

---

## 2단계 자율주행 중 시각 및 청각 이차 과제 수행이 제어권 전환 능력에 미치는 영향

### Effect of Visual and Auditory Secondary Task on Takeover Performance in Level 2 Automated Driving

황지우, Jiwoo Hwang\*, 김아욱, Auk Kim\*\*

---

**요약** 자율주행 자동차가 대중화되고 있다. 현재 상용화된 2단계 자율주행 자동차는 운전 부담을 덜어줌으로써 운전자가 운전 외 이차 과제(secondary task)를 수행할 수 있도록 편의를 제공하지만 대응하지 못하는 상황이 존재한다. 따라서 2단계 자율주행 중 운전자는 주행 환경을 지속적으로 주시하면서 자율주행 시스템이 대응하지 못하는 상황이 발생하면 제어권을 전환해 수동 운전을 해야 한다. 만약 운전자가 제어권 전환 시 적절히 대응하지 못하면 교통사고를 유발할 수 있다. 따라서 자율주행 중 운전자가 항상 자신의 제어권 전환 능력을 높게 유지하는 것은 중요하다. 운전자가 시각 이차 과제(예: 책 읽기 등)를 수행하면 제어권 전환 능력이 저하되기 때문에, 차내에서는 청각 이차 과제(예: 오디오북 청취 등)가 주로 수행된다. 그러나 다중자원이론에 따르면 청각 이차 과제도 제어권 전환 능력을 저하시킬 가능성이 있다. 따라서 본 연구는 2단계 자율주행 중 운전자가 수행하는 다양한 시각 및 청각 이차과제가 돌발 상황 발생 시 운전자의 제어권 전환 능력에 어떻게 영향을 미치는지 조사했다. 본 연구 결과에 의하면 시각 이차 과제 수행뿐만 아니라 청각 이차 과제 수행도 운전자의 제어권 전환 능력을 저하시켰다. 이는 2단계 자율주행 중 청각 이차 과제 수행이 위험하다는 것을 의미한다. 현재 상용화된 2단계 자율주행 시스템은 운전자의 청각과제 수행을 모니터링하고 필요 시 중재하는 기능을 제공하지 않고 있다. 본 연구는 자율주행 중 운전자의 청각과제 수행을 모니터링하고 중재하는 시스템을 논의한다.

**Abstract** Automated vehicles are becoming increasingly popular. Currently, commercialized level 2 automated vehicles provide convenience by allowing drivers to perform non-driving related tasks (or secondary tasks) while reducing the burden of driving. However, these vehicles cannot fully respond to all driving situations. Thereby, during level 2 automated driving, drivers must always keep their eyes on the road and take control of the vehicle if the automated features fail to work. If the driver does not react appropriately during the takeover, it may cause traffic accidents. Thus, drivers must always maintain a high level of takeover performance during automated driving. Since visual secondary tasks (e.g., reading a book) can impair their ability to react, auditory secondary tasks (e.g., listening to audiobooks) are preferred in vehicular environments. However, according to multiple resource theory, auditory secondary tasks may also have the potential to impair takeover performance. In this study, we investigated how various visual and auditory secondary tasks impact drivers' takeover performance in level 2 automated driving environments. Our results showed that, in addition to visual secondary tasks, auditory secondary tasks can also impair the driver's takeover performance. This suggests that, during level 2 automated driving, it may be unsafe to engage in auditory secondary tasks. Currently, commercialized level 2 automated vehicles do not monitor drivers' auditory secondary tasks and intervene when necessary. Based on our findings, we discuss design implications for monitoring and intervening in drivers' auditory secondary tasks during autonomous driving.

**핵심어:** Level 2 automated driving system, Automated vehicle, Takeover performance, Secondary task

---

본 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(2021R1F1A1063337)과 2020년도 강원대학교 대학회계 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

\* 주저자 : 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 석사과정

\*\* 교신저자 : 강원대학교 컴퓨터공학과 교수; e-mail: kimauk@kangwon.ac.kr

■ 접수일 : 2023년 3월 24일 / 심사일 : 2023년 4월 3일 / 게재확정일 : 2023년 6월 29일

## 1. 서론

자율주행 자동차가 대중화되고 있다. 일반적으로 자율주행 시스템은 자율주행 능력에 따라 0부터 5까지 여섯 단계로 구분되고 있다[1]. 0단계는 자율주행 기능이 없는 수동 운전 단계이며, 5단계는 운전자가 필요 없는 완전한 자율주행 단계이다. 자율주행 시스템의 단계가 높을수록 자율주행 시스템은 운전자의 역할을 더 많이 대체한다. 예를 들어, 현재 상용화된 2단계 자율주행 시스템은 기존에 운전자가 제어하던 차량의 횡 방향 및 종 방향 움직임을 자동으로 제어한다. 이처럼 자율주행 시스템이 운전에 대한 부담을 덜어주면서 운전자는 운전에 사용하던 집중력을 다른 곳에 사용할 수 있도록 편의를 제공한다. 예를 들어, 자율주행 중 많은 운전자들은 운전대에서 손을 떼고 커피를 마시는 등 운전이 아닌 이차 과제(secondary task)를 수행한다[2]. 2단계 자율주행 중 이차 과제 수행은 운전자가 자율주행 중 남는 자신의 시간을 더 효율적으로 활용할 수 있게 하지만 한편으로 안전에 심각한 위협을 초래할 수 있다.

현재 상용화된 2단계 자율주행 시스템은 완벽하지 않아서 모든 상황에 적절하게 대응하지 못한다. 따라서 운전자는 자율주행 중 주행 환경을 항시 주시하면서 필요한 경우 운전 제어권을 전환하여 수동 운전을 해야 한다. 하지만 이차 과제 수행은 주행 환경 주시를 소홀히 하게 함으로써 제어권 전환 능력을 저하시킨다. 예를 들어, 2단계 자율주행 중인 운전자가 시각 분산을 유발하는 시각 이차 과제(예: 책 읽기)를 수행하면 수동 운전으로 제어권을 전환하기까지 더 많은 시간이 필요하다[3]. 시각 이차 과제의 위험성을 증명하듯이 최근에는 한 테슬라 차량 운전자가 자율주행 중 스마트폰으로 영화를 시청하다가 경찰차와 충돌한 사실이 보도되었다[4]. 이러한 시각 이차 과제의 문제점에 대한 대책으로 테슬라 등의 자동차 제조사들은 운전자 모니터링 기술을 활용해 운전자가 주행 환경을 주시하고 있거나 운전대를 잡고 있을 때만 자율주행이 가능하도록 하고 있다.

주행 환경 주시를 방해하는 시각 이차 과제와 달리, 청각 이차 과제는 운전자가 주행 환경을 주시하는 동시에 수행할 수 있다. 따라서, 자율주행 중 운전자에게 차내 서비스를 제공하는 방안으로 음성 인터페이스가 선호되고 있다. 예를 들어, 최신 자동차 차량은 인공지능 음성 비서(예: 카카오 i, 안드로이드 오토 등)를 기본으로 탑재하고 있다. 차량에 음성 비서가 탑재되면서 운전자는 차내에서 핸즈프리 전화 통화와 같은 전통적인 음성 기반 서비스를 사용하는 것에 더해서 음성 비서와 상호작용하는 다양한 서비스를 사용할 수 있게 되었다. 그러나 다중자원이론을 고려하면 음성 인터페이스를 통해 수행하는 청각 이차 과제도 제어권 전환 능력을 저하시킬 수 있는 잠재적 위험성을 가지고 있다.

