한국ITS학회논문지 J. Korea Inst. Intell. Transp. Syst.

고속도로 자율주행자동차 제어권 전환 안전성 평가를 위한 시나리오 개발

Development of Safety Evaluation Scenario for Autonomous Vehicle Take-over at Expressways

박 성 호* · 정 하 림** · 김 경 현*** · 윤 일 수****

* 주저자 : 아주대학교 건설교통공학과 박사과정
** 공저자 : 아주대학교 건설교통공학과 석사과정
*** 공저자 : 교통안전공단 선임연구원
**** 교신저자 : 아주대학교 교통시스템공학과 부교수

Sungho Park* · Harim Jeong* · Kyung Hyun Kim** · Ilsoo Yun***

* Dept. of Transportation Eng., Ajou University
** Korea Transportation Safety Authority
**** Dept. of Transportation Eng., Ajou University
† Corresponding author : Ilsoo Yun, ilsooyun@ajou.ac.kr

Vol.17 No.2(2018)
April, 2018
pp.142~151

ISSN 1738-0774(Print)
ISSN 2384-1729(On-line)
https://doi.org/10.12815/kits.2018.17.2.142

Received 20 March 2018
Revised 4 April 2018
Accepted 26 April 2018

ⓒ 2018. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

요 약

제4차 산업혁명 시대가 도래하면서 전 세계적으로 자율주행자동차에 대한 연구개발이 활발히 진행되고 있다. 이러한 국제적인 기조 속에서 국토교통부는 2020년 SAE 기준 레벨 3 이상의 자율주행자동차 상용화를 목표로 자율주행자동차 관련 연구개발을 적극적으로 추진하고 있다. 레벨 3 수준의 자율주행자동차에서는 운전자와 자동차 상호 간의 운행주체를 주고받는 제어권 전환이 필수적으로 발생하게 된다. 본격적인 자율주행자동차 시대에 앞서 본 연구에서는 우선적으로 고속도로를 대상으로 가상현실을 이용한 제어권 전환 안전성 평가를 위하여 대표 시나리오를 개발하였다. 이를 위해 자율주행자동차의 고속도로 주행 시나리오를 만들었고, 2014년 발생한 고속도로 교통사고 경위자료와 제어권 전환 특성을 고려하여 6개의 제어권 전환 시나리오를 개발하였다. 개발된 시나리오에서 고려된 변수는 운전자, 차량, 그리고 환경요인으로 크게 나눌 수 있으며, 총 36개의 변수가 포함되었다.

핵심어 : 자율주행자동차, 레벨, 제어권 전환, 실험 시나리오, 가상현실, 인간공학

ABSTRACT

In the era of the 4th Industrial Revolution, research and development on autonomous vehicles have been actively conducted all over the world. Under these international trends, the Ministry of Land, Infrastructure and Transport is actively promoting the development of autonomous vehicles aiming at commercialization of autonomous vehicles at level 3 or higher by 2020. In the level 3 autonomous vehicle, it is essential to transfer control between the driver and the vehicle according to driving situations. Prior to the full-fledged autonomous vehicle age, this study developed a representative scenario for the safety evaluation on take-over on expressways. To accomplish this, we developed a highway driving scenario first, and then developed six control transition scenarios based on 2014 highway traffic accident data and take-over data. The variables to be considered in the developed scenarios are divided into drivers, vehicles, and environmental factors. A total of 36 variables are selected.

Key words : Autonomous vehicle, level, take-over, test scenarios, virtual reality, ergonomics

Ⅰ. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

자율주행자동차(autonomous vehicle)는 탑승자가 목적지를 설정한 후 인위적인 조작 없이 차량이 스스로 주행환경을 인식하여 목적지까지 운행 가능한 자동차를 말한다(Korea Transportation Safety Authority, 2016). 최근 자율주행자동차는 전 세계적인 관심을 끌고 있으며, 시장조사 전문업체인 Navigant Research에 따르면 2020년 자율주행자동차의 판매가 급속히 증가하여 북미, 서유럽, 아시아의 세계 3대 시장을 기준으로 2035년까지 연평균 85%의 성장률을 보일 것으로 예측했다(Navigant Research, 2013).

