과(A1)를 제외한 나머지 변수들이 기대 값을 상회하며, 방향스트룹 검사의 소요시간이 가장 기여도가 높은 것으로 나타났다. 군집 2의 경우 선나누기 검사 결과(A1)와 방향스트룹 검사의 정답개수가 기대 값을 상회하여 기여도가 높은 것을 알 수 있다.

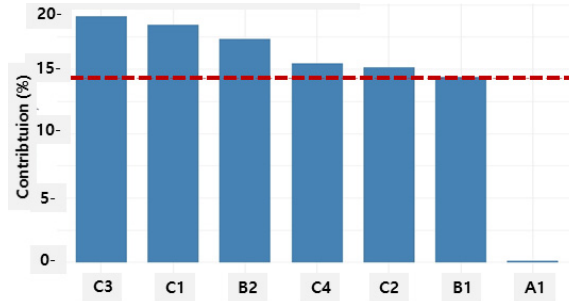


Figure 8. Contribution of cognitive variables to cluster 1

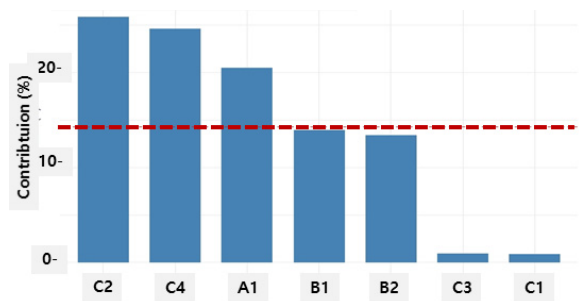


Figure 9. Contribution of cognitive variables to cluster 2

분류된 두 군집 간 인지능력 검사 결과 차이를 비교한 결과 Table 5 내용과 같이 선나누기 검사 결과 차이를 제외한 나머지 변수에서 통계적으로 유의미한 차이가 도출되었으며, 전반적으로 군집 1이 군집 2보다 상대적으로 인지능력이 낮은 것으로 나타났다. 이와 같은 결과를 토대로 본 연구에서는 군집 1을 상대적으로 인지능력이 낮은 운전자 그룹으로, 군집 2를 상대적으로 높은 인지능력을 보유한 운전자 그룹으로 정의하여 두 그룹 간 주행행태 차이를 비교분석 하였다.

Table 5. Result of inspecting cognitive abilities

Categories	Variable	Mean of cognitive abilities		Difference (cluster 1-cluster 2)	F test	t-test
		Cluster 1	Cluster 2			
Line bisection test	A1	0.137	0.101	0.036	0.955	1.166
Trail-making test	B1	41.924	19.119	22.805	4.747*	5.789*
	B2	87.016	40.913	46.103	1.556	9.013*
Stroop test	C1	1.045	0.778	0.268	2.221*	8.616*
	C2	30.682	39.326	-8.644	72.769*	-3.321*
	C3	1.243	0.92	0.323	3.117*	7.800*
	C4	30.591	39.256	-8.665	47.349*	-3.563*

\*Correlation is significant at the 0.05 level.

### 3. 군집 간 주행특성 비교분석

분류된 군집 간 주행행태를 시나리오별, 구간별로 나누어 차이가 있는지 분석해본 결과 Table 6과 같이 결과가 도출되었다. 시나리오 1에서는 두 그룹 간 주행행태 차이가 직선 구간 주행속도 편차에서 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것으로 분석되었으며 그룹 1의 주행속도가 그룹 2보다 약 1.9km/h 정도 더 편차가 나타났다. 이외에 직선 구간에서 주행행태 차이가 통계적으로 유의미한 결과가 도출된 것은 없었다. 교차로 우회전 구간에서는 핸들조향 편차에서 그룹 간 차이가 상대적으로 가장 컸지만 통계적으로 유의미한 차이는 없는 것으로 도출되었다.

