감성과학
제27권 3호, 2024
<연구논문>

pISSN 1226-8593
eISSN 2383-613X
Sci. Emot. Sensib.,
Vol.27, No.3, pp.89-106, 2024
https://doi.org/10.14695/KJSOS.2024.27.3.89

자율주행 상황에서 운전자의 장애물 회피 전후와 운전자 연령대에 따른 상황인식과 차량통제 차이

Effects of Before-After Obstacle Avoidance and Driver Age on Situation Awareness and Vehicle Control in Automated Driving

이재식†

Jaesik Lee†

Abstract

Using level-3 automated driving simulation, this study examined the effects of before-after the obstacle avoidance(BOA and AOA, respectively) and driver age group on situation awareness, control transition time, and vehicle control performances.The results can be summarized as follows. First, the situation awareness of the participants was lower in the BOA section compared to the AOA section, and in the older driver group compared to the young driver group, and this tendency was more evident in the BOA section. Second, the control takeover time was significantly slower in the older driver group than in the younger driver group. Third, in all four vehicle control measures, worse performance was observed in the AOA section than in the BOA section, and in the older driver group than in the young driver group, but the difference between age groups in vehicle control performance was larger in the AOA section than in the BOA section. These results suggest that in a situation where the driver takes over control during autonomous driving and avoids obstacles by driving manually, the driver's situational awareness and vehicle control may vary depending on before and after the obstacle avoidance.

Key words: Automated Driving, Obstacle Avoidance, Situation Awareness, Control Transition, Vehicle Control, Driver Age Group

요 약

운전 시뮬레이션을 통해 3-수준 자율주행 중 차량 전방에 장애물이 출현하는 상황에서 서로 다른 연령대의 운전자들이 보이는 제어권 전환 반응시간과 상황인식, 그리고 차량통제 수행에서의 차이를 장애물 회피 이전(before the obstacle avoidance: BOA)과 이후(after the obstacle avoidance: AOA) 구간으로 구분하여 분석하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 실험참가자들의 상황인식은 AOA 구간에 비해 BOA 구간에서, 그리고 청년운전자 집단에 비해 고령운전자 집단에서 더 낮았는데, 이러한 경향은 AOA 구간에 비해 BOA 구간에서 더 뚜렷하였다. 둘째, 제어권 인수 시간은 청년운전자 집단에 비해 고령운전자 집단에서 유의하게 더 느렸다. 셋째, 네 가지 차량통제 측정치 모두에서 BOA 구간보다는 AOA 구간에서, 그리고 청년운전자 집단보다는 고령운전자 집단에서 더 저하된 수행이 관찰되었으나 차량통제 수행에서의 연령집단간 차이는 BOA 구간보다는 AOA 구간에서 더 컸다. 이러한 결과는 자율주행 중 제어권을 인수받아 수동으로 운전하여 장애물을 회피하는 상황에서 운전자의 상황인식과 차량통제는 BOA 구간과 AOA 구간에 따라 달라질 수 있음을 시사한다.

주제어: 3-수준 자율주행, 장애물 회피, 상황인식, 제어권 전환, 차량통제, 운전자 연령집단

※ 이 논문은 부산대학교 기본연구지원사업(2년)에 의하여 연구되었음.

† 이재식: 부산대학교 심리학과 교수 / E-mail: jslee100@pusan.ac.kr / TEL: 051-510-2131

1. 서론

운전은 역동적으로 변화되는 운전환경에서 운전자가 다양한 과제를 동시에 수행해야 하는 중다과제의 대표적 형태이다. 즉, 운전자는 안전하고 효율적인 운전을 위해 운전속도나 선행 차량과의 안전거리 유지와 같은 차량에 대한 종적통제와 함께 차선 유지나 측면 차량과의 거리 유지를 포함한 차량에 대한 횡적통제를 동시에 수행해야 한다. 이러한 일차적 과제 수행뿐만 아니라 운전자는 도로 조건이나 주변 차량의 거동 등을 포함하는 운전상황의 역동적 자극 요소들을 신속하고 정확하게 파악하여 이에 대해 적절하게 반응해야 한다. 이를 위해서는 기본적 감각 능력은 물론 운전상황에 대한 정확한 인식을 위한 지각, 주의, 정보 지각, 통합 및 미래 상황 예측과 같은 다양한 수준의 정보처리 요소들이 통합적으로 요구된다(Lee, 2021; 2022; Ma & Zhang, 2024; McKnight & McKnight, 1999).

운전과제의 특성뿐만 아니라 운전자의 신체적, 인지적 역량도 운전의 안전성과 효율성을 결정하는 중요한 변인이다. 여기에서의 문제는 운전자에 따라 운전과제 수행을 위한 신체적, 인지적 역량에서의 차이가 개인에 따라 매우 크다는 점이다(Collet et al., 2010). 운전과제 수행의 관점에서 운전자들의 개인차는 성별이나 연령과 같은 인구통계학적 측면에서의 차이뿐만 아니라 기본적 신체 및 감각 능력과 정보처리 능력에서의 차이가 모두 반영된다. 특히 운전과제 수행을 위한 기본적 역량에서의 감소를 결정하는 중요한 요인은 운전자 연령의 고령화이다(McKnight & McKnight, 1999). 고령운전자는 운전 중 운전환경에서 제시되는 정적/동적 자극에 대한 시지각 민감성(Saito et al., 2016), 가용시각장(useful field of view: UFOV, Wyche et al., 2024), 주의 범위, 선택/분산주의 등을 포함한 주의 능력(Feng et al., 2018), 작업기억을 포함한 기억 능력(Urlings et al., 2018), 그리고 단순/선택반응을 포함한 반응 능력(Caird et al., 2018) 등의 거의 모든 정보처리 요소들에서 젊은 운전자들에 비해 더 높은 수준의 저하를 인다. 이러한 저하는 운전수행의 전반적 수준을 떨어뜨릴 뿐만 아니라 도로 위에서의 사고 가능성을 증가시킨다(Brady et al., 2021; Lee, 2022).

운전이 거의 모든 정보처리 요소들의 적절한 기능과 차량통제를 위한 중다과제의 수행을 동시에 요구한다는 점을 종합적으로 고려하면, 운전자의 운전수행을 돕기 위한 다양한 시스템들이 오래 전부터 활발하고 개발되고 적극적으로 적용되고 있다는 점은 아마도 당연한 일일 것이다(Risser, 2019). 운전자의 운전수행 부담을 줄여주기 위해 개발된 운전 보조 시스템들에는 운전자의 정보처리 부담을 줄여주기 위한 시스템(운전경로를 자동으로 안내해 주는 네비게이션 시스템)부터 차량에 대한 통제를 보조해 주는 시스템(충돌 경고 장치나 정속 주행 시스템과 같은 차량에 대한 종적통제 보조 시스템과 차선 이탈 경고 장치와 같은 차량에 대한 횡적통제 보조 시스템)에 이르기까지 다양하다.

최근 들어서는 목적지까지 자동차가 스스로 주행하여 이동할 수 있는 자율주행 차량(automated vehicle: AV)이 많이 보급되고 있다(Goodall, 2014). 자율주행의 자동화 수준은 분류기준에 따라 약간의 차이가 있기는 하지만 미국도로교통안전국(National Highway Traffic Safety Administration: NHTSA, 2013)의 기준에 따르면 자율주행 단계는 운전자가 전적으로 주행을 담당하는 완전 수동운전 단계(0-수준)에서부터 자동차가 주행의 모든 과정을 스스로 책임지는 완전 자동운전 단계(4-수준)의 5단계로 구분된다. 현재 가장 많이 적용되는 자율주행 자동화 수준은 3-수준이다. 본 연구에서도 3-수준의 자율주행 단계를 실험 상황으로 설정하였다.

3-수준 AV와 운전자 사이의 상호작용 요소 중 가장 중요한 것은 AV와 운전자 사이의 제어권 전환이다(Eriksson et al., 2017; Hamdan et al., 2022). 즉, AV는 운전자에게 차량에 대한 제어권을 인수받거나(takeover) 혹은 차량에게 제어권을 이양하도록(handover) 요구할 수 있다(Namkung et al., 2020). 3-수준 자율주행 단계에서는 운전자가 지속적으로 운전 장면을 주시할 필요가 없기 때문에 AV가 차량에 대한 제어권을 갖는 주행조건에서 운전자는 운전과 직접적으로 관련되지 않은 다른 활동들(non-driving elated task: NDRT)에 주의를 기울일 수 있다. 다만 전방의 장애물(또는 위험요소) 출현 등으로 AV로부터 제어권 인수요구(takeover request:

TOR) 정보가 제시된다면 이에 대해 신속하고 적절하게 반응하는 것이 안전운전을 위해 필수적인 요소이다. 그러나 Namkung et al.(2020)의 연구에서도 언급되었듯이, 차선 이탈이나 과속 등과 같은 요인에 의해 차량이 운전자에게 제어권을 신속하게 이양하도록 요구(handover request: HOR)하는 경우도 있다. 이러한 상황에서도 운전자는 제어권 인수와 마찬가지로 신속하게 제어권을 차량에 이양해야 한다.