우리나라에서도 자율주행자동차를 국토교통 7대 신산업으로 지정하였고, 미래 성장동력 확충을 위하여 자율주행자동차에 대한 투자를 확대하고 있다. 그 예로, 국토교통부는 2015년 관계부처 합동으로 2020년 자율주행자동차 상용화를 정책목표로 설정하여 추진해오고 있다. 2016년 2월 시험 및 연구 목적의 자율주행자동차 임시운행허가 제도가 도입된 이후로 2017년 5월 기준으로 13번째 임시운행허가까지 진행되었다.

미국자동차공학회(Society of Automotive Engineering, SAE) 기준 레벨 3 수준의 자율주행자동차는 완전자율주행이 불가능하기 때문에 상황에 따라서 운전자와 차량 사이의 제어권 전환(take-over)이 필요하다. 제어권 전환은 운전자와 차량 간의 주행 통제 권한의 상호 이양을 의미하며, 자율주행 중 차량이 지속적으로 안전운전을 담보할 수 없다고 판단할 경우 운전자가 주행 통제 권한을 받도록 하는 경우, 혹은 운전자 스스로 판단에 의해 주행 통제 권한을 되찾아 오는 경우 등이 포함된다. 이렇듯 제어권 전환은 자율주행에서 안전과 직접적으로 연관된 가장 중요한 요소 중 하나이며, 이에 대한 안전성 평가가 제대로 되지 않을 경우 자율주행자동차의 사회적 수용성 또한 보장할 수 없다. 따라서 제어권 전환의 안전성 평가는 반드시 필요한 연구이지만 이에 대한 연구가 아직까지 부족한 실정이다. 참고로 독일 등 해외의 경우에는 가상현실(virtual reality, VR) 기반 시뮬레이터를 이용한 제어권 전환 안전성 평가 및 실험이 오래 전부터 시행되어져 오고 있다.

실제로 2009년에 발생한 항공기 사고 사례에 따르면 항공기에 탑재된 자율주행기능인 자동항법장치가 비행기 내 속도를 측정하는 장치의 문제로 자율주행을 지속하기 어려워 조종사에게 제어권을 이양 받도록 알림음을 울렸다. 하지만 조종사가 당황하여 문제해결을 위한 적절한 조치를 취하지 못해 항공기가 추락하여 탑승객 전원이 사망한 바 있다(Min et al., 2017). 이와 같은 사고를 방지하기 위하여 제어권 전환에 관한 연구는 자율주행의 안전을 위해 반드시 필요할 것이다.

따라서 본 연구에서는 자율주행자동차 제어권 전환의 안전성 평가 시 자율주행자동차와 제어권 전환의 특성을 적절히 반영할 수 있는 VR 드라이빙 시뮬레이터 기반 실험 시나리오 개발을 목적으로 한다.

2. 연구의 범위 및 절차

본 연구의 공간적 범위는 자율주행이 가장 먼저 도입될 것으로 예상되는 고속도로로 설정하였으며, 시간적 범위는 분석에 사용한 교통사고 경위자료의 생산년도인 2014년을 기준년도로 설정하였다. 제어권 전환 안전성 평가 시나리오 개발을 위해 연구의 범위와 내용을 설정한 후, 국내·외 관련 연구와 실제 실험 사례에 대한 고찰을 하였다. 참고로 국내에서는 자율주행자동차 제어권 전환과 관련된 연구가 부족한 것으로 나타났다. 다음으로 자율주행자동차가 고속도로에서 차량이 행동 가능한 상황을 정지, 서행, 주행의 세 가지로 분류하고, 발생 가능한 상황을 분류하여 주행 중 발생할 수 있는 모든 상황을 시나리오화 하였다. 2014년 발생한 고속도로 교통사고의 경위자료를 분석 및 매칭을 통해 고속도로 주행 시나리오를 압축하였다. 제어권

전환의 특성을 고려하여 고속도로 주행 시나리오를 기반으로 고속도로 제어권 전환 시나리오를 도출하였으며, 운전자, 차량, 환경의 관점에서 시나리오에 반영될 변수를 선정하였다.

Ⅱ. 관련 이론 및 연구 고찰

1. 제어권 전환

제어권 전환이란 SAE 기준 레벨 3수준의 자율주행자동차에서 차량과 운전자 사이에 주행 통제를 할 수 있는 권한을 상호 이양하는 것을 의미한다. 제어권 전환은 크게 차량의 제어권을 차량이 운전자에게 이양하는 경우와 운전자가 차량에게 이양하는 경우의 두 가지로 구분할 수 있다. 차량이 운전자에게 제어권을 주는 경우는 다시 자율주행차동차가 주행 중 더 이상 안전운행을 지속할 수 없다고 판단하여 운전자에게 제어권을 받도록 하는 경우와 운전자가 스스로의 판단에 따라 주행권한을 되찾아 오는 경우로 나눌 수 있다(SAE, 2016).