시나리오 2에서는 직선 구간에서 주행속도 편차와 핸들조향 편차 항목에서 그룹 간 통계적으로 유의미한 차이가 있었으며 그룹 1이 그룹 2보다 더 안 좋은 주행행태를 보였다. 그리고 교차로 좌회전 구간에서는 주행속도 편차와 브레이크 답력 편차에서 그룹 1이 그룹 2보다 편차가 더 큰 것으로 도출되었다. 이외에 주행행태 항목에서는 그룹 간 차이가 통계적으로 유의미하지 않은 것으로 도출되었다. 시나리오 1과 시나리오 2는 도시부 도로에서 시간대가 다른 환경임을 고려하면 그룹 1과 그룹 2의 주행행태 차이가 주간(시나리오 1) 상황 보다는 야간(시나리오 2) 상황에서 더 두드러지게 나타난 것을 확인 할 수 있다.

시나리오 3에서는 직선구간의 경우 그룹 간 통계적으로 유의미한 차이는 없었지만, 그룹 1의 주행행태 항목 편차가 그룹 2보다 전체적으로 높으며 이는 상대적으로 주행행태가 더 안 좋다는 것을 의미한다. 곡선구간에서는 주행속도, 핸들조향, 차량 편측위치 편차가 통계적으로 유의미한 차이가 있으며 그룹 1이 그룹 2보다 더 큰 것으로 나타나

주행행태가 더 안 좋았음을 확인할 수 있다.

시나리오 4에서는 시나리오 3에서와 마찬가지로 직선구간에서는 통계적으로 유의미한 차이는 없었으며, 곡선구간에서 주행속도, 핸들조향, 차량 편측위치 편차 값에서 통계적으로 유의미한 차이가 있었다. 지방부 도로에서 나타난 특징은 곡선구간에서 그룹 간 유의미한 주행행태 편차가 많이 나타난 점으로, 그룹 1에 분류된 피실험자들이 상대적으로 곡선 구간에서 주행에 어려움을 느낀 것으로 해석된다.

**Table 6. Result of driving simulator experiment**

Scenario	Section	Driving performance	Cluster 1	Cluster 2	Difference (cluster 1-cluster 2)	F test	t-test
Scenario 1	Tangent	S.D of running speed (km/h)	5.603	3.662	1.940	0.681	2.351*
		S.D of handle steering	0.004	0.004	0.000	0.226	0.151
		S.D of brake force	0.032	0.015	0.017	11.179*	1.405
		S.D of lateral replacement (m)	0.297	0.243	0.054	0.006	1.030
	Turn-right at intersection	S.D of running speed (km/h)	6.747	6.417	0.330	2.749	0.365
		S.D of handle steering	0.059	0.067	-0.008	0.015	-1.575
		S.D of brake force	0.078	0.068	0.011	0.004	0.613
	S.D of lateral replacement (m)	1.826	1.806	0.020	0.068	0.283	
Scenario 2	Tangent	S.D of running speed (km/h)	11.186	7.657	3.529	3.801	3.392*
		S.D of handle steering	0.012	0.007	0.005	11.823*	2.090*
		S.D of brake force	0.069	0.041	0.028	4.365*	1.901
		S.D of lateral replacement (m)	0.439	0.455	-0.016	4.862*	-0.478
	Turn-left at intersection	S.D of running speed (km/h)	10.747	6.820	3.927	0.053	3.750*
		S.D of handle steering	0.064	0.063	0.001	1.141	0.071
		S.D of brake force	0.117	0.073	0.044	0.451	2.422*
	S.D of lateral replacement (m)	0.788	0.688	0.100	1.233	1.374	
Scenario 3	Tangent	S.D of running speed (km/h)	5.206	2.674	2.533	5.902*	1.931
		S.D of handle steering	0.004	0.002	0.002	4.027*	1.584
		S.D of brake force	0.033	0.020	0.013	10.602*	1.137
		S.D of lateral replacement (m)	0.271	0.199	0.072	3.041	1.846
	Curve	S.D of running speed (km/h)	5.254	2.774	2.480	8.245*	2.319*
		S.D of handle steering	0.008	0.004	0.004	4.616*	4.065*
		S.D of brake force	0.012	0.004	0.008	5.131*	1.217
	S.D of lateral replacement (m)	0.492	0.309	0.183	2.569	3.123*	
Scenario 4	Tangent	S.D of running speed (km/h)	2.278	2.295	-0.017	0.000	-0.040
		S.D of handle steering	0.004	0.003	0.001	3.987*	1.548
		S.D of brake force	0.019	0.013	0.005	0.982	0.598
		S.D of lateral replacement (m)	0.274	0.248	0.027	2.432	0.758
	Curve	S.D of running speed (km/h)	8.448	4.269	4.178	13.693*	2.412*
		S.D of handle steering	0.014	0.005	0.009	34.204*	3.207*
		S.D of brake force	0.029	0.009	0.019	15.648*	1.737
	S.D of lateral replacement (m)	0.479	0.344	0.135	0.558	3.137*	

