

차량 시뮬레이터를 이용한 연속류 도로의 고령운전자 주행특성 분석

Analysis of Driving Characteristics of Elderly Drivers on Roads Using Vehicle Simulator

이 근 희* · 배 기 목**

* 주저자 : 한국외국어대학교 대기환경연구센터 책임연구원

** 교신저자 : 대전대학교 도시부동산공학과 교수

GEUN-HEE LEE* · GI-MOK BAE**

* Research Center for Atmospheric Environment., Univ. of Hankuk

** Dept. of Urban & Real Estate Engineering, Univ. of DAEJIN

† Corresponding author : GI-MOK BAE, oneway@daejin.ac.kr

Vol.20 No.1(2021)

February, 2021

pp.146~159

pISSN 1738-0774

eISSN 2384-1729

<https://doi.org/10.12815/kits.2021.20.1.146>

2021.20.1.146

Received 25 January 2021

Revised 1 February 2021

Accepted 8 February 2021

© 2021. The Korea Institute of
Intelligent Transport Systems. All
rights reserved.

요 약

본 연구는 고령운전자 운전특성 파악을 위한 실증적 분석의 일환으로 차량 시뮬레이터를 이용하여 고령운전자의 주행특성을 파악하고자 하였다. 이를 위해 기존연구 고찰에서 고령운전자의 주행특성 요소를 파악한 후, 시뮬레이션 환경을 구축하고 일반 운전자와의 주행 비교를 통해 고령자 운전특성을 명확히 도출하고자 하였다. 실험 결과 고령운전자는 주행속도, 운전조작(브레이크, 스로틀, 스티어링 작동) 등 차로편측을 제외한 모든 항목에서 일반 운전자와는 다른 주행특성을 보이는 사실을 확인하였으며, 주요 특성으로 차로변경 시 속도유지 및 적정 차간간격 확보가 어렵고, 돌발 상황 발생 시 정지거리와 소요시간이 더 많이 필요한 것으로 확인되었다. 결과적으로 고령운전자 주행거동의 일의적 특성을 입증할 수 있었고, 도로설계, 고령자 관련 교통정책 수립 등에 유효한 지침을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심어 : 시뮬레이터, 고령운전자, 주행특성, 연속류 도로

ABSTRACT

vehicle simulator as part of an empirical analysis the driving characteristics of elderly drivers. To this end, the driving characteristics of the elderly driver from previous study review. he driving characteristics of the elderly the driving elderly driver and general driverIn summarizing these experimental results, the -test showed different driving characteristics from general drivers in all items except for one side of the lane, such as driving speed and driving operation (brake, throttle, steering operation) at a significance level of 95%. Second, when changing lanes, it was difficult for elderly driver to maintain speed and secure an appropriate distance between carslderly driver changed lanes even in inappropriate situations (short distances between cars). Third, in unexpected situation, elderly drivers needed more distance and time.

Key words : Simulator, Elderly Driver, Driving Characteristics, Road without Traffic Lights
Network, Uninterrupted flow

I. 서 론

1. 배경 및 목적

고령자란 일반적으로 개략적 분류에서 중년 또는 장년이상의 사람을 일컫고 있으나 구체적인 연령에 따른 기준은 일률적이지 못하다. 국내의 경우, 고용촉진법에서 만 55세 이상을 고령자로 규정하고 있고, 도로교통법에서는 만 65세 이상을 고령자로 규정하고 있다. 국외 역시 고령자 기준은 상이한데, 그 중 가장 통상적으로 사용되는 UN 기준에서는 만 65세 이상을 고령자로 규정하면서 전체 인구에서 7% 초과 시 고령화 사회, 14% 초과 시 고령사회, 20% 초과 시 초고령 사회 내지는 후기 고령 사회로 규정하고 있다.

우리나라는 2000년 고령인구가 7.2%로 고령화 사회에 진입하였으며, 2018년에는 14.3%로 고령사회로 진입하였다. 현행과 같은 추세라면 2026년에는 20.8%로 초고령사회에 진입할 것으로 예상되고 있다.(KOSIS, 2021) 이처럼 사회적 고령화의 진전은 다양한 분야에서 대응 방안의 강구가 요구되고 있는데, 교통 부문에 있어서도 고령자 교통사고 예방 및 감소 대책 수립 등에 대한 다양한 정책안이 모색되면서 관련 연구가 진행되고 있다.

인구 고령화로 인한 고령운전자가 증가함에 따라 최근 10년간 전체 면허 소지자는 연평균 2.5% 증가인데 비해, 만 65세 이상 고령운전자는 평균 11.2% 증가하여 2019년 고령자 운전면허 소지자는 전체(32,679천명)의 약 10.2%인 3,337천명인 것으로 확인된다.(2009년 118만명, 2016년 249만명, 2019년 333만명) 고령운전자의 사고 건수 역시 2009년 전체사고의 4.9%인 1만 2천 건에서 2019년 약 12.6%인 3만3천 건으로 같은 기간 2.7배가 증가하였다.(Kostar, 2021)

장래 인구추계에서 2060년의 고령자 비중을 약 41%로 예측하고 있는 만큼 향후 고령 운전자 지속적 증가에 대응한 교통안전 등의 다방면의 연구가 필요하며, 특히 고령자 교통사고 발생을 저감시킬 수 있는 효과적인 연구가 필요한 것으로 인식되고 있다.

기존의 관련 연구에서는 관련 정책안의 제시(교통안전 교육, 면허 반납 등), 교통안전시설 보완 등의 물리적 환경 개선에 대한 제안이 많은데, 고령자 운전특성에 대한 구체적 분석을 바탕으로 한 실효적 대응방안의 강구가 요청되고 있다. 그런데, 고령자 운전 특성 파악에 있어, 고령운전자를 대상으로 실제차량과 도로에서 실험을 하기에는 현실적으로 제약요소가 많다. 그래서 시뮬레이터를 활용한 고령자 운전특성 분석 및 대응 방안 도출에 대한 연구가 진행되어 왔다.

