

## 자율주행 자동차의 제어권 전환 상황에서 요구되는 정보 유형에 관한 연구

김나은 · 양민영 · 이지인 · 김진우\*  
연세대학교 HCI 연구실

### A study on the effect of information types on Drivers in Takeover period of automated vehicles

Naeun Kim · Min-young Yang · Jiin Lee · Jinwoo Kim\*  
HCI Laboratory, Yonsei University, Seoul, Korea Republic

#### [요 약]

레벨 3단계의 자율주행 차량에서는 차량에서 운전자에게로 제어권을 이양하는 시점이 존재하게 된다. 이 때에 운전자는 전방으로 주의를 돌려 상황에 대한 인지를 해야 한다. 이 시점에서 휴먼 에러가 발생할 수 있으며, 이를 방지하기 위해 적절한 정보를 운전자에게 전달해야 한다. 본 연구에서는 운전자 관점에서의 제어권 전환 시점을 'in-the-middle-of-the-loop'이라 정의하고, 요구 정보를 도출하기 위해 과업 분석과 작업 도메인 분석을 실시하였다. 그 결과, 요구 정보 타입과 그에 따른 인터페이스 고려사항을 도출하였다. 마지막 단계로는, 앞서 도출된 정보 타입 중 시스템 투명도에 대한 정보와 운전자 안내에 대한 정보를 선별하여 정보 별 운전자의 상황 인지, 인지 부하 그리고 반응 시간에 미치는 영향을 탐구하였다. 결론적으로, 상황의 위험도에 따라 시스템 투명도에 대한 정보를 다르게 제공해야 하며, 운전자 안내가 제어권 전환 후 상황 인지를 도와줄 수 있다는 결론을 얻을 수 있었다.

#### [Abstract]

In level 3 automated vehicles, drivers are expected to encounter transition of control when the system reaches its limit. Drivers need to refocus their attention on the road ahead and gain situational awareness. Appropriate information should be conveyed during this period in order to prevent human errors. In this paper, we defined the takeover process as 'in-the-middle-of-the-loop' and conducted Task Analysis and Work Domain Analysis to find out information requirements. As a result, we specified required information types and interface considerations. Moreover, we conducted an experimental study to find how the information types affect drivers on situation awareness, cognitive load and reaction time. Consequently, we found different information on system transparency should be conveyed depending on the urgency of takeover situation and driver guidance could help drivers with better situation awareness after the takeover.

**색인어** : 제어권 전환; 자율 주행 자동차; 정보 디자인; 작업 도메인 분석; 과업 분석; 시스템 투명도; 운전자 안내;

**Key word** : Transition of Control; Automated vehicle; Information; Work Domain Analysis; Task Analysis; System Transparency; Driver Guidance;

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2018.19.1.113>



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.

**Received** 27 November 2017 ; **Revised** 23 January 2018

**Accepted** 29 January 2018

**\*Corresponding Author; Jinwoo Kim**

**Tel:** +82-2-2123-2528

**E-mail:** jinwoo@yonsei.ac.kr

## 1. 서론

첨단 운전자 지원 시스템(Advanced Driver Assistance System, ADAS)과 같은 자율주행 기술은 주행안전성을 보장하고 편리를 증진하기 위해 발전되어 왔다. 국제자동차기술자협회(SAE)나 미국 도로교통안전국(National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA)과 같은 기관들에서 미래 자율주행 자동차를 여러 레벨로 분류해 놓았다. NHTSA 기준으로 레벨 3의 완전 자동주행 기능이 포함된 차량의 경우 운전자는 주행 외의 2차 과업을 수행할 수 있게 된다[1]. 이때, 자동주행이 있는 차량의 경우 자동주행에서 운전자에게로 차량의 컨트롤 권한이 이양되는 시점이 존재하게 된다. 이렇듯, 기존 문헌에서는 운전자가 한시적으로 도로 상황이나 기술적 한계에 따라 자율주행 자동차에게 다시 운전 권한을 넘겨주고, 넘겨받는 과정을 '제어권 전환'으로 정의한다[2], [3]. 예견된 제어권 전환의 경우에도, 운전자가 얼마나 제어권 전환에 준비가 되었는지에 따라 주행 퍼포먼스가 결정된다[4]. 이러한 취약점(vulnerability)은 치명적인 사고로까지 이어질 수 있는 운전자의 실수(human error)를 유발할 수 있다.

기존 인간공학 문헌에서는 자동화 시스템과의 상호작용에서 발생할 수 있는 휴먼에러를 'out-of-the-loop performance problem'이라고 정의하고 있다. 이는 운전자의 수동 조작 능력이 퇴화하고 상황인지 능력이 저하되는 것을 의미한다[5].

기존의 제어권 전환 관련 연구는 제어권 전환 요청 (Take Over Request, TOR) 알람을 비교하여 반응시간을 측정하는 연구들이 다수 존재한다[6]-[8]. 제어권 전환 시간을 조작하여 그에 따른 운전자의 주행 퍼포먼스를 본 연구들도 많이 진행되었다[6], [9]. 하지만 기존 연구들은 운전자 관점에서 제어권 전환하는 시점에서 요구되는 정보에 대해서는 명확한 기준을 제시하지 못하고 있다. Seppelt & Victor[10]가 제시하고 있는 차량 자동화와 관련된 인간 요소(human factor) 질문의 우선순위를 살펴보면, 차량이 제공해야 할 피드백과 정보에 대한 중요성을 강조하고 있다. 특히 제어권 전환 시의 정보와 관련해서는 '운전자의 주의를 적절히 전방으로 돌리고 인지(awareness)를 도와주는 상황 정보가 어떻게, 언제 제시되어야 하는지'에 대해 언급하고 있다. 따라서 본 연구에서는 운전자 관점에서의 제어권 전환 프로세스를 정의하고, 전환 시점에 요구되는 정보 요건에 대해 탐구하고자 한다. 그에 따른 연구 질문은 다음과 같다.