국토교통부에서 2016년 2월에 고시한 「자율주행자동차의 안전운행요건 및 시험운행 등에 관한 규정」 제2조에서 제어권 전환을 '운전전환요구'라고 명명하고 있으며 '시스템우선모드로 주행 중 자율주행시스템이 운전자에게 운전자 우선모드로 전환하도록 알리는 신호를 말한다.'라고 정의하고 있다. 이와 관련해서 제14조에서는 운전전환요구가 있는 경우 시각 및 청각 또는 촉각에 의한 수단 중 시각을 포함하여 2개 이상의 조합으로 하여 운전자에게 즉시 경고를 주어야 한다고 명시하고 있다.

SAE에서는 제어권 전환을 'fallback'이라고 명명하고 있으며 '자율주행 성능 관련 시스템 오류가 발생하거나 자율주행시스템을 유지할 수 없는 경우 정상적인 주행을 이어가거나 최소 위험 상태를 달성하기 위한 운전자 또는 자율주행시스템의 응답'이라고 정의하고 있다(SAE, 2016).

다양한 기관에서 자율주행자동차의 주행 통제권을 이양하는 행위에 대한 용어를 운전전환요구, fallback, 제어권 이양 등으로 정의하고 있지만 본 연구에서는 제어권 전환(take-over)로 통일하여 후술하였다.

2. 관련 연구

Min et al.(2017)은 자율주행자동차의 제어권 전환 시 운전자가 차량에게서 제어권을 안전하게 전환 받을 수 있도록 시나리오를 기반으로 한 알림 시스템을 제안하였다. 논문에서 제안한 시나리오는 운전자에게 알림을 주는 것에 초점을 두고 있으며 차량, 모바일 등과 같은 알림 주체, 소리, 진동, 온도 등의 알림 형태, 운전자의 신원, 승차시간, 온도 및 조도 등의 환경을 변수로 하는 시나리오를 제안하였고 이를 통해 모든 상황에 대하여 동일한 방식의 알림이 아닌 다양한 상황에 맞게 적절한 알림을 제공하여 보다 안정적으로 제어권을 전환하여 안전사고를 줄일 수 있을 것으로 예상하였다.

Choi(2017)는 제어권 전환 시점에 운전자 활동에 따른 단일 알림 방식을 감성 만족도 평가를 통해 분석하였다. 50명을 대상으로 촬영된 영상을 VR 체험을 통해 설문평가를 진행하였으며, 수집된 데이터에 대한 분산분석, t-test 등을 실시하였다. 운전자 활동에서의 알림 설계수준은 모두 통계적으로 유의한 차이가 있음을 확인하였으며 이를 통해 운전자 상황과 상태를 고려한 알림 방식에 대한 가이드라인을 제시하였다.

Crisian et al.(2016)은 교통상황에 대한 시나리오를 나누어 제어권 전환 요청 시 운전자들이 반응하는 시간을 시뮬레이션으로 실험하였다. 교통류에 관한 시나리오는 밀도가 각각 0대/km, 10대/km, 20대/km로 시나리오를 나누어 실험하였다. 추가적으로 운전 중 운전자에게 질문을 던져 대화하는 상황을 만들어 작업부하(secondary task)를 부여하였다. 실험결과 운전자의 작업부하 상황 보다 밀도가 제어권 전환에 영향이 더 큰 것으로 분석이 되었으며 밀도가 높을수록 제어권 전환에 걸리는 시간이 길어지는 것으로 분석되었다.

Zeeb et al.(2015)은 89명을 대상으로 제어권 전환에 걸리는 시간을 시뮬레이션 실험을 통해 분석하였다. 자율 운행 중에 운전자에게 다른 작업을 시키고 눈의 움직임을 관찰하였다. 시선이 머무는 곳과 머무는 시간을 분석하여 고위험(high-risk), 중위험(medium-risk), 저위험(low-risk)로 구분하였으며 그룹에 따른 제동 반응 시간(braking reaction time)을 측정하였다. 측정 결과 그룹 별로각각 2.31초, 1.86초, 1.63초로 측정되었다.