본 연구에서는 고령운전자 운전특성 파악을 위한 실증적 분석의 일환으로 차량 시뮬레이터를 이용하여 거동 특성을 파악하고자 한다. 이를 위해 기존연구 고찰에서 고령운전자의 주행특성 요소를 파악한 후, 시뮬레이션 환경을 구축하고 일반 운전자와의 주행 비교를 통해 고령자 운전특성을 명확히 도출함으로써 향후 도로 설계 및 고령자 관련 교통정책 수립 등에 유효한 지침이 될 수 있도록 한다.

2. 연구의 방법

고령 운전자의 운전특성 파악을 위해 관련 연구의 고찰을 통해 특성요소를 파악하고, 치사율이 높은 연속류 도로에서의 특성을 도출한다. 도출된 특성을 바탕으로 시나리오를 설정하고 실제 도로와 유사한 환경을 구축하여 비고령자 30명, 고령자 30명, 총 60명을 대상으로 차량시뮬레이터 실험을 실시한다.

실험자료의 객관성과 합리성을 확보하기 위해 T-test 실시하여 두 집단의 차이를 규명하고 고령운전자의 연속류 도로에서의 주행 특성을 도출한다.

II. 기존문헌 고찰

1. 시뮬레이터 활용 연구

Casutt(2014)는 고령화에 따른 신체적, 정신적 기능 저하와 교통사고 발생 간 연관성을 실증하기 위해, 고령 운전자를 대상으로 시뮬레이터 실험과 실차 주행, 인지평가 실험을 실시하였다. 최고속도, 평균속도, 차선유지율, 차선변경율, 반응시간의 요소로 양자의 특성을 분석하였다.

Park(2013)는 연속주행 시 시뮬레이터를 활용한 가상주행 결과와 실차주행 결과의 차이를 비교분석하였다. 직선부와 곡선부의 주행속도를 기반으로 오차보정 선형회귀 모형을 개발하고 이를 통해 가상주행 결과의 도로환경요인, 인적요인의 영향을 보정하여 관련 연구의 가능성에 대해 제시하였다.

Guo(2013)은 시뮬레이터를 활용하여 고속도로 분기점 부근에서 가감속 차로(합류부, 분류부) 길이에 따른 운전행태를 분석하고 적정 설계 거리를 산정하였다. 고속도로 분기점의 교통특성(본선·가속차로·감속차로 등)과 속도편차, 차량거동 및 가감속 변화를 비교 분석하였다.

Leversen(2012)은 시뮬레이터를 통해 비 고령자와 고령운전자가 각각 3가지 상황(시각인지능력 저하 상태에서 기본 반응시간이 요구되는 상황, 선택 반응이 필요한 상황, 시각인지능력 충실이 요구되는 상황)에 대한 거동을 실험하였다. 실험결과, 고령운전자가 비 고령운전자보다 시각인지 능력 저하로 기본 반응시간이 약 27% 느리다고 확인하였다.

Calvi(2011)는 시뮬레이터를 통해 분류부(접근시, 진입시, 진출시)에서의 운전행태를 분석하였는데, 30명의 피실험자를 대상으로 3가지 교통류조건(high, medium, low)에서의 속도, 감속도, 차량계적 등의 차이를 비교 분석하였다. Calvi(2012)는 시뮬레이터를 통해 다양한 교통상황(교통량, 기하구조)에서의 합류부 운전행태를 분석하여, 본선 교통량이 운전거동에 영향을 미치고, 가속차로의 길이는 유의미한 영향요소가 없음을 밝혔다.

Jo(2008)은 65세 이상의 고령운전자와 30~40대 운전자를 구분하여 피실험자를 모집하고 차량시뮬레이터를 활용하여 시내도로에서 대형화물차 2대가 빠른 속도로 끼어드는 상황, 무단횡단 보행자와의 조우 상황, 전방 차량의 급정거 상황 등 시내도로에서의 돌발 상황을 모사하여 고령운전자의 주행특성을 도출하고자 하였다. 실험 결과 고령자는 상대적으로 잦은 핸들 조작, 갑작스런 브레이크 조작 등 정교한 운전행위에 애로가 있음을 제시하였다.

Hirata(2007)는 MOVIC-T4라는 Driving Simulator를 이용하여 도시 지하고속도로의 안전성을 분석하기 위해 실제 주행 시의 속도, 차두간격, 감속도 등을 상호 비교하였다. 그 결과 속도와 차두간격, 생리학적인 데이터 들은 실제 주행과 simulator에서 대부분 유사한 추세를 보였으나 감속도는 simulator에서 더 크게 나타났다.

2. 고령자 운전특성에 관한 연구

Jang(2014)은 교통사고 자료를 바탕으로 고령운전자의 교통사고 피해 심각성을 다수준 분석모형을 활용하여 분석하여, 65세 이후의 고령운전자는 연령이 증가할수록 교통사고로 인한 피해상황이 심각함을 부각하고, 관련 대안수립(교육 등)의 필요성을 제기하였다.

Lee(2014)은 고령운전자 설문조사를 기반으로 운전능력과 운전행동 및 사고위험의 관련성을 파악하였다. 이를 통해, 65세에서 74세의 초기 고령운전자와 업무상으로 운전하는 고령운전자에 대한 교통안전교육 필요성을 제시하였다.

Gyun(2014)은 고령운전자 정서와 운전행동 간의 관계분석을 통해 고령운전자 운전특성 분석 모형을 개발하였

다. 이를 통해 고령운전자의 부정적 정서 및 인지지각 능력과 위험운전행동 간의 구조적 관계를 도출하였다.

Im(2012)은 운전자 적성검사(Driving Aptitude)를 통한 고령운전자의 행동특성을 분석하고 교통사고 자료를 기반으로 사고특성을 반영한 교통사고 분석 모델을 개발하였다. 이를 통해, 모델의 변수 중 주행속도 주의전환, 인지능력이 고령자 사고와 영향 관계에 있음을 확인하였다.