1) 제어권 전환 시점에 요구되는 정보는 어떤 정보인가?

2) 각 정보의 종류가 제어권 전환 시의 반응 시간(response time), 인지 부하(cognitive load) 그리고 상황인지(situation awareness)에 미치는 영향은 무엇인가?

기존 문헌들에서 자동주행 전과 후를 'In-the-loop'과 'out-of-the-loop'으로 정의했다. 하지만 운전자의 관점에서 더욱 중요한 시점은 제어권을 전환하는 시점, 즉 'in-the-middle-of-the-loop'이라고 볼 수 있다. 이는 제어권을 전환 받는 순간을 의미하며, 운전자의 상황인지가 가장 중요해지는 시점이라고 볼 수도 있다. 따라서 'in-the-middle-of-the-loop' 시점에서의 과업을 분석하고 정보요건을 도출해 내고자 한다.

## II. 관련 문헌

### 2-1 제어권 전환

제어권 전환과 관련된 문헌은 세 가지 범주로 나누어 볼 수 있다. 첫 번째 범주는 제어권 전환 타이밍 이슈와 관련된 연구이다. 타이밍 이슈에 대해 다룬 연구들은 제어권을 운전자가 넘겨받기까지 주어진 시간이 달라짐에 따라 반응시간을 인간공학적 관점에서 분석하였다[6], [8], [11]. Gold et al.[6]의 연구에서는 제어권 전환에 주어진 시간을 조작하였으며, 이에 따라 운전자가 얼마나 안전하게 제어권을 전환하는지를 탐구하였다.

두 번째 범주는 제어권 전환 알람에 관한 연구이다. 제어권 전환 요청을 어떻게 할지에 관한 질문을 다루고 있는 연구들도 다수 존재한다[3], [12]-[15]. Lorenz et al.[12]의 연구에서는 제어권 이양하는 시점에 증강현실(Augmented Reality)을 활용한 디스플레이가 퍼포먼스에 미치는 영향을 탐구하였다. 비슷한 맥락에서, Politis et al.[3]은 제어권 이양을 운전자에서 시스템으로, 시스템에서 운전자로의 두 가지 케이스로 나누어 의미 정보를 담은 멀티모달(multi-modal) 디스플레이의 효과를 분석하였다.

마지막으로는 시스템과 관련된 정보를 다룬 문헌을 고려해 볼 수 있다. 자동화 시스템과 신뢰와 관련된 문제는 불확실성(uncertainty)을 키워드로 하는 연구들에서 다루고 있다 [16], [17]. 자동화 시스템(automation)이 한계에 도달했을 때, 사용자는 시스템의 작동 상태에 대해 이해하고 수동 모드로 전환해야 하는데, 이 때 시스템이 얼마나 'confidence'한가에 대한 정보를 보여주는 것이 어떤 효과가 있는지를 보는 것이다. Helldin et al.[17]은 자율주행 맥락에서 운전자가 불확실성과 관련된 정보를 수용하여 차량에 대한 신뢰가 어떻게 변하는지를 탐구하였다. 시스템의 신뢰도에 관한 정보는 특히 시스템이 통제권을 넘겨주는 상황에서 중요하게 작용하는데, 운전자가 상황을 얼마나 빨리 인지하는지에 영향을 미칠 수 있기 때문이다.

### 2-2 상황 인지

제어권 전환 상황에서 도로 모니터링을 하고 있지 않던 운전자는 상황에 대한 인지 능력이 떨어질 수 있다. Endsley[18]는 다양한 도메인에서의 시스템 작동에 있어 중요한 요소로 상황인지 이론을 정립하였다. 상황인지는 세 단계로 나뉜다. 첫 단계는 인지의 단계로, 운전자의 경우 차량의 위치를 알거나 주변의 장애물을 지각하는 것을 의미한다. 두 번째 단계인 'comprehension of the current situation'은 현 상태를 이해하는 것으로, 첫 레벨에서 인지한 내용을 바탕으로 현 상태가 어떠한가를 판단하는 것이다. 세 번째 단계는 미래 상태를 예측하는 것이다. 짧게는 초단위의 미래 상황에 대해 '어떠할 것이다'를 생각하는 것이다[18]. 상황인지의 단계에서 더 나아가, Matthews et al.[19]는 다른 요소들에 대해 정의하였다. 그의 정의에 따르면 공간 인식(spatial awareness), 현저한 자극의 인지(identity awareness), 시간 인지(temporal awareness), 목적 인지(goal awareness), 그리고 시스템 인지(system awareness)로 하위 항목을 나누어 볼 수 있다.

본 연구에서는, 상황인지 모델에 따른 운전자의 'in-the-middle-of-the-loop' 프로세스를 세 단계로 나누어 정의하였다. 레벨 1에 해당하는 주의 전환(attention shifting), 레벨 2에 해당하는 과업 전환(task shifting), 그리고 레벨 3에 해당하는 운전자 안내(driver guidance) 단계가 그것이다. 시스템의 한계에 도달한 상황에서 운전자는 주의를 전방으로 돌려야 하며(주의 전환), 그에 따라 종방향, 횡방향 컨트롤을 하는 것으로 과업을 전환하고(과업 전환), 마지막으로 미래 예측과 관련된 가이드(운전자 안내)가 필요하다. 각각은 상황인지 단계별로 안전한 제어권 전환을 위한 인간-기계 인터페이스(Human Machine Interface, HMI) 요소에 대응되며, 요구되는 정보 유형을 도출하기 위한 상위 단계이다. 추후 섹션에서는 운전자 관점에서 자동화 단계로 들어가기 전, 후의 중간인 'in-the-middle-of-the-loop'의 레벨을 정의하여 각 레벨에 맞는 정보 요건을 도출하고자 한다.

### III. 디자인 스테디

제어권 전환 시 요구되는 정보구조의 특성을 파악하기 위해 디자인 스테디를 진행하였다. 디자인 스테디는 과업 분석과 작업 도메인 분석(work domain analysis)을 중심으로 실시하였다.

#### 3-1 과업 분석

운전자 과업 분석은 Fastenmeier와 Gstalter[20]의 모델을 차용하여 In-the-Middle-of-the-Loop 시점의 과업을 재정의하였다. Fastenmeier & Gstalter의 연구모델은 주행 과업을 인지적 관점에서 체계적으로 분석하였는데, 차량 내/외의 시그널을 인지해서 그에 상응하는 운전자의 차량 조작

에 이르기까지의 프로세스를 정보 처리의 관점에서 해석한 모델이다. 해당 과업 분석 모델은 특정 주행 과업을 인간의 인지 프로세스에 맞춰 분석하고, 행동 요구 사항(behavior requirement)을 도출하는 것을 목표로 한다. 각 프로세스는 즉각적이며, 밀리초 단위의 짧은 시간 안에 발생한다. 운전자의 인지적 프로세스는 다음 그림 1과 같이 7단계로 나누어질 수 있다.

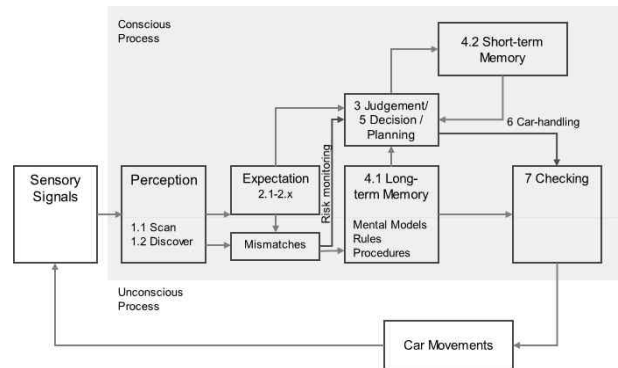


그림 1. 제어권 전환의 인지 과정  
Fig. 1. Cognitive process of takeover

각 과업 단계는 세부 과업(subtask)으로 나눌 수 있으며, 실험 환경 시나리오를 바탕으로 세부 과업의 행동 요구사항을 도출할 수 있다. 과업 분석 모델에 따른 제어권 전환 시점에서의 과업은 다음과 같이 적용될 수 있다 (그림 1 참조). 이를 바탕으로 세부 과업에서 실제 관찰한 문제점(pain point)을 도출하고, 최종적으로 행동 요구사항 별 요구정보의 가이드라인 (Information Guideline)을 도출하였다. 도출된 세부 과업은 표1과 같다.

표 1. 제어권 전환 과업 및 세부 과업

Table 1. Takeover tasks and subtasks

|   | Takeover Tasks                              | Subtasks   |
|---|---|--|
| 1 | Alarm Recognition (Visual/Auditory/Tactile) | 1.1 Scan and detect (visual/auditory/tactile)<br>1.2 System status review<br>1.3 Detect warning icon or alarm sound<br>1.4 Recognize urgency |
| 2 | Projection of future scenario               | 2.1 Predict time left<br>2.2 Understand instability of movement<br>2.3 Monitor surrounding vehicles  |
| 3 | Judgement of Urgency                        | 3.1 Intuitive judgement of urgency level   |
| 4 | Long-term memory/ Working memory            | 4.1 Cognitive load on working memory<br>4.2 Retrieval of driving pattern   |
| 5 | Integration of information                  | 5.1 integrate situational information<br>5.2 prioritize behaviors  |
| 6 | Transition of control                       | 6.1 grab the wheel<br>6.2 input user ready sign(e.g. button)<br>6.3 locate the foot on the pedal   |
| 7 | Completion of transition                    | 7.1 Confirm manual mode<br>7.2 monitor road condition  |

#### 3-2 작업 도메인 분석

작업 도메인 분석은 무수히 생성되는 주행데이터에서 운전자에게 유의미한 맥락 정보를 선별하기 위해 실시하였다. 이는 기존 항공, 제어분야에서 많이 사용되던 디자인 방법론이다. 또한 생태학적 인터페이스 디자인(Ecological Interface Design)의 한 접근 방법으로서, 새로운 시스템을 디자인하기 위해 사용된다[21], [22]. 인터페이스에 포함되어야 할 정보가 무엇인지를 분석하고, 정보들 사이의 관계는 무엇인지 확인하기 위한 작업(work) 분석이 포함된다. 작업 도메인의 세부 요소는 다음과 같다. 기능적 목표(Functional Purpose)는 "무엇을 위해 작업영역이 디자인 되었는가?"라는 목적을 의미한다. 추상적 기능(Abstract Function)은 어떠한 법칙과 원칙아래 이루어지는지를 나타내며, 일반화된 기능(Generalized Function)은 관련된 프로세스는 무엇인가를 의미한다. 물리적 기능(Physical Function)은 어떤 인터페이스 요소가 관련되어 있으며, 어떤 기능을 하는지를 말한다. 물리적 형태(Physical Form)는 시스템의 물리적 외형과 위치는 어떻게 되는지를 나타낸다.