기존 연구에 따르면 제어권 이양 상황보다는 제어권 인수 상황이 운전자의 인지적, 신체적 부담을 더 증가시킨다(Reimer et al., 2016; van der Heiden et al., 2017). 이에 따라 운전자와 AV 사이의 상호작용을 다룬 연구들은 제어권 이양 시간(handver time: HOT) 보다는 제어권 인수 시간(takeover time: TOT)을 상대적으로 더 중요하게 다룬 것으로 보인다(Casner et al., 2016). 그러나 TOT 못지 않게 HOT도 AV와 운전자 사이의 상호작용을 이해하는데 중요한 측면이라는 점을 고려하여 본 연구에서는 장애물 회피 이전에 측정한 TOT와 장애물 회피 이후에 측정한 HOT를 제어권 전환 수행의 두 가지 종속측정치로 모두 포함하여 분석하였다. 다만, 제어권 전환을 다루었던 기존 연구들에서는 HOT보다는 TOT를 주로 다루었기 때문에 본 연구에서는 제어권 전환에 대한 기존 연구의 개관은 TOT를 중심으로 이루어졌다.

van der Heiden et al.(2017)도 지적하였듯이 자율주행 상황에서 제어권 인수의 신속성 못지 않게 중요하게 살펴보아야 하는 것은 하는 것은 TOR이 운전자의 신체적, 인지적 과제 수행에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 문제일 것이다. 실제로 So et al.(2021)은 TOT보다는 운전자들이 제어권을 인수받은 이후에 안정적으로 운전을 수행하는지의 여부가 더 중요한 문제일 수 있다는 점을 강조하기도 하였다. 특히 3-수준 자율주행에서 TOR이 제시되는 상황은 AV 전방에 장애물이 출현하여 AV 스스로 이를 회피하기 어려운 경우 운전자가 제어권을 받아 장애물을 회피하도록 요구한다. 그러나 제어권을 인수받은 이후의 동일한 수동운전 조건이라 할지라도 장애물을 회피하기 이전과 이후 각각에서 운전자가 경험하는 인지적 부담 수준이나 차량제어 패턴 등이 달라질 수 있다. 이러한 측면에 대한 분석도 운전자와 AV 사이의 상호작용을 이해하는데 중요한 연구문제가 될 수 있다. 이러한 관점 즉, 운전자가 AV로부터 제어권을 인수받은 이후 장애물을 회피하기 이전과 이후를 구분하여 운전자의 정보처리나 차량통제의 수준을 비교한 연구는 많지 않다. 또한 고령운전자는 연령증가에 따른 신체적, 인지적 역량에서의 감퇴에 따라 운전수행의 전반적 수준뿐만 아니라 운전상황에서 요구되는 다양한 정보처리 과제들의 수행도 저하될 수 있다. 이러한 특성을 감안하면 여러 측면에서 운전자의 과제 수행 부담을 줄여줄 수 있는 AV는 고려운전자의 차량을 이용한 이동성의 향상이나 교통사고 문제를 경감시킬 수 있는 대안이 될 수 있을 것이다. 그럼에도 불구하고 고령운전자들을 대상으로 자율주행 상황에서 제어권 인수 반응이나 장애물 회피 이전 혹은 이후의 차량통제나 운전상황에 대한 인식 및 차량통제 수준 등에 대해서는 지금까지 보고되고 있지 않은 것으로 보인다.

본 연구에서는 운전 시뮬레이션을 통해 3-수준 자율주행 중 운전자 전방에 장애물이 출현하는 상황에서 서로 다른 연령대의 운전자들이 보이는 제어권 전환 반응(장애물 회피 이전의 TOT와 회피 이후의 HOR)과 상황인식 및 차량통제 수행(차량에 대한 종적통제 수행을 반영하는 평균 운전속도와 브레이크 입력값 및 횡적통제 수행을 반영하는 차선내 위치 변산성과 스티어링 휠 각도 변산성)에서의 차이를 비교하였다. 특히, 장애물 회피 이전과 이후에서는 운전자들의 정보처리와 차량제어에 대한 부담 수준이 다를 수 있기 때문에 상황인식 수준과 차량통제 수행에서의 차이는 장애물 회피 이전과 이후의 구간을 구분하여 분석하였다.

2. 이론적 배경

2.1. AV와 운전자 사이의 제어권 전환

제어권 인수를 다룬 기존의 연구들은 운전자들이 얼마나 빠르게 제어권을 인수받는지와 제어권을 빠르게

인수받을 수 있도록 하기 위해 TOR 정보는 어떠한 방식으로 제시되어야 하는지(즉, 어떠한 감각 양상으로 그리고 언제 제시되어야 하는지; Yoon et al., 2019; Huang et al., 2019; Politis et al., 2015) 등과 같은 측면에 주로 초점을 맞추었다. 제어권 인수 정보의 감각 양상과 관련된 기존 연구들에서는 정보의 감각 경로(시각, 청각, 혹은 촉각 등)와 정보의 중복성 여부(특정 감각 경로로만 제시하는지, 아니면 동일 정보를 여러 감각 경로를 통해 중복적으로 제시하는지)에 따른 TOR 정보 전달 방식이 모두 검토되었다. 일반적으로 시각 TOR 정보는 아이콘이나 텍스트로, 청각 TOR 정보는 톤음이나 음성으로, 촉각 정보는 차량제어 장치(브레이크나 액셀러레이터)나 운전자 좌석의 진동으로 제시된다. Yu et al.(2021)의 연구에서는 여러 감각 경로 중에서 시각 TOR 정보가 다른 감각 경로의 TOR 정보에 비해 상대적으로 더 빠른 TOT를 이끌어 낸다는 것을 관찰하였고, Huang et al.(2019)도 이와 유사한 결과를 보고하였다. 이와는 대조적으로 Yoon et al.(2019)은 시각 TOR 정보에 비해 청각 TOR 정보가 더 신속하게 제어권을 인수받도록 한다는 것을 관찰하였다.

TOT에 대한 특정 TOR 정보 감각 경로의 상대적 우위성이 연구들에 따라 일관적이지 않은 것으로 보인다. 이와는 대조적으로 단일한 감각 경로를 통해 TOR 정보를 제시한 조건(단일양상 조건)에 비해 여러 감각 경로를 중복적으로 사용하여 TOR 정보를 제시한 조건(중다양상 조건)이 더 빠른 TOT를 가져온다는 결과는 비교적 일관적으로 보고되었다(Politis et al., 2015; Yoon et al., 2019). Yoon et al.(2019)의 연구에서는 단일양상의 TOR 정보 조건에 비해 중다양상의 TOR 정보 조건에서의 TOT가 더 빠르다는 것을 관찰하였다. 구체적으로 이 연구에서는 단일양상 조건(시각, 청각, 촉각)과 중다양상 조건(시각과 청각, 시각과 촉각, 촉각과 청각, 그리고 시각, 청각 및 촉각)으로 TOR 정보 제공 조건을 구분한 결과 TOT는 시각과 청각 정보가 중복적으로 제시된 조건에서 가장 빨랐던 반면 시각 정보만 제시되었던 조건에서 가장 느렸다. 본 연구에서는 다양한 형태의 TOR 정보 제공 감각 양상 중에서 시각과 청각 정보가 결합된 형태의 TOR 정보를 선택하였다.

언제 TOR 정보를 제시할 것인지도 운전자의 제어권 인수 반응 및 제어권 인수 이후의 차량제어에 영향을 미치는 중요한 변인으로 고려되어야 한다. 일반적으로 TOR 정보의 제시 시점은 AV가 장애물까지 도달(접촉)하는 시간(time to contact; TTC)을 기준으로 기술된다. TOR 정보가 너무 늦게 제시된다면 (그리고 운전자가 전방에 시선을 두지 않고 NDRT를 수행하고 있었다면) 운전자는 장애물에 대한 대처가 어려울 것이다. TOR 정보 제시 시점을 다룬 기존 연구들을 개관한 Eriksson & Stanton(2017)에 따르면 기존 연구들이 검토한 TOR 제시 시점은 TTC를 기준으로 대략 2초에서 12초의 범위를 갖는다. 이러한 연구들의 결과를 종합하면 TOR 정보 제시 시점에서의 TTC가 짧을수록 차량통제의 질은 저하되고 장애물과의 충돌 가능성은 더 증가하는 것으로 보인다(Clark & Feng, 2017; Gold et al., 2013). 특히 Gold et al.(2013)은 자율주행 중의 NDRT 수행과 같이 운전자의 시각적 주의가 차량 전방으로부터 이탈되어 있을 때는 TOR 정보가 적어도 TTC-7초 이전에 주어져야 한다는 것을 관찰하였다. 본 연구에서는 청년 운전자 집단뿐만 아니라 전반적으로 더 지연된 인지적, 신체적 반응속도를 보이는 고령운전자 집단도 실험에 참여한다는 것과 모든 실험참가자들이 제어권을 인수받기 이전에 NDRT를 수행하도록 요구된다는 점을 종합적으로 고려하여 TOR이 제시되는 시점을 TTC를 기준으로 9.0초로 정하였다.

2.2. 장애물 회피 전후의 운전자 반응

앞에서도 언급하였듯이, 3-수준 자율주행은 차량 전방에 장애물이 출현할 경우 (그리고 AV가 스스로 장애물을 회피하기 어렵다고 판단할 경우) AV는 운전자로 하여금 제어권을 인수받아 수동운전을 통해 장애물을 회피하도록 요구한다. 직관적으로 판단하면 차량 전방에 위치한 장애물을 운전자가 수동운전을 통해 회피하도록 요구받는 상황에서는 운전자의 상황인식과 차량통제의 부담이 증가할 것으로 여겨진다. 이것은 운전상황에 대한 인식의 저하와 차량통제에 대한 전반적 수행의 질이 모두 저하될 수 있다는 것을 시사한다. 실제

로 Hoc et al.(2009)은 기대하지 않았던 장애물 출현에 의해 제어권 인수가 요구된 이후 운전자가 보인 차량에 대한 횡적통제 수행을 분석한 결과 제어권 인수 요구가 없던 조건에 비해 제어권 인수 요구가 주어진 조건에서는 더 급작스러운 횡적통제 수행이 관찰된다는 것을 보고 하였다. 이와 유사하게 Navarro et al.(2016)은 차량의 횡적통제가 자동화된 AV를 운전하는 도중 장애물 출현에 의해 제어권을 인수받은 이후에는 처음부터 수동으로 운전하는 조건에 비해 장애물과 충분한 거리를 두고 여유있게 회피하기보다는 장애물에 근접하여 (비효과적으로) 회피한다는 것을 관찰하였다. 만일 운전자가 제어권을 인수받기 이전에 시각적 주의를 도로 전방에 두는 대신 운전과제 이외의 다른 활동들에 할당하고 있었다면 신속한 주의 전환에 대한 부담도 있을 것이다(Hu et al., 2024).