다중자원이론에 따르면 사람은 제한된 인지 자원을 가지고 있어 자신의 인지 자원 총량보다 동시에 수행 중인 과제들이

요구하는 인지 자원의 총량이 많으면 과제의 수행 능력이 떨어진다[5]. 즉 집중력에 제한이 있어 높은 집중력을 요구하는 과제를 수행하면 사람이 모든 과제에 집중할 수 없는 것이다. 이는 운전자가 인지 자원을 많이 요구하는, 즉 인지 부하가 높은 청각 이차 과제를 수행하면 주행 환경을 주시하는 데 필요한 인지 자원이 부족해서 제어권 전환 능력이 저하될 가능성이 있다는 사실을 의미한다. 따라서 시각 이차 과제뿐만 아니라 청각 이차 과제 역시 제어권 전환 능력에 어떠한 영향을 미치는지 조사되어야 한다. 그러나 아직까지 2단계 자율주행 중 청각 이차 과제 수행이 운전자의 제어권 전환 능력에 어떠한 영향을 미치는지는 조사되지 않았다.

본 연구진은 2단계 자율주행 중 운전자가 청각 및 시각 이차 과제를 수행하는 것이 제어권 전환 능력에 어떤 영향을 미치는지를 조사했다. 실험을 위해 50명의 운전자를 모집했다. 운전자는 2단계 시뮬레이터 자율주행 중 돌발 상황 시 제어권 전환하여 수동운전을 하는 시나리오를 총 10번 수행했다. 운전자는 9번의 시나리오에서 3가지 시각 이차 과제와 6가지 청각 이차 과제를 각각 수행했다. 남은 1번의 시나리오에서는 이차 과제를 수행하지 않았다. 분석 결과에 의하면 청각 이차 과제를 수행하는 운전자는 이차 과제를 수행하지 않았을 때에 비해 제어권 전환 능력이 낮았다. 시각 이차 과제를 수행할 때도 운전자의 제어권 전환 능력이 낮아졌으며, 시각 이차 과제가 청각 이차 과제보다 제어권 전환 능력을 더 많이 저하시켰다. 또한 이차 과제 외에도 운전자의 운전 경력과 연령이 제어권 전환 능력에 영향을 미쳤음을 발견했다. 이러한 결과를 바탕으로, 연구진은 2단계 자율주행 중인 운전자의 제어권 전환 능력에 영향을 미치는 요인과 제어권 전환 능력을 유지시키기 위한 방안에 대해서 논의한다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 자율주행 단계

일반적으로 차량의 자율주행 단계는 0부터 5까지 총 6단계로 구분된다[1]. 표 1은 자율주행 단계에 대해 설명하고 있다. 자율주행 단계가 높을수록 시스템은 운전자의 역할을 더 많이 대체한다. 0단계는 완전한 수동 운전 단계이다. 1단계 자율주행 중에는 자율주행 시스템이 차량의 속력 또는 방향 둘 중 하나를 제어하고 운전자가 다른 하나를 제어한다. 2단계 자율주행 중에는 자율주행 시스템이 차량의 속력과 방향을 모두 제어하지만 완전하지 않기 때문에 자율주행 시스템이 대응하지 못하는 상황이 존재한다. 따라서 운전자는 주행 환경을 주시하다가 필요한 경우 수동 운전으로 제어권을 전환해야 한다. 2단계와 마찬가지로 3단계 자율주행 시스템도 완전하지 않기 때문에 자율주행 시스템이 대응하지 못하는 상황이 발생하면 운전자가 제어권을 전환해야 한다. 그러나 3단계 자율주행 시스템은 스스로 대응하지 못하는 상황을 미리 판단하고 운전자에게 제어

표 1. 자율주행 단계

자율주행 단계	자율주행 가능 조건	설명
0단계: 수동 운전 단계	없음	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 완전한 수동 운전 단계</li> </ul>
1단계: 운전자 보조 단계	제한됨	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 횡 방향 조절(예: 차선 유지 등) 또는 종 방향 조절(예: 속력 유지 등) 중 한 가지 전달</li> <li>• 운전자가 항상 주행에 참여</li> </ul>
2단계: 부분 자율주행 단계	제한됨	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 횡 방향 및 종 방향 조절을 모두 전달하지만 운전자의 제어권 전환 필요</li> <li>• 운전자는 제어권 전환 시점을 판단하기 위해 항상 주행 환경을 주시해야 함</li> </ul>
3단계: 조건부 자율주행 단계	제한됨	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 횡 방향 및 종 방향 조절을 모두 전달하지만 운전자의 제어권 전환 필요</li> <li>• 차량이 제어권 전환 시점을 판단해 제어권 전환 요청을 제공</li> <li>• 운전자가 주행 환경을 주시할 필요 없음</li> </ul>
4단계: 고도 자율주행 단계	제한됨	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 횡 방향 및 종 방향 조절을 모두 전달</li> <li>• 운전자의 제어권 전환 불필요</li> </ul>
5단계: 완전 자율주행 단계	제한 없음	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 횡 방향 및 종 방향 조절을 모두 전달</li> <li>• 운전자의 제어권 전환 불필요</li> </ul>

권 전환을 요청하기 때문에 자율주행 중 운전자가 주행 환경을 주시할 필요가 없다. 4단계 자율주행 시스템은 자율주행 중 모든 상황에 적절히 대응할 수 있어서 운전자의 제어권 전환이 필요 없다. 그러나 4단계까지는 제한된 조건에서만 자율주행을 제공한다. 자율주행을 제공하지 않는 조건에서는 운전자가 더 낮은 단계로 자율주행하거나 수동으로 운전해야 한다. 마지막으로 5단계는 자율주행 시스템이 모든 조건에서 모든 상황에 적절히 대응할 수 있는 완전한 자율주행 단계이다.

현재 상용화된 차량은 2단계 자율주행 시스템을 지원하고 있다. 그러나 3단계 자율주행 시스템이 상용화되더라도 대부분의 경우에 2단계 자율주행 시스템이 계속 사용될 것으로 예상된다. 이는 국제적인 규제로 인해 3단계 자율주행 시스템을 사용할 수 있는 조건이 2단계 자율주행 시스템보다 더 제한적이기 때문이다. 예를 들어, 3단계 자율주행 시스템을 사용하기 위해서는 도로가 반대편 차선과 물리적으로 분리되어 있어야 하며, 도로에 보행자와 자전거, 오토바이와 같이 자동차 외 다른 도로 사용자가 없어야 한다[6]. 따라서 3단계 자율주행 시스템이 상용화되어도 보행자 등이 항상 존재하는 도시 내에서는 2단계 자율주행 시스템이 계속 사용될 것으로 예상된다. 마찬가지로, 4단계 자율주행 시스템이 상용화되더라도 4단계 자율주행을 지원하지 않는 조건에서는 상술한 이유로 2단계 자율주행 시스템이 계속 사용될 것으로 예상된다. 다시 말해서 5단계 자율주행 시스템이 대중화되기 전까지 2단계 자율주행 시스템이 계속 사용될 것이다. 이에 따라, 2단계 자율주행 시스템에 관한 연구 결과는 5단계 자율주행 시스템이 대중화되기 전까지 유효할 것으로 고려된다.