Gold et al.(2015)은 드라이빙 시뮬레이터(driving simulator)를 이용하여 자율주행자동차의 제어권 전환 시나리오를 통해 자율주행을 경험한 후 자율주행에 대한 운전자들의 신뢰성을 조사하였다. 실험 참가자의 연령은 19세부터 72세로 구성되었으며 총 72인에 대하여 실험을 하였다. 자율주행 시나리오는 제한속도 120km/h의 3차선도로에서 주행 중에 시스템 결함 등으로 인한 세 번의 제어권 전환을 하도록 설계되었다. 실험 결과를 통해 제어권 전환을 경험한 후 운전자들의 자율주행에 대한 신뢰가 커졌으며, 고연령층의 운전자들이 자율주행에 더 높은 신뢰를 보이는 것으로 나타났다.

3. 기존 연구와의 차별성

기존의 제어권 전환에 관한 연구들을 살펴보면 국내 연구는 아직 제어권에 관한 연구가 초기단계인 것으로 판단되며, 제어권 전환 시 알림 방법에 관한 연구들이 주를 이루고 있었다. 국외 연구에서는 제어권 전환에 관한 연구들이 활발히 이루어지고 있으며, 제어권 전환 알림 시 운전자들의 반응 시간을 측정하는 연구들이 주를 이루고 있었다.

본 연구에서는 자율주행자동차 개발 및 평가 시에 활용할 수 있는 제어권 전환 시나리오 개발을 목적으로 하였다. 기존의 연구들은 제어권 전환에 필요한 적정 시간을 찾는 것이 목적인 반면, 본 연구에서는 자율주행자동차에 적합한 실험 시나리오 고찰을 통해 보다 적절한 실험 환경을 구축하고자 한다.

Ⅲ. 제어권 전환 안전성 평가 시나리오 개발 및 변수 선정

1. 제어권 전환 안전성 평가 시나리오 개발 배경

제어권 전환의 안전성 평가는 자율주행자동차의 안전을 확보하기 위해 꼭 필요하다. 제어권 전환이 발생하는 상황은 일반주행 상황에 비해 사고발생확률이 높아질 것으로 판단되므로, 제어권 전환을 위한 자율주행자동차의 일련의 과정들이 적절한 지 평가할 기준이 필요할 것이다. 그리고 평가 시나리오는 이러한 안전성 평가를 위해 대표적으로 발생할 수 있는 제어권 전환 상황을 선정하는 것이다.

본 연구에서는 자율주행 기능이 타 도로보다 고속도로에서 먼저 구현될 것으로 판단하고 고속도로에서의 시나리오를 선정하였다. 고속도로는 다른 종류의 도로들과 비교 시 운전할 때 인식하고 반응해야 할 외부요소가 상대적으로 적으며, 현재 상용화된 낮은 수준의 자율주행 기능들이 고속도로에서 우선 적용되어 사용되고 있기 때문이다.

2. 고속도로 주행 시나리오 선정

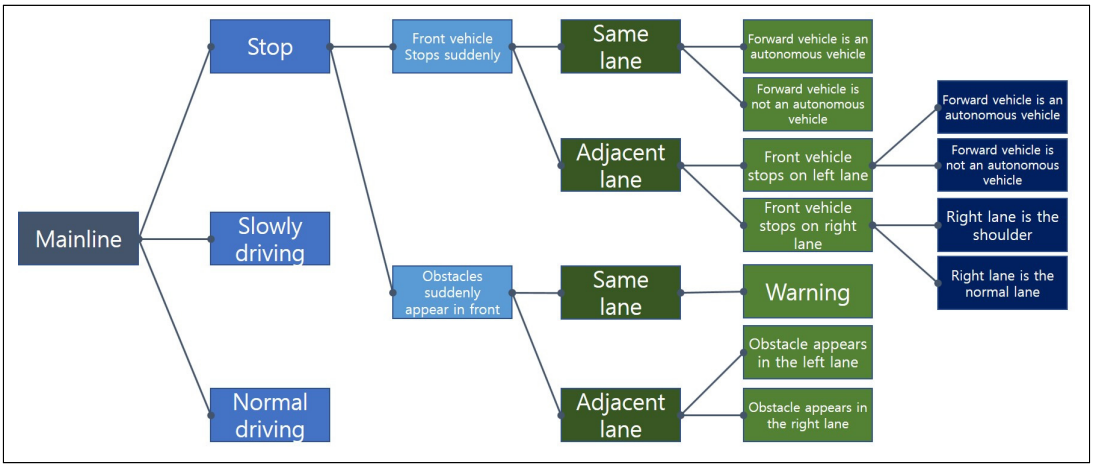
제어권 전환 안전성 평가 시나리오 선정을 위해 고속도로 주행 중 발생할 수 있는 모든 상황을 시나리오화하여 그 중 제어권 전환 발생 상황이 필요한 상황을 선정하였다. 현재의 고속도로에서는 자율주행차량이 운행되고 있지 않으며, 시험운행되고 있는 자율주행차량의 숫자 또한 매우 적기 때문에 실제 자율주행차량의 시나리오를 선별할 수 없다. 일반 차량과 자율주행차량의 차이점은 운행주체의 차이이며, 이를 주행 상황