이와는 대조적으로 장애물을 회피한 이후에는 AV에 제어권을 이양하기 이전까지 운전자는 자신이 평상시에 수동으로 운전하는 조건과 유사한 방식으로 차량을 통제할 것이고 인지적 부담 수준도 장애물을 회피하기 이전에 비해 상대적으로 더 낮을 것으로 가정할 수 있다. 그러나 운전자가 장애물을 회피한 이후라도 운전자는 자신이 원래 주행하던 차선으로 복귀하거나 다른 차선으로 차선을 변경해야 할 필요가 있다. 예를 들어, 장애물이 위치했던 차선 이외의 차선들에서 선행 차량들이 서행하고 있다면 운전자는 다른 차선으로 이동하고자 할 것이다. 즉, 장애물 회피 이후에도 차선 변경에 대한 어느 정도의 인지적, 신체적 부담이 주어질 가능성을 배제할 수 없다. 이 경우 장애물을 회피하기 이전과 이후 구간에서 관찰되는 운전자의 정보처리와 차량통제의 차이는 운전자 전방의 장애물을 운전자가 회피해야 하는지 아니면 단순히 차선만 변경하고자 하는지의 여부가 될 것이다. 본 연구에서는 제어권 인수가 요구된 시점부터 운전자가 장애물을 회피한 직후(before the obstacle avoidance: BOA)까지의 구간과 장애물을 회피한 직후부터 제어권 이양이 요구된 시점(after the obstacle avoidance: AOA)까지의 구간을 구분하여 장애물 회피 이전과 이후 각각에서 관찰되는 운전자의 상황인식 및 차량통제 차이를 비교하였다.

2.3. 자율주행과 고령운전자

앞에서는 고령운전자는 연령증가에 따라 거의 모든 정보처리 단계에서 저하를 보인다는 점을 언급하였다. 자율주행의 맥락, 특히 수시로 AV와 운전자 사이의 제어권이 전환되어야 하는 3-수준 자율주행 환경이라면 전방의 장애물 출현에 의한 AV로부터의 TOR에 대해 고령운전자가 얼마나 신속하게 제어권을 인수받는지, 특히 제어권 인수 이후 운전상황에 대한 인식이나 차량통제의 수준은 어떠한지 등은 AV와 고령운전자 사이의 상호작용을 이해하는데 중요하게 고려되어야 하는 문제가 된다(Ko & Lee, 2023). 그러나 이 문제에 대해 초점을 맞추어 검토한 연구는 많지 않은 것으로 보인다.

Körber et al.(2016)은 이러한 문제를 지적하고, 20대의 젊은 운전자 집단과 60세 이상의 고령운전자 집단 사이에서 관찰되는 TOT를 비교하였다. 그 결과 운전자들에게 NDRT가 요구되지 않았던 조건에서는 TOT에서 유의한 차이가 관찰되지 않았던 반면 NDRT가 요구되었던 조건에서는 젊은 운전자 집단에 비해 고령운전자 집단의 TOT가 유의하게 길다는 것을 관찰하였다. Gasne et al.(2022)도 지적하였듯이 이러한 차이가 관찰된 것은 고령운전자들의 주의가 NDRT 수행으로 분산된 것과 연령 증가에 따른 신속한 반응실행 능력에서의 저하가 복합적으로 작용하여 나타난 결과일 가능성이 높다. TOT뿐만 아니라 고령운전자 집단은 젊은 운전자 집단에 비해 제어권 인수 이후의 차량통제에서도 상대적으로 더 저조한 수행을 보이는 것으로 보고되고 있다. 예를 들어, Peng & Iwaki(2020)는 20대의 젊은 운전자 집단과 70대의 고령운전자 집단을 대상으로 AV 차선 전방에 정지해 있는 트럭과 접촉하기 4초 이전에 청각 TOR 정보를 제시한 이후 실험참가자들이 보인 차량통제 수행을 비교하였다. 그 결과, 고령운전자 집단은 젊은 운전자 집단에 비해 전방의 장애물과 충돌하는 비율이 높았고 스티어링 휠 조작 각도의 변산성도 더 크다는 것을 발견하였다.

3. 연구 방법 및 절차

3.1. 연구참가자

청년운전자 39명과 고령운전자 31명이 일정한 사례를 받는 조건으로 실험에 참가하였다. 연구참가자들은 P시 소재 ○○대학교의 홈페이지 게시판과 인터넷 연구참가자 모집 사이트를 활용하여 모집하였다. 연구참가자들의 연령은 청년운전자가 평균 23.60세(*SD* = 2.35; 범위: 20 ~ 29세), 고령운전자가 평균 67.85세(*SD* = 2.61; 범위: 65 ~ 74세)였다. 운전경력은 청년운전자가 평균 3.17년(*SD* = 2.16; 범위: 1 ~ 6년), 고령운전자가 평균 27.71년(*SD* = 8.41; 범위: 5 ~ 40년)이었다. 이들은 모두 유효한 운전면허를 소지하고 있었고 실험 시작 이전에 실시한 인터뷰를 통해 본 실험에서 요구하는 과제들을 수행하는데 모두 적절한 수준임을 확인하였다.

3.2. 실험장치 및 도구

실험참가자들은 고정형 운전 시뮬레이터를 운전하였다. 운전 시뮬레이션 소프트웨어는 Forum 8 UC-win/Road (ver.13.0.1)가 사용되었다. 운전 장면은 50인치 모니터(해상도 1360 × 768) 3대를 좌우 방향으로 연결한 약 120° 시야각의 디스플레이를 통해 제시되었고 시각 TOR 정보는 3대의 모니터 중 중앙에 위치한 모니터의 상단에 제시되었다. 시뮬레이터 엔진음과 운전 소음 및 청각 정보 등은 2.1 채널 스피커를 통해 제시하였다. 시뮬레이터 차량을 통제하거나 제어권 전환 요구에 따른 제어권 전환을 위해서는 Logitech사의 G29 조이스틱이 사용되었다. 제어권 전환은 스티어링 휠의 좌측에 부착된 버튼을 통해 수행되었다. NDRT는 실험참가자의 우측에 놓여 있는 10.5인치 태블릿 PC를 통해 수행되었다. 운전 시뮬레이션을 제어하기 위한 컴퓨터는 CPU i7-4790 사양의 데스크톱 컴퓨터였고, 그래픽 정보들은 NVIDIA Geforce GTX770 그래픽카드를 통해 제시되었다. 본 연구에 사용된 운전 시뮬레이터와 실험 장면 및 NDRT의 예시는 Fig. 1에 제시되어 있다.

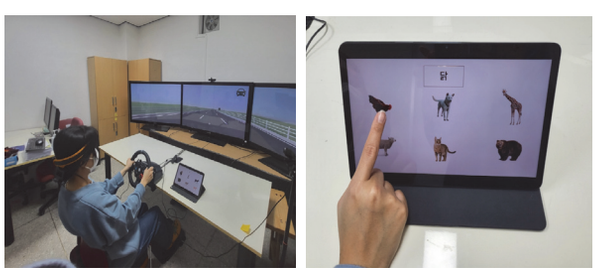

Fig. 1. Driving scene and non-driving related task

3.3. 비운전-관련 과제: NDRT

본 연구에서 차량이 운전을 담당하고 있는 자율주행 상황에서 운전자에게 요구된 NDRT는 '표적 동물 선택하기' 과제였다. 실험참가자의 우측에 놓여 있는 10.5인치 태블릿 PC 화면에 동물 이름과 동물 사진이 제시되고, 실험참가자는 동물 이름에 해당하는 동물 사진을 찾아 손으로 정확하고 빠르게 해당 사진을 누르도록 지시받았다. 동물 이름은 화면의 중앙 상단에 제시되었고, 그 아래에 6가지의 서로 다른 동물 사진이 3개씩 2열로 제시되었다. 실험참가자가 반응을 마치면 3초 후에 다른 화면이 제시되었다. 이 과제를 수행하기 위해서 실험참가자들은 눈과 손을 동시에 사용해야 하고 차량 전방으로부터 시선을 돌려 태블릿 PC 화면을 지속적으로 주시해야 한다.

3.4. 제어권 전환 요구

장애물이 출현하는 상황을 구현하기 위해 자율주행 중 실험참가자가 NDRT를 수행하고 있을 때 차량 전방의 가운데 차선(즉, 3차선 도로 중 2차선)에 장애물이 출현하도록 설정하였다. 장애물은 교통사고로 인해 사고 차량들이 2차선 안에 정지해 있거나 차선 공사로 인해 흙더미가 2차선에 쌓여 있는 상황 등이었다. 전체 주행 중 서로 다른 유형의 장애물이 8회(두 번의 주행에서 각 4회씩: 운전 시나리오 부분 참조) 제시하였다. 장애물이 차량 전방 150m 지점 혹은 실험참가자에게 요구된 운전속도인 60km/h를 기준으로 보면 TTC가 대략 9초인 시점에서 TOR 정보가 제시되었다. TOR과 HOR의 두 가지 제어권 전환 정보는 음성 정보와 시각 정보

를 복합적으로 사용하여 제시하였다. 음성 정보는 모노톤의 여성 목소리로 제시되었고, 시각 정보는 '제어권을 받으세요' 혹은 '제어권을 넘기세요'라고 표기된 빨간색 문구가 시뮬레이터 화면 중앙 상단에 제시되었다.

TOR 정보가 제시되면 실험참가자는 스티어링 휠의 좌측에 부착된 버튼을 빠르고 정확하게 눌러 수동운전으로 전환하도록 하였다. 그리고 스티어링 휠과 브레이크를 적절하게 활용하되 1차선 혹은 3차선으로 차선을 변경하여 장애물을 회피하도록 지시받았다. 실험참가자들이 장애물을 회피한 이후에는 수동운전으로 차량을 제어하여 2차선으로 신속하게 복귀하도록 하였다. 수동운전을 지속한 대략 9초가 경과한 시점에서 TOR과 동일한 방식의 HOR 정보가 제시되었다. HOR 정보가 제시되면 운전자는 제어권 인수 반응과 동일하게 지정된 버튼을 빠르고 정확하게 눌러 자율주행으로 전환하도록 하였다.