## 2.2 제어권 전환 선행 연구

제어권 전환은 2단계와 3단계 자율주행 중에만 필요하기 때문에, 제어권 전환 능력을 조사한 연구는 2단계와 3단계에서 이

루어졌다. 그중에서도 주로 이차 과제를 수행할 때 제어권 전환 능력이 어떻게 영향받는지를 조사했다. 제어권 전환 요청을 제공하는 3단계 자율주행 시스템을 대상으로 한 선행 연구에서는, 이차 과제 수행 시 제어권 전환 요청 시점이 어떻게 달라져야 하는지 조사했다. 예컨대 Mok과 그의 연구진은 운전자가 태블릿 PC로 게임을 하고 있을 때 제어권 전환 요청을 얼마나 이른 시점에 제공해야 하는지 조사한 결과, 운전자가 성공적으로 제어권을 전환하기 위해서는 제어권 전환을 해야 하는 시점으로부터 최소 5초 이른 시점에 제어권 전환 요청이 제공되어야 하는 것을 발견했다[7]. 이와 유사하게 Wan과 Wu는 글 읽기, 비디오 보기, 타자 치기 등 다양한 시각 이차 과제를 수행하는 운전자에게 서로 다른 시점에 제어권 전환 요청을 제공한 결과, 제어권을 전환해야 하는 시점으로부터 최소 10초 전에 제어권 전환 요청이 제공되어야 한다는 것을 발견했다[8]. 그러나 3단계 자율주행 시스템을 대상으로 한 선행 연구의 결과들은 2단계 자율주행 시스템에 적용될 수 없다. 3단계 시스템과는 다르게, 2단계 시스템은 제어권 전환 요청을 제공하지 않기에 자율주행 중 운전자는 항상 주행 환경을 주시하고 있어야 하기 때문이다.

2단계 자율주행 시스템을 대상으로 한 선행 연구는 이차 과제가 운전자의 제어권 전환 능력에 어떤 영향을 미치는지를 조사했다. 이러한 연구들은 시각 이차 과제를 수행할 때와 수행하지 않을 때의 제어권 전환 능력을 비교했는데, 주행 환경 주시를 방해하는 시각 이차 과제가 제어권 전환 능력을 저하시킨다는 사실을 밝혔다. 예를 들어, Louw와 그의 연구진은 운전자가 시각 이차 과제를 수행하는 동시에 주행 환경을 주시할 때와 시각 이차 과제 없이 주행 환경을 주시할 때의 제어권 전환 능력을 조사했다[3]. 연구 결과 운전자는 시각 이차 과제를 수행하면 시각 이차 과제를 수행하지 않을 때보다 제어권 전환 능력이 저하되었다. 이와 유사하게 Arkonac과 그의 연구진은 운전자가 운전대 옆에 비치한 태블릿 PC를 통해 비디오를 보는 시각 이차 과제를 수행하면 시각 이차 과제를 수행하지 않을

때보다 제어권 전환 능력이 저하되었음을 밝혔다[9]. 현재 상용화된 2단계 자율주행 차량은 운전자 모니터링 기술을 활용해 운전자가 주행 환경을 주시하고 있거나 운전대를 잡고 있을 때만 자율주행이 가능하도록 하고 있다. 즉 2차 자율주행 중 운전자는 주행 환경을 주시하는 동시에 수행할 수 있는 청각 이차 과제를 주로 수행할 것으로 고려된다. 하지만 선행 연구들은 청각 이차 과제(예: 오디오북 청취 등)가 제어권 전환 능력에 어떤 영향을 미치는지에 대해서는 조사하지 않았다.

### 2.3 다중자원이론

2단계 자율주행 중 시각 이차 과제를 수행하는 것의 위험성을 고려해서, 차내 서비스를 제공하는 방법으로 음성 인터페이스가 주목받고 있다. 음성 인터페이스를 통해 이용하는 서비스, 즉 청각 이차 과제는 시각 분산을 일으키지 않아서 주행 환경을 주시하는 동시에 수행할 수 있기에 제어권 전환 능력에 영향을 미치지 않는 것으로 여겨졌다. 그러나 다중자원이론 (multiple resource theory)에 따르면 청각 이차 과제도 운전자의 제어권 전환 능력을 저하시킬 수 있을 것으로 고려된다. 본 이론에 따르면 사람은 과제를 수행하기 위해 먼저 시각, 청각 등의 분리된 감각 양상(modality) 채널을 통해 먼저 지각 (perception) 한 후 인지(cognition) 자원을 사용하여 과제를 수행한다[5]. 이 때 사람이 동시에 여러 과제를 수행할 때 과제들이 요구하는 감각 양상 채널이 중복되거나, 모든 과제를 수행하는데 필요한 인지 자원이 부족하면 모든 과제를 동시에 수행하기 어려워진다.

사람은 동시에 여러 시각 과제를 수행하는 것을 어려워한다. 다중자원이론에 의하면, 이는 동시에 여러 시각 과제를 수행하면, 시각 양상 채널을 공유하게 되어 수행 능력이 떨어지기 때문이다. 따라서 두 과제를 동시에 수행하는 경우, 두 과제의 감각 양상이 동일한 것보다는 서로 다른 것이 유리하다. 예를 들어, 감각 양상 채널이 다른 시각 과제와 청각 과제를 동시에 수행하면 감각 양상 채널이 중복되는 시각 과제 두 개를 동시에 수행하는 것보다 수월한 다중 작업이 가능하다. 이는 자율주행 중 시각 감각 양상 채널을 사용하는 청각 이차 과제 수행 시 운전자가 수월하게 해당 다중 작업이 가능하다는 것을 의미한다.

이 이론에 따르면, 여러 과제 수행 시 감각 양상 채널이 중복되는 것 외에도, 과제들이 요구하는 인지 자원의 합이 사람의 제한된 인지 자원 총량보다 많으면 과제의 수행 능력이 떨어진다. 반면, 과제 수행 시 요구되는 인지 자원의 합이 사람의 인지 자원 총량보다 적으면 과제 수행 능력에는 영향이 없다. 즉 다중 작업이 가능한 것이다. 이는 자율주행 중 운전자가 청각 이차 과제를 수행하면 동시에 수행해야 하는 전방 주시 과제와 감각 양상 채널이 중복되지는 않지만, 두 과제가 요구하는 인지 자원의 합이 운전자의 인지 자원 총량보다 많으면 과제의 수행

능력이 떨어질 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 청각 이차 과제가 요구하는 인지 자원의 양, 즉 인지 부하 정도에 따라 제어권 전환 능력에 다른 영향을 미칠 수 있다.

## 3. 방법

### 3.1 자율주행 시뮬레이터



그림 1. 자율주행 시뮬레이터

(1) 운전대, (2) 가속 및 감속 페달, (3) 스피커폰

본 연구진은 자율주행 알고리즘을 개발, 테스트하기 위한 오픈 소스 플랫폼인 CARLA를 기반으로[10] 그림 1에서 보이는 것과 같은 실험용 자율주행 시뮬레이터를 개발했다. 자율주행 시뮬레이터는 운전대, 가속 및 감속 페달, 3개의 24인치 모니터, 청각 상호작용을 위한 스피커폰으로 구성되어 있다. 자율주행 시뮬레이터는 운전자의 운전대, 가속 및 감속 페달의 조작 정보와 차량의 위치 및 방향 정보를 20Hz로 로깅하고, 2단계 자율주행 기능과 제어권 전환 기능을 지원한다. 운전자가 운전대의 버튼을 누르면 자율주행 기능이 켜지고, 운전대 또는 가속 및 감속 페달을 조작하는 즉시 수동 운전으로 제어권이 전환된다.