측면에서 고려해보면 발생할 수 있는 시나리오는 일반 차량과 자율주행차량 간의 차이가 크지 않을 것으로 판단하였다. 주행 시나리오 선정을 위하여 고속도로의 구간 분류, 차량의 주행상황, 상대 차량의 위치 및 종류 등의 변수들을 고려하였다.

고속도로의 기하구조별은 도로용량편람(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2010)의 기하구조 구분을 참고하여 기본구간, 엇갈림구간, 연결로 및 연결로 접속부의 총 3개로 구분하였다. 자율주행자동차가 주행하는 상황을 정지, 서행, 주행의 세 가지 상황으로 구분하였으며, 상대 차량의 위치 및 종류 등을 고려하여 <Fig. 1>과 같은 방식으로 세분화하였다. 이러한 변수들을 종합하여 고속도로에서 발생할 수 있는 상황을 총 9단계 200여개의 시나리오로 도출하였다.

도출된 200여개의 시나리오를 구체화하고 현실에 맞게 반영하기 위하여 2014년 고속도로 교통사고 경위자료 분석와의 매칭을 실시하였다. 2014년에 고속도로에서 발생한 교통사고는 총 3,583건의 교통사고가 발생하였으나, 해당 교통사고에 대하여 상세한 원인 및 경과 등을 설명하고 있는 경위자료(traffic accident description)에 사고가 발생한 상황 및 위치 등에 대한 정보가 충분히 작성되지 않아 사용할 수 없는 자료를 제외한 2,370개의 사고 자료를 분석하여 매칭하였다. 매칭 결과 200여개의 시나리오를 43개의 시나리오로 압축하였다.

매칭된 43개의 시나리오는 매칭되지 않은 160여개의 시나리오에 비해 사고 발생확률이 상대적으로 높다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 사고 발생확률이 높은 시나리오를 우선적으로 고려하여 대표 시나리오로 삼는 것이 타당하다고 판단하였다.



〈Fig. 1〉 Examples of possible scenarios on expressway driving

3. 제어권 전환 특성 및 필수 고려 사항

제어권 전환은 자율주행 중 자율주행이 유지될 수 없거나, 사고의 위험이 높아지게 되어 운전자가 반드시 운전해야 하는 상황이 발생 시 시도하게 될 것이다. 이러한 상황은 외부환경의 변화와 사고 발생 위험으로 구분할 수 있다. 외부환경 변화는 고속도로에서 벗어나는 경우, 공사구간과 사고현장 등 기존의 차선을 유지할 수 없는 경우, 본선 영업소로 인해 차선의 구분이 명확하지 않은 경우 등의 상황이 예상된다.

제어권 전환이 반드시 필요한 상황과 반대로 제어권 전환이 일어나면 안되는 상황, 즉 제어권 전환이 일어나면 사고위험이 증가하는 상황이 있을 수 있다. 구배가 크거나 차량이 차선 변경 도중인 경우가 이와 같은 상황에 해당될 것으로 판단된다. 실제로 2015년 미국 캘리포니아 자동차관리국(Department of Motor

Vehicle, DMV)에 보고된 자율주행 해제 보고서에서 고속도로 연결로에서 자율주행 중 차량이 차선을 인식하지 못하여 자율주행이 해제된 사례가 보고되었다.