3.5. 종속변인의 측정

3.5.1. 상황인식

실험참가자들이 BOA 구간과 AOA 구간에서 운전상황에 대해 얼마나 정확하게 인식하였는지 측정하기 위해 상황인식 과제를 실시하였다. 이 과제에서는 실험참가자들이 주행한 도로의 특정 장면과 이와 유사하지만 실제로 제시되지는 않았던 장면을 동시에 제시한 후 두 가지 운전장면 중 도로에서 보았던 장면이 어느 것이었는지 선택하도록 하였다. 운전장면은 도로 표지판, 도로 주변의 건물, 시설물 혹은 나무 등을 다양하게 변화하여 구성하였고, 각 시각자극은 도로의 좌우에 무선적으로 제시하였다. 도로 장면은 BOA 구간과 AOA 구간에서 각각 4개씩 제시되었다. 따라서 실험참가자들이 주행한 2개의 도로 각각에 대해 8회의 상황인식 질문이 주어졌고 총 16회의 시행에서 실험참가자들이 정확하게 반응한 시행의 백분율을 계산하여 상황인식 측정치로 분석하였다.

3.5.2. 제어권 전환 시간

본 연구에서 실험참가자들은 차량 전방의 장애물 출현에서 따라 차량으로부터 제어권을 인수받거나 장애물을 회피한 이후에는 차량으로 다시 제어권을 이양하도록 요구받는 과정을 반복하였다. 본 연구에서는 AV로부터 TOR 혹은 HOR 정보가 제시된 시점부터 실험참가자가 제어권 인수 혹은 제어권 이양을 위해 스티어링 휠에 부착된 버튼을 누르기까지의 시간을 각각 TOT와 HOT로 정의하고 초 단위로 측정하여 분석하였다. 제어권 전환이 요구된 이후에도 버튼을 누르지 않았거나 너무 느리게 누른(5초 이상) 지연 반응 자료는 분석에서 제외하였다.

3.5.3. 차량제어 측정치

BOA 구간과 AOA 구간에서 실험참가자들이 보인 차량제어 수행을 비교하기 위해 평균 운전속도와 브레이크 입력 변산성, 차선내 위치 변산성 및 스티어링 휠 각도 변산성을 종속측정치로 분석하였다. 4개의 운전수행 측정치들 중 운전속도와 브레이크 입력 변산성은 차량에 대한 종적통제 수행을, 그리고 차선내 위치 변산성과 스티어링 휠 각도 변산성은 차량에 대한 횡적통제 수행을 반영한다. 모든 차량제어 측정치들은 초당 10회의 빈도로 추출되었다. 2차선 도로 위에서 출현한 장애물을 회피하기 위해 실험참가자는 차선을 1차선 혹은 3차선으로 변경하였기 때문에 실제 장애물까지의 접촉 시점(즉, TTC)은 실험참가자 차량이 장애물과 횡적으로 일치하는 시점으로 정의하였다.

평균 운전속도는 km/h 단위로 측정하여 분석하였다. 목표 운전속도가 60km/h였기 때문에 이 목표속도로부터 이탈한 속도로 운전할수록 차량에 대한 종적통제가 저조하다고 할 수 있다. 브레이크 입력의 경우 실험참가자가 브레이크 페달을 전혀 밟지 않았을 때의 값을 0%, 최대로 브레이크 밟았을 때의 값을 100%로 정의하고 분석하였다. 브레이크 입력값이 클수록 강하게 브레이크를 밟아 운전속도를 조절하였다는 것을 의미한다. 차선내 위치 변산성은 2차선의 중앙을 0으로 설정하고 이 지점으로부터 차량이 좌우 방향으로 어느 정도 이탈하였는지를 미터(m) 단위로 측정한 후 이 값들의 표준편차를 계산하여 분석하였다. 스티어링 휠 각도 변산성은 스티어링 휠을 돌리지 않았을 때를 0°로 설정

하고 스티어릴 휠의 좌우 회전 각도의 표준편차를 계산하여 분석하였다. 차선내 위치 변산성과 스티어링 휠 각도 변산성이 클수록 차량에 대한 횡적통제가 불안정적으로 이루어졌다는 것을 의미한다.

3.6. 운전 시나리오 및 절차

본 연구는 실험 이전 단계, 연습시행 단계, 본시행 단계, 그리고 실험 이후 단계의 순서로 진행되었다. 실험이 시작되기 이전 단계에서는 실험참가자들에게 연구의 목적과 절차에 대한 안내, 연구 참여에 대한 동의 여부 확인 및 나이와 성별 및 운전경력 등을 포함한 인구통계학적 설문지에 응답하는 절차가 이루어졌다. 연습시행 단계에서는 실험참가자에게 3-수준 자율주행 차량의 주행 방식에 대해 설명하였고, 운전 시뮬레이터 조작에 충분히 익숙할 수 있도록 스티어링 휠과 페달을 조작하면서 실제 운전상황과 동일하게 주행하도록 하였다. AV로부터 제어권 전환 요구가 있을 경우 제어권을 전환하는 방식과 자율주행 중 출현하는 장애

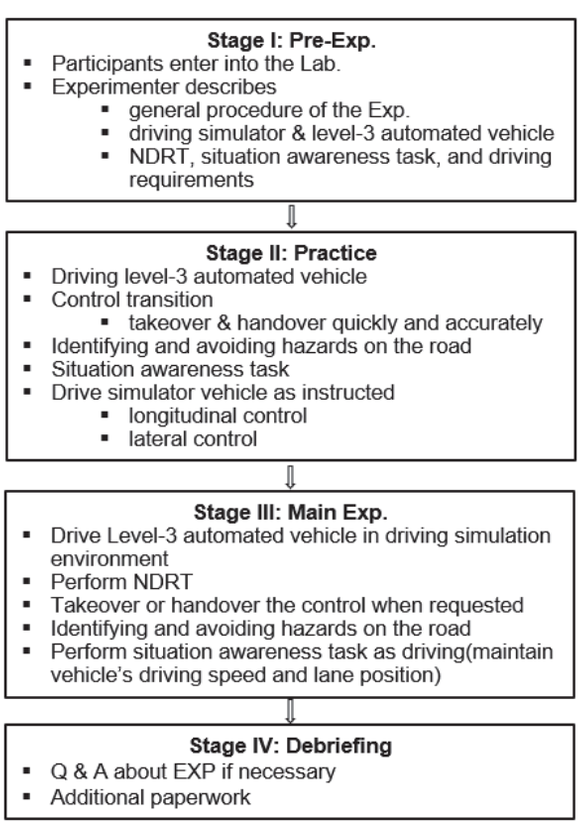

Fig. 2. General sequence of the study

물을 피해 운전하는 방식에 대해 연습하였다. 실험참가자들로부터 추가 질문이나 불편 사항이 없다는 것을 확인한 다음 본시행을 실시하였다.

본실험에서 실험참가자들은 먼저 약 250m의 거리를 수동으로 차량을 운전하였다. 이후 차량 전방 150m 지점에 장애물 출현과 함께 최초의 TOR 정보가 제시되었고, 장애물 회피 이후 150m를 주행 한 시점에서 HOR 정보가 제시되었다. TOR과 HOR 정보제시는 300m ~ 500m의 주행 거리에 걸쳐 반복되었다. 실험참가자들은 약 5000m의 완만한 굴곡을 가진 S자 형태의 3차선 도로를 2회 주행하였고 각 도로에서의 주행 순서는 실험참가자들에 따라 역균형화되었다. 각 도로에서의 주행에서는 서로 다른 유형의 장애물이 4회씩 제시되었다. 각 도로에서의 주행이 종료된 이후 실험참가자들에게 상황인식 과제가 주어졌다.

본 시행에서는 실험참가자들에 따라 순서를 달리하여 2회의 주행이 이루어졌다. 각 주행 중에 서로 다른 유형의 장애물이 4회씩 제시되었고 마찬가지로 TOR 정보와 HOR 정보도 각각 4회씩 제시되었다. 장애물 출현 이전의 자율주행 상황에서는 눈과 손을 동시에 사용하여 수행해야 하는 NDRT가 지속적으로 요구되었고, 하나의 NDRT 수행이 종료되면 3초 후에 또 다른 NDRT를 수행하도록 하였다. 실험 이전 단계에 5분, 연습시행에 10분, 본시행에 45분, 실험 이후 단계에 5분 등을 포함하여 전체 실험 시간은 대략 65분이었다. Fig. 2는 본 연구의 전반적 진행 단계를 요약한 것이다.

3.7. 분석 방법

앞에서 기술하였듯이 본 연구에서는 상황인식, 제어권 전환시간(TOT와 HOT), 그리고 네 가지의 차량제어 측정치(평균 운전속도와 브레이크 입력값, 차선내 위치 변산성 및 스티어링 휠 각도 변산성)가 종속측정치로 분석되었다. 자료분석은 연령집단(2:청년 운전자 집단 vs. 고령운전자 집단)과 측정 시점(2: BOA 구간 vs. AOA 구간)의 조합에 따른 2 × 2 설계에 대한 변량분석을 통해 분석되었다. 연령집단은 피험자간 변인, 측정시점은 피험자내 변인이었다. 유의한 주효과와 상호작

용 효과가 관찰될 경우 독립집단 t-검증이나 대응표본 t-검증을 통해 유의한 효과들에 대해 좀 더 구체적으로 분석하였다. 통계적 유의수준은 5%였고 모든 자료는 IBM SPSS Statistics 27을 사용하여 분석하였다.

4. 연구 결과

본 연구에서 수집된 종속측정치들을 분석하기에 앞서 종속측정치들이 통계 분석을 위해 기본적으로 갖추어야 하는 가정을 충족했는지의 여부를 먼저 확인하였다. 자료의 정규성(정상성)을 검토하기 위해 자료들의 왜도(skewness)와 첨도(kurtosis)를 계산하였고 집단들의 공분산 행렬 동질성을 확인하기 위해 모든 변량분석 모델에 대해 Box의 M 검증을 실시하였다. 일반적으로 왜도는 절대값이 2 이하의 범위, 첨도는 절대값이 7 이하의 범위에 있으면 자료의 정규성이 충족된 것으로 여겨진다(Curran et al., 1996). 분석 결과, 본 연구의 종속측정치들이 모두 정규성 기준을 충족한다는 것을 확인하였다. 또한 Box의 M 검증 결과 대부분의 종속치들에서 공분산 행렬 동질성 가정이 충족되었으나 브레이크 입력값의 경우 Box의 M 값이 유의하였다(M = 24.35, $p < .01$). 이에 따라 브레이크 입력값에 대해서는 Pillai의 Trace 값에 기초하여 분석을 실시하였다.