\*Correlation is significant at the 0.05 level.

군집 간 통계적으로 유의미한 차이를 보인 주행행태 요인을 각 시나리오 구간별로 정리한 결과 Table 7과 같이 도출되었다. 결과를 종합해보면 인지능력이 상대적으로 낮은 운전자들(그룹 1)의 주행행태가 전반적으로 인지능력이 높은 운전자들(그룹 2)보다 불안한 주행행태를 보이는 것을 확인할 수 있었으며, 주간 상황보다는 야간 상황에서 이러한 경향이 더 분명하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 또한 도시부 도로(시나리오 1, 2)에서보다 주행속도가 빠른 지방부 도로(시나리오 3, 4)에서 주행행태 차이가 많이 나타난 것으로 분석되어 그룹 1에 분류된 피실험자들은 야간 시간대 및 빠른 속도로 주행해야 하는 연속류 구간, 특히 핸들조향이 지속적으로 이루어지는 곡선구간에서 더 불안한 운전 행태를 보일 수 있는 것으로 도출되었다.

**Table 7.** List of driving performance which were statistically significant by t-test

Scenario	Section	Driving performance
Scenario 1	Tangent	S.D of running speed
	Turn-right at intersection	-
Scenario 2	Tangent	S.D of running speed, S.D of handle steering
	Turn-left at intersection	S.D of running speed, S.D of brake force
Scenario 3	Tangent	S.D of running speed, S.D of handle steering, S.D of brake force
	Curve	S.D of running speed, S.D of handle steering, S.D of lateral replacement
Scenario 4	Tangent	-
	Curve	S.D of running speed, S.D of handle steering, S.D of lateral replacement

## 결론

본 연구에서는 사람의 인지능력이 상대적으로 높은 그룹과 낮은 그룹 간의 주행행태 비교분석을 통하여 인지능력 수준에 따라 실제 운전행태에 미칠 수 있는 영향에 대하여 분석해보았다.

분석결과 피실험자 중 20-50대는 대부분 인지능력이 상대적으로 높은 그룹에 분류가 되었으며, 65세 이상 고령 운전자의 경우 상대적으로 낮은 그룹에 분류되는 경향이 높은 것을 확인할 수 있었다. 인지능력이 좋지 않은 그룹을 결정짓는 요인으로 선이기 검사와 방향스트룹 검사 결과가 유의미한 것으로 도출되었다. 차량 시뮬레이터 실험을 통하여 분석된 주행행태를 그룹 간 비교분석한 결과 인지능력이 상대적으로 높은 그룹이 주행행태에서도 더 안정적인 모습을 보였다. 두 그룹 간 차이는 도시부 도로보다는 지방부 도로에서, 주간 상황 보다는 야간 상황에서 더 나타났다. 이는 운전이 좀 더 부하가 발생하는 도로환경일수록 인지능력이 낮으면 주행행태에 더 영향을 받을 수 있다는 경향을 보여준다.