제어권 전환의 가장 큰 판단 기준은 안전이며, 따라서 운전자가 상황을 인지하고 판단하여 제어권 전환을 받을 수 있도록 충분한 시간이 주어질 수 있는 상황에서 이루어져야 한다. 차량은 주변 상황을 판단하여 제어권 전환이 이루어질 수 있는 시간이 충분한지 판단하고, 충분하지 않을 경우 자체적으로 위험을 회피할 수 있는 행동을 수행하여 할 것이다. 더불어 제어권 전환 후에도 안정적인 주행 환경이 유지될 수 있는 경우 실행하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

4. 제어권 전환 특성을 고려한 시나리오 선정

교통사고 경위 자료와 매칭된 43개의 고속도로 주행 시나리오 중에서 제어권 전환의 특성을 고려하여 제어권 전환 시나리오를 도출하였다.

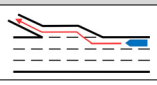
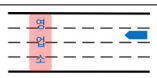
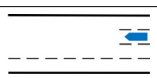
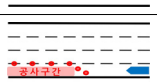
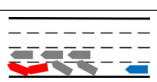
43개의 주행 시나리오 중 교통사고 경위자료가 엇갈림구간을 구체적으로 구분하기 힘든 한계가 존재하여 엇갈림구간은 시나리오에서 제외하였으며, 사고 위험이 높다고 판단되는 연결로 및 연결로 접속부 구간도 시나리오에서 제외하였다. 최종적으로 기본구간 시나리오 중 4개의 시나리오가 선정되었으며 <Table 1>과 같다.

〈Table 1〉 Expressway driving scenario considering take-over characteristics

Scenarios	Situations
1	Driving at constant speed in the main section
2	Slowly driving because forward vehicle stop in the main section
3	Slowly driving because exist obstacle ahead in the main section
4	Slowly driving because forward vehicle slowly driving in the main section

도출된 고속도로 주행 시나리오를 각 시나리오에 적합한 상황을 부여하여 구체화였다. 이를 통해 6개의 고속도로 제어권 시나리오를 도출하였으며 <Table 2>와 같다.

〈Table 2〉 Highway driving scenarios considering take-over characteristics

Scenarios	Diagrams	Situations
1		In driving main section entering the ramp to exit highway
2		In driving main section appearance of main line tollgate
3		In driving main section can‘t recognize lane because paving work
4		In driving main section can‘t maintain lane because construction section
5		In driving main section stop or slowly driving because accident
6		In driving main section autonomous vehicle function breaking

5. 시나리오 변수 선정

시나리오를 바탕으로 실험을 진행 시 고려해야 하는 많은 변수들이 존재할 것이다. 본 연구에서는 시나리오의 변수를 교통사고의 3대 요인과 동일한 운전자, 차량, 환경의 세 가지 요인으로 구분하였다. 제어권 전환에서 가장 크게 고려해야 할 부분은 운전자의 안전이며, 제어권 전환 자체의 목적이 안전한 운행을 위함이므로 사고를 회피하는 것이 최우선이 되어야 한다. 따라서 시나리오의 변수는 교통사고에 영향을 미칠 것으로 판단되는 요소와 함께 각 요인 별로 자율주행차량의 특성에 맞는 요소들을 추가하였다. 본 연구에서 선정된 시나리오는 고속도로 본선 구간만을 한정하여 선정하였지만, 변수의 선정은 향후 자율주행차량이 고속도로의 다른 구간과 도시부 도로 등 모든 도로 환경을 주행할 것을 고려하여 선정하였다.

운전자 요인의 변수는 크게 인구통계, 신체, 심리, 경험 등 네 가지로 구분하였으며 성별, 연령, 학력 등의 15개 변수로 구성하였다. 차량 요인의 변수는 크게 차량특성, 운전특성, 자율주행시스템의 세 가지 분류로 구분하였으며, 세부적으로 차량 종류, 운전제어권한 주체, 운전유형, 주행자동화 레벨 등의 10개의 변수로 구성하였다. 환경 요인의 변수는 크게 기하구조, 교통상황, 환경의 세 가지 분류로 구분하였으며, 세부적으로 고속도로 유형, 구배, 곡선반경, 혼잡율 등의 11개의 변수로 구성하였다.

〈Table 3〉 Scenario variables and definition for drivers

Types		Variables	Definitions	Ranