

시뮬레이터 활용 무단횡단 보행자 출몰 시 운전자의 인지반응시간 연구

한 현 서¹⁾ · 이 승 준¹⁾ · 심 호 용²⁾ · 김 송 희³⁾ · 양 지 현^{*2)}

국민대학교 자동차공학전문대학원¹⁾ · 국민대학교 자동차공학과²⁾ · 국립과학수사연구원 교통사고분석과³⁾

A Study on the Driver's Response Time Under Jaywalking Situation Using Simulator

Hyunseo Han¹⁾ · Seungjoon Lee¹⁾ · Hoyung Shim²⁾ · Songhui Kim³⁾ · Ji Hyun Yang^{*2)}

¹⁾Graduate School of Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 02707, Korea

²⁾Department of Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 02707, Korea

³⁾Traffic Accident Analysis Division, National Forensic Service, 10 Ipchun-ro, Wonju-si, Gangwon 26460, Korea

(Received 2 March 2020 / Revised 12 May 2020 / Accepted 19 May 2020)

Abstract : In South Korea, the number of deaths from traffic accidents has been decreasing each year, but the number of deaths due to jaywalking still accounts for a high portion of the fatal pedestrian accidents, particularly those involving children's traffic accidents. The drivers' response time is regarded as an indicator of the possibility of accident avoidance and is expected to help unveil the causes of traffic accidents. In this study, 92 participants were investigated in the driving simulator study. Their response time when a child crossed the street while they were driving at 60 km/h on average in the simulation environment was measured. The response time of the participants was found to be between 0.240 and 1.720 seconds. No significant difference was found in the response and brake reaction times according to age and gender, but the steering reaction time of the men was found to be shorter than that of the women.

Key words : Driver(운전자), Pedestrian(보행자), Response time(반응시간), Simulator(시뮬레이터), Traffic accident(교통사고), Traffic accident reconstruction(교통사고재구성)

1. 서론

도로교통공단의 교통사고분석시스템(TAAS)에 따르면 2018년 교통사고로 인한 사망자수는 총 3,781 명이였다. 이중 차 대 사람 사고로 인한 사망자수는 1,443 명이 고 무단횡단으로 인한 사망자수는 518 명으로 차 대 사람 사고로 인한 사망자의 35.9 %를 차지하고 있다(Fig. 1).¹⁾ 해가 지날수록 사망자수는 감소하고 있는 추세이지만 차 대 사람 사고로 인한 사망자 중 무단횡단 사고 사망자가 차지하는 비율은 여전히 높은 상황이다. 또한 도로교통공단 보도자료에 따르면 지난 5년(2013~2017년) 간 발생한 초등학생 교통사고에서 도로를 횡단하던 중 사고가 발생한 경우가 73.7 %이며, 이중 절반가량인 49.3 %는 무단횡단으로 인한 사고로 보고됐다. 특히 학년이 낮을수록 사상자수가 증가하는 경향을 보였다.²⁾

최근 2019년 12월 10일에는 어린이 보호구역 내 운전자의 책임을 강화한 도로교통법 일부개정법률안³⁾과 특정범죄 가중처벌 등에 관한 법률 일부개정법률안⁴⁾이 국회 본회의를 통과하였으며 어린이 보행자 교통사고에 대한 사회적인 관심이 높아지고 있다.

이러한 교통사고 발생 시 원인을 분석하기 위해 사고 재구성 절차를 거치는데^{5,6)} 이때 운전자의 인지반응시간은 매우 중요하다. 운전자가 위험상황을 언제 인지하고 반응하였는지가 교통사고의 회피 가능성 여부를 판단할 수 있는 근거가 되기 때문이다. 하지만 현재 사고재구성에 필요한 운전자의 인지반응시간 또는 행동특성 관련 연구 및 데이터베이스는 충분한 연구가 이루어지지 않은 실정이다.

국내에는 교통사고 발생 시 운전자의 인지여부를 판별할 수 있는 위험 인지반응시간데이터베이스 등이 구축

*Corresponding author, E-mail: yangjh@kookmin.ac.kr

^{*}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.

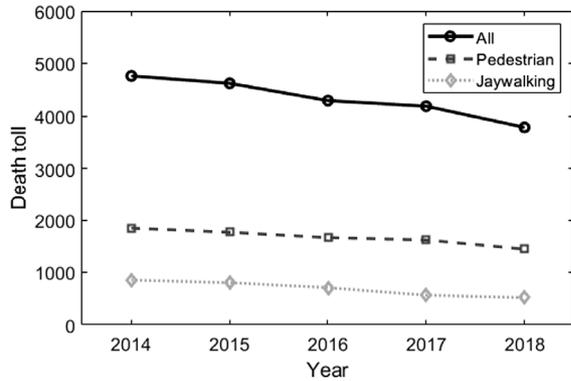


Fig. 1 Death toll by accident types. Graph drawn based on the data from TAAS¹⁾

되어 있지 않아 체계적인 감정기법이 부재하며 운전자의 인지반응시간 및 행동특성에 관한 연구는 주로 도로설계 기준의 확인 위주로 수행되어 교통사고 감정에 활용하기에 적절하지 않다. 따라서 국내 교통 환경 및 내국인의 특성을 반영한 운전자의 행동특성 연구가 필요한 실정이다.⁷⁾

위와 같은 이유로 본 논문은 무단횡단하는 어린이 보행자가 출몰하는 상황에서의 운전자의 행동특성에 대한 체계적인 연구를 통해 위험상황 발생 시 운전자의 인지반응시간 및 행동특성 데이터베이스를 구축하여 교통사고 감정 시 회피가능성 여부 파악에 기여를 하고자 한다.

1.1 국외 관련연구

국외에서는 시뮬레이터 및 실차환경에서 특정 위험상황을 구현한 뒤 운전자의 인지반응 및 행동특성에 관련된 실험을 진행하여 이를 교통사고 조사 시 활용하려는 연구가 진행 중이다.

미국 주도로 교통 행정관 협회(American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO)에서는 운전자가 위험을 인식하고 제동장치를 작동할 때까지의 반응시간을 2.5초로 두고 이를 도로설계기준으로 활용하고 있으며,⁸⁾ 운전자의 인지반응시간에 관한 연구는 도로설계기준의 적합성을 검증하는 데 활용되고 있다.

Olson과 Sivak⁹⁾은 실차환경에서 49명의 비고령운전자와 15명의 고령운전자를 대상으로 갑작스러운 장애물을 발견했을 때 제동페달을 작동하는 시간을 측정하였고 두 그룹의 95백분위수는 약 1.6초임을 확인하였다. Olson¹⁰⁾은 반응시간이 평균보다 느린 사람들도 고려하기 위해 반응시간 관련 연구의 리뷰에서 85백분위에 해당하는 값을 제시하고, 반응시간에 영향을 미칠 수 있는 변수들이 복잡하기 때문에 특정 상황에 알맞은 추정치를 제시할 수가 없음을 확인하였다.