본 연구 결과는 운전면허 적합 여부를 판별하는 적성검사 시 인지능력을 평가하여 기준 이하로 능력이 떨어지는 운전자의 경우 운전 위험군으로 분류할 수 있음을 보여준다. 위험군으로 분류된 운전자인 경우 도로주행 시험 등으로 실제 운전행태를 세부적으로 평가하여 운전 적합 여부를 최종적으로 판단하는 절차를 따르게 함으로써 적성검사 제도의 실효성을 높일 수 있을 것이다.

한편 본 연구는 65명의 피실험자만을 대상으로 인지능력 수준을 상대비교하여 분석했다는 한계가 있다. 또한 차량 시뮬레이터를 이용하여 운전행태를 분석한 측면에서 운전자의 실제 주행 능력이나 숙련 정도의 차이를 반영하지 못한 점도 한계로 여겨진다. 하지만 동일한 차량 시뮬레이터 환경에서의 상대비교를 통하여 결과를 도출한 것으로 결론 도출에는 큰 문제가 없는 것으로 판단된다.

따라서 향후 연구를 발전시키기 위해서는 보다 많은 샘플을 확보하기 위하여 관련 실험이 추가적으로 수행되어야 할 것이다. 그리고 고령운전자 군을 세분적으로 분류하여 고령운전자 군 사이에서 연령 차이에 따른 특성차이를 분석하는 연구가 필요할 것이다. 또한 피실험자의 운전경력, 숙련도, 사고이력 등의 실제 운전행태와 관련된 지표들을 추가하여 분석한다면 심화된 연구 결과를 도출해낼 수 있을 것이다. 이와 더불어 인지능력이 떨어지는 사람들을 대상으로 실제 도로주행시험 등을 수행하여 실제 운전에서도 주행행태가 안 좋은지 평가해본다면 인지능력과 운전행태 간 인과관계가 더 명확해질 수 있을 것이라 생각된다.


## Funding


This research was supported by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (2018R1D1A1B07049554).


## 알림


본 논문은 대한교통학회 제80회 학술발표회(2019.02.22)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

## ORCID

HWANG, Sooncheon  <http://orcid.org/0000-0001-8153-2006>

LEE, Dongmin  <http://orcid.org/0000-0003-2039-6586>

KIM, Sunhoon  <http://orcid.org/0000-0002-3048-7652>

KIM, Dohoon  <http://orcid.org/0000-0002-0273-2219>

## References

- Baek O. S. (2016), Legislative Evaluation of the System of Driver's License Aptitude Tests, Korea Legislation Research Institute.
- Bongiorno N., Bosurgi G., Pellegrino O., Sollazzo G. (2017), How is the Driver's Workload Influenced by the Road Environment? *Procedia Engineering*, 187, 5-13.
- Choi H. et al. (2014), A Study on the Efficiency and Improvement of the Developed Driving Cognition Evaluation Tools, National Rehabilitation Center.
- De Raedt R., Ponjaert-Kristoffersen I. (2000), The Relationship Between Cognitive/Neuropsychological Factors and Car Driving Performance in Older Adults, *Journal of the American Geriatrics Society*, 48(12), 1664-1668.
- Duquette J., McKinley P., Mazer B., Gélinas I., Vanier M., Benoit D., Gresset J. (2010), Impact of partial administration of the Cognitive Behavioral Driver's Inventory on concurrent validity for people with brain injury, *American Journal of Occupational Therapy*, 64, 279-287.
- Evans L. (1991), Traffic safety and the driver, Science Serving Society.
- Horikawa E., Morizono R., Koga A., Horie J. (2009), Elderly Driving Behavior and Cognitive Functions, *IATSS Research*, 33(1), 18-26.
- Hwang S. C., Kim S. H., Lee D. M. (2019), Driving Behavior on Hard-Shoulder Lanes in Tunnels using a Driving Simulator, *International Journal of Highway Engineering*, 21(3), 87-96.
- Kang S. C., Lee S. W. (2013), An Analysis of Older Driver's Riskiness using Driving Simulator and Driving Aptitude Test, *Journal of traffic safety research*, 32, 5-16.
- Kim H. J., Chang J. S. (2012), Calculation of the Peak-hour Ratio for Road Traffic Volumes using a Hybrid Clustering Technique, *J. Korean Soc. Transp.*, 30(1), Korean Society of Transportation, 19-30.
- Lee H. C., Lee A. H., Cameron D. (2003), Validation of a Driving Simulator by Measuring the Visual Attention Skill of Older Adult Drivers, *American Journal of Occupational Therapy*, 57(3), 324-328.
- Lee S. C., Kim J. H., Oh J. S., Kim I. S. (2005), The Character of Elderly Drivers' Traffic Accidents : Comparison of Elderly Drivers and Young Drivers, *CBNU Social Science Resem Institute*, 32(2), 171-192.
- Lee S. R., Kim J. H., Lee N. Y., Park Y. S. (2013), The Potential Driving Behavior Analysis of Novice Driver using a