### 3.2 돌발 상황 시나리오와 제어권 전환

제어권 전환 능력을 측정하기 위해 3가지 돌발 상황 시나리오를 고려했다. 돌발 상황 시나리오는 (1) 선행 차량이 급정거하는 시나리오, (2,3) 좌우 인도의 보행자가 무단 횡단하는 시나리오이다. 주행 환경이 제어권 전환 능력에 주는 영향을 제거하기 위해 돌발 상황 시나리오에 필요한 선행 차량과 보행자를 제외한 모든 교통 요소가 배제되었다. 시나리오가 시작되면 운전자의 차량은 2차선 편도 직선 도로의 우측 차선을 50km/h로 자율주행했다. 선행 차량은 운전자의 차량 전방에서 50km/h의 동일한 속도로 주행했고, 보행자는 좌우 인도에 37.6m 간격으로 배치되어 차도를 바라보며 가만히 서 있었다. 운전자가 돌발 상황 발생 시점을 예측하지 못하게 하기 위해 처음부터 끝까지

동일한 시뮬레이션 환경이 유지되었으며, 시나리오 시작 후 60-120초 사이에 무작위로 셋 중 하나의 돌발 상황이 발생했다. 자율주행 시스템은 돌발 상황을 인식하지 못한 채 계속 주행하도록 설정되었기 때문에 돌발 상황이 발생하면 운전자는 제어권 전환 후 충돌을 회피해야 했다. 운전자가 제어권 전환을 하지 않으면 충돌까지 걸리는 시간은 세 가지 돌발 상황 모두 동일하게 2초였다.

### 3.3 이차 과제

본 연구는 총 9가지의 이차 과제를 고려했다. 이차 과제는 3 가지의 일상적 청각 과제, 3가지의 표준 청각 과제, 그리고 각 일상적 청각 과제에 대응하는 3가지 시각 과제로 구성되었다. 일상적 청각 과제는 실제로 차내에서 사용할 수 있는 음성 기반 서비스이다. 표준 청각 과제는 실제로 사용되는 서비스는 아니지만 운전자의 인지 부하를 체계적으로 조절할 수 있는 과제이다. 모든 청각 과제는 운전대 위에 설치된 스피커폰을 통해 수행되었다. 시각 과제는 일상적 청각 과제와 동일한 유형의 과제이지만, 스마트폰 화면을 통해 수행되기 때문에 시각 분산을 일으켰다.

운전자는 시나리오 시작 전 각 이차 과제를 숙달했으며, 시나리오 시작부터 돌발 상황이 발생할 때까지 지속적으로 이차 과제를 반복 수행했다. 이차 과제를 수행하기 위해 운전자의 스마트폰 조작이 필요한 경우, 연구자가 제공한 스마트폰이 사용되었다. 연구자와 문자를 하는 과제의 경우 지속적인 대화를 유도하기 위해 연구자가 질문을 하면 운전자가 대답하도록 했다. 실험 참가자마다 동일한 질문을 하기 위해 사전에 질문 목록을 준비했으며, 질문 목록은 “어제저녁에 어떤 음식을 드셨나요?”와 같이 일상적인 대화 내용으로 구성되었다.

#### 3.3.1 일상적 청각 과제

일상적 청각 과제는 실제로 운전자가 많이 수행하는 과제인 (1) 오디오북과 차내 음성 비서 사용을 상정하는 과제인 (2) 음성 비서 문자, (3) 음성 비서 게임으로 구성되었다.

- **오디오북:** 운전자가 오디오북을 청취하는 과제로, 오디오북은 안톤 체호프의 ‘청혼’을 선정했다. 연구자는 시나리오 시작 전 운전자가 오디오북 화자의 목소리 톤과 속도에 익숙해지도록 같은 오디오북의 다른 부분을 들려주었다.
- **음성 비서 문자:** 음성 비서를 통해 연구자와 문자를 주고받는 과제이다. 연구자가 문자를 보내면 운전자는 음성 명령어로 음성 비서를 호출해 문자 내용을 들은 후 답장했다. 사용된 음성 명령어는 헤이카카오와 유사했다.
- **음성 비서 게임:** 음성 비서를 통해 ‘업 다운 게임’을 수행하는 과제이다. 게임이 시작되면 운전자는 1부터 100 사이에

무작위로 정해진 숫자를 적은 횟수 안에 맞혀야 했다. 운전자가 숫자를 부르면 음성 비서가 그에 맞는 대답을 했는데, 정답 숫자가 운전자가 말한 숫자보다 높으면 “업” 낮으면 “다운” 일치하면 “정답입니다”를 말했다.

#### 3.3.2 표준 청각 과제

표 2. n-back 과제 수행 예시

음성 비서	3	7	2	5	1	9	0	8	4	6
운전자	0-back	3	7	2	5	1	9	0	8	4
	1-back	.	3	7	2	5	1	9	0	8
	2-back	.	.	3	7	2	5	1	9	0

표준 청각 과제는 운전자의 인지 부하를 체계적으로 조절할 수 있는 과제이다. 본 연구는 표준 청각 과제로 n-back 과제를 고려했다[11]. n-back 과제는 운전자가 지속적으로 주어지는 숫자를 듣고 기억했다가 n 번째 전에 주어진 숫자를 말하는 과제이다. 참가자가 기억해야 하는 숫자, 즉 n이 커질수록 과제가 요구하는 인지 부하의 정도가 체계적으로 증가 한다. 본 연구는 n-back 중 일반적으로 사용되는 0-back, 1-back, 2-back 과제를 사용했다. 선행 연구에 따르면, 0-back은 차내 음성인터페이스를 통해 내비게이션에 설정된 경로를 취소하는 과제, 1-back은 차내 음성 인터페이스를 통해 전화를 거는 과제, 2-back은 차내 음성 인터페이스를 통해 내비게이션에 목적지를 입력하는 과제와 인지 부하 정도가 유사하다[12].

n-back 과제가 시작하면, 음성 비서가 0부터 9 사이의 무작위 숫자를 10회 제시했으며, 각 숫자를 제시하는 간격은 2.25초였다. n-back 과제를 수행하는 동안, 각각의 숫자가 주어지면 운전자는 다음 숫자가 주어지기 전까지 n 번째 전 숫자를 말했다. 표 2와 아래 설명은 각 n-back 과제의 수행 예시를 보여준다.

- **0-back:** 운전자가 숫자를 듣고 바로 따라 말하는 과제이다. 예를 들어, 표 2와 같이, 운전자는 첫 번째 숫자인 3을 들은 뒤 바로 3을 따라 말해야 한다.
- **1-back:** 운전자가 숫자를 듣고 기억했다가 다음 숫자가 나올 때 말하는 과제이다. 예를 들어, 운전자가 첫 번째 숫자인 3을 들은 뒤에는 아무 숫자도 말하지 않아야 한다. 이어서 두 번째 숫자인 7을 들은 뒤에 첫 번째 숫자인 3을 말해야 하고, 세 번째 숫자인 2를 들은 뒤 두 번째 숫자인 7을 말해야 한다.
- **2-back:** 운전자가 숫자를 듣고 기억했다가 두 번 뒤의 숫자가 나올 때 말하는 과제이다. 예를 들어, 운전자가 첫 번째 숫자인 3을 들은 뒤에는 아무 숫자도 말하지 않아야 한다. 이어서 두 번째 숫자인 7을 들은 뒤에도 숫자를 말하지

않아야 한다. 세 번째 숫자인 2를 들은 뒤에 첫 번째 숫자인 3을 말해야 하고, 네 번째 숫자인 5를 들은 뒤에 두 번째 숫자인 7을 말해야 한다.