Uno와 Hiramatsu¹¹⁾는 고령운전자의 회피능력을 파악하기 위해 65세 이상 고령운전자 20명과 60세 미만 비고령운전자 20명의 회피행동을 비교하였다. 고령자의 조향각속도 및 페달반응시간은 비고령자보다 느린 것으로 나타났다으며 위험상황이 급박하게 나타날수록 사람들의 반응시간이 빠름을 확인하였다.

Toxopeus 등^{12,13)}은 시뮬레이터를 활용하여 무단횡단하는 보행자와 자전거가 출현하는 상황에 대한 운전자의 반응시간을 연구하였으며 각각 평균 1.46초와 1.93초로 나타났다.

Attalla 등¹⁴⁾은 시뮬레이터 상에 교차로 맞은편에서 좌회전하는 차량을 구현한 뒤 이에 대한 운전자의 회피행동특성을 연구하였으며, 운전자는 주로 제동을 이용하여 회피하는 것으로 나타났다.

Jurecki와 Stańczyk¹⁵⁾은 실차환경에서 갑작스레 보행자가 출현할 때 반응시간에 관해 연구하였다. 보행자가 출현하는 시점이 늦을수록, 즉 운전자가 대응할 수 있는 시간이 짧을수록 반응시간이 빨라지는 것을 확인하였으며 위험상황 출몰 시점에 따라 반응시간을 달리 적용할 것을 제안하였다.

1.2 국내 관련연구

국내는 도로설계기준이 운전자의 인지반응시간에 적합하게 설계되었는지 확인을 위한 소수의 연구가 대부분이며, 위험상황 및 실질적인 도로환경을 반영한 인지반응과 관련하여서는 상대적으로 연구가 필요한 상황이다.

현재 국내 도로설계기준은 AASHTO의 2.5초를 활용하고 있는데 주재홍 등¹⁶⁾은 이를 검증하기 위해 실차 및 시뮬레이터 환경에서 돌발상황으로 인한 급정지 시 운전자의 제동반응시간을 측정하였으며, 다양한 환경을 고려한 결과 85백분위수에 해당하는 값으로 평균 1.5초를 제시하였다.

주재홍 등¹⁷⁾은 시뮬레이터 환경에서 20대부터 60대까지 총 380명에 대하여 돌발상황에 따른 운전자의 인지반응시간을 측정 및 분석하였는데, 교차로 내 충돌위험, 선행차량의 급정지, 다른 차량의 끼어들기 3가지 상황에서 운전자의 인지반응시간을 조사한 결과 85백분위수에 해당하는 인지반응시간을 1.200초, 1.257초, 1.951초로 제시하였다. 또한 연령별로는 끼어들기 상황에서는 차이가 없었던 반면 교차로 내 충돌위험 상황과 선행차량의 급정지 상황에서는 50대가 20대, 30대에 비해 인지반응시간이 느린 것으로 나타났다.

최재성 등¹⁸⁾은 국내고속도로 설계 시 제한속도를 140 km/h로 상향하기 위해 반응시간의 상한인 2.5초의 적절성 검증을 목적으로 시뮬레이터를 활용하여 인지반응시

간을 측정하였다. 속도가 증가함에 따라 운전자의 인지 반응시간이 줄어드는 것을 확인하였으며 운전자의 85 % 이상이 140 km/h로 주행할 때 2초 이내에 반응한다는 것을 확인하였다.

2. 보행자 출몰상황 실험설계

2.1 독립변수

본 실험의 목적은 운전자의 인구통계학적 특성에 따른 인지반응시간을 알아보기 위함으로 독립변수는 실험 참가자의 연령대 및 성별로 설정하였다. 연령대는 20대, 30대, 40대로 세분화하였고 성별은 남녀를 대상으로 하여 모집하였다.

2.2 종속변수

종속변수는 시뮬레이션 도중 보행자가 출몰하는 이벤트 발생 시 실험참가자가 이를 인지한 후 위험상황을 회피하기 위해 제동페달 및 조향장치를 작동함에 따른 주요 인지반응시간을 선정하였으며 이에 대한 개략도는 Fig. 2와 같다.

2.2.1 Perception Time (PT)

도로 상에 이벤트가 발생하면 실험참가자는 이를 인지하고 시선을 이벤트가 발생한 곳으로 향하기 시작한다. PT는 이벤트 발생 이후부터 실험참가자의 시선이 이벤트 발생 지점으로 향하기 전의 마지막 시선 고정(Fixation)의 시간으로 정의하였다.¹⁹⁻²¹⁾

2.2.2 Brake Reaction Time (BRT)

이벤트 발생 이후부터 실험참가자가 제동페달을 처음 작동할 때까지 걸리는 시간으로 SAE J2944를 참고하여 설정하였다.²²⁾

2.2.3 Steer Reaction Time (SRT)

실험참가자가 이벤트 발생 이후 위험상황을 회피하기 위해 조향장치를 작동할 때까지 걸리는 시간이다. 선행 연구와 동일하게 실험참가자가 이벤트 발생 시점으로부터 조향장치는 10 deg 이상, 조향속도는 15 deg/s 이상으로 작동할 때까지 걸리는 시간을 측정하였다. 조향장치

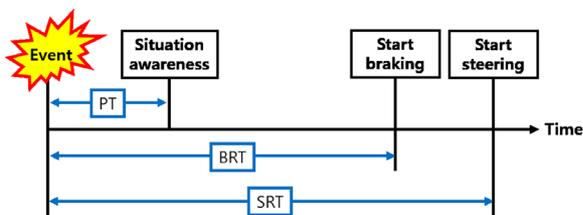


Fig. 2 Overview plot of dependent variables, the order of BRT and SRT may vary from person to person

는 가속·제동장치와 달리 실험참가자의 의사와 관계없이 항상 작동 중이므로 위험상황회피를 위한 실험참가자의 긴급한 조향반응을 파악하기 위해 위와 같은 기준을 설정하였다.²³⁾

2.2.4 Driver Response Time (DRT)

이벤트 발생 이후 실험참가자는 제동 혹은 조향을 하거나 제동과 조향을 함께하여 위험상황을 회피하려 할 텐데 제동과 조향 중 먼저 반응한 장치의 반응시간이다. 예를 들어 실험참가자가 이벤트가 발생 후 제동을 먼저 한 뒤 조향을 하였다면 BRT값이 곧 DRT값이 된다. 운전자의 가장 빠른 반응시간을 측정하기 위해 설정하였다.¹⁴⁾

2.3 시나리오 설계

보행자 무단횡단 시나리오는 편도 2차로, 왕복 4차로 상의 도로에서 발생하도록 구현하였으며 자차량은 60 km/h의 속도로 주행하게 된다. 최근 국내주요도시에서도 심 제한속도를 50 km/h로 하향하는 추세이긴 하지만 여전히 대다수 도시의 제한속도는 60 km/h이다.²⁴⁾ 자차량의 좌·우측 갓길에는 여러 대의 차량이 주차되어 있는 상황으로 설정하였다. 주행 중 자차량과 보행자의 Time to collision(TTC)²⁵⁾이 2.5초가 되는 시점에서 우측 갓길의 정차된 차량 사이로 어린이 보행자가 시속 5 km/h의 속도로 출현한다. 즉 자차량이 60 km/h로 주행할 시 약 41.7 m 전방에 보행자가 출몰하며, 자차량이 계속 속도를 유지할 경우 보행자 출몰 시점에서 2.5초 후에 사고가 발생하게 된다. 보행자 및 갓길차량의 배치는 Fig. 3과 같이 Euro NCAP(2019)의 Test Protocol - AEB VRU systems를 일부 변형하여 적용하였다.²⁶⁾ 보행자의 위치는 갓길차량 60 cm 앞에 위치하였고, 갓길차량 간의 간격은 1 m로 설정하였다. 갓길차량은 좌측차선과 1.1 m 띄웠으며 자차량과 2.5 m의 간격을 두고 배치하였다. 자차량의 중앙과 보행자의 간격은 3.8 m로 두었다. 자차량과 갓길차량 및 보행자의 간격은 자차량이 차로 중앙을 주행할 때를 기준

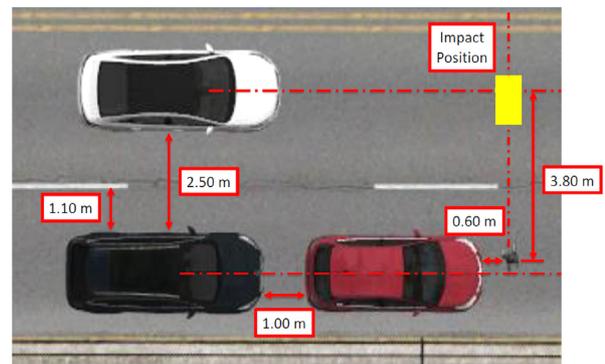


Fig. 3 Jaywalking child from nearside from obstruction vehicles

으로 하며 실험참가자마다 차로 주행 시 횡방향 편차가 존재하므로 항상 일정하지는 않다.

2.4 실험장비

실험장비로는 시뮬레이터와 시선추적기를 활용하였다. 차량 시뮬레이터는 국민대학교 차량인간공학실험실이 보유하고 있는 KMU-DS(Kookmin University - Driving Simulator)를 사용하였다. KMU-DS는 Full scale driving simulator로써 2016년식 현대 LF 쏘나타 캐빈을 기반으로 제작되었다. Heave, Pitch, Roll 등 3DoF의 움직임을 구현할 수 있는 모션 시스템, 실험참가자 및 실험 전반 상황을 모니터링할 수 있는 운용 데스크, 도로주행환경을 스크린에 투사하기 위한 영상 시스템, 실차 캐빈 등으로 구성이 되어있다. 또한 캐빈 내부에 설치된 CCD 카메라를 통해 실험참가자의 상반신, 페달 톱의 영상을 확인 및 취득할 수 있다. 시뮬레이터를 구동하기 위한 소프트웨어로는 AV Simulation 사의 SCANer studio v1.8을 사용하여 위험상황 시나리오를 구현하였으며 이벤트의 발생시간, 운전자의 제동페달 및 조향장치의 작동 시점과 답력 등을 취득하였다.

실험참가자의 PT를 측정하기 위한 시선추적기는 Smart Eye AB 사의 Smart Eye Pro를 Fig. 4와 같이 캐빈 내 계기판 상단에 부착하여 사용하였다. Smart Eye Pro는 3대의 카메라와 3개의 적외선 센서로 구성되어있으며 실

험참가자의 머리와 시선의 방향, 위치 및 움직임을 측정할 수 있다.

2.5 실험참가자

실험참가자 조건으로는 운전면허를 소지하고 실제 운전경력이 1년 이상이며, 시선추적기의 원활한 데이터 획득을 위해 안경 미착용자를 대상으로 하였다. 20대 남성 15명, 여성 17명, 30대 남성 15명, 여성 16명, 40대 남성 28명, 여성 14명을 모집하여 총 105명에 대한 실험을 진행하였다. 실험 도중 시뮬레이터 멀미로 인해 20대 여성 1명, 30대 여성 1명, 40대 남성 6명, 여성 4명이 중도포기하였다. 30대 여성 1명은 30 km/h 이하로 주행하여 이벤트가 발생하지 않았는데 본 실험은 일정한 속도 조건에서 반응시간을 취득해야 하므로 속도가 너무 낮을 때는 이벤트가 발생하지 않도록 설정하였다. 따라서 본 실험에서 유효한 실험참가자는 총 92명에 해당한다. 본 실험은 국민대학교 생명윤리위원회로부터 승인(KMU-201914-HR-205) 받았으며 생명윤리위원회 규정을 준수하였다.

2.6 실험절차

실험진행자는 실험참가자에게 실험에 대한 전반적인 안내를 하며, 실험 진행 중 멀미가 발생하거나 불편할 경우에 언제든지 실험을 중단할 수 있으며 이에 따른 불이익이 없음을 설명하였다. 실험 안내를 숙지한 실험참가



Fig. 4 Example video capture of the experiment in danger situation, subject is fully braking and steering right to evade the jaywalking pedestrian (inner red circle)

자는 실험참가동의서를 작성한 뒤 캐빈에 탑승하여 본인의 체형에 편한 자세로 시트 등받이, 높이, 전후 간격을 조정하고 안전벨트를 착용한 후 시선추적기를 고정하였다. 이후 실험참가자의 시뮬레이터 적응을 위해 연습주행을 실시하였는데 평소 도로주행 시와 똑같이 운전할 수 있도록 지시하였다. 또한 내비게이션 안내에 따른 좌우회전과 실험 목표 속도인 60 km/h에 맞추어 주행할 수 있도록 연습하였다. 실험진행자 혹은 실험참가자가 연습주행이 더 필요하다고 판단되는 경우에는 시뮬레이터에 충분히 적응할 수 있도록 반복하여 실시하였다. 연습주행 후 시뮬레이터 및 시선추적기의 데이터 저장 기능이 제대로 작동하는지 확인한 뒤 본 실험을 진행하였다.