작업 도메인 분석은 시스템 경계를 설정하는데서 시작한다. 본 연구에서는 시스템의 경계를 다양한 자율주행 차량의 기술적 층위 중 운전자 인터페이스 부분에 한정하였다. 따라서 기능적 목표는 '안전한 제어권 전환을 위한 HMI'로 설정하였다. 다음 단계인 추상적 기능은 앞서 정의한 일반적인 제어권 전환 프로세스에서 착안하였다. 따라서 주의 전환, 과업 전환, 그리고 운전자 안내로 정의하였다. 앞서 실시한 과업 분석의 세부 과업을 재분류하여 네 가지 일반화된 기능으로 구분하였다. 일반적 기능은 제어권 전환 알람, 운전자 상태 감지, 주변 상황 인식, 그리고 네비게이션 네 가지 기능으로 분류되었다. 하위 단계의 물리적 기능과 물리적 형태는 아이디어션

표 2. 정보 유형 및 인터페이스 고려 사항

Table 2. Information type and Interface considerations

| Info. Type               | Contents   | UI Considerations   |
|--------------------------|--|---|
| System Reliability info. | - Confidence level of automation system including the level of automation<br>- Information on lane keeping(lateral control), speed (longitudinal control), change of lane and intersection | Icon, simulation on cluster, road information on windshield |
| Timing Info.             | - Time left until ego car reaches the system limit<br>- Current time, time left until arrival, duration of automated mode  | Time display on windshield, Display change of time          |
| Task Priority            | - Cue on the most urgent task<br>- Display more unstable control (e.g. longitudinal or lateral) depending on situations  | Icon, physical design                                       |
| Positive Feedback        | - Positive feedback on takeover when takeover process is completed<br>- Confirmation or feedback on successful takeover  | Positivity induced auditory alarm, use of green color       |
| 'What to do' Cue         | - Interaction guide for how to take-over the control<br>- Cue to indicate related buttons or interface guide   | Auditory, visual icons                                      |
| Road Situation           | - Feed on road changes that needs attention<br>- Obstacles, weather, road slipperiness   | Ambient lighting, voice guide message                       |

(ideation) 과정을 거쳐 도출하였다. 아이디어션 과정은 작업 도메인 분석의 분류체계 별로 진행하였다. 가장 상위 단계인 기능적 목표를 설정한 후, 추상적 기능과 일반화된 기능을 정의하였다. 추상적 기능은 앞서 논의한 'in-the-middle-of-the-loop' 의 세 가지 레벨을 선정하였다. 운전자의 인지 과정이 짧은 상황에서 빠르게 상황을 인지해야 하는 제어권 전환 시점에서 가장 추상화된 단계의 '기능'이라고 보았기 때

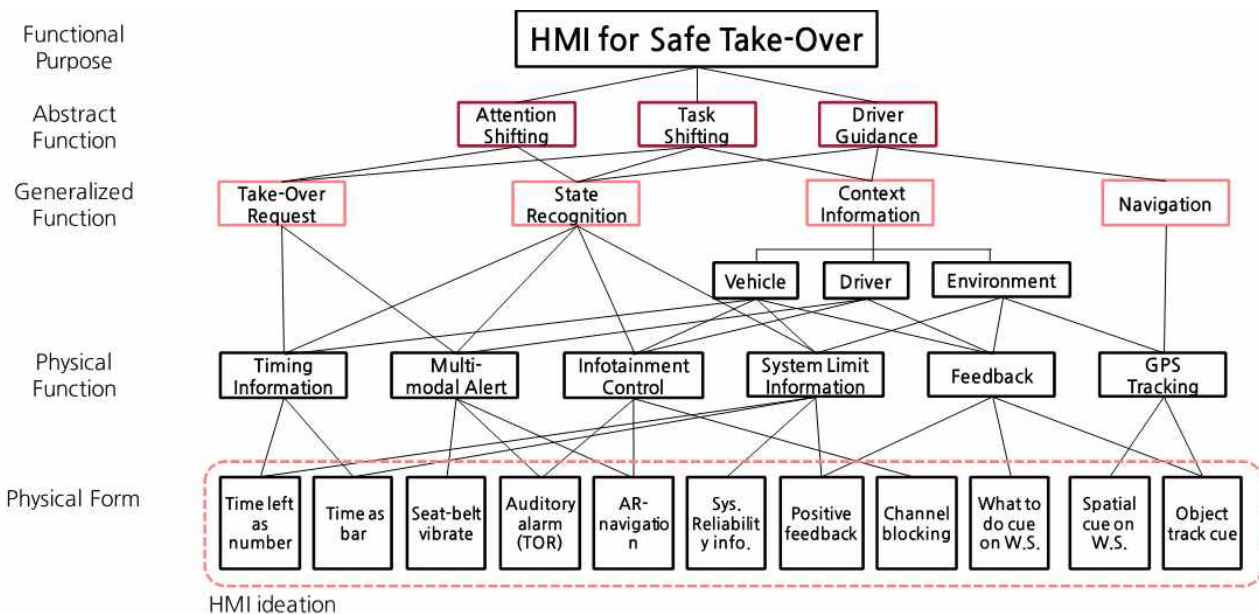


그림 2. 작업 도메인 분석의 결과  
Fig. 2. Result of work domain analysis

문이다. 결과적으로, 총 여섯 가지 물리적 기능과 열한 가지의 물리적 형태를 도출하였으며, 각각은 그림 2와 같다.

작업 도메인 분석을 통해 도출한 물리적 형태는 인터페이스 요소에 해당한다. 각 인터페이스 요소 중 두드러지는 요소를 선정한 결과, 제어권 전환 시점의 HMI 고려사항은 표 2와 같다.

### 3-3 정보 유형 선정

작업 도메인 분석을 통해 도출한 정보의 유형에 대한 효과를 실제 시뮬레이터 환경에서 운전자에게 미치는 영향을 탐구하기 위해 실험 연구를 진행하였다. 실험에서 보고자 하는 정보의 유형을 선정하였다. 정보의 유형을 선정하기 위한 기준은 다음과 같다. 첫째, 기존 연구에서 다루지지 않았는지와 두 번째로 제어권 전환 시점에서 운전자의 판단에 영향을 미치는 중요한 정보인지를 고려하였다. 따라서 시스템 투명성에 관한 정보 유형과 운전자 안내와 관련된 정보 유형인 'what to do' cue가 선정되었다. 각 정보 유형은 실험에서의 독립변수로서, 제어권 전환 시간(response time), 인지부하(cognitive load) 그리고 상황 인지(situation awareness)에 미치는 영향을 탐구하였다.

#### 1) 시스템 투명성(System Transparency)

시스템 상태(system status)는 현재의 자동화 시스템의 상태를 의미하며, 이는 능력(capability)으로 표현될 수 있다 [17]. 본 연구에서는 시스템 상태에 대한 정보를 자동 주행 모듈의 능력(capability) 대한 정보로 설정하였다. 사용자가 시스템이 수행 가능한 정도를 아는 것은 현재 상황에 대한 이해를 높이는 데 중요한 정보이기 때문이다 [17], [23]. 이를 보는 관점에 따라 긍정적, 부정적 프레임(frame)의 2가지 수준으로 조작(manipulate)하였다.

긍정적 프레임 조건(Positive frame condition)에서는 어디 구간까지 자율 주행이 가능한 지에 대해 초록색의 시각적인 증강 현실(augmented reality) 큐와 위험도가 느껴지지 않는 청각 피드백(auditory cue)을 제공하였다. 더불어 현재 자율 주행 시스템의 인식 성공률에 대한 정보를 함께 제공하였다. 한편, 부정적 프레임 조건(Negative frame condition)에서는 어디서부터 자율 주행이 불가능한 지에 대해 빨간색의 시각적인 증강 현실 큐와 위험도가 느껴지는 청각 피드백을 제공하였다. 더불어 현재 자율주행 시스템의 인식 실패율에 대한 정보를 함께 제공하였다.

#### 2) 안내 유형(Type of Guidance)

운전자가 통제권을 전환 받은 이후에 안정적으로 주행하기 위해서 상황에 맞는 정보를 제공하는 것은 상황인지를 높이는

는 요소이다[10]. 이때, 어떤 정보를 제공해주는지에 따라 운전자의 상황인지를 적절하게 높이는 데 긍정적인 영향을 줄 수도 있고, 오히려 부정적인 영향을 줄 수도 있기 때문이다.

이에 제어권 전환 후에 시스템이 개입해야 하는 수준을 기준으로 2가지 수준(정보 기반, info-based/행동 기반, action-based)으로 분류하였다. 정보 기반 조건에서는 현재의 상태와 현 단계에서 해야 할 행동에 대한 정보, 환경적인 이유를 제공하였다. 그리고 이러한 정보를 바탕으로 다음 단계에 해야 할 행동을 예상하고 판단하는 것은 운전자의 결정으로 남겼다. 행동 기반 조건에서는 앞의 단계에 포함되는 정보는 제외하고 그 다음의 상황을 예측하고 판단하여 운전자가 다음 단계에서 해야 할 구체적인 행동에 대한 정보만을 제공하였다.

## IV. 실험

### 4-1 Method

실험은 2(시스템 투명성)×2(안내 유형) 혼합설계로 디자인되었다. 기존 문헌에 따라 외부 상황으로 인한 시스템 한계(system limit)로 인한 제어권 전환 상황을 전제하였다[15]. 제어권 발생 시점은 통제하였으며, 제어권 전환 후 발생한 시나리오는 (1)차선유실(Ending lanes), (2)공사 표지판(construction site), (3)안개로 인해 가시거리(visibility)가 좋지 않은 상황에서 선행 차(leading vehicle)가 급정지하는 이벤트가 있다 [24]. 순서효과를 배제하고자 무작위(random)로 분배하였다. 각 시나리오의 시간은 약 12분이었다.

### 4-2 Participants

운전 면허를 소지한 82명의 참여자가 모집되었다(남: 65, 여: 17). 참여자 모집은 대학교의 학내 인터넷 게시판을 통해 이루어졌으며, 참여자의 나이대는 21살에서 35살 사이였다.

### 4-3 Procedure

시뮬레이터 탑승 전에 실험 참가자의 인지부하에 대한 객관적 데이터를 취득하고자 피부 전기 반응(Galvanic Skin Response, GSR)를 측정기기(Shimmer, Ireland)를 장착하였다. 시뮬레이터 조작 및 자율주행 제어권 전환 프로세스에 적응하기 위해 약 5분간 연습 주행을 실시하였다. 본 실험이 시작되면, 참여자는 3분간의 수동 주행(manually driving)을 하였다. 그 후, 5분간 자율주행 모드(automated mode)를 시작하였다. 자율주행 모드에서는 운전자의 주의 분산을 위해 뮤직비디오를 시청을 2차 과업(Secondary task)으로 수행하도록 하였다. 제어권 전환 요청 알람이 울리게 되면 운전자는

지정된 버튼을 통해 10초 이내에 핸들을 take over 해야만 하였다. 제어권 전환 후 다시 3분간 수동으로 주행을 하였고, 수동 주행 구간에서 이벤트가 발생하도록 하였다. 전체 세션은 약 70분 동안 진행되었다 (그림 3 참조).

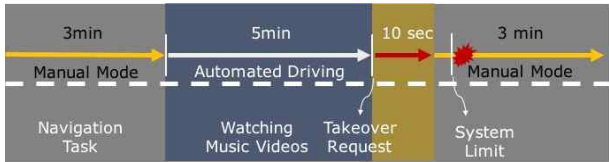


그림 3. 실험 과정  
Fig. 3. Experimental Procedure

4-4 Measurement

본 연구에서는 반응 시간, 피부 전기 반응 그리고 상황 인지를 측정하였다. 먼저, 반응시간은 자극의 시작부터 의도적인 반응이 시작되기까지의 시간 간격을 의미한다. 본 연구에서의 반응시간은 제어권 전환 요청 알람이 울린 후부터 다시 핸들을 잡기까지의 시간을 계산하였다[25]. 피부 전기 반응은 각성 수준에 따라 피부에서 발생하며 운전자의 인지부하를 측정하기 위해 활용되는 생체신호이다[26]. 마지막으로, 상황인지는 SART(Situational Awareness Rating Technique) 문항을 통해 측정하였다[27].

4-5 Apparatus

본 연구에서는 차량 시뮬레이터 상의 주행 실험을 진행하기 위해 C# 언어를 기반으로 게임엔진 유니티 3D (Unity 3D) 5.3.5 버전을 이용하여 주행과 관련된 세부 기능 및 인터페이스를 개발 및 구현하였다. 참여자들은 Logitech G27 Gaming Wheel을 통해 운전대를 제어하고 가/감속을 할 수 있었다. 제어권 요청 전환 방식은 운전대에 부착된 버튼을 통해 전환이 이루어지도록 설계하였다. 운전 상황은 40인치 모니터에서 재생되었다. 시뮬레이터 내에서의 차량 조작에 대한 로그데이터는 실시간으로 수집되었으며, 속도는 80 킬로미터로 제한하였다. 추가적으로 7인치의 태블릿을 자율주행 모드에서의 2차 과업(secondary task)으로 뮤직비디오 시청을 유도하기 위해 운전대의 왼쪽에 설치하였다.

V. 결 과

5-1 Reaction Time

제어권 전환 상황에서 제공되는 시스템 투명성에 대한 정보가 운전자의 반응 속도에 미치는 영향을 분석하기 위해 독립표본 t검정을 실시하였다. 유실된 데이터 1개를 제외한 81

개의 데이터로 분석 한 결과 capability 와 limitation조건 사이의 유의미한 차이가 있었다( $t(79) = 2.782, p = .007 < .05$ , 표3 참조). 빠른 반응을 유도한 조건은 limitation 조건이었으며, 약 0.9초의 차이가 있었다 (L:  $M = 3.97, SD = 1.45$ ; C:  $M = 4.82, SD = 1.3$ , 표 4 참조).

5-2 Cognitive Load

제어권 전환 시 정보의 프레임에 따른 인지부하의 차이를 보기 위한 생체 신호로 피부 전도 반응을 측정하였다. 모집된 데이터 중 데이터가 하나라도 유실된 참여자를 제외한 39개의 데이터가 분석에 사용되었다. 결과적으로, limitation( $M=0.011, SD = 0.002$ )조건이 capability조건( $M=0.0135, SD = 0.004$ , 표 4 참조)에 비해 유의미하게 높은 인지부하 수준을 보였다 ( $t(37) = 2.448, p = .019 < .05$ , 표 3 참조).

|                | df    | t  | p     |
|----------------|-------|----|-------|
| Reaction Time  | 2.782 | 79 | 0.007 |
| Cognitive Load | 2.448 | 37 | 0.019 |

표 3. 반응 시간과 인지 부하의 t검정 실시 결과  
Table 3. T-test results

|                | M      | SD    |
|----------------|--------|-------|
| RT- Limitation | 3.97   | 1.45  |
| RT- Capability | 4.82   | 1.3   |
| CL- Limitation | 0.011  | 0.002 |
| CL- Capability | 0.0135 | 0.004 |

표 4. 반응 시간과 인지 부하의 조건별 평균값과 표준편차  
Table 4. Mean value and Standard Deviation

5-3 Situation Awareness

제어권 전환 후 driver guidance의 정보 유형이 운전자에게 미치는 영향을 분석하기 위해 대응표본 t검정을 실시하였다. 결과적으로 참여자 간 information정보 유형과 action정보 유형 조건의 차이는 발견되지 않았다( $p > .05$ ). 하지만, 아무것도 제시되지 않은 컨트롤 조건에 비한 차이는 두 정보 유형 모두에 있어 유의미한 차이가 있었다(A:  $t(81) = 5.609, p < .05$ , I:  $t(81) = 5.408, p < .05$ ).

VI. 논 의

디자인 스터디를 통해 제어권 전환의 과업을 운전자 중심에서 분석하고, 그에 따라 요구되는 정보 유형과 인터페이스

고려사항을 도출하였다. 그 결과, 시스템 투명성에 대한 정보와 통제권을 전환 받은 후 상황에 대한 가이드 정보에 대한 효과를 실험 연구를 통해 검증하였다. 결과적으로, capability에 관한 정보를 display해 주는 것이 인지부하 수준은 낮지만, 그만큼 반응 속도도 느리다는 것을 알 수 있었다. 이는 제어권을 전환하는 상황의 위급도(urgency)에 따라 다르게 프레임된 정보를 제공해야 한다는 점을 시사한다. 예를 들어, 빠른 시간 내에 제어권을 운전자가 받아야 하는 상황을 시스템이 판단한 경우, 전방에 제시되는 디스플레이는 limitation 정보에 초점을 맞춰야 반응 속도가 빨라진다고 예상할 수 있다. 또한 급하지 않은 상황일 경우에는 운전자에게 과도한 부하를 줄 가능성이 높은 limitation에 관련된 정보가 아닌, 보다 긍정적인 프레임의 capability 조건과 비슷하게 정보를 제공해주는 것이 바람직할 수 있다. 시스템이 현재 어디까지 할 수 있는지 혹은 할 수 없는지를 알려주는 시스템 투명도는 제어권 전환 시점에서 중요한 정보이다. 관련된 기존 연구에서는, 자율주행 자동차의 탑승자 경험을 관찰한 연구에서는 주행 상황에 대한 정보와 시스템의 성능에 대한 정보를 찾는 탑승자의 행동을 관찰할 수 있었다 [이지인레퍼]. 이렇듯 제어권 전환 상황에서 운전자에게 제공되는 정보를 다른 기존 연구들은 존재하지만, 본 연구에서는 상황인지 모델에 맞추어 시점별로 다른 정보를 운전자에게 제공하였다는 점에서 의의가 있다.

또한, 통제권을 이양 받은 후 제시된 가이드(driver guidance) 정보는 상황인지에 유의미한 영향을 줄 수 있음을 확인하였다. 하지만 제시된 두 조건(information & action) 간의 유의미한 차이는 발견되지 않았다. 즉, 두 가지 guidance 정보 모두가 없는 조건에 비해 효과가 있었고, 어떤 정보가 제시되든 상관없다는 것이다. 본 연구에서는 기존에는 다루어 지지 않았던 driver guidance 정보에 대한 효과를 발견하였다는 점에서 의의가 있지만, 정보 유형 간의 효과는 나오지 않았다는 점에서 제어권 전환 후의 management를 어떻게 해줘야 할지에 대한 고려가 더 필요하다. 또한 다른 시점에 제시된 정보의 상호작용을 보지 못하였다는 한계가 있다. 따라서 추후 연구에서 위와 같은 사항들이 고려되어야 할 것이다.

## VII. 결 론

자동화 시스템은 운전자에게 편리함을 가져다주지만, 시스템의 한계 상황에 도달했을 때에는 휴먼 에러(human error)라는 위험 요소를 내포하고 있다. 본 논문에서는 대표적인 자율주행 이슈인 제어권 전환 상황에서 운전자를 도와줄 수 있는 정보 유형에 대한 연구를 진행하였다. 디자인 스테디를 통해 운전자의 인지 과정을 분석하였으며, 작업 도메인 분석을 통해 HMI 아이디어를 도출하였다. 그 후 도출된 정보 유형

중 중요도가 높은 정보를 선별하여 실험 연구에서 정보 유형이 미치는 영향을 탐구하였다. 이론적인 관점에서는 상황인지 모델에 따라 운전자 관점에서 요구되는 정보 요건을 정리하였다는 점에서 의의가 있다. 추후 학계와 산업 관계자들이 정보의 유형에 관한 스테디를 할 때 본 연구에서 사용한 디자인 프로세스를 차용할 수 있을 것이다. 또한, 실험 스테디를 통해 시스템 투명성에 관한 정보와 운전자 가이드 정보를 상황에 맞추어 제시해 주는 것이 효과적일 수 있음을 보여주었다는 점에서 의의가 있다.

## 감사의 글

본 논문은 2017년도 정부(교육부)의 재원으로 한국 연구 재단의 부분 지원을 받아 수행된 기초 연구 사업이다(NRF-2016R1D1A1B02015987). 또한 LG 전자의 지원으로 진행되었다. 이철배 전무, 김형국 수석 연구원, 양지은 주임 연구원에게 감사한다.

## 참고문헌

- [1] National Highway Traffic Safety Administration. Preliminary Statement of Policy Concerning Automated Vehicles. Available: [http://www.nhtsa.gov/staticfiles/rulemaking/pdf/Automated\\_Vehicles\\_Policy.pdf](http://www.nhtsa.gov/staticfiles/rulemaking/pdf/Automated_Vehicles_Policy.pdf)
- [2] N. Merat, A. H. Jamson, F. C. Lai, M. Daly, and O. M. Carsten, "Transition to manual: Driver behaviour when resuming control from a highly automated vehicle," *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, Vol. 27, pp. 274-282. November 2014.
- [3] I. Politis, S. Brewster, and F. Pollick, "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*, Nottingham, pp. 3-10. 2011.
- [4] D. Miller, A. Sun, M. Johns, H. Ive, D. Sirkin, S. Aich, and W. Ju, "Distraction becomes engagement in automated driving," *In Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, Los Angeles: CA, pp. 1676-1680, 2015.
- [5] M. R. Endsley, and E. O. Kiris, "The out-of-the-loop performance problem and level of control in automation," *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, Vol. 37, No. 2, pp. 381-394, June 1995.
- [6] C. Gold, D. Damb?ck, L. Lorenz, and K. Bengler, ""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*, Torino, Vol. 57, No. 1, pp. 1938-1942, 2013.
- [7] F. Naujoks, C. Mai, and A. Neukum, “The effect of urgency of take-over requests during highly automated driving under distraction conditions,” *5th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*, Krakow, 2014.
- [8] B. K. J. Mok, M. Johns, K. J. Lee, H. P. Ive, D. Miller, and W. Ju, “Timing of unstructured transitions of control in automated driving,” *In Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, Seoul, pp. 1167-1172, 2015.
- [9] B. Mok, M. Johns, K. J. Lee, D. Miller, D. Sirkin, P. Ive, and W. Ju, “Emergency, Automation Off: Unstructured Transition Timing for Distracted Drivers of Automated Vehicles,” *In 2015 IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems*, Las Palmas de Gran Canaria, pp. 2458-2464, 2015.
- [10] B. D. Seppelt, and T. W. Victor, “Potential solutions to human factors challenges in road vehicle automation,” *In Road Vehicle Automation 3*, pp. 131-148, 2016.
- [11] M. K?rber, T. Weißgerber, L. Kalb, C. Blaschke, and M. Farid, M, “Prediction of take-over time in highly automated driving by two psychometric tests,” *Dyna*, Vol. 82, No. 193, pp. 195-201, September 2015.
- [12] L. Lorenz, P. Kerschbaum, and J. Schumann, “Designing take over scenarios for automated driving: How does augmented reality support the driver to get back into the loop?,” *In Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, Vol. 58, No. 1, pp. 1681-1685, Los Angeles: CA, 2014.
- [13] F. Naujoks, Y. Forster, K. Wiedemann, and A. Neukum, “A Human-Machine Interface for Cooperative Highly Automated Driving,” *In Advances in Human Aspects of Transportation*, pp. 585-595, 2017.
- [14] J. Lee, N. Kim, and J. Kim, “The Effects of Feedback in a Automated Car,” *In Proceedings of HCI Korea*, pp. 669-672, Jeongseon, 2017.
- [15] N. Kim, K. Jeong, M. Yang, Y. Oh, and J. Kim, “Are You Ready to Take-over?: An Exploratory Study on Visual Assistance to Enhance Driver Vigilance,” *In Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, Denver: CO, pp. 1771-1778, 2017.
- [16] J. Beller, M. Heesen, and M. Vollrath, “Improving the driver-automation interaction: An approach using automation uncertainty,” *Human factors*, Vol. 55, No. 6, pp. 1130-1141. March 2013.
- [17] T. Helldin, G. Falkman, M. Riveiro, and S. Davidsson, “Presenting system uncertainty in automotive UIs for supporting trust calibration in autonomous driving,” *In Proceedings of the 5th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*, Eindhoven, pp. 210-217, 2013.
- [18] M. R. Endsley, “Toward a theory of situation awareness in dynamic systems,” *Human factors*, Vol. 37, No. 1, pp. 32-64. March 1995.
- [19] M. Matthews, D. Bryant, R. Webb, and J. Harbluk, “Model for situation awareness and driving: Application to analysis and research for intelligent transportation systems,” *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, pp. 26-32. 2001.
- [20] W. Fastenmeier, and H. Gstalter, “Driving task analysis as a tool in traffic safety research and practice,” *Safety Science*, Vol. 45, No. 9, pp. 952-979. 2007.
- [21] N. Naikar, R. Hopcroft, and A. Moylan, Work domain analysis: Theoretical concepts and methodology, DEFENCE SCIENCE AND TECHNOLOGY ORGANISATION VICTORIA (AUSTRALIA) AIR OPERATIONS DIV, DSTO-TR-1665.
- [22] P. M. Salmon, M. Regan, M. G. Lenn?, N. A. Stanton, and K. Young, “Work domain analysis and intelligent transport systems: implications for vehicle design,” *International journal of vehicle design*, Vol. 45, No. 3, pp. 426-448. 2007.
- [23] J. M. McGuirl, and N. B. Sarter, “Supporting trust calibration and the effective use of decision aids by presenting dynamic system confidence information,” *Human factors*, Vol. 48, No. 4, pp. 656-665. December 2006.
- [24] R. van der Heiden, S. T. Iqbal, and C. P. Janssen, “Priming Drivers before Handover in Semi-Autonomous Cars,” *In Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Denver: CO, pp. 392-404, 2017.
- [25] F. Naujoks, C. Purucker, A. Neukum, S. Wolter, and R. Steiger, “Controllability of Partially Automated Driving functions-Does it matter whether drivers are allowed to take their hands off the steering wheel?,” *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, Vol. 35, pp. 185-198. November 2015.
- [26] Y. Shi, N. Ruiz, R. Taib, E. Choi, and F. Chen, “Galvanic skin response (GSR) as an index of cognitive load,” *In CHI'07 extended abstracts on Human factors in computing systems*, San Jose: CA, pp. 2651-2656, 2007.
- [27] R. M. Taylor, “Situational Awareness Rating Technique(SART): The development of a tool for aircrew systems design,” *Situational Awareness in Aerospace Operations*, pp. 17, 1990.
- [28] J. Lee, N. Kim, J. Kim, “A Study on Driver Experience in



Autonomous Car Based on Trust and Distrust Model of Automation System,” *Digital Contents Society Review*, Vol. 18, No. 4, pp. 713-722, 2017.



**김나은(Naeun Kim)**

2016년 : 연세대학교 경영학과 (경영학사)

2016년~현 재: 연세대학교 인지과학협동과정 석사과정  
※ 관심분야 : Human-Computer Interaction, Cognitive Science,  
Voice User Interface



**양민영(Min-young Yang)**

2016년: 연세대학교 컴퓨터과학과 (컴퓨터과학사)

2016년~현 재: 연세대학교 인지과학협동과정 석사과정  
※ 관심분야 : Human Computer/Robot Interaction,  
Driver-Automotive Interaction



**이지인(Jiin Lee)**

2017년 : 연세대학교 인지과학협동과정 (공학석사)

2017년~현 재: KT 융합기술원 서비스 연구소 연구원  
※ 관심분야 : Swearing, Human-Computer Interaction



**김진우(Jinwoo Kim)**

1986년 : 연세대학교 경영학과 (경영학사)  
1988년 : UCLA (Information Systems 석사)  
1991년 : Carnegie Mellon Univ. (HCI 석사)  
1993년 : Carnegie Mellon Univ. (HCI 박사)

1994년~현 재: 연세대학교 경영대학 교수  
※ 관심분야 : Human AI/Robot/Companion/Computer Interaction