### 3.3.3 시각 과제

시각 과제는 일상적 청각 과제의 시각 판으로서, (1) 전자책, (2) 문자, (3) 게임을 선정했다. 운전자는 한 손에 스마트폰을 들고 과제를 수행했으며, 운전자가 원하는 경우 스마트폰 거치대를 운전석에 설치해서 사용할 수 있었다. 각 과제를 연습할 때 연구자는 운전자가 원하는 대로 글자 크기, 줄 간격, 글씨체, 키보드 종류를 조절했다.

- 전자책: 운전자가 스마트폰으로 e-book을 읽는 과제로, 선정한 e-book은 김유정의 ‘만무방’이었다.
- 문자: 연구자가 질문을 문자로 보내면 운전자가 읽은 후 손으로 답장하는 과제이다. 질문은 “어제저녁에 어떤 음식을 드셨나요?”와 같이 일상적인 대화 내용으로 구성되었다.
- 게임: 시각으로 ‘업 다운 게임’을 수행하는 과제이다. 시나리오가 시작되면 운전자는 게임을 시작했다. 운전자는 게임이 시작되면 스마트폰에 1부터 100 사이의 숫자를 입력했다. 정답 숫자가 운전자가 입력한 숫자보다 높으면 “업” 낮으면 “다운” 일치하면 “정답입니다”가 화면에 표시되었다.

### 3.4 참가자 모집

본 연구는 실험을 위해 50명의 운전자를 모집했다. 운전면허를 소지하지 않았거나 최근 한 달 이내 운전을 하지 않은 운전자는 모집 대상에서 제외했다. 운전은 연령대, 성별에 상관없이 대중적으로 수행되는 일상 과제이다. 따라서 운전자와 관련된 실험은 일반적으로 연구 결과의 일반화 가능성(generalizability)이 높도록 설계하는 것이 선호된다. 본 연구는 결과의 일반화 가능성을 향상시키기 위해 넓은 연령대의 참가자를 모집했으며, 각 연령대별로 성별을 동일하게 구성했다. 모집된 운전자는 20대부터 60대(20대, 30대, 40대, 50대, 60대)까지 각 연령대마다 남녀 각각 5명씩으로 구성되었다. 운전자의 평균 연령은 43.8세 ( $SD = 14.3$ , range = 20-67)였고, 평균 운전 경력은 16.9년( $SD = 11.8$ , range = 1-43) 이었다. 운전자는 실험에 참가한 시간에 대한 보상으로 3만원을 지급받았다.

### 3.5 진행 과정

실험은 최소 40분의 휴식 시간을 포함해 120-180분간 진행되었다. 실험실에 도착한 운전자는 실험의 목적과 절차에 대한 설명을 듣고 기관생명윤리위원회(IRB) 동의서에 서명을 했다. 이후 나이, 운전면허 취득일, 실제 운전 경험 등의 정보와 실험에

서 주어지는 이차 과제(3장 3절 참고)의 사용 경험에 대한 설문을 작성했다. 다음으로 운전자는 시뮬레이터에 착석했으며, 연구자가 운전자 몸에 맞게 시뮬레이터의 의자와 등받이 각도를 조절했다. 이후 운전자는 시뮬레이션의 자율주행 정도, 주행 환경 주시와 제어권 전환, 돌발 상황 시나리오에 대한 설명을 듣고 돌발 상황에 대처해 제어권을 전환하는 시나리오를 숙달될 때까지 연습했다. 연습은 최소 4회, 필요한 경우 추가로 진행되었다. 그다음, 운전자는 서로 다른 돌발 상황 시나리오를 10회 수행했다. 9번의 시나리오는 각 이차 과제를 수행하는 동시에 주행 환경을 주시하고 돌발 상황이 발생하면 제어권을 전환하여야 했으며, 1번의 시나리오는 이차 과제 없이 주행 환경 주시와 제어권 전환만을 요구했다. 각 시나리오는 역균형화된 순서로 제공되었다. 운전자는 각 시나리오 수행 전 그 시나리오에서 수행할 이차 과제에 대한 설명을 듣고 숙달될 때까지 연습했다. 각 시나리오가 끝난 뒤에 운전자는 짧은 휴식을 취했으며, 모든 시나리오를 완수하면 실험이 종료되었다.

### 3.6 분석 방법

본 연구는 제어권 전환 능력을 측정하기 위해 운전자의 반응 속도를 측정했다. 반응 속도는 돌발 상황 발생 직후부터 제어권 전환을 시작한 순간, 즉 브레이크를 밟거나 운전대를 돌리는 순간까지의 시간이다. 만약 운전자가 충돌할 때까지 제어권 전환을 하지 못했을 경우, 충돌까지 걸린 시간인 2초를 반응 속도로 사용했다. 반응 속도에 영향을 미치는 요인이 무엇인지 알기 위해 다중회귀분석을 사용했다. 종속 변인은 반응 속도이며, 독립 변인 중 고정 효과로는 이차 과제 종류, 운전자의 연령, 운전 경력, 그리고 나이와 운전 경력의 교호 작용이 포함되었다. 데이터의 비독립성을 제어하기 위해 임의 효과에 운전자, 운전자에 내재된(nested within) 돌발 상황 유형을 포함했다. 사후분석을 위해 본페로니 교정을 실시했다.

### 4. 결과

표 3은 이차 과제별 반응 속도의 평균 및 표준편차를 나타낸다. 운전자의 반응 속도 평균은 시각 과제가 청각 과제보다 높았다. 청각 과제 중에서는 음성 비서 문자가 가장 높았고, 0-back이 가장 낮았다.

통계분석 결과에 의하면 제어권 전환 반응 속도에 이차 과제 종류( $F(9, 487) = 21.54$ ,  $p < .001$ )와 운전 경력( $F(1, 487) = 5.41$ ,  $p = .020$ )이 유의미한 영향을 미쳤으며, 연령과 운전 경력의 교호작용( $F(1, 487) = 5.43$ ,  $p = .020$ )도 유의미한 영향을 미쳤다. 표 3은 각 독립 변인이 반응 속도에 어떠한 영향을 미치는지 보여준다. 독립 변인이 이차 과제 종류일 때는 각 이차 과제를 수행했을 때와 이차 과제를 수행하지 않았을 때의 반응 속도를 비교했다. 이차 과제를 수행하지 않을 때와 비교하여, 반응 속도를 지연시

킨 이차 과제는 게임( $p<.001$ ), 문자( $p<.001$ ), 전자책( $p<.001$ ), 음성 비서 문자( $p=.024$ ), 2-back( $p=.008$ )이었다. 모든 시각 과제는 반응 속도를 크게 지연시켰으며, 청각 과제는 그 중 일부 과제가 반응 속도를 지연시켰다. 이는 2단계 자율주행 중 청각 이차 과제를 수행하는 것도 제어권 전환을 방해할 수 있다는 것을 의미한다.