Lee(2006)은 고령운전자의 인지적 특성과 운전특성의 차이점을 도출하기 위해 인지특성 검사(CFF검사와 운전적성 검사기)와 운전 모의장치를 활용하였다. 고령운전자는 복잡하고 위험한 상황에서 반응시간 등의 증가로 교통사고를 야기하게 된다는 사실을 도출하였다.

Horberry(2004)는 6,480명의 속도 기록 및 설문조사를 통해 고령운전자(65세이상)와 일반운전자를 비교 분석하였다. 고령자는 운전속도가 느리고 교통법규를 잘 준수하는데, 감속/가속 정도가 크며 차간 거리 확보거리도 일반 운전자에 비해 크다고 분석하였다.

3. 연속류 도로의 고령자 운전자 위험 구간 도출

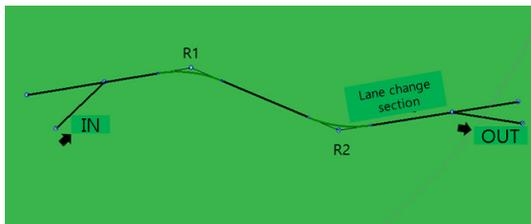
기존연구를 종합해 보면 고령운전자는 시각, 근력, 청각 등 다양한 신체기능 저하로 인지반응 시간의 증가, 집중력 저하, 근력의 저하 등 운전과 밀접한 부분에 있어 애로가 발생하며, 특히 동시에 다양한 판단을 해야 하는 상황에서 일반 운전자와는 다른 주행 특성을 보이는 것을 알 수 있다(The Korea Road Traffic Authority, 2005). 또한 다수의 연구가 도심의 교통량이 많은 침두시, 복잡한 교차로 등을 대상으로 분석이 진행되었다.(Jo, 2008; Jo, 2008)

일부 고속도로를 대상으로 진행된 연구가 있으나(Kim, 2016; Jeon, 2018) 기하구조를 주된 대상으로 하거나, 단순 설문조사 내용을 바탕으로 진행된 것으로, 연속류 도로에서 고령자의 주행특성을 도출한 연구는 미비한 상황이다.

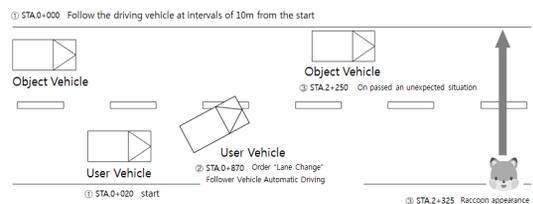
Andersen and Lebiere(1998)은 고령운전자는 고속주행 시 위험상황에 직면하면 판단력이 급속히 저하된다고 하였고, Lim(2013)는 속도가 높을수록 고령운전자는 불안해 하면서 사고 발생 확률이 높아 질 수 있다고 주장하였다.

연속류 도로는 상대적으로 주행속도가 높아 치사율이 높기 때문에 연속류 도로에서 고령운전자가 운전애로를 인식하게 되는 구간 또는 지점에서의 운전특성을 도출하여 도로 설계 및 관련 정책수립에 기반자료로 활용될 수 있도록 해야 한다.

따라서 본 연구에서는 <Fig. 1>, <Fig. 2>와 같이 연속류 도로에서 고령운전자가 운전애로를 인식하게 되는 분/합류부 구간, 차로변경 구간, 가감속 구간, 돌발상황에 의한 급정거(야생동물 출현)에서의 주행특성을 도출할 수 있는 시나리오를 구축하고 시뮬레이션을 진행하였다.



<Fig. 1> Road division and consolidation, acceleration and deceleration scenarios



<Fig. 2> Lane change / Emergency scenarios

III. 실험방법

1. 실험 대상

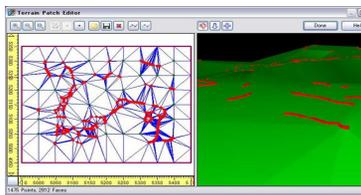
피실험자는 운전면허증 소지자로 지속적인 운전을 하는 사람(경력 5년 이상)을 대상으로 하였다. 도로교통법의 고령자 기준(65세 이상)을 적용하였으며, 운전면허 신체검사 기준(2017.11.17. 도로교통공단)인 교정시력 양안 0.8이상(각각 0.5이상)의 비고령자 그룹(30세 이상 65세 미만. 평균 43세)과 고령자 그룹(65세 이상. 평균 67세) 각각 30명을 선정하였다.

2. 실험 장비

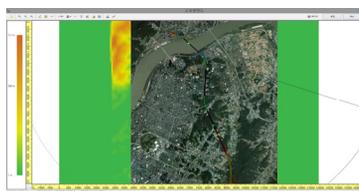
1) 소프트웨어 및 도로 작성방법

도로환경을 가상현실에 구현하기 위해 FORUM8사에서 개발한 가상현실 소프트웨어 UC-win/Road ver.14.0을 활용하였다. UC-win/Road는 실제 좌표와 스케일을 사용하면서 실제 지형과 위성지도 입력이 가능하여 현실환경의 구현에 유리하다. 도로선형, 평면선형, 종단경사 등의 도로설계 요소를 모두 반영 가능하여 피실험자는 실제 여건과 동일한 환경을 직관하게 된다. 또한 주행환경(도로구성, 차로폭, 중앙분리대 유형, 표지판의 위치 및 크기, 종류, 배치간격 등)의 구성도 용이하여 대안별 맵을 구축하기에 편리하다.(Fig. 5~Fig. 8)

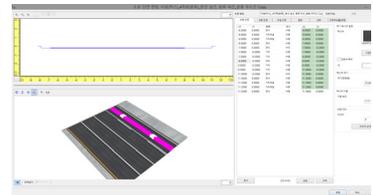
입력자료로 지형은 국토지리정보원에서 제공하는 수치지형도를 사용하였으며(Fig. 3), 위성지도는 포털사이트에서 제공하는 위성지도를 사용하였다.(Fig. 4)