3. 실험 결과

실험 시 실험참가자의 차량 조작 정보 및 시선 정보는 시뮬레이터 프로그램인 SCANeR studio v1.8에 로깅이 되며, 해당 데이터는 MATLAB R2018a을 이용하여 인지반응시간 및 그래프를 도출하였다. 이후 종속변수가 제대로 도출되었는지 확인하기 위해 실험 당시의 영상 (Fig. 4)과 가속페달 변위, 제동페달 압력, 속도, 조향장치 각도, 시선추적기 데이터를 나타낸 그래프(Fig. 5)를 참조하여 이벤트 발생 전후 5초 동안에 나타난 거동을 확인하였다. 그래프에 나타난 실험참가자는 이벤트 발생 이후 0.57초에 무단횡단 보행자를 인지한 후 위험상황을 회피하기 위해 가속페달에서 발을 뺀 다음 제동페달을 최대로 밟아 정차하였으며 이 와중에 조향장치를 우측(-)으로 살짝 틀었다. 위험상황이 종료된 후 우측으로 틀어진 차량의 방향을 제대로 하기 위해 조향장치를 좌

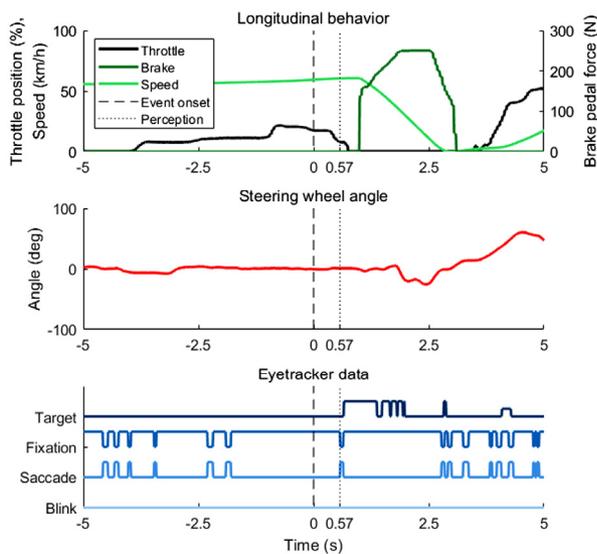


Fig. 5 Example of driver's behavior characteristics

측(+)으로 복원하며 가속페달을 밟아 다시 진행하였음을 확인할 수 있다.

3.1 연령대별 비교

Table 1에 연령대에 따른 표본수, 평균, 표준편차, 최소값, 중앙값, 85백분위수, 최대값을 나타낸 기술통계표를 제시하였다. 인지반응시간을 다룬 선행연구들에서 85백분위수를 명시하는 경우가 많다. 이는 대다수 사람들의 반응시간을 포함하여 참고하기 위함이다. 예를 들어 각종 인지반응시간의 평균값만 확인한다면 사고회피가능성 분석 시 평균보다 인지반응시간이 긴 사람들을 고려할 수 없는 경우가 발생한다. 또한 Fig. 9와 같이 백분위수가 높아질수록 백분위수에 대한 인지반응시간의 변화율이 급격히 증가하는 경향을 나타내는데 백분위수를 너무 높게 설정할 경우에는 그에 따른 인지반응시간의 값도 매우 커지기 때문에 사고분석 시 활용할 만한 값을 도출하기가 어렵다. 따라서 대다수 사람들의 인지반응시간을 포함하면서도 너무 높지 않은 값이 필요하기 때문에 본 연구에서도 기존 선행연구들과 같이 85백분위수의 값을 제시하였다.^{9,10,16,17} 또한 인지반응시간의 연령대별 분포를 확인할 수 있도록 Fig. 6에 박스플롯을 나타냈다.

PT는 20대 31명 중 28건, 30대 29명 중 25건, 40대 32명 중 31건이 도출되었다. 일부 도출이 안된 경우는 실험참

Table 1 Descriptive statistics for each age groups

Age group	DV	PT	BRT	SRT	DRT
20 s	Sample	28	29	10	31
	Mean	0.417	1.038	1.459	1.035
	SD	0.334	0.340	0.400	0.331
	Min	0.000	0.240	0.870	0.240
	Median	0.510	1.010	1.460	1.010
	85th	0.693	1.358	1.920	1.350
	Max	1.140	1.610	2.000	1.610
30 s	Sample	25	28	6	29
	Mean	0.424	1.028	1.288	1.042
	SD	0.312	0.195	0.313	0.223
	Min	0.000	0.390	0.850	0.390
	Median	0.500	1.055	1.255	1.060
	Max	0.850	1.490	1.720	1.720
40 s	Sample	31	32	8	32
	Mean	0.400	1.002	1.166	0.968
	SD	0.323	0.264	0.233	0.158
	Min	0.000	0.530	0.990	0.530
	Median	0.450	0.995	1.060	0.995
	85th	0.747	1.067	1.417	1.057
	Max	0.950	2.160	1.691	1.350

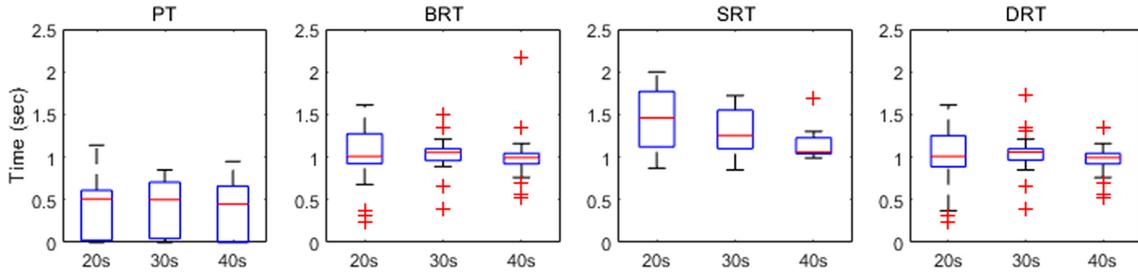


Fig. 6 Boxplot of response time by age group

가자의 시선 위치가 시선추적기의 측정 범위를 벗어났기 때문이다. 20대의 경우 0초부터 1.140초, 30대는 0초부터 0.850초, 40대는 0초부터 0.950초 사이에 분포하였다. 최소값이 0초가 나온 이유는 보행자가 무단횡단을 하기 전에 실험참가자가 보행자가 위치한 영역으로 시선을 이동했을 경우에는 PT를 0으로 처리하였기 때문이다.²³⁾ 평균을 비교해보면 20대 0.417초, 30대 0.424초, 40대 0.400초로 전부 0.4초 초반에 해당했다. 표준편차는 20대 0.334초, 30대 0.312초, 40대 0.323초로 0.3초 초반으로 연령대별로 PT의 편차가 크지 않은 것으로 나타났다.

BRT 도출 건수는 20대 29건, 30대 28건, 40대는 32건으로 나타나 실험참가자 대부분이 제동반응을 한 것으로 나타났다. BRT는 20대 0.240초부터 1.610초, 30대는 0.390초부터 1.490초, 40대는 0.530초부터 2.160초에 분포하였다. 평균은 20대 1.038초, 30대 1.028초, 40대 1.002초로 모든 연령대가 1초 초반에 해당하였으며 연령대별 최대 차이는 0.036초에 지나지 않았다.