- Driving Simulator, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 33(4), 1591-1601.
- McKnight A. J., McKnight A. S. (1999), Multivariate Analysis of Age-related Driver Ability and Performance Deficits, *Accident Analysis & Prevention*, 31(5), 445-454.
- Odenheimer G. L., Beaudet M., Jette A. M., Albert M. S., Grande L., Minaker K. L. (1994), Performance-Based Driving Evaluation of the Elderly Driver: Safety, Reliability, and Validity, *Journal of Gerontology*, 49(4), M153-M159.
- Oh M. S., Jang J. Y., Oh C., Han K. S. (2020), Analysis of Driving Behavior and Workload of Elderly Drivers on Freeways, *J. Korean Soc. Transp.*, 38(3), Korean Society of Transportation, 176-189.
- Park S. J., Lee S. C., Kim J. H., Kim I. S. (2006), The Effects of Error and Lapse on Elderly Driver's Driving Behaviour, *Korean Journal of Culture and Social Issues*, 12(1), 55-79.
- Patten C. J. D., Kircher A., Ostlund J., Nilsson L., Svenson O. (2006), Driver Experience and Cognitive Workload in Different Traffic Environments, *Accident Analysis and Prevention*, 38, 887-894.
- Road Traffic Authority (2018), Development of the Performance Evaluation Technique for Elderly Drivers and Analysis of the Risk of Traffic Accidents due to Diseases and Drugs, Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement.
- Ryu J.-B., Sihn Y.-K., Park S.-J., Han J.-H. (2011), The Simulator Study on Driving Safety while Driving through the Longitudinal Tunnel, *Journal of the Korean Society of Road Engineers*, 13(1), 149-156.
- Schwarze A., Ehrenpfordt I., Eggert F. (2014), Workload of Younger and Elderly Drivers in Different Infrastructural Situations, *Transportation Research Part F*, 26, 102-115.
- Shinar D. (2017), *Traffic Safety and Human Behavior* (2nd), Elsevier, Amsterdam, the Netherlands.
- Stutts J. C., Stewart J. R., Martell C. (1998), Cognitive Test Performance and Crash Risk in an Older Driver Population, *Accident Analysis & Prevention*, 30(3), 337-346.
- Teh E., Jamson S., Carsten O., Jamson H. (2014), Temporal Fluctuations in Driving Demand: The Effect of Traffic Complexity on Subjective Measures of Workload and Driving Performance, *Transportation Research Part F*, 22, 207-217.
- Vujanić M., Antić B., Pešić D., Savićević M. (2016), Testing the Psychophysical Characteristics of Professional Drivers: Can We Identify Unsafe Drivers?, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 42, 104-116.