4.1. 상황인식

실험참가자들이 운전 중에 요구받았던 상황인식 수행 자료를 운전자 연령집단과 장애물 회피 전후 시점(before and after the obstacle avoidance: BAOA)의 조합에 따라 정리한 자료가 Table 1에 제시되어 있다. 상황인식 점수를 분석한 결과, 연령집단의 주효과[$F(1, 68) = 20.61$, $p < .001$, $\eta^2 = .23$]와 BAOA의 주효과[$F(1, 68) = 11.28$, $p < .01$, $\eta^2 = .14$], 그리고 연령집단과 BAOA 사이의 상호작용 효과[$F(1, 68) = 5.36$, $p < .01$, $\eta^2 = .07$]가 모두 유의하였다. 연령집단과 BAOA의 주효과가 유의했던 것은 청년운전자(M = 83.39, SD = 12.03)에 비해 고령운전자 집단(M = 68.21, SD = 15.71)이, 그리고 AOA 구간(M = 79.82, SD = 18.71)보다는 BOA 구간(M = 71.79, SD = 19.12)에서 상황인식 점수가 유의하게 낮았기 때문이다. 연령집단과 BAOA 사이의 유의한 상호작용 효과를 좀 더 구체적으로 파악하기 위해 BAOA 구간별로 연령집단의 상황인식 점수 차이를 독립집단 t-검증을 통해 비교하였다. 그 결과, BOA 구간과 AOA 구간 모두에서 청년운전자 집단에 비해 고령운전자 집단의 상황인식 점수가 유의하게 낮았으나 그 차이는 AOA 구간에 비해 BOA 구간에서 더 컸다(BOA 구간: mean difference = 20.71, t = 5.37, $p < .001$ vs. AOA 구간: mean difference = 9.64, t = 2.22, $p < .05$). 연령집단과 BAOA 사이의 유의한 상호작용 효과에서 주목되는 또 다른 측면은 청년운전자 집단의 경우 BOA 구간과 AOA 구간에 걸쳐 상황인식 점수에서 큰 차이를 보이지 않았으나(mean difference = 2.50, t = .39, ns) 고령운전자 집단의 경우 AOA 구간에 비해 BOA 구간에서 유의하게 상황인식 점수가 저하된다는 점이다(mean difference = 13.57, t = 3.56, $p < .01$).

Table 1. Situation awareness scores(%) according to driver age group and before/after the obstacle avoidance

Before-After the Obstacle Avoidance (BAOA)	Age group(A)		Total	t-test	ANOVA
	Young	Old			
	$M(SD)$	$M(SD)$			
Before(BOA)	82.14(14.31)	61.43(17.77)	71.79(19.12)	t = 5.37***	
After(AOA)	84.64(15.18)	75.00(20.78)	79.82(18.71)	t = 2.22*	A: MS = 8063.62, MSe = 391.35, F = 20.61***
Total	83.39(12.03)	68.21(15.71)			BAOA: MS = 2060.05, MSe = 200.30, F = 11.28**
t-test	t = .39	t = 3.56**			A x BAOA: MS = 1072.55, MSe = 200.30, F = 5.36**

Note: *$p < .05$, **$p < .01$, ***$p < .001$

Table 2. Control Takeover time(TOT, sec.) and handover time(HOT, sec.)

Before-After the Obstacle Avoidance (BAOA)	Age group(A)		Total	*t*-test	ANOVA
	Young	Old			
	M(*SD*)	*M*(*SD*)			
TOT	1.51(.68)	2.09(.63)	1.77(.71)	t = 3.64**	
HOT	2.13(.68)	2.39(.64)	2.24(.64)	t = 1.74	A: MS = 6.035, MSe = .68, F = 8.96**
Total	1.82(.61)	2.24(.55)			BAOA: MS = 7.24, MSe = .15, F = 48.00***
t-test	t = 6.23***	t = 3.67**			A x BAOA: MS = .829, MSe = .15, F = 5.50*

Note: *p < .05, **p < .01, ***p < .001

4.2. 제어권 전환 시간

TOT와 HOT에 대한 분석 결과는 Table 2에 정리되어 있다. 분석 결과, 연령집단의 주효과[F(1, 68) = 8.96, p < .01, η^2 = .12]와 BAOA의 주효과[F(1, 68) = 48.00, p < .001, η^2 = .41]가 모두 유의하였다. 전체 제어권 전환 시간은 청년운전자 집단(M = 1.82, SD = .61)에 비해 고령운전자 집단(M = 2.24, SD = .55)에서, 그리고 TOT(M = 1.77, SD = .71)보다는 HOT(M = 2.24, SD = .64)가 유의하게 더 느렸다. 그러나 연령집단과 BAOA 사이의 유의한 상호작용 효과[F(1, 68) = 5.50, p < .05, η^2 = .08]가 시사하듯이 이러한 실험 조건들에 따른 제어권 전환 시간에서의 전반적 차이는 연령집단과 BAOA의 조합 조건에 따라 달라지는 것으로 보인다. 구체적으로, 청년운전자 집단과 고령운전자 집단 모두에서 TOT에 비해 HOT가 유의하게 증가하기는 하였으나(청년 운전자 집단: mean differendce = .62, t = 6.23, p < .001 vs. 고령운전자 집단: mean difference = .30, t = 3.67, p < .01) 제어권 이양 조건에서는 연령집단간 HOT에서의 차이가 유의하지 않았던 반면(mean differendce = .26, t = 1.74, ns) 제어권 인수 조건에서는 청년운전자 집단에 비해 고령운전자 집단에서의 TOT가 유의하게 더 느렸다(mean differendce = .58, t = 3.64, p < .01).

4.3. 운전수행

네 가지의 운전수행 관련 측정치들인 평균 운전속도, 차선유지 변산성, 브레이크 입력값 및 스티어링 휠 각도 변산성 자료를 연령집단과 BAOA 구간에 따라 정리한 자료는 Table 3에 제시하였다.

4.3.1. 평균 운전속도

먼저, 평균 운전속도에 대한 분석 결과, 연령집단의 주효과[F(1, 68) = 31.46, p < .001, η^2 = .32]와 BAOA의 주효과[F(1, 68) = 16.22, p < .001, η^2 = .19]가 유의하였으나 연령집단과 BAOA 사이의 상호작용 효과는 유의하지 않았다[F(1, 68) = .28, ns]. 청년운전자(M = 55.73, SD = 4.82)에 비해 고령운전자 집단(M = 48.84, SD = 5.44)이 상대적으로 유의하게 더 느리게 운전하였고, 실험참가자 모두 제어권 AOA 구간(M = 53.71, SD = 6.41)보다는 BOA 구간(M = 53.71, SD = 6.41)에서 더 느린 평균 운전속도를 보였다. 그리고 연령집단과 BAOA 사이의 상호작용 효과가 유의하지 않았던 것은 청년운전자 집단과 고령운전자 집단 사이의 평균 운전속도 차이가 AOA 구간과 BOA 구간에 따라 유의하게 크지 않았기 때문이다. 또한 모든 실험 조건에 걸쳐 실험참가자들은 사전에 요구되었던 운전속도인 60km/h에 비해 대략 8km/h 정도 느리게 운전하는 경향이 관찰되었고, 특히 제어권 인수 조건에서의 고령운전자 집단은 대략 14km/h 정도 더 느리게 운전하였다.

4.3.2. 브레이크 입력

브레이크 입력값에 대한 분석에서는 BAOA 변인을 포함한 효과들이 공분산 행렬 동질성 가정을 충족하지 않았기 때문에 이 변인을 포함한 변인들에 대해서는

Table 3. Driving performance according to driver age group and before/after the obstacle avoidance

Dependent Variables	Before-After the Obstacle Avoidance (BAOA)	Age group(A)		Total	*t*-test	ANOVA
		Young	Old			
		M(*SD*)	*M*(*SD*)			
Driving speed (km/h)	Before(BOA)	54.82(5.05)	47.65(6.12)	51.64(6.57)	t = 5.36***	A: MS = 1638.55, MSe = 50.08, F = 31.46*** BAOA: MS = 151.59, MSe = 9.37, F = 16.22*** A x BAOA: MS = 2.60, MSe = 9.37, F = .28
	After(AOA)	56.64(5.12)	50.02(6.02)	53.71(6.41)	t = 4.97***	
	Total	55.73(4.82)	48.84(5.44)			
	t-test	t = 3.52**	t = 2.44*			
Brake input (%)	Before(BOA)	2.20(2.07)	3.94(2.45)	2.97(2.40)	t = 3.23**	A: MS = 34.70, MSe = 3.15, F = 11.02** BAOA: MS = 239.94, MSe = 2.11, F = 113.81*** A x BAOA: MS = 19.04, MSe = 2.11, F = 9.03**
	After(AOA)	.30(.40)	.56(.52)	.42(.47)	t = 2.36*	
	Total	1.25(1.20)	2.25(1.32)			
	t-test	t = 6.70***	t = 7.94***			
Lane deviation (m)	Before(BOA)	.72(.05)	.74(.06)	.73(.05)	t = 1.40	A: MS = .08, MSe = .004, F = 20.62*** BAOA: MS = .06, MSe = .003 F = 18.61*** A x BAOA: MS = .030, MSe = .003, F = 9.44**
	After(AOA)	.65(.06)	.73(.07)	.69(.07)	t = 4.91***	
	Total	.68(.04)	.73(.05)			
	t-test	t = 6.51***	t = .72			
Steering wheel variability (deg.)	Before(BOA)	2.65(1.84)	3.70(1.17)	3.12(1.83)	t = 2.45*	A: MS = 47.71, MSe = 3.70, F = 12.90** BAOA: MS = .003, MSe = .92, F = .01 A x BAOA: MS = .529, MSe = .92, F = .57
	After(AOA)	2.52(1.22)	3.82(1.23)	3.10(1.38)	t = 4.40***	
	Total	2.59(1.47)	3.76(1.21)			
	t-test	t = .78	t = .39			