<Fig. 3> input topographic map



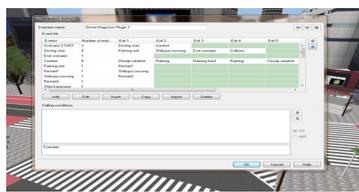
<Fig. 4> Input Flat composition



<Fig. 5> Cross section texture



<Fig. 6> Road safety facilities



<Fig. 7> Input Cross slope/ Vertical grade



<Fig. 8> Environment creation

2) 차량 시뮬레이터

피실험자가 집중해야 하는 영상기기는 가상현실 소프트웨어인 UC-win/Road와 연동이 가능한 32인치 3채널 Display의 실차형 시뮬레이터를 활용하였으며, 운전자가 조작해야 하는 부분인 핸들, 페달(엑셀, 브레이크, 클러치), 변속기 계기판 등은 실제 차량에서 사용되는 부품을 사용하여 실제차량의 조작과 동일한 환경을 구축하였다.(Fig. 9~Fig. 10)



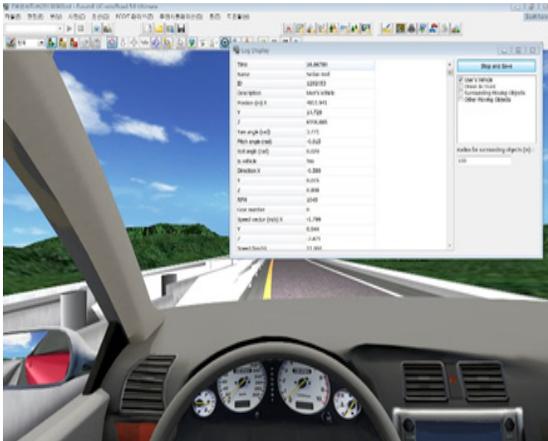
<Fig. 9> Experimental vehicle simulator



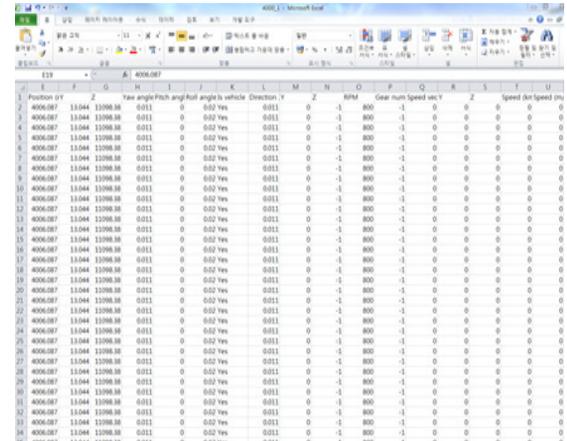
<Fig. 10> Vehicle simulator experiment

3) 주행데이터 기록장치

가상주행실험 데이터는 UC-win/Road에서 제공하는 기능인 DS Log data를 사용하여 기록하였다. DS Log data는 주행시간, 주행속도, 주행거리, 가속속도, 브레이크 파워, RPM, 핸들회전각도, 차로편측위치 등을 자동으로 저장하며, log데이터는 0.01초마다 기록할 수 있다. log데이터는 EXCEL에서 읽기, 편집이 가능한 형태로 저장되어, 원하는 항목 또는 구간만 분석이 가능한 장점이 있다.(Fig. 11~Fig. 12)



<Fig. 11> Data Log



<Fig. 12> Data Log of auto save data

3. 실험 방법

1) 실험조건

실험 참가 전 피실험자에게는 주행경로에 대한 정보만 전달하여 실험 상황에 대한 사전인지를 배제하여 객관적 실험환경을 조성하였다. 또한 도로의 요소들이 운전자 주행행태에 영향을 미치지 않도록 타 교통류와 같은 영향요인을 제외하였다. 고령자는 시뮬레이터 조작이 익숙할 수 있음을 고려하여 실험 전 예비주행을 실시하여 피실험자가 Driving Simulator 조작에 익숙해지도록 하여 실험에 무리가 수반되지 않도록 하였다.

시나리오는 <Table 1>과 같이 주변 환경의 영향 등을 배제한 상황에서 고령운전자의 주행특성을 파악하기 위한 관점에서 설정되었다. 우선, 다른 주행차량 없이 시점부에서 종점부 램프까지는 자유주행 하게 한다. 다음으로, 종점부에서 시점부로 회차하는 본선 진입 및 차로 변경 시 후방에 추종차량을 발생시키고 일정구간 주행 후 추종차량 앞으로 차로변경하게 한다. 이를 통해 고령운전자의 가속 및 차로 변경 시 운전특성이 발현될 수 있도록 하였다. 마지막으로 일정 구간을 주행 중에 특정 지점에서 야생동물이 출현하는 이벤트 상황을 설정하였다.

본선 진입 및 차로변경에 대한 전체 구성을 보면 도로의 STA. 0+020에서 주행 시작, 후방 추종차량은 STA. 0+000에서 주행시작, 주행차량과 10m 간격을 두고 추종 → 주행차량이 STA. 0+870을 지날 때 ‘1차로로 주행해주세요’ 안내 멘트를 음성과 화면에 표출, 여기서부터 후방 추종차량은 주행차 추종이 아닌 자율주행을 하도록 하였다. 추종상황이 일률적으로 계속되면 추종차량은 주행차량의 움직임에 맞춰 계속 10m 간격을 유지하게 되어 유의미한 분석이 될 수 없기 때문이다.

돌발상황은 주행차량이 직선구간을 주행할 때(STA. 2+250) 전방 약 75m(STA. 2+325) 위치에서 야생동물이 횡단하는 상황을 연출하였다.