표 3. 이차 과제 종류별 반응 속도의 평균 및 표준편차

이차 과제 종류	평균	표준편차
게임	1.31	0.28
문자	1.35	0.44
전자 책	1.29	0.26
음성 비서 게임	0.98	0.43
음성 비서 문자	1.02	0.21
오디오북	0.91	0.47
2-back	0.98	0.21
1-back	0.95	0.25
0-back	0.88	0.24
이차 과제 없음	0.88	0.20

표 4. 이차 과제 종류와 연령, 운전 경력이 반응 속도에 미치는 영향에 대한 다중회귀분석 결과

반응 속도					
독립 변인	상관 계수	t 점수	95% 신뢰구간	p 값	
(절편)	0.86 (0.09)	9.47	0.68 ~ 1.04	<.001	***
연령	0.00 (0.00)	0.25	0.00 ~ 0.01	.803	
운전 경력	-0.02 (0.01)	-2.33	-0.03 ~ 0.00	.020	*
연령 X 운전 경력	0.00 (0.00)	2.33	0.00 ~ 0.00	.020	*
〈이차 과제 종류〉					
게임	0.38 (0.05)	7.77	0.29 ~ 0.48	<.001	***
문자	0.43 (0.05)	8.55	0.33 ~ 0.52	<.001	***
전자 책	0.37 (0.05)	7.86	0.28 ~ 0.46	<.001	***
음성 비서 게임	0.07 (0.04)	1.63	-0.01 ~ 0.15	.104	
음성 비서 문자	0.10 (0.04)	2.27	0.01 ~ 0.18	.024	*
오디오북	0.04 (0.04)	0.99	-0.04 ~ 0.12	.323	
2-back	0.11 (0.04)	2.67	0.03 ~ 0.20	.008	*
1-back	0.08 (0.04)	1.92	0.00 ~ 0.16	.056	
0-back	0.00 (0.04)	0.08	-0.08 ~ 0.08	.937	

\* $p<.05$ , \*\* $p<.01$ , \*\*\* $p<.001$

다음으로 이차 과제 종류에 대해 사후 분석을 진행했다. 분석 결과에 의하면 운전자의 반응 속도는 청각 이차 과제를 수행했을 때보다 시각 이차 과제를 수행했을 때 더 느렸다 ( $p<.001$ ). 시각 과제를 수행할 때 시각 과제 종류에 따른 반응 속도의 차이는 없었다. 이는 과제의 종류에 상관없이 시각 분산의 유무가 반응 속도에 영향을 미치며, 자율주행 중 시각 과제

를 수행하는 것은 해당 과제의 종류에 상관없이 위험할 수 있다는 것을 의미한다. 시각 과제와 달리, 청각 이차 과제를 수행했을 때는 과제 종류에 따른 반응 속도의 차이가 있었다. 2-back과 음성 비서 문자를 수행했을 때의 반응 속도는 0-back을 수행했을 때와 차이가 있었다(2-back vs. 0-back:  $p=.008$ , 음성 비서 문자 vs. 0-back:  $p=.029$ ). 다른 청각 이차 과제, 즉 1-back, 오디오북, 음성 비서 게임은 다른 모든 청각 과제와 차이가 없었다. 이는 청각 이차 과제는 과제 종류에 따라 반응 속도에 미치는 영향이 서로 다를 수 있다는 것을 의미한다.

이차 과제 종류 외에도 운전 경력( $p<.020$ ), 연령과 운전 경력의 교호작용( $p<.020$ )이 반응 속도에 영향을 미쳤다. 운전 경력은 반응 속도에 대해 음의 상관관계를 가지고 있는데, 이는 운전 경력이 짧을수록 반응 속도가 느렸음을 의미한다. 연령과 운전 경력의 교호작용은 반응 속도에 대해 양의 상관관계를 가지고 있는데, 이는 운전 경력이 동일한 경우에는 연령이 높을수록 반응 속도가 느렸음을 의미한다.

## 5. 논의

2단계 자율주행 시스템은 운전자가 주행 중 다양한 이차 과제를 수행할 수 있는 편의를 제공한다. 그러나 이차 과제는 운전자의 제어권 전환 능력을 저하시킬 위험성을 가지고 있다. 선행 연구들에 의해 시각 이차 과제가 제어권 전환 능력을 저하시킨다[3,9]. 그러나 청각 이차 과제가 제어권 전환 능력을 저하시키는지의 여부는 조사되지 않았다. 본 연구 결과에 의하면 청각 과제를 수행하는 운전자의 반응 속도는 이차 과제를 수행하지 않을 때에 비해 느렸다. 즉 청각 과제도 제어권 전환 능력을 저하시켰다. 이차 과제 외에도 운전자의 운전 경력이 길수록, 운전 경력이 같다면 연령이 낮을수록 제어권 전환 능력이 높았다. 본 장에서는 이러한 결과를 바탕으로 청각 과제의 인지 부하에 따라 제어권 전환 능력에 미치는 영향의 차이와 제어권 전환 능력을 유지시키기 위한 방안을 논의한다. 또한, 이차 과제 외에 제어권 전환에 영향을 미치는 요인과 후속 연구 방향에 대해 논의한다.

### 5.1 인지 부하가 제어권 전환에 미치는 영향

본 연구 결과에 의하면 청각 이차 과제는 과제 종류에 따라 제어권 전환 능력에 영향을 미치는 정도가 달랐다. 이는 청각 이차 과제의 인지 부하 정도의 차이로 인해 발생했을 수 있다. 본 연구에서 고려한 n-back 과제 중 제어권 전환 능력에 영향을 미친 정도는 2-back이 가장 크고, 1-back이 중간 정도였으며, 0-back이 가장 적었다. 즉 n-back 과제의 n의 크기가 커질수록 제어권 전환 능력이 낮아졌다. 일상적 청각 과제와 달리, n-back 과제는 n이 동일하면 매번 동일한 인지 부하를 가지고 n의 크기에 따라 인지 부하 정도가 체계적으로 변화한다. 따라서 본

결과는 청각 과제의 인지 부하가 높을수록 제어권 전환 능력에 큰 영향을 미친다는 것을 의미한다. n-back 과제를 수행했을 때 와 이차 과제를 수행하지 않았을 때의 제어권 전환 능력을 비교했을 때, 2-back만 유의미한 차이가 있었고, 1-back과 0-back은 유의미한 차이가 없었다. 이는 2-back과 같이 높은 인지 부하를 가진 청각 과제를 수행하는 것이 위험하다는 것을 의미한다. 표준 청각 과제인 2-back뿐만 아니라 일상적 청각 과제인 음성 비서 문자를 수행했을 때도 이차 과제를 수행하지 않았을 때와 비교해서 제어권 전환 능력에 유의미한 차이가 있었다. 이는 의도적으로 높은 인지 부하를 유발하도록 설계된 과제인 2-back뿐만 아니라 운전자가 실제로 차내에서 음성 인터페이스를 통해 사용하는 음성 서비스 또한 높은 인지 부하를 가지면 위험할 수 있다는 것을 의미한다. 따라서, 음성 인터페이스를 사용하는 차내 서비스를 제공할 때, 해당 서비스가 높은 인지 부하를 가지지 않도록 설계되어야 한다.