Note: Note: *p < .05, **p < .01, ***p < .001

Pillai의 Trace 값을 이용하여 분석하였다. 분석 결과, 연령집단의 주효과[F(1, 68) = 11.02, p < .01, η^2 = .14]와 BAOA의 주효과[Pillai의 Trace = .63, F(1, 68) = 113.81, p < .001, η^2 = .63], 그리고 연령집단과 BAOA 사이의 상호작용 효과[Pillai의 Trace = .12, F(1, 68) = 9.03, p < .05, η^2 = .12]가 모두 유의하였다. 연령집단과 BAOA의 이러한 유의한 주효과들은 청년운전자 집단(M = 1.25, SD = 1.20)에 비해 고령운전자 집단(M = 2.25, SD = 1.32)에서, 그리고 AOA 구간(M = .42, SD = .47)에 비해 BOA 구간(M = 2.97, SD = 2.40)에서 브레이크 입력값이 유의하게 더 높았기 때문이다. 연령집단과 BAOA 사이의 유의한 상호작용 효과를 구체적으로 살펴보기 위해 BAOA 구간별로 연령집단의 브레이크 입력값 차이를 비교하였다. 그 결과, BOA 구간과 AOA 구간 모두에서 청년운전자 집단에 비해 고령운전자 집단의 브레이크 입력값이 유의하게 높았으나 그 차이는 AOA 구간에 비해 BOA 구간에서 유의하게 더 높았다(BOA 구간: mean difference = 2.97, t = 3,23, p < .01 vs. AOA 구간: mean difference = .26, t = 2.36, p < .05). 또한 연령집단별로 BOA 구간과 AOA 구간 사이에서 브레이크 입력값의 차이가 있는지 살펴본 결과를 보면 청년운전자 집단에서의 BOA 구간과 AOA 구간간 브레이크 입력값 차이(mean difference = 1.90, t = 6.70, p < .001)에 비해 고령운전자 집단은 그 차이(mean difference = 3.38, t = 7.94, p < .001)가 상대적으로 더 컸다.

4.3.3. 차선내 위치 변산성

차선의 중앙으로부터 얼마나 이탈하였는지를 나타내는 차선내 위치 변산성에 대한 분석 결과, 연령집단

의 주효과[$F(1, 68) = 20.62$, $p < .001$, $\eta^2 = .23$]와 BAOA의 주효과[$F(1, 68) = 18.61$, $p < .001$, $\eta^2 = .22$], 그리고 연령집단과 BAOA 사이의 상호작용 효과[$F(1, 68) = 9.44$, $p < .05$, $\eta^2 = .12$]가 모두 유의하였다. 전반적으로 청년운전자 집단($M = .68$, $SD = .04$)에 비해 고령운전자 집단($M = .73$, $SD = .05$)에서, 그리고 AOA 구간($M = .69$, $SD = .07$)에 비해 BOA 구간($M = .73$, $SD = .07$)에서 차선내 위치 변산성이 유의하게 더 컸다. 차선내 위치 변산성에 대한 연령집단과 BAOA 사이의 유의한 상호작용 효과를 구체적으로 살펴보기 위해 BAOA 구간별로 연령집단의 차선내 위치 변산성 차이를 비교하였다. 그 결과, BOA 구간에서는 두 연령집단 사이에서 차선내 위치 변산성의 차이가 유의하지 않았던 반면(mean difference = .02, $t = 1.40$, ns) AOA 구간에서는 청년운전자 집단에 비해 고령운전자 집단의 차선내 위치 변산성이 유의하게 더 컸다(mean difference = .08, $t = 4.91$, $p < .001$).

4.3.4. 스티어링 휠 각도 변산성

차선내 차량 위치 변산성가 마찬가지로 스티어링 휠 각도의 변산성도 차량에 대한 횡적통제의 수준을 파악하는데 유용하게 사용되는 측정치이다. 일반적으로 스티어링 휠 각도의 변산성이 클수록 차량의 횡적 위치를 불안정적으로 통제했다는 것을 나타낸다. 스티어링 휠 각도 변산성에 대한 분석 결과, 연령집단의 주효과[$F(1, 68) = 12.90$, $p < .01$, $\eta^2 = .16$]만 유의하였고, BAOA의 주효과[$F(1, 68) = .01$, ns] 및 연령집단과 BAOA 사이의 상호작용 효과[$F(1, 68) = .57$, ns]는 모두 유의하지 않았다. 연령집단의 주효과에 대한 단순분석 결과, BOA 구간과 AOA 구간 모두에서 청년운전자 집단에 비해 고령운전자 집단의 스티어링 휠 각도의 변산성이 유의하게 높았으나(BAH 조건: mean difference = 1.05, $t = 2.45$, $p < .05$; AOA 구간: mean difference = 1.30, $t = 4.40$, $p < .001$) 이러한 연령집단간 차이는 각 BAOA 구간에 따라 유의하게 차이가 있는 수준은 아니었다.

5. 논의 및 결론

운전자에게 요구되는 다양한 정보처리 부담이나 차량통제에서의 어려움을 줄이고 교통사고나 차량정체 문제 등을 해결하기 위한 대안으로 AV의 보급이 활발하게 이루어지고 있다(Goodall, 2014). 현재 가장 많이 적용되고 있는 자율주행 자동화 3-수준이다. 이 수준의 자율주행에서는 운전상황에 따라 차량과 운전자 사이에서 차량에 대한 제어권이 원활하게 전환되는 것이 AV와 운전자 사이의 상호작용 수준을 결정하는 중요한 요소이다(Hamdan et al., 2022). 제어권 전환에 대한 기존 연구들은 제어권 전환의 효율성 즉, 운전자와 AV 사이에서 제어권 전환이 신속하게 이루어질 수 있는 방안이 무엇인지에 대해 주로 초점을 맞추어왔다(Yoon et al., 2019; Huang et al., 2019; Politis et al., 2015).

제어권 전환에서의 효율성을 높이기 위한 TOR 정보제시 방식에 대한 설계 차원 못지 않게 중요하게 검토되어야 하는 것은 제어권 전환이 운전자의 정보처리나 차량통제에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 것이다(So et al., 2021). 특히, AV로부터의 TOR은 AV 전방의 장애물 출현과 같은 긴급한 상황에서 주어진다는 점을 고려하면 장애물을 회피하기 이전과 이후 각각에서 운전자가 경험하는 인지적 부담 수준이나 차량제어 패턴 등에서의 차이를 검토하는 것은 운전자와 AV 사이의 상호작용을 이해하는데 중요한 연구 질문이 될 수 있다. 또한 고령운전자는 젊은 운전자들에 비해 운전수행의 전반적 수준뿐만 아니라 운전상황에서 요구되는 다양한 정보처리 과제들의 수행이 상대적으로 더 저조할 수 있다는 점을 감안하면 장애물 회피 이전과 이후에서 관찰되는 정보처리 및 차량통제에서의 차이를 다른 연령대의 운전자들과 비교해 볼 필요도 있을 것이다. 그러나 이러한 관점에서 수행된 연구는 지금까지 보고되고 있지 않은 것으로 보인다. 본 연구에서는 운전 시뮬레이션을 통해 3-수준 자율주행 중 운전자 차량 전방에 장애물이 출현하는 상황에서 서로 다른 연령대의 운전자들이 보이는 제어권 전환(인수 및 이양) 반응과 상황인식 및 차량통제 수행에서의 차이를 비교하였다.

특히, 장애물 회피 이전과 이후에서는 운전자들의 정보처리와 차량제어에 대한 부담 수준이 다를 수 있다는 점에 초점을 맞추어 상황인식 수준과 차량통제 수행에서의 차이는 장애물 회피 이전과 후의 구간을 구분하여 분석하였다.

본 연구의 결과와 시사점을 기술하면 다음과 같다. 첫째, 상황인식 점수를 분석한 결과, 청년운전자에 비해 고령운전자 집단이, 그리고 장애물 회피 이후 조건보다는 장애물 회피 이전 조건에서 상황인식 점수가 유의하게 낮았다. 그러나 연령집단과 BAOA 사이의 상호작용 효과가 시사하듯이 BOA 구간과 AOA 구간 모두에서 청년운전자 집단에 비해 고령운전자 집단의 상황인식 점수가 더 낮았으나 그 차이는 AOA 구간에 비해 BOA 구간에서 더 컸다. 또한 청년운전자 집단의 경우 BOA 구간과 AOA 구간 사이에서 상황인식 점수 차이가 유의하지 않았으나 고령운전자 집단의 경우 AOA 구간에 비해 BOA 구간에서 상황인식 점수가 더 낮았다. 이러한 결과는 고령운전자 집단은 청년운전자 집단에 비해 전반적으로 더 낮은 수준의 상황인식 수행을 보이기는 하지만 운전자 차량 전방의 장애물 출현으로 인해 제어권 인수가 요구되는 조건에서는 운전상황에 대한 전반적 인식에서 특히 더 큰 저하가 발생할 수 있음을 시사한다.

둘째, 자율주행 차량으로부터 TOR에 의한 전체적 제어권 전환 시간에 대한 분석 결과, 제어권 전환 시간은 청년운전자 집에 비해 고령운전자 집단에서, 그리고 TOT보다는 HOT가 유의하게 더 느렸다. 그러나 이러한 제어권 전환 시간에서의 전반적 차이는 연령집단과 BAOA의 조합 조건에 따라 상이한 패턴을 보였다. 즉, 청년운전자 집단과 고령운전자 집단 모두에서 TOT에 비해 HOT가 유의하게 느렸으나 HOT에 대해서는 연령집단간 차이가 유의하지 않았던 반면 TOT의 경우는 청년운전자 집단에 비해 고령운전자 집단에서의 유의하게 더 느렸다. 상황인식에 대한 분석 결과와 유사하게 제어권 전환 시간에 대한 분석 결과는 제어권 전환 시간에서의 연령집단간 차이는 제어권 이양 조건보다는 제어권 인수 조건에서 더 뚜렷해질 수 있음을 시사한다.

네 가지의 운전수행 측정치들인 평균 운전속도, 차선유지 변산성, 브레이크 입력값 및 스티어링 휠 각도 변산성 자료에 대한 분석 결과는 다음과 같다. 먼저, 평균 운전속도에 대한 분석 결과, 청년운전자에 비해 고령운전자 집단에서, 그리고 AOA 구간보다는 BOA 구간에서 유의하게 더 느린 평균 운전속도가 관찰되었고 두 연령집단 간 평균 운전속도 차이는 두 가지의 BAOA 구간 각각에서 유의한 차이가 없었다. 또한 실험참가자들은 목표 운전속도에 비해 전반적으로 더 느리게 운전하기는 하였으나 BOA 구간에서 고령운전자 집단의 평균 운전속도가 가장 느렸다. 목표 운전속도에 비해 상대적으로 더 느린 운전속도를 보인 것은 주행 중 NDRT가 수시로 요구되어 운전자의 주의가 목표 운전속도를 유지하는 것으로부터 어느 정도 NDRT로 분산되었기 때문일 수 있을 것이다. 또한 BOA 구간의 경우 운전자 전방에 출현한 장애물들을 회피하기 위해 반복적으로 운전속도를 줄인 것의 영향도 있을 것이다. 그리고 이러한 영향은 BOA 구간에서의 고령운전자 집단에게 특히 더 크게 작용했을 가능성도 있다.

브레이크 입력값에 대한 분석 결과, 청년운전자 집단에 비해 고령운전자 집단에서, 그리고 AOA 구간 조건에 비해 BOA 구간에서 브레이크 입력값이 전반적으로 더 컸으나 연령집단간 브레이크 입력값에서의 차이는 AOA 구간에 비해 BOA 조건에서 더 컸다. 또한 BOA 구간과 AOA 구간에서의 브레이크 입력값 차이는 청년운전자 집단에 비해 고령운전자 집단에서 상대적으로 더 컸다. 특히 장애물을 회피한 이후의 전체 브레이크 입력 평균값은 매우 낮은 수준(.42%)이었는데, 이것은 이 구간에서 실험참가자들이 액셀러레이터를 통해 운전속도를 조절하는 대신 브레이크를 거의 작동하지 않았음을 시사한다.

차선내 위치 변산성에 대한 분석 결과, 전반적으로 청년운전자 집단에 비해 고령운전자 집단에서, 그리고 AOA 구간에 비해 BOA 구간에서 차선내 위치 변산성이 유의하게 더 컸다. 그러나 연령집단과 BAOA 사이의 상호작용 효과에 대한 세부적 분석 결과 두 연령집단 사이의 차선내 위치 변산성의 차이는 AOA 구간에서만 유의하여 청년운전자 집단에 비해 고령운전자 집

단의 차선내 위치 변산성이 이 구간에서 유의하게 더 컸다. 특히 청년운전자 집단의 경우 장애물을 회피한 이후에는 차선내 위치 변산성이 유의하게 감소한 반면 고령운자자 집단에서는 이러한 경향이 관찰되지 않았다. 이러한 결과는 고령운전자 집단의 경우 장애물을 회피한 이후에도 차량의 횡적 위치를 차선 안에서 안정적으로 유지하지 못할 수 있음을 시사한다. 마지막으로, 스티어링 휠 각도 변산성에 대한 분석 결과, 연령집단의 주효과만 유의하였다. 즉, BOA 구간과 AOA 구간 모두에서 청년운전자 집단에 비해 고령운전자 집단의 스티어링 휠 각도의 변산성이 유의하게 높았으나 이러한 연령집단간 차이는 각 BAOA 구간에 따라 유의하게 차이가 있는 수준은 아니었다.

본 연구의 결과들을 종합하면 차량 전방에 위치한 장애물을 회피하기 이전과 이후에 운전자들이 보인 상황인식, 제어권 전환 및 차량통제 수행 모두에서 유의한 차이가 있고, 특히 청년운전자 집단보다는 고령운전자 집단에서 더 두드러지는 것으로 보인다. 먼저, 고령운전자 집단은 청년운전자 집단에 비해 AOA 구간보다는 BOA 구간에서 유의하게 낮은 상황인식 점수를 보였는데 이러한 경향은 고령운전자들이 경험하는 중다과제 수행에서의 어려움 혹은 작업기억 능력에서의 제약의 관점에서 설명할 수 있을 것이다(Cuenen et al., 2016). 즉, 고령운전자 집단이 전방에 위치한 장애물을 회피하는데 선택적으로 더 많은 주의를 기울이는 대신 운전상황에 대한 파악에는 상대적으로 주의를 충분하게 기울이지 못했고 이 때문에 상황인식 수준에서 전반적 저하가 발생했을 가능성을 시사한다.

또한 HOT에 대해서는 연령집단간 차이가 유의하지 않았던 반면 TOT의 경우는 청년운전자 집단에 비해 고령운전자 집단에서 유의하게 더 느렸다. 이것은 고령운전자들이 경험하는 신속한 주의 전환(attentional shift)에서의 어려움을 반영하는 결과로 해석할 수 있을 것이다. 본 실험에서는 모든 실험참가자에게 TOR 정보가 제시되기 이전에 눈과 손을 모두 사용해야 하는 NDRT를 수행하는 도중 TOR 정보가 제시되면 NDRT 수행으로부터 신속하게 제어권 인수 반응으로 주의를 전환하여 전방의 장애물을 회피하도록 지시받았다. 즉, NDRT 수행으로부터 제어권 인수 반응으로 신속하게 주의를 전환해야 하는 것이다. 그러나 고령운전자들의 정보처리 패턴을 분석한 많은 연구들이 밝혔듯이 고령운전자들은 운전 이외의 이차적 과제로부터 일차적 운전과제로 신속하게 주의를 전환하는 능력이 젊은 운전자들에 비해 상대적으로 더 저하되어 있는데(Freund & Smith, 2011) 본 연구의 결과도 이러한 선행 연구의 결과와 일치하는 것으로 보인다.

네 가지 차량통제 측정치에 대한 결과도 앞에서 논의한 상황인식이나 제어권 전환 수행과 마찬가지로 AOA 구간보다는 BOA 구간에서, 그리고 청년운전자 집단보다는 고령운전자 집단에서 더 저하된 수행을 보였다. 특히 차량통제 수행에서의 연령집단간 차이는 AOA 구간보다는 BOA 구간에서 더 뚜렷하였다. 구체적으로, 스티어링 휠 각도 변산성을 제외하고 고령운전자 집단은 청년운전자 집단에 비해 AOA 구간보다는 BOA 구간에서 평균 운전속도가 더 느렸고, 차선위치 변산성과 브레이크 입력값이 모두 더 컸다. 이러한 결과는 고령운전자 집단이 장애물을 회피하기 위해 더 천천히 운전하였고, 더 큰 브레이크 입력을 통해 운전속도를 조절하였으며, 차량의 횡적 위치를 크게 변화시켰다는 것을 시사한다. 이러한 운전 패턴은 저조한 운전수행의 대표적 지표들이다(Chen et al., 2022). 이러한 결과를 종합하면 고령운전자 집단은 청년운전자 집단에 비해 제어권 인수 이후의 장애물 회피에 대해 상대적으로 더 많은 부담을 경험하는 것으로 보인다. 즉, 고령운전자들은 젊은 운전자들에 비해 시간 압력이 주어진 조건에서 상황인식 수행의 더 저조해진다는 것(Rendon-Velez et al., 2016)과 고령운전자 집단이 보이는 반응속도에서의 지연성(Caird et al., 2018; Gasne et al., 2022))을 종합적으로 고려하면 본 연구에서의 고령운전자 집단도 차량 전방에 주어진 장애물 회피에서 청년운전자 집단에 비해 상대적으로 더 높은 수준의 시간 압력을 경험하였고 이것은 상황인식에서의 저하로 연결되었을 가능성도 있다.

본 연구는 지금까지 많이 보고되지 않았던 운전자 연령집단별 제어권 인수 이후의 운전자 상황인식 및 차량통제 수행 차이를 장애물 회피 이전 구간과 이후

구간으로 구분하여 분석하였다는 점에서 의의가 있다. 그러나 본 연구는 몇 가지 한계도 갖고 있다. 먼저, 본 연구에서는 TOR 정보를 시각과 청각 정보가 결합된 중복양상의 형태로 제시하였다. 이러한 TOR 정보 양상은 일반적으로 가장 많이 사용되는 형태일 뿐만 아니라 다른 TOR 정보 양상에 비해 더 신속한 TOT를 이끌어 내는 것으로 보고되고 있고(Yoon et al., 2019), 이것이 본 연구에서 이러한 TOR 정보 제공 양상을 선택한 이유이기도 하다. 그러나 TOR 정보 제시 방식이 매우 다양하고 운전자 개인의 선호나 특성에 따라 TOR 정보 양상의 상대적 효과성, 효율성에서 차이가 있을 수 있을 것이다. 예를 들어, Brandenburg & Chuang(2019)은 운전자들이 청각 TOR보다는 브레이크나 스티어링 휠 등을 시각화한 형태의 TOR 방식을 더 선호한다는 것을 발견하였다. 따라서 추후 연구에서는 TOR 정보 제공 방식을 좀 더 다양화한 후 운전자와 AV 사이의 상호작용을 비교해 볼 필요가 있을 것이다.

또한 본 연구에서 TOR과 HOR 정보를 장애물 회피 9초 이전과 장애물 회피 9초 이후의 시점에서 각각 제시하였다. 그러나 운전자 연령집단에 따라 장애물 회피에 대한 시간 압력에서 차이가 있다는 것을 좀 더 명확하게 확인하기 위해서는 TOR 정보 제시 시점도 다양화할 필요가 있을 것이다. 이와 유사하게 본 연구에서 눈과 손을 모두 사용하는 단일한 형태의 NDRT를 수행하도록 실험참가자에게 요구하였다는 점도 고려해야 한다. NDRT 유형에 따라 TOT나 운전수행에서의 차이가 있다는 기존 연구를 고려하면(Yoon et al., 2019) NDRT를 구성하는 요소(즉, 자극의 제시 방법과 반응의 형태)를 달리하여 NDRT 유형에 따른 효과를 차별화하여 분석할 필요도 있다.