<Table 1> Scenario synthesis

| Content (Analysis Section) | Composition of the scenario |
|---|--|
| ① Driving characteristics during acceleration / deceleration (All section) | <ul style="list-style-type: none"> - Start → end point · Starting at the starting ramp and entering the main line of continuous flow road (change lane and acceleration) · Advance through the exit ramp at the end point (change lane and deceleration) · Recording of acceleration and deceleration driving data for all section |
| ② Driving characteristics of the entry/exit section (ramp Entry, exit) | |
| ③ Driving characteristics of the rotating section (Before entering, turning section, after exiting) | <ul style="list-style-type: none"> · R=140m, R=240m, R=480m curve section |
| ④ Driving characteristics when changing lanes (Lane change section) | <ul style="list-style-type: none"> - end point → start point · Entering and accelerating the main line from the 3rd lane · Changing to the first lane while driving on the second lane (Voice instructing to change lanes (place other vehicles following the rear) · Wild animal emergence while driving |
| ⑤ Cognitive reaction time (Unexpected situation of crossing wild animals) | |

IV. 실험결과 분석

1. 비고령자와 고령자의 T-test 결과

본 연구에서 고령운전자와 비고령운전자의 시뮬레이터 결과자료를 비교 분석하기 위해 기존의 유사연구인 Kim(2016), Korod(2016)에서 사용한 t-test 검정방법을 사용하였으며 검정결과 등분산 형태의 정규분포를 따르는 것을 확인하였다.

연속류 도로에서 고령자와 비고령자의 운전특성을 보면, 주행속도, 운전조작(브레이크, 스톱, 스티어링 작동) 차로편측의 t-test 결과(유의수준 95%)는 <Table 2>와 같으며, 차로편측을 제외한 모든 항목에서 상이한 주행특성을 보이는 것으로 나타났다. 주행속도는 실험 구간 내 전구간의 평균속도를 비교한 값으로 고령운전자가 약 6km/h 낮은 속도로 주행하는 것으로 나타났다.(p<0.00)

브레이크 작동값은 0~1로 표시되며 브레이크에 가한 힘이 최대일 때 1로 표시된다. 고령자의 경우 상대적으로 브레이크 작동 횟수가 많고 곡선구간 진입과 차로변경 시 높게 나타나, 일반인 운전자와는 상이한 것으로 나타났다.($p < 0.00$),

가속페달 작동과 관련한 스로틀 값은 0~1로 표시되는데, 최대로 밟았을 때 1로 표시된다. 고령운전자는 비고령운전자 대비 스로틀 값이 낮게 나타났으며, 계속 변하는 상태를 보였다.($p < 0.01$)

핸들조작과 관련한 스티어링 작동 값은 -1 ~ +1 사이의 값으로 좌측 -1, 우측 +1 로 표시된다. 스티어링 값은 음의 값을 갖기 때문에 절대값을 이용하였으며 고령자의 경우 0.0054로 상대적으로 높게 나타났으며, 지속적인 수치변화가 있었다.($p < 0.05$)

차로편측은 주행 안정성과 관련한 척도로 차로 중심에 연해 주행유지 가능 수준을 나타내는데 해당 수준이 되면 0으로 표현된다. 차로편측의 경우 유의미 하지 않은 것으로 나타났는데, 이는 고령운전자의 저속상태 차선유지와 비고령자의 돌발상황 핸들조작 상태(스티어링)가 반영된 것으로, 스티어링 조작이 수반되는 일부 구간을 제외하고 일반 구간과 고속구간에서는 차로편측의 값이 상이한 것을 확인 하였다.

<Table 2> T-test result

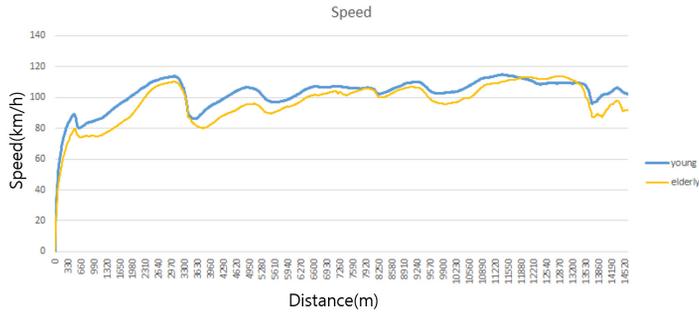
| division | | Young drive | Elderly driver | t-ratio / p-value |
|----------------------------|------|-------------|----------------|-------------------|
| Speed | mean | 102.6052 | 96.9309 | -6.44 / 0.00 |
| | sd | (18.08) | (19.59) | |
| Brake (strong and weak) | mean | 0.0045 | 0.0050 | 5.15 / 0.00 |
| | sd | (0.002) | (0.003) | |
| Throttle | mean | 0.5429 | 0.4854 | -2.89 / 0.01 |
| | sd | (0.04) | (0.07) | |
| Steering | mean | 0.0052 | 0.0054 | -2.01 / 0.05 |
| | sd | (0.007) | (0.004) | |
| lane of median | mean | 0.3088 | 0.4534 | -1.21 / 0.24 |
| | sd | (0.130) | (0.133) | |

* P < 0.05

2. 평균 주행속도 특성

각 그룹의 평균 주행속도를 비교하면 고령운전자는 96km/h, 비고령자는 102km/h로, 두 그룹 간 차이는 6km/h로 나타났다.(Fig. 13) 일부 구간에서 고령운전자의 주행속도가 높은 현상을 보였는데, 이는 돌발상황 구간 주행 시 인지반응이 낮아 속도저감이 적시에 이루어지지 않은데서 기인하는 것으로, 다른 구간에서는 전반적으로 주행속도가 낮은 것으로 파악되었다.

구간 특성에 따라서는 본선 진입 후 차이가 더 커지고, 감속구간에서 동일 수준으로 수렴하는 현상을 보였다. 이는 기존의 연구결과를 보았을 때 고령운전자는 신체 기능 저하에 따라 고속에서의 불안감 생성 가능성이 높을 수 있어, 상대적으로 낮은 속도로 주행하는 것으로 파악된다.(Min, 2009)



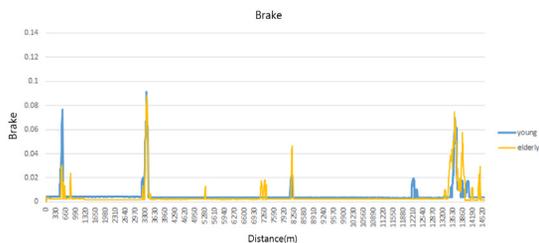
<Fig. 13> Speed Comparison result

3. 브레이크, 스로틀의 조작 특성

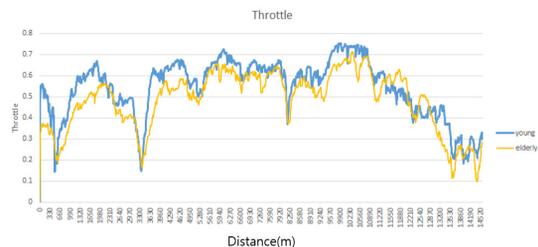
가속과 관계되는 브레이크 및 스로틀 작동은 차량의 주행속도를 제어함에 있어 가장 중요한 부분으로 인지반응시간과 더불어 정지거리에 영향을 미치는 요소이다. 브레이크 작동값은 0~1로 표시되며 브레이크에 가한 힘이 최대일 때 1로 표시됨은 전술한 바 있다. 고령운전자의 경우, 수치가 0.0050으로 비고령자 대비 높게 나타났으며 이는 급감속이 수반될 수 있음을 의미한다.(Fig. 14)

스로틀 값은 주행속도와 관계가 있는데, 주행속도가 빠를수록 높은 수치를 보인다. 고령운전자의 경우 0~1사이의 구간에서 0.4854의 값을 보여 상대적으로 낮게 나타났다. 스티어링의 조작이 수반되는 구간에서는 더욱 낮은 수치를 보이고, 일상적인 주행에서 계속 변화되었다.(Fig. 15)

두 가지를 조합해 볼 때 고령자는 일상 주행상황에서 주행속도 유지를 위해 지속적인 가속페달 조작을 기하고, 스티어링 조작을 병행할 시에는 속도를 낮추는 것을 알 수 있다. 이는 가속페달만으로 안정적인 속도로 주행하는 것이 미숙하며, 감속페달을 사용해야만 적절한 속도 조절이 되고, 스티어링의 조작이 있는 경우 습관적으로 엑셀레이터 조작을 멈추고 상황 파악 후, 감속 또는 가속 행위로 이어지는 운전행위를 함을 알 수 있다.



<Fig. 14> Brake Comparison result



<Fig. 15> Throttle Comparison result

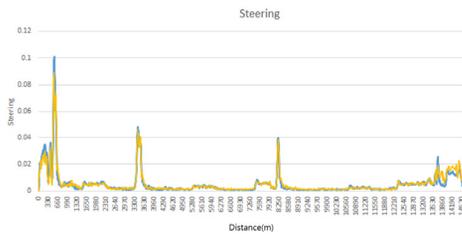
4. 스티어링, 차로편측 특성

핸들조작 및 차로편측에 대한 특성을 보면 연속류 도로의 곡선반경이 큰 영향을 받아 스티어링 값이 높은

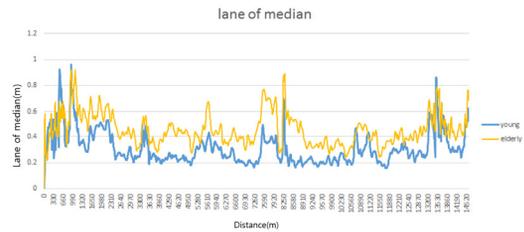
수치는 아니어서, 직선구간과 곡선구간으로 나누어 상대적 비교를 통해 지속적 변화상태를 고찰하였다.

고령자의 경우 스티어링 작동 값은 0.0054로 곡선 중심 구간을 제외하고 상대적으로 높게 나타났는데, 이는 회전구간 진입전, 본선 진입 또는 차로 변경 시 비고령자 대비 스티어링 조작 범위가 상대적으로 크다는 것을 의미한다.(Fig. 16)

해당 구간에 대해 차로편측의 값을 살펴 본 결과 역시 높은 것으로 나타나 회전 구간 및 차로변경 시 고령자는 저속임에도 불구하고 스티어링의 조작이 커서 차로에서 벗어나는 상황이 잦고 차로 중심으로의 이동에 있어 어려움을 느끼는 것을 알 수 있다.(Fig. 17) 이는 도로의 기하구조에 적절히 대응하는 주행이 미숙하며, 그로 인한 핸들조향과 감속페달의 잦은 작동이 수반되는 운전행위가 있음을 시사한다.



<Fig. 16> Steering Comparison result



<Fig. 17> lane of median Comparison result

5. 감속 및 가속 특성

감속 및 가속 특성을 살펴본 결과 고령운전자는 분류부와 합류부에서 브레이크 작동 값이 크며, 곡선반경이 작은 구간에서 그 차이가 더 크게 나타났다. 분/합류부의 진입 속도가 일반 운전자 대비 낮음에도 불구하고 감속페달을 이용하는 운전자 비율이 높았으며, 스티어링 값 역시 높게 나타났다.

이는 고령운전자의 경우, 분/합류부에서 많은 핸들조작이 필요하면서 본선 주행환경에 대한 인지 및 신속한 차로변경이 미숙하기 때문인 것으로 사료된다.

회전구간에서 가속과 감속정도를 그룹 간 비교한 결과, 고령운전자는 일반운전자에 비해 가속이 낮고 감속은 상대적으로 크게 나타났다. 또한 차량편측과 차로변경 정보에서도 고령운전자는 차선을 쉽게 변경하지 못하는 것으로 나타났다.

각 지표별 특성을 연계하여 고령운전자의 합류부의 주행특성을 보면, 곡선반경이 작은 회전구간 일수록 핸들 조작, 속도조절의 대응이 힘들고 차로 중심으로의 이동에 시간이 많이 소요되는 것을 확인하였다.

6. 차로변경 특성

차로변경은 운전자가 차로변경 시그널을 시작했을 때부터 차량이 변경하고자 하는 차로에 진입하여 스티어링 값이 0이 되는 시간과 거리를 측정된 것으로, 일반 운전자는 차로변경 시 약 4초의 시간과 114m의 소요거리가 필요하고, 속도 변화는 거의 없는 것으로 나타났다. 그러나 고령운전자의 경우 차로변경 시 약 6초 정도의 시간과 약 124m의 소요거리가 필요하고 약 20km/h의 감속을 하는 것으로 나타나 일반운전자와 차이를 보였다.(Table 3)

저속 운행에 의한 차로변경은 후방 차량과의 추돌 사고를 유발할 가능성이 높은 바 각별한 주의가 필요할 것으로 보인다.

<Table 3> Simulator lane change experiment results

| 구분 | Young drive | Elderly driver |
|----------|-------------|----------------|
| Time | 4.074 | 5.970 |
| Distance | 114.941 | 124.703 |
| Speed | 102.190 | 76.735 |

7. 인지반응 및 돌발상황 특성

돌발상황에 대한 그룹별 인지반응 시간을 비교해 보았다. (Table 4) 미국의 AASHTO에서는 인지반응 시간을 1.5초로 산정하여 도로설계에 반영하고 있으며, 국내의 경우 모든 연령을 고려하기 위해 여유 1초를 더하여 2.5초로 산정하여 도로 설계에 적용하고 있다.(Han, 2016; kim, 2016) 인지반응 시간은 도로설계에 있어 매우 중요한 요소로 본 실험을 통해 현행 기준과 비교를 수행했다.

기존의 시뮬레이터를 활용한 고령운전자 인지반응 실험결과를 보면, Magister et al.(2005)는 실측에서 1.1초, 시뮬레이터에서는 0.9초의 반응시간이 있음을 보였으며, Xu et al.(2010)는 시뮬레이터 실험결과 1.19초의 결과를 도출하였다.

본 실험에서는 전술한 바와 같이 야생동물 출현의 돌발 상황에서 스톱과 브레이크 작동 시간까지를 인지반응 시간으로 산정한 결과, 상대적으로 늦은 인지반응 시간을 보였는데, 연속류 도로에서 일부 구간을 제외하고 단독 주행임을 고려하면 기존의 연구 결과에 크게 벗어나지 않는 수준으로 고령자 1.365초, 비고령자 1.207초로 나타났다. 고령 운전자가 약 0.158초 길어졌는데, 고령자 신체기능저하 특성 상 인지반응이 늦은 것이 반영된 결과로 사료된다.

돌발 상황 시 정지거리 파악을 위해 급정거 이외의 운전행위(핸들조향 등)는 제외하고, 야생동물 출현 후 즉각적 반응으로 나타난 스톱과 브레이크 작동 시점까지의 거리를 산정하였다.

산정 결과, 고령자는 소요거리 약 35m이고 -11.3km/h의 감속을 보였고, 비고령 운전자는 소요거리 약 37m에 -5.36km/h의 감속을 보였다. 비고령 운전자의 경우, 돌발 상황 발생 전의 속도가 더 높았기 때문에 소요거리는 길었고, 스톱 작동으로 감속하면서 탐색시간을 갖고 핸들 조향 등의 운전 전환을 보였기 때문에 감속 폭이 적게 나타난 것으로 사료된다.

<Table 4> Simulator emergency test results

| Division | Young drive(SD) | Elderly driver(SD) |
|---------------------------|-----------------|--------------------|
| Perception Reaction Times | 1.207(0.662) | 1.365(0.854) |
| Distance | 37.889(2.412) | 35.968(4.447) |
| deceleration | -5.36(1.008) | -11.3(2.247) |

V. 결 론

본 연구는 시뮬레이터를 이용하여 고령운전자의 연속류 도로에서의 주행 특성을 도출하고자 하였다. 이를 위해 현행 도로교통법 기준인 만 65세를 기준으로 고령자 그룹과 비고령자 그룹으로 구분하여 각 그룹당 30명으로 총 60명의 피실험자를 모집하였다.

실험 장비는 실제와 유사한 도로환경을 가상현실에 구현하기 위해 FORUM8사에서 개발한 가상현실 소프트웨어 UC-win/Road ver.14.0을 활용하고 예비 주행을 통해 시뮬레이터와 실제 주행과의 괴리를 최소화 하였다.

실험 결과를 종합하면 첫째, 고령운전자와 일반운전자는 도로조건 등의 운행상황 속에서 각기 다른 주행 특성을 보이는 것을 실증할 수 있었다. T-test 결과 유의수준 95%에서 주행속도, 운전조작(브레이크, 스톱, 스티어링 작동) 등 차로편측을 제외한 모든 항목에서 일반 운전자와는 다른 주행특성을 보이는 사실을 확인 하였다.

주행 속도와 관련, 고령운전자가 상대적으로 낮은 속도로 주행하는 경향을 보였는데 이는 고속에서의 차량제어가 미숙한 고령자 신체기능 특성이 반영된 것으로 볼 수 있다.

주행지속을 위한 운전행위와 관련해서는, 브레이크, 스톱 작동값의 확인에서 고령운전자는 가속페달에 의한 미세한 주행조정이 미숙하여 가속과 감속 페달을 빈번하게 조작하는 것으로 나타났다.

방향전환과 경로변경 요소와 관련해서는, 차로변경 및 분합류부 구간에서 스티어링 작동값이 크게 나타나, 차로 중심으로의 안정적 주행 등 도로 기하구조에 대응한 운전애로가 있음이 확인되었다.

둘째, 고령운전자는 차로변경 시 속도유지 및 적정 차간간격 확보가 어렵고, 부적절한 상황(짧은 차간거리 등)에서도 차로를 변경하는 특성을 보였다. 이는 고속 주행 시 신중하게 차로변경을 시도하면서도 적정 차간 거리에 대한 인식능력의 상대적 부진과 낮은 접근속도로 인해 후방차로와의 추돌사고 야기 가능성을 보여주는 것으로, 관련 분야의 학습이 필요함을 시사한다.

셋째, 돌발 상황 발생 시, 고령운전자들은 정지거리와 소요시간이 더 많이 필요한 것으로 확인되었다. 신체기능저하에 따른 인지반응 시간이 크다는 것이 입증된 것이다.

이상의 결과는 고령운전자 주행특성을 반영한 도로설계, 교통안전정책 수립에 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

향후, 시뮬레이터 실험 자료의 일반화 확대를 위한 방법론 개발에 대한 후속 연구를 수행하기로 한다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 : 21CTAP-C157871-02).

REFERENCES

- Anderson J. R. and Lebiere C.(1998), "The Atomic Components of thought Hillsdale," *Journal of Software Engineering and Applications*, vol. 4, no. 1, p.39.
- Calvi A.(2011), "Driver Behavior on Acceleration Lanes: Driving Simulator Study," *Journal of the Transportation Research Board*, vol, 2248, no. 1, pp.70-83.
- Calvi A.(2012), "A driving simulator study of driver performance on deceleration lanes," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 45, no. 2, pp.195-203.
- Casutt G.(2014), "Driving Simulator Training Is Associated with Reduced Inhibitory Workload in Older Drivers," *Journal of MDPI*, vol. 1, no. 3, pp.2-18.
- Guo Z.(2013), "Driving simulator-based study to quantify typical diagrammatic guide sign efficiency

- along urban expressway interchanges,” *Journal of Transportation Safety & Security*, vol. 12, no. 34, pp.101-113.
- Gyun M. J.(2014), “The Analysis of Older Driver’s Traffic Accident Characteristic at Express-way using Logit model national,” *Journal of Highway Engineering*, vol. 11, no. 4, pp.1-7.
- Han S. W.(2016), “Evaluation of the Driving Performance of Elderly People Using Virtual Driving Simulator,” *Journal of KOEN*, vol. 10, no. 1, pp.97-98.
- Hirata T.(2007), “Development of the Driving Simulation System MOVIC-T4 and Its Validation Using Field Driving Data Tsinghua,” *Science &Technology*, vol. 12, no. 2, pp.141-150.
- Horberry T.(2004), “Driver distraction: The effects of con-current in-vehicle tasks, road environment complexity and age on driving performance,” *Accident Analysis and Prevention*, 38, pp.185-191.
- Im S. J.(2012), “Analyzing Driving Environment Effects on Severity of Elderly Driver’s Traffic Accidents,” *KOTI*, vol. 24, no. 1, pp.61-70.
- Jang T. Y.(2014), “Traffic Accident Damage Severity of Old Age Drivers by Multilevel Analysis Model,” *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, vol. 34, no. 2, pp.561-571.
- Jeon J. W.(2018), “An Investigation of Risk Spots on Expressways based on Older Drivers’ Perception and Behavior Analyses,” *Int. J. Highw. Eng. 2018*, vol. 20, no. 4, pp.69-70.
- Jo H. Y.(2008), *A Study on Driving Characteristics of Elderly Driver Using a Analytic Hierarchy Process*, Ajou University, pp.30-33.
- Jo J. H.(2008), “A Study on Driving characteristics of the older drivers and younger drivers using a Driving Simulator,” *Journal of Korea Safety Management & Science*, vol. 10, no. 2, pp.49-52.
- Kim Y. B.(2016), *(An)analysis of expressway merging behaviors and characteristics based on driving behavior experiments*, Seoul UNI, pp.38-40.
- KOSIS, <https://www.index.go.kr>, 2021.01.19.
- Kostar, <http://kostat.go.kr>, 2021.01.19.
- Lee M. J.(2014), “Elderly Driver’s Perceived Driving Ability and Driving Behavior Associated with Traffic Accident Risk,” *The Korean Society of Safety*, vol. 10, no. 12, pp.279-304.
- Lee Y. Y.(2006), “A study on the major factor of high risk drive groups Accidents: Focusing on Elderly Drivers,” *KOTI*, vol. 24, no. 1, pp.79-94.
- Levensen J. S. R.(2012), “Ageing and driving: Examining the effects of visual processing demands,” *Transportation Research Part F*, vol. 17, pp.1-4.
- Lim J. B.(2013), “Analysis of Anxiety EGG per Driving Speed on Different Design Speed Road,” *Journal of the Korea Society of Civil Engineers*, vol. 33, no. 5, pp.2051-2052.
- Magister, T. et al.(2005), “Measurement of the Driver Response Time in the Simulated and Real Emergency Driving Situations,” *Traffic & Transportation Research*, vol. 18, no. 1, pp.23-32.
- Min B. C.(2009), “Driving Behavior Characteristic Analysis of an Older Drive on a Driving Simulator,” *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, vol. 32, no. 1, pp.67-68.
- Park J. H.(2013), “A Study on the Analysis of Driver’s Visual Behavior Characteristics according to the Type of Curve Radius,” *The Korean Society of Safety*, vol. 27, no. 2, pp.117-126.
- The Korea Road Traffic Authority(2005), *Analysis in driving behaviours and accident traits of the*

elderly, pp.38-40.

The Korea Road Traffic Authority(2016), *Depending on the elderly drive's cognitive function test score competency comparison of Educational Driving Simulator*.

Zhi, X. et al.(2010), "An Exploration of Driver Perception Reaction Times Under Emergency Evacuation Situations," *TRB 89th Annual Meeting, 2010-1-14*, p.15.