## 5.2 제어권 전환 능력을 유지시키기 위한 방안

안전한 2단계 자율주행을 위해서는 운전자가 청각 이차 과제를 수행하느라 제어권 전환 능력이 저하되는 것을 방지해야 한다. 본 연구 결과를 바탕으로 다양한 중재 방법을 고려할 수 있다. 가장 확실한 방법은 자율주행 중에는 청각 이차 과제를 수행하지 못하도록 하는 것이다. 예를 들어, 본 연구 결과에서 제어권 전환 능력을 저하시키는 것으로 밝혀진 음성 비서 문자를 2단계 자율주행 중에 수행하지 못하도록 하는 방법을 고려할 수 있다. 음성 비서 문자와 마찬가지로, 2-back 정도의 인지 부하를 유발하는 청각 이차 과제 또한 이러한 제한의 대상이 될 수 있다.

인지 부하가 높은 청각 이차 과제 수행을 제한하는 방법 외에도, 운전자의 인지 부하를 실시간으로 측정하여 인지 부하가 높을 때 자율주행 또는 음성 서비스를 중단시키는 방법을 고려할 수 있다. 인지 부하를 실시간으로 측정하기 위해 생리학적 신호를 활용할 수 있을 것이다. 기존 연구에 의하면 심박, 동공 크기, 피부 전도도 등의 생리학적 신호는 인지 부하와 관련성이 높다[13,14]. 차내에 바이오 센서를 탑재하여 이러한 생리학적 신호를 실시간으로 측정하면, 운전자의 인지 부하를 실시간 판단할 수 있다. 예를 들어, 운전대와 의자에 심전도 센서를 탑재해서 심박을 측정할 수 있다[15]. 또는 기존 자동차에 내장된 운전자 모니터링 시스템의 카메라를 활용해서 동공 크기를 측정할 수 있다[16,17]. 대중적으로 사용되는 스마트 워치에는 심박, 피부 전도도를 측정하는 센서들이 기본으로 내장되어 있다. 스마트 워치와 차량을 연동해 운전자의 심박, 피부 전도도 정보를 실시간 수집하여 활용할 수도 있다.

제어권 전환 능력을 유지하기 위해 청각 이차 과제 사용을 제한하거나 자율주행 모드 사용을 중단하는 방법은 자율주행 중 운전자의 안전을 보장하는 가장 확실한 방법이다. 하지만 이

러한 방법을 현실에 적용했을 때 예상보다 효과적이지 않을 수도 있다. 운전자가 자율주행 중 청각 이차 과제를 사용하기 위해 이러한 방법을 우회할 수 있기 때문이다. 예를 들어, 테슬라 차량의 자율주행 시스템은 자율주행 중 운전자가 반드시 운전대를 잡고 전방을 주시하도록 제한하고 있다. 하지만 운전자가 자율주행 중 잠을 자거나 이차 과제(예: 비디오 시청)를 수행하기 위해 이러한 시스템을 속이는 장치를 사용하는 것이 보고되었다[18,19]. 이러한 사실을 고려했을 때 제어권 전환 능력을 유지시키기 위한 강제적인 중재 방법 보다 완화된 중재 방법이 필요함을 알 수 있다. 예를 들어, 자율주행 도중 운전자가 청각 이차 과제를 수행하느라 인지 부하가 높아지는 것을 감지하면, 과제 사용이나 자율주행을 중단하는 대신 청각 경고를 제공하여 운전자를 넛지(Nudge) 할 수 있을 것이다. 청각 이차 과제를 수행할 수는 있지만 불편함을 느끼게 함으로써 스스로 청각 이차 과제 수행을 중단하도록 하는 것이다. 이는 마치 안전벨트를 착용하지 않아도 주행할 수 있지만 지속적인 청각 경고로 불편함을 느끼게 함으로써 안전벨트를 착용하게 하는 것과 유사하다. 상술한 방법들을 고려하면 운전자가 청각 이차 과제를 수행하느라 제어권 전환 능력이 저하되는 것을 경감시킬 수 있을 것이다.

## 5.3 제어권 전환 능력에 영향을 미치는 이차 과제 외 요인

2단계 자율주행 중 운전자가 수행하는 이차 과제의 종류뿐만 아니라 운전자에 따라서도 제어권 전환 능력이 다를 수 있다. 본 연구에서는 운전 경력과 연령이 제어권 전환 능력에 영향을 미쳤다. 이는 운전자 개인에 따라 이차 과제가 제어권 전환 능력에 영향을 미치는 정도가 다를 수 있다는 점을 의미한다. 본 연구 결과에 의하면 운전자의 운전 경력이 길수록 제어권 전환 능력이 좋았다. 이는 운전 경력이 긴 사람이 운전 경력이 짧은 사람보다 주행 환경에서 정보를 얻는 능력이 더 높기 때문일 수 있다[20]. 또한 운전 경력이 동일한 경우에는 연령이 낮을수록 제어권 전환 능력이 높았다. 이는 사람이 노화될수록 인지 능력이 저하되기 때문일 수 있다[21].

운전자의 운전 경력과 연령 외에도 운전자의 상태에 따라서 제어권 전환 능력이 다를 수 있다. 예를 들어, 운전자가 피곤한 상태이거나 졸고 있는 경우 그렇지 않을 때보다 제어권 전환 능력이 낮았다[22]. 더 나아가서 교통 복잡도에 따라서도 제어권 전환 능력이 다를 수 있다. 예를 들어, 제어권 전환 능력은 도로에 차량이 많을 때보다 도로에 운전자의 차량 외 다른 차량이 없을 때 더 높을 수 있다[23]. 따라서 이러한 요소를 복합적으로 고려하여 청각 이차 과제를 수행하는 운전자의 제어권 전환 능력을 조사하는 후속 연구가 필요하다.

## 5.4 후속 연구 방향

본 연구 결과에 따르면, 2단계 자율주행 중 인지 부하가 높은 청각 이차 과제가 제어권 전환 능력을 저하시켰다. 다중자원 이론을 고려했을 때, 이는 운전자가 인지 부하가 높은 청각 과제를 수행하느라 주행 환경에 대한 상황 인지(situation awareness)를 유지하지 못했기 때문일 수 있다. 본 연구는 청각 이차 과제 수행과 제어권 전환 능력의 직접적인 연관성을 조사했다. 하지만 운전자의 인지 부하에 따른 제어권 전환 능력의 변화를 상황 인지가 어떻게 매개하였는지 조사하지 않았다. 따라서, 후속 연구에서는 청각 이차 과제의 인지 부하가 상황 인지에 미치는 영향을 조사할 필요가 있다. 본 연구에서 상황 인지를 측정하지 않았던 이유는 운전자가 돌발 상황 발생 시점을 예측하지 못하도록 하는 것에 초점을 맞춰 단순한 주행 환경을 고려하였기 때문이다. 연구에서 상황 인지를 측정할 때는 일반적으로 시뮬레이션을 일시정지하고 주행 환경에 어떤 요소가 있었는지 설문하는 방법을 사용한다[24,25]. 그러나 본 연구는 단순한 주행 환경을 고려하였기에 어느 시점에 시뮬레이션을 일시정지하더라도 주행 환경에는 동일한 요소만이 존재했다. 상황 인지의 매개 작용 조사 외에도, 후속 연구에서는 다양한 주행 환경에서 청각 이차 과제가 제어권 전환 능력에 어떻게 영향을 미치는지 조사할 필요가 있다. 예를 들어, 고속도로와 도심, 직선도로와 곡선도로에서의 청각 과제는 제어권 전환 능력에 다르게 영향을 미칠 수 있다. 따라서 후속 연구에서는 이러한 것들을 고려하여 다양한 주행 환경에서 이차 과제를 수행했을 때의 제어권 전환 능력을 조사할 필요가 있다.

## 6. 결론

본 연구는 2단계 자율주행 운전 중 다양한 시각 및 청각 이차 과제가 제어권 전환 능력에 미치는 영향을 조사했다. 연구 결과 청각 과제는 시각 과제보다는 적지만 운전자의 제어권 전환 능력을 저하시키는 것으로 밝혀졌다. 이차 과제의 종류 외에도 운전자에 따라 제어권 전환 능력이 달랐는데, 운전 경력이 길수록, 운전 경력이 동일하다면 연령이 낮을수록 제어권 전환 능력이 높았다. 연구진은 이러한 결과를 바탕으로 청각 이차 과제의 인지 부하와 제어권 전환 능력을 유지하는 방안, 그리고 운전 경력 및 연령에 따른 영향에 대해 논의했다. 본 연구 결과가 2단계 자율주행 시스템을 안전하게 사용하는 데에 기여할 수 있기를 바란다.

## 참고문헌

- [1] SAE International. Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles. SAE international. 4970(724). SAE international. pp. 1–5. 2018.
- [2] Banks, V. A., Eriksson, A., O'Donoghue, J. and Stanton, N. A. Is partially automated driving a bad idea? Observations from an on-road study. *Applied ergonomics*. 68. Amsterdam, NL: Elsevier. pp. 138–145. 2018.
- [3] Louw, T., Kuo, J., Romano, R., Radhakrishnan, V., Lenn, M. G. and Merat, N. Engaging in NDRTs affects drivers' responses and glance patterns after silent automation failures. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*. 62. Amsterdam, NL: Elsevier. pp. 870–882. 2019.
- [4] The Associated Press. Patrol: Tesla Autopilot driver was watching movie, crashed. [https://www.washingtonpost.com/national/patrol-te-sla-autopilot-driver-was-watching-movie-crashed/2020/08/28/8720329a-e95b-11ea-bf44-0d31c85838a5\\_story.html](https://www.washingtonpost.com/national/patrol-te-sla-autopilot-driver-was-watching-movie-crashed/2020/08/28/8720329a-e95b-11ea-bf44-0d31c85838a5_story.html) Mar 14. 2023.
- [5] Wickens, C. D. Multiple resources and mental workload. *Human factors*. 50(3). CA: Sage Publications. pp. 449–455. 2008.
- [6] UN Regulation. No. 157 – Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to Automated Lane Keeping Systems. UNECE. 157. UNECE. pp. 5–64. 2021.
- [7] Mok, B., Johns, M., Miller, D. and Ju, W. Tunneled in: Drivers with active secondary tasks need more time to transition from automation. In *Proceedings of the 2017 CHI conference on human factors in computing systems*. New York, pp. 2840–2844. 2017.
- [8] Wan, J. and Wu, C. The effects of lead time of take-over request and nondriving tasks on taking-over control of automated vehicles. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*. 48(6). IEEE. pp. 582–591. 2018.
- [9] Arkonac, S. E., Brumby, D. P., Smith, T. and Babu, H. V. R. In-car distractions and automated driving: a preliminary simulator study. In *Proceedings of the 11th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*. New York: ACM. pp. 346–351. 2019.
- [10] Dosovitskiy, A., Ros, G., Codevilla, F., Lopez, A. and Koltun, V. CARLA: An open urban driving simulator. In *Conference on robot learning*. PMLR. pp. 1–16. 2017.
- [11] Mehler, B., Reimer, B. and Dusek, J. A. MIT AgeLab delayed digit recall task (n-back). Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology. 17. Massachusetts Institute of Technology. 2011.
- [12] Mehler, B., Reimer, B., Dobres, J. and Coughlin, J. F. Assessing the Demands of Voice Based In-Vehicle Interfaces – Phase II Experiment 3 – 2015 Toyota Corolla, Technical Report. 2015–14, Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology. pp. 1–62.

2015.

[13] Kun, A. L., Palinko, O., Medenica, Z. and Heeman, P. A. On the feasibility of using pupil diameter to estimate cognitive load changes for in-vehicle spoken dialogues. In Proceedings of the Annual Conference of the International Speech Communication Association. Interspeech, pp. 3766–3770. 2013.

[14] Mehler, B., Reimer, B., Coughlin, J. F. and Dusek, J. A. Impact of incremental increases in cognitive workload on physiological arousal and performance in young adult drivers. *Transportation research record*. 2138(1). CA: Sage Publications. pp. 6–12. 2009.

[15] Shin, H. S., Jung, S. J., Kim, J. J. and Chung, W. Y. Real time car driver's condition monitoring system. In *SENSORS*, 2010 IEEE. HI. pp. 951–954. 2010.

[16] Huynh, S., Balan, R. K. and Ko, J. iMon: Appearance-based Gaze Tracking System on Mobile Devices. *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*. 5(4). New York: ACM. pp. 1–26. 2021.

[17] Wangwiwattana, C., Ding, X. and Larson, E. C. Pupilnet, measuring task evoked pupillary response using commodity rgb tablet cameras: Comparison to mobile, infrared gaze trackers for inferring cognitive load. *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*. 1(4). New York: ACM. pp. 1–26. 2018.

[18] Klender, J. Tesla with sleeping driver proves there's still misunderstanding and irresponsibility surrounding autonomy. <https://www.teslarati.com/tesla-sleeping-driver-a-utonomy-misunderstanding-video/> Mar 14. 2023.

[19] Akuchie, M. Tesla's Staged Self-Driving Video Is A Prime Example Of Deceptive Marketing. <https://screenrant.com/tesla-staged-self-driving-video-deceptive-marketing/> Mar 14. 2023.

[20] Konstantopoulos, P., Chapman, P. and Crundall, D. Driver's visual attention as a function of driving experience and visibility. Using a driving simulator to explore drivers' eye movements in day, night and rain driving. *Accident Analysis & Prevention*. 42(3). Amsterdam, NL: Elsevier. pp. 827–834. 2010.

[21] Glisky, E. L. *Brain Aging: Models, Methods, and Mechanisms*. Boca Raton, FL: CRC Press/Taylor & Francis. 2007.

[22] Naujoks, F., Höfling, S., Purucker, C. and Zeeb, K. From partial and high automation to manual driving: Relationship between non-driving related tasks, drowsiness and take-over performance. *Accident Analysis & Prevention*. 121. Amsterdam, NL: Elsevier. pp. 28–42. 2018.

[23] Radlmayr, J., Gold, C., Lorenz, L., Farid, M. and Bengler, K. How traffic situations and non-driving related tasks affect the take-over quality in highly automated driving. In *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting*. 58(1). CA: Sage Publications. pp. 2063–2067. 2014.

[24] Endsley, M. R. Measurement of situation awareness in dynamic systems. *Human factors*. 37(1). CA: Sage Publications. pp. 65–84. 1995.

[25] Ma, R. and Kaber, D. B. Situation awareness and workload in driving while using adaptive cruise control and a cell phone. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 35(10). Amsterdam, NL: Elsevier. pp. 939–953. 2005.