REFERENCES

Brady, B., Eramudugolla, R., Wood, J. M., & Anstey, K. J. (2021). Association between decision-making under risk conditions and on-road driving safety among older drivers, *Neuropsychology*, *35*(6), 622-629. DOI: 10.1037/neu 0000754

Brandenburg, S., & Chuang, L. (2019). Take-over requests during highly automated driving: How should they be presented and under what conditions?. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *66*, 214-225. DOI: 10.1016/j.trf.2019.08.023

Caird, J. K., Simmons, S. M., Wiley, K., Johnston, K. A., & Horrey, W. J. (2018). Does talking on a cell phone, with a passenger, or dialing affect driving performance?: an updated systematic review and meta-analysis of experimental studies. *Human Factors*, *60*, 101-133. DOI: 10.1177/0018720817748145

Casner, S. M., Hutchins, E. L., & Norman, D. (2016). The challenges of partially automated driving. *Communications of the ACM*, *59*(5), 70-77. DOI: 10.1145/2830565

Chen, F., Lu, G., Tan, H., Liu, M., & Wan, H. (2022). Effects of assignments of dedicated automated vehicle lanes and inter-vehicle distances of automated vehicle platoons on car-following performance of nearby manual vehicle drivers. *Accident Analysis & Prevention*, *177*, 106826. DOI: 10.1016/j.aap.2022.106826

Clark, H., & Feng, J. (2017). Age differences in the takeover of vehicle control and engagement in non-driving-related activities in simulated driving with conditional automation. *Accident Analysis & Prevention*, *106*, 468-479. DOI: 10.1016/j.aap.2016.08.027

Collet, C., Guillot, A., & Petit, C. (2010). Phoning while driving II: a review of driving conditions influence. *Ergonomics*, *53*(5), 602-616. DOI: 10.1080/00140131003769092

Cuenen, A., Jongen, E. M., Brijs, T., Brijs, K., Houben, K., & Wets, G. (2016). Effect of a working memory training on aspects of cognitive ability and driving ability of older drivers: Merits of an adaptive training over a non-adaptive training. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *42*, 15-27. DOI: 10.1016/j.trf.2016.06.012

Curran, P. J., West, S. G., & Finch, G. F. (1996). The robustness of test statistics to nonnormality and specification error in confirmatory factor analysis. *Psychological Methods*, *1*, 16-29. DOI: 10.1037/1082-989X.1.1.16

Eriksson, A., & Stanton, N. A. (2017). Takeover time in highly automated vehicles: noncritical transitions to and from manual control. *Human Factors*, *59*(4), 689-705. DOI: 10.1177/00187208166 85832

Eriksson, A., Banks, V. A., & Stanton, N. A. (2017). Transition to manual: Comparing simulator with on-road control transitions. *Accident Analysis & Prevention, 102*, 227-234. DOI: 10.1016/j.aap.2017.03.011

Feng, J., Choi, H., Craik, F. I., Levine, B., Moreno, S., Naglie, G., & Zhu, M. (2018). Adaptive response criteria in road hazard detection among older drivers. *Traffic Injury Prevention*, *19*, 141-146. DOI: 10.1080/15389588.2017.1373190

Freund, B., & Smith, P. (2011). Older drivers. In Handbook of Traffic Psychology(pp. 339-351). Academic Press. DOI: 10.1016/B978-0-12-381984-0.10024-4

Gasne, C., Paire-Ficout, L., Bordel, S., Lafont, S., & Ranchet, M. (2022). Takeover performance of older drivers in automated driving: a review. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 87, 347-364. DOI: 10.1016/j.trf.2022.04.015

Gold, C., Damböck, D., Lorenz, L., & Bengler, K. (2013). "Take over!" How long does it take to get the driver back into the loop?. In Proceedings of the *Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, *57*(1), 1938-1942. Los Angeles, USA: SAGE Publications. DOI: 10.1177/1541931213571433

Goodall, N. J. (2014). Ethical decision making during automated vehicle crashes. *Transportation Research Record*, *2424*(1), 58-65. DOI: 10.3141/2424-07

Hamdan, A., Talj, R., & Cherfaoui, V. (2022). Transition management between an autonomous vehicle and a real human driver, in a context of take-over request. *IFAC-Papers OnLine*, *55*(14), 65-70. DOI: 10.1016/j.ifacol.2022.07.584

Hoc, J. M., Young, M. S., & Blosseville, J. M. (2009). Cooperation between drivers and automation: implications for safety. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, *10*(2), 135-160. DOI: 10.1080/14639220802368856

Hu, W., Zhang, T., Zhang, Y., & Chan, A. H. S. (2024). Non-driving-related tasks and drivers' takeover time: A meta-analysis. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 103, 623-637. DOI: 10.48550/arXiv.2405. 18667

Huang, G., Steele, C., Zhang, X., & Pitts, B. J. (2019). Multimodal cue combinations: a possible approach to designing in-vehicle takeover requests for semi-autonomous driving. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, *63*(1), 1739-1743. Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications.

Ko, Y., & Lee, J. (2023). Takeover time and driving performances by driver's age group, types of non-driving related tasks, and road complexity in automated driving. *Journal of the Korean Data Analysis Society*, *25*(3), 1177-1192. DOI: 10.37727/jkdas.2023.25.3.1177

Körber, M., Gold, C., Lechner, D., & Bengler, K. (2016). The influence of age on the take-over of vehicle control in highly automated driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 39, 19-32. DOI: 10.1016/ j.trf.2016.03.002

Lee, J. (2021). The effects of road type and driver's age on simulator sickness. J*ournal of the Korean Data Analysis Society, 23*(5), 2365-2380. DOI: 10.37727/jkdas.2021.23.5.2365

Lee, J. (2022). Differences in detection response and driving performance of middle-aged and elderly drivers according to stimulus location and road type: a driving simulation study. *Journal of The Korean Data Analysis Society, 24*(4), 1543-1561. DOI: 10.37727/jkdas.2022.24.4.1543

Ma, Z., & Zhang, Y. (2024). Driver-automated vehicle interaction in mixed traffic: Types of interaction and

drivers' driving styles. *Human Factors*, *66*(2), 544-561. DOI: 10.1177/00187208221088358

McKnight, A. J., & McKnight, A. S. (1999). Multivariate analysis of age-related driver ability and performance deficits. *Accident Analysis and Prevention*, *31*(5), 445-454. DOI: 10.1016/ S0001-4575(98)00082-7

Namkung, K., Yoo, C., Jeon, H., & Pan., Y. (2020). Auditory user interface design guidelines for control transitions in the conditional self-driving phase. *Journal of Next-generation Convergence Information Services Technology, 9*(1), 49-59, DOI: 10.29056/ jncist.2020.03.05

Navarro, J., François, M., & Mars, F. (2016). Obstacle avoidance under automated steering: Impact on driving and gaze behaviours. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *43*, 315-324. DOI:10.1016/j.trf.2016.09.007

NHTSA, (2013). *Department of Transportation Releases Policy on Automated Vehicle Development.* National Highway Traffic Safety Administration.

Peng, Q., & Iwaki, S. (2020). Visual attention of young and older drivers in takeover tasks of highly automated driving. In *Human Aspects of IT for the Aged Population. Technologies, Design and User Experience: 6th International Conference*(pp. 210-221). Springer International Publishing. DOI: 10.1007/ 978-3-030-50252-2_16

Politis, I., Brewster, S., & Pollick, F. (2015). Language-based multimodal displays for the handover of control in autonomous cars. In *Proceedings of the 7th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*, 3-10. Nottingham, UK: ACM. DOI: 10.1145/2799250. 2799262

Reimer, B., Mehler, B., & Coughlin, J. F. (2016). Reductions in self-reported stress and anticipatory heart rate with the use of a semi-automated parallel parking system. *Applied Ergonomics*, *52*, 120-127. DOI: 10.1016/j.apergo.2015.07.008

Rendon-Velez, E., Van Leeuwen, P. M., Happee, R., Horvath, I., van der Vegte, W. F., & de Winter, J. C. (2016). The effects of time pressure on driver performance and physiological activity: A driving simulator study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 41, 150-169. DOI: 10.1016/j.trf.2016.06.013

Risser, R. (2019). *The Safety of Intelligent Driver Support Systems: Design, Evaluation and Social Perspectives*. CRC Press.

Saito, Y., Raksincharoensak, P. (2016). Shared control in risk predictive braking maneuver for preventing collisions with pedestrians. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 1, 314-324.

So, J. J., Park, S., Kim, J., Park, J., & Yun, I. (2021). Investigating the impacts of road traffic conditions and driver's characteristics on automated vehicle takeover time and quality using a driving simulator. *Journal of Advanced Transportation*, 1-13. DOI: 10.1155/2021/8859553

Urlings, J. H., van Beers, M., Cuenen, A., Brijs, K., Brijs, T., Jongen, E. M. (2018). The relation between reinforcement sensitivity and self-reported, simulated and on-road driving in older drivers. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *56*, 466-476. DOI: 10.1016/j.trf.2018.05.021

van der Heiden, R. M., Iqbal, S. T., & Janssen, C. P. (2017). Priming drivers before handover in semi-autonomous cars. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 392-404. Denver, Colorado, USA: ACM. DOI: 10.1145/3025453.3025507

Wyche, N. J., Edwards, M., & Goodhew, S. C. (2024). Different deployments of attentional breadth selectively predict UFOV task performance in older adults. *Cognitive Research: Principles and Implications*, *9*(1), 42. DOI: 10.1186/s41235-024- 00569-3

Yoon, S. H., Kim, Y. W., & Ji, Y. G. (2019). The effects of takeover request modalities on highly automated car control transitions. *Accident Analysis and Prevention. 123*, 150-158. DOI: 10.1016/j.aap.2018. 11.018

Yu, D., Park, C., Choi, H., Kim, D., & Hwang, S. H. (2021). Takeover safety analysis with driver monitoring systems and driver-vehicle interfaces in highly automated vehicles. *Applied Sciences*, *11*(15), 6685. DOI: 10.1177/0018720818814963

원고접수: 2024.07.16
수정접수: 2024.08.23
게재확정: 2024.09.02

ⓒ 2024 (by) the authors. This open access article is distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (http://creativecommons.org/licenses/by/3.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided that the original work is properly cited.