SRT는 20대 10건(32%), 30대 6건(21%), 40대 8건(25%)이 도출되어 제동에 비해 낮은 비율로 조향을 하는 것으로 나타났다. 20대는 0.870초에서 2.000초, 30대는 0.850초에서 1.720초, 40대는 0.990초에서 1.691초 사이에 분포하였다. 평균은 20대 1.459초, 30대 1.288초, 40대 1.166초로 연령대별 최대 차이는 40대와 20대간 0.293초로 나타났다.

DRT는 각 연령대 별로 모두 도출되어 모든 운전자가 제동, 조향, 혹은 제동 및 조향을 이용하여 위험상황을 회

피하려 했음을 확인할 수 있었다. 20대는 0.240초에서 1.610초, 30대는 0.390초에서 1.720초, 40대는 0.530초에서 1.350초 사이에 분포하였다. 평균은 20대 1.035초, 30대 1.042초, 40대 0.968초로 모든 연령대에서 1초 전후로 도출되었으며 연령대별 최대 차이는 40대와 30대 간 0.074초로 미미했다.

3.2 성별 비교

성별에 따른 반응시간 분포를 확인할 수 있는 박스플롯은 Fig. 7에, 기술통계표는 Table 2에 제시하였다. 또한 Fig. 8에는 각 연령과 성별에 따른 반응시간을 산점도 플

Table 2 Descriptive statistics separated by gender

Gender	DV	PT	BRT	SRT	DRT
Male	Sample	47	50	19	52
	Mean	0.428	1.040	1.241	1.033
	SD	0.313	0.183	0.302	0.175
	Min	0.000	0.530	0.850	0.530
	Median	0.530	1.000	1.150	1.000
	85th	0.739	1.210	1.624	1.201
	Max	1.020	1.490	1.920	1.490
Female	Sample	37	39	5	40
	Mean	0.393	0.998	1.614	0.989
	SD	0.332	0.354	0.354	0.318
	Min	0.000	0.240	1.050	0.240
	Median	0.460	1.020	1.720	1.020
	85th	0.739	1.250	1.938	1.245
	Max	1.140	2.160	2.000	1.720

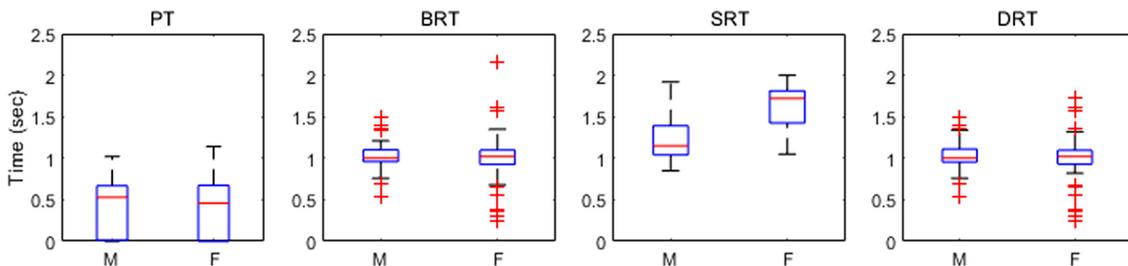


Fig. 7 Boxplot of response time by gender

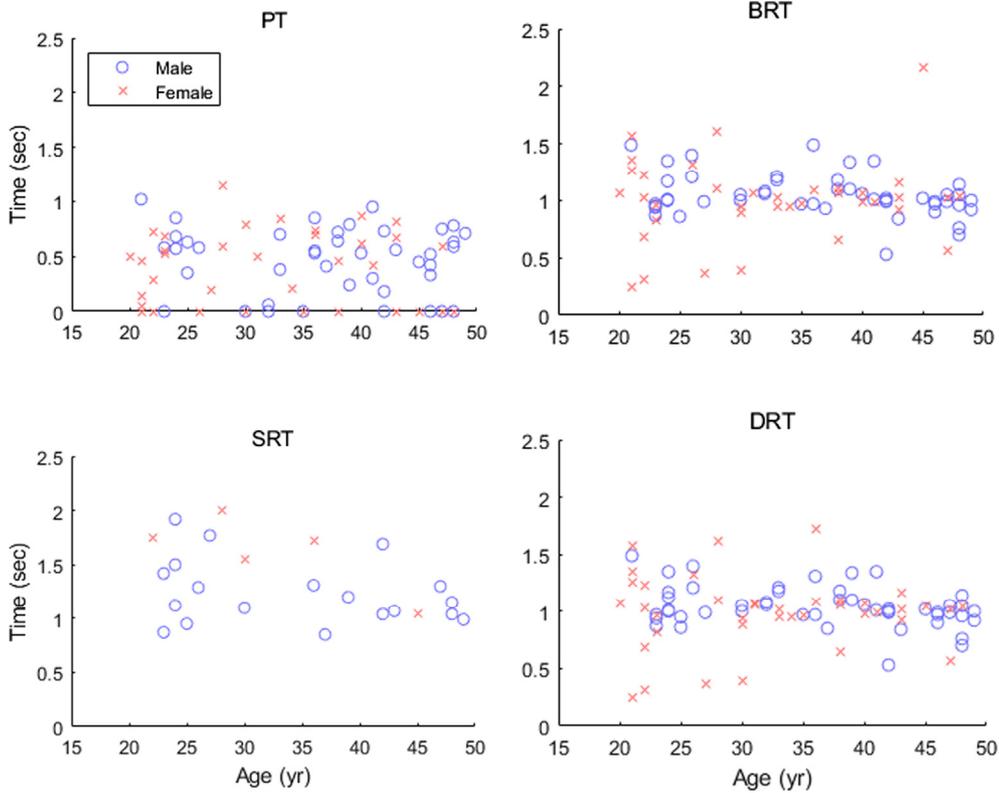


Fig. 8 Scatterplot of response time by age group and gender

롯으로 나타내어 반응시간의 도출건수 및 분포를 시각적으로 확인할 수 있도록 하였다.

PT의 경우, 남성의 범위는 0초에서 1.020초, 여성의 범위는 0초에서 1.140초 사이에 위치하였다. 평균은 남성 0.428초, 여성 0.393초로 남성이 여성에 비해 0.035초로 미미한 차이를 나타냈다. 85백분위수는 남녀 모두 0.739초로 동일했다. Fig. 8의 좌측 상단 PT 플롯을 보면 남녀의 반응시간이 대부분 1초 밑으로 고르게 분포한 것을 확인할 수 있다.

BRT는 남성 52건 중 50건, 여성 40건 중 39건으로 남녀 대부분 제동을 이용하여 위험상황을 회피한 것으로 나타났다. 평균은 남성 1.040초, 여성 0.998초로 남녀간 큰 차이가 없었으며 85백분위수는 남성 1.210초, 여성 1.250초로 나타났다. Fig. 8의 우측 상단 BRT 플롯에서 볼 수 있듯이 실험참가자 대부분은 성별에 관계없이 BRT가 1초 근처에 집중적으로 분포한 것으로 나타났다.

SRT는 남성 19건(36.5%), 여성 5건(12.5%)으로 남성이 여성에 비해 조항반응을 24% 더 많이 한 것으로 나타났다. 분포는 남성이 0.850초에서 1.920초, 여성이 1.050초에서 2.000초 사이에 위치했다. 평균은 남성 1.241초, 여성 1.614초로 남성이 여성에 비해 0.373초 빠른 것으로 나타났다. Fig. 8의 좌측 하단 SRT 플롯을 통해 여성의 조

항반응 분포가 40대 여성 1명을 제외하고 모두 1.5초 위로 위치한 반면 남성은 20대 3명, 40대 1명을 제외하고 1.5초 이하인 것을 확인할 수 있다.

DRT는 연령대와 마찬가지로 남녀 모두 도출됐으며, 남성은 0.530초에서 1.490초, 여성은 0.240초에서 1.720초 사이에 분포했다. 평균은 남성 1.033초, 여성 0.989초로 여성이 남성에 비해 0.044초 근소하게 앞섰다. 반면 85백분위수는 남성 1.201초, 여성 1.245초로 남성이 여성에 비해 0.044초 빨랐으며, 모두 1.2초 초반대로 나타났다.

3.3 누적분포

Fig. 9는 연령대, Fig. 10은 성별에 따른 반응시간의 백분위수 누적분포 그래프를 나타내어 임의 종속변수 값의 백분위수를 확인할 수 있도록 하였다. 예를 들어 SRT가 1.5초일 경우에는 전체 실험자에서는 상위 69%에 해당하는 빠르기의 SRT이며, 20대 기준으로는 상위 55%, 30대는 상위 72%, 40대는 상위 88%에 해당하며, 남성 기준으로는 상위 81%, 여성은 상위 28%에 해당한다.

PT는 연령대에서 53% 이하는 40대가 20대, 30대에 비해 빨랐으며, 20대는 53%에서 90%까지는 빠른 편이었지만 90% 이상에서 느린 분포를 나타냈다. 성별에서는 상위 72%까지는 여성이 남성에 비해 빠른 편이었지만,

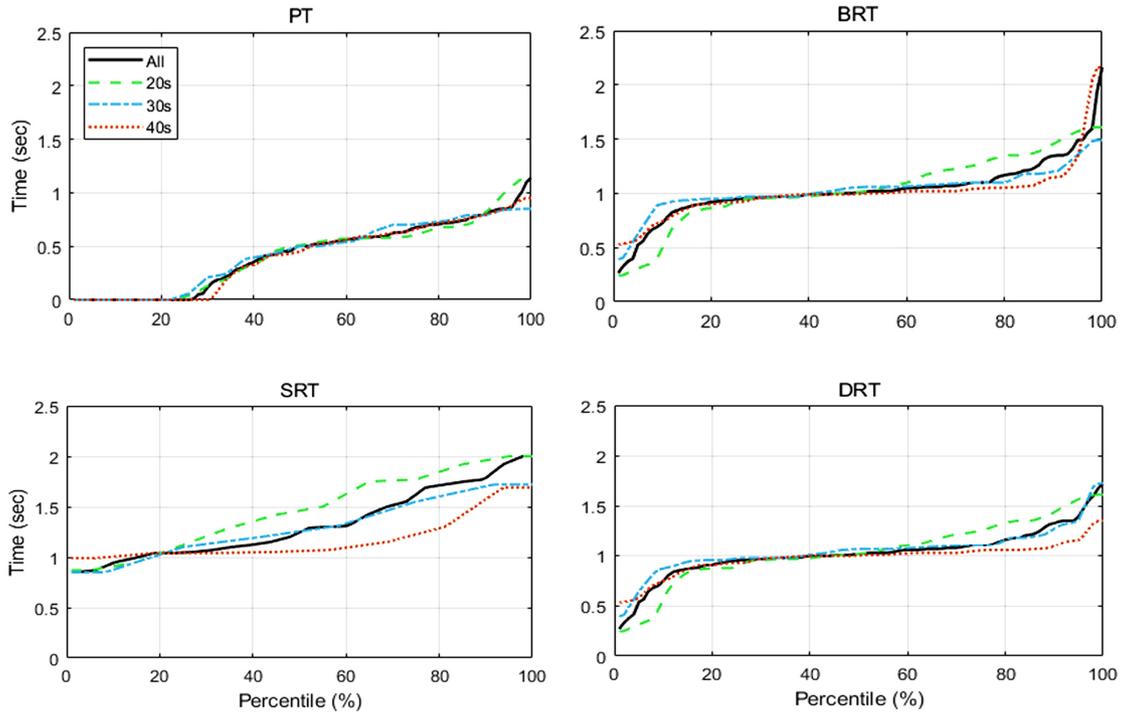


Fig. 9 Percentile plot of response time by age group

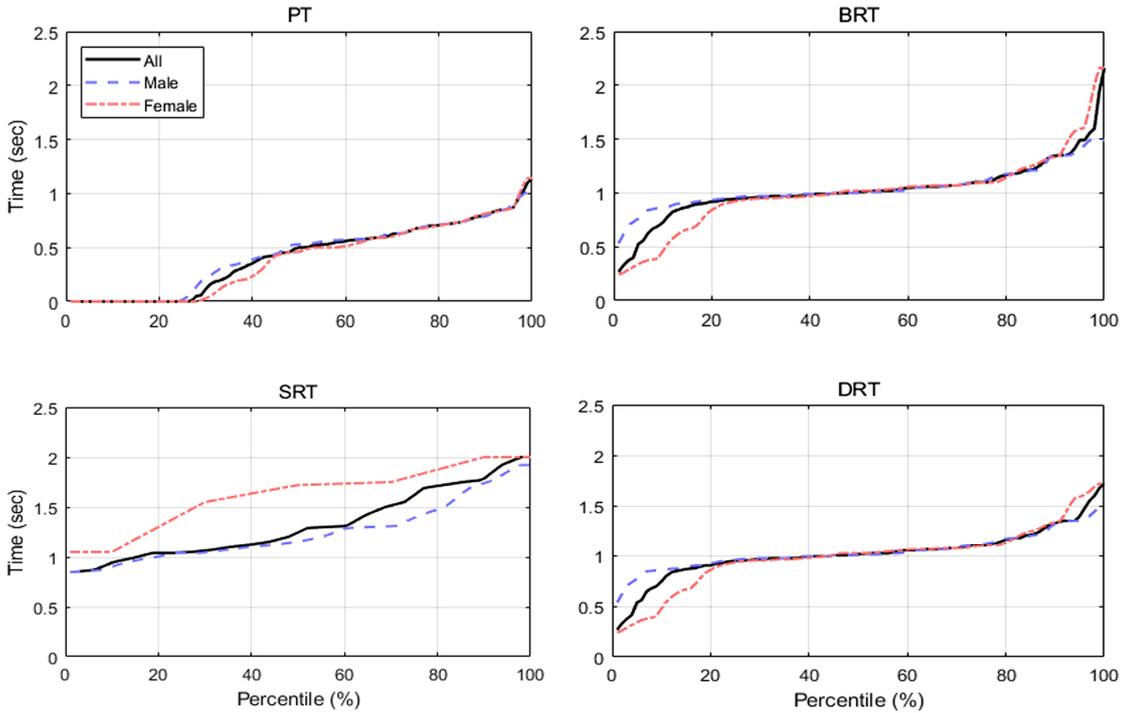


Fig. 10 Percentile plot of response time by gender

이후에는 남녀 모두 비슷한 분포를 나타냈다.

BRT는 연령대에서 상위 25%까지는 20대가 가장 빠른 편이었지만, 56%에서 96%까지는 가장 느린 분포를 나타냈다. 96% 이후에서는 40대가 가장 느렸으며, 40대

는 90% 이후에서 BRT가 급격히 증가하는 경향을 나타냈다. 성별에 따라서는 44% 이하에서는 여성이 남성에게 비해 빠른 편이었지만 이후 비슷한 분포를 나타내다 91% 이후에서 급격히 느린 분포를 보였다.

SRT는 PT, BRT와 달리 연령대와 성별 간 차이가 확연히 나타났는데 상위 20%까지는 40대가 제일 느렸지만 20% 이후에서는 40대, 30대, 20대 순으로 빠른 것으로 나타났다. 성별에 대해서는 여성이 남성에 비해 느린 것으로 나타났다. 다만 여성의 SRT가 5건 밖에 도출이 되지 않은 점은 고려해야 한다.

DRT는 BRT와 비슷한 분포를 나타냈는데 이는 실험참가자 대부분이 먼저 제동을 이용하여 위험상황을 회피했기 때문이다. 연령대에 따라서는 20대가 상위 26%까지 제일 빨랐지만 56%에서 97%까지는 제일 느린 분포를 나타냈다. 성별에 따라서는 여성이 남성에 비해 상위 43%까지 빨랐으며, 이후에는 비슷한 분포를 보이다 82% 이후에서는 남성에 비해 느린 분포를 나타냈다.

3.4 추론통계

도출된 종속변수에 대한 추론통계분석은 SPSS Statistics 25를 이용하여 진행하였다. 연령대에 따른 반응시간은 One-way ANOVA 검정을 사용하였으며, 성별에 따른 반응시간은 T 검정을 사용하였다.²³⁾

연령별 추론통계 결과, PT($F(2,81) = 0.040, p = 0.961$), BRT($F(2,86) = 0.137, p = 0.872$), SRT($F(2,21) = 1.766, p = 0.195$), DRT($F(2,89) = 0.867, p = 0.424$) 모두 유의한 차이가 나타나지 않았다. 성별 추론통계 결과, PT($t(82) = 0.500, p = 0.618$), BRT($t(87) = 0.712, p = 0.478$), DRT($t(90) = 0.852, p = 0.397$)는 유의한 차이가 없었으며, SRT($t(22) = -2.375, p = 0.027$)는 유의한 차이가 나타났는데 남성이 여성에 비해 조향반응시간이 평균 0.373초 빠른 것으로 나타났다.

4. 토의 및 결론

본 연구는 어린이 보행자가 무단횡단을 하며 출몰하는 상황에서 운전자의 연령과 성별에 따른 인지반응시간을 도출하기 위해 시뮬레이터 환경을 구축하여 연령과 성별이 각기 다른 92명을 대상으로 실험을 진행하였고 다음과 같은 결론에 도달하였다.

1) 연령대에 따른 PT는 평균은 0.312초에서 0.424초였고 85백분위수는 0.693초에서 0.778초로 나타났다. 모든 연령대에서 위험상황 발생 시 주로 제동을 이용하여 회피하는 것으로 나타났으며 BRT는 평균 1.002초에서 1.038초 사이에 위치하였고 85백분위수는 1.067초에서 1.358초 사이를 나타냈다. 연령대 별로 21%에서 35%에 해당하는 실험참가자는 위험상황 회피 시 조향도 이용한 것으로 나타났는데 SRT는 평균 1.166초에서 1.459초 사이였고 85백분위수는 1.417초에서

1.920초로 다른 반응시간에 비해 큰 편차를 나타냈다. DRT는 모든 연령대에서 나타나 실험참가자가 적어도 제동이나 조향을 이용하여 위험상황을 회피한 것을 알 수 있었는데 평균은 0.968초에서 1.042초 사이였고 85백분위수는 1.057초에서 1.350초 사이로 나타났다.

2) 성별에 따른 반응시간 분석 결과 PT 평균은 0.393초에서 0.428초로 나타났고 85백분위수는 0.739초로 남녀 모두 동일했다. 남녀 모두 대부분 제동을 이용하여 위험상황을 회피한 것으로 나타났으며 BRT 평균은 0.998초에서 1.040초로 나타났고 85백분위수는 1.210초에서 1.250초로 나타났다. 조향의 경우 남성은 36.5%, 여성은 12.5%로 남성이 여성에 비해 조향을 이용하여 회피하는 비율이 높았으며 SRT 평균은 남성 1.241초, 여성 1.614초로 다른 반응시간에 비해 남성이 편차가 큰 것으로 나타났다. 다만 여성의 조향이 5건으로 표본수가 적은 점은 감안이 필요하다. DRT는 0.989초에서 1.033초였고 85백분위수는 1.201초에서 1.245초로 나타났다.

3) 누적분포 분석 결과, PT와 SRT는 BRT와 DRT에 비해 비교적 일정한 기울기를 가지고 증가하는 경향을 나타냈다. 반면, BRT와 DRT는 상위 20%까지는 급격히 증가하다가 20%에서 80%까지는 대부분 1초 전후의 값을 가지며 미미한 차이로 증가하는 경향을 나타내며 80% 이후부터 다시 급격히 증가하는 모습을 보였다. 연령대 및 성별에 따른 PT, BRT, DRT는 상위 20%에서 80% 사이 구간까지는 큰 차이를 나타내지 않았지만, SRT는 연령대와 성별에 따른 차이가 확연했다. SRT는 40대, 30대, 20대 순으로 빨랐으며, 남성이 여성에 비해 빠른 것으로 나타났다.

4) 추론통계 결과, 20대부터 40대까지 연령대에 따라서 인지반응 시간에 유의한 차이가 없었다. 다만 앞서 고령자와 비고령자를 실험한 선행연구와 달리 본 연구에서는 실험참가자가 20대부터 40대까지 한정적이었으므로 추후 50대, 60대를 실험하여 추가적인 분석이 필요할거라 사료된다. 성별에 따라서는 SRT에 유의한 차이가 나타났으며, 남성이 여성에 비해 평균 0.373초 빠른 것으로 드러났다. 다만 보행자 상황의 경우 실험참가자의 대부분이 제동을 먼저, 혹은 제동만을 이용하여 반응했기 때문에 SRT는 표본수가 다른 반응시간에 비해 상대적으로 적은 편임은 감안해야 할 필요가 있다. 따라서 운전자가 20대부터 40대 사이에 해당할 경우, SRT를 제외하고는 각 반응시간은 연령과 성별에 따라 유의한 차이가 없었으므로 무단횡단 보행자 사고 발생 시, 사고회피가능성을 판단

하기 위해 운전자의 연령대나 성별에 따라 각기 다른 반응시간을 적용하기에는 무리가 있다고 판단된다.

본 연구는 20대부터 40대까지의 실험참가자를 대상으로 실험을 수행하여 위험상황 시 운전자의 인지반응시간을 확인하였으며, 후속 연구로 중앙선 침범, 교차로 위험 상황과 같이 다양한 시나리오와 주행속도에 따른 인지반응시간과 회피방법, 사고율 등이 진행 중에 있다. 또한 50대, 60대의 실험참가자도 추가하여 실험진행 예정이다. 이러한 연구결과들은 추후 교통사고 감정 시 유용한 자료로 활용되는데 도움이 될 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 행정안전부 주관 국립과학수사연구원 중장기과학수사감정기법연구개발(R&D)사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NFS2019TAA02). 또한, 교신저자는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업(No.2017R1A2B4008615)의 부분적인 지원을 받음.

References

- 1) KoROAD, Traffic Accident Analysis System, http://taas.koroad.or.kr/sta/acs/exs/typical.do?menuId=WE_B_KMP_OVT_UAS_PDS, 2020.
- 2) KoROAD, KoRoad Press Release, https://www.koroad.or.kr/kp_web/krPrView.do?board_code=GABBS_050&board_num=134463&file_num=, 2020.
- 3) National Assembly, Bill Information, http://likms.assembly.go.kr/bill/billDetail.do?billId=PRC_E1Z9W1H1I2P5E1R8S3A1P0M5V2M3R8, 2020.
- 4) National Assembly, Bill Information, http://likms.assembly.go.kr/bill/billDetail.do?billId=PRC_D1O9Y1P1B2H9H1G3Y5H5N0T1M3I8T5, 2020.
- 5) S. Lim, J. Kim, W. Oh, J. Choi and J. Park, "A Study on Reconstruction of Vehicle to Pedestrian Accident Using MADYMO," Transactions of KSAE, Vol.27, No.7, pp.543-551, 2019.
- 6) S. Lim, J. Park, J. Kim, W. Oh, J. Choi and J. Park, "Analysis of Multi-Car Rear-End and Chain Reaction Collision Using EDR," Transactions of KSAE, Vol.27, No.2, pp.101-108, 2019.
- 7) H. Han, Study on Driver's Behavioral Characteristics in Simulator Based Hazardous Situation, M. S. Thesis, Kookmin University, Seoul, 2020.
- 8) AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2011.
- 9) P. L. Olson and M. Sivak, "Perception-response Time to Unexpected Roadway Hazards," Human Factors, Vol.28, No.1, pp.91-96, 1986.
- 10) P. L. Olson, "Driver Perception Response Time," SAE 890731, 1989.
- 11) H. Uno and K. Hiramatsu, "Collision Avoidance Capabilities of Older Drivers and Improvement by Warning Presentations," SAE 2001-06-0029, 2001.
- 12) R. Toxopeus, S. Attalla, S. Kodsí and M. Oliver, "Driver Response Time to Midblock Crossing Pedestrians," SAE 2018-01-0514, 2018.
- 13) R. Toxopeus, S. Attalla, S. Kodsí and M. Oliver, "Driver Response Time to Cyclist Path Intrusions," SAE 2018-01-0531, 2018.
- 14) S. Attalla, R. Toxopeus, S. Kodsí and M. Oliver, "Driver Response Time to Left-Turning Vehicles at Traffic Signal Controlled Intersections," SAE 2018-01-0521, 2018.
- 15) R. Jurecki and T. Stańczyk, "Driver Reaction Time to Lateral Entering Pedestrian in a Simulated Crash Traffic Situation," Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior, Vol.27, Part A, pp.22-36, 2014.
- 16) J. H. Joo, K. L. Choi and J. Y. Kim, "A Study of Perception Response Time on Driver," 72nd Korean Society of Transportation Conference Proceedings, pp.102-106. 2015.
- 17) J. H. Joo, S. W. Ha, Y. H. Jeong and C. S. Lee, "A Study of Perception Response Time on Various Scenario Driver Simulation," 63rd Korean Society of Transportation Conference Proceedings, pp.452-457, 2010.
- 18) J. Choi, S. Jeong, J. Kim, T. Kim and J. Shin, "A Study on Driver Perception-Reaction Time in High-Speed Driving Situations," International Journal of Highway Engineering, Vol.19, No.1, pp.107-119, 2017.
- 19) ISO 15007-1, Road Vehicles-Measurement of Driver Visual Behaviour with Respect to Transport Information and Control Systems-Part 1: Definitions and Parameters, 2014.
- 20) M. Ciceri, D. Ruscio, F. Confalonieri, D. Vangi and A. Virga, "Hazard Detection in Driving Context and Braking Reaction Time," Proceedings of the 22nd EVU Annual Congress, 2013.
- 21) M. A. Recarte and L. M. Nunes, "Mental Workload while Driving: Effects on Visual Search, Discrimination, and Decision Making," Journal of Experimental Psychology: Applied, Vol.9, No.2, pp.119-137, 2003.
- 22) Driver Metrics, Performance, Behaviors and States Committee, Operational Definitions of Driving Performance Measures and Statistics, SAE Standard

- J2944, 2015.
- 23) P. D'Addario and B. Donmez, "The Effect of Cognitive Distraction on Perception-response Time to Unexpected Abrupt and Gradually Onset Roadway Hazards," *Accident Analysis & Prevention*, Vol.127, pp.177-185, 2019.
- 24) K. Kang, JoongAng Ilbo, <https://news.joins.com/article/23620168>, 2020.
- 25) J. C. Hayward, "Near-miss Determination through Use of a Scale of Danger," *Highway Research Record*, No.384, pp.24-34, 1972.
- 26) Euro NCAP, Test Protocol - AEB VRU Systems, Version 2.0.4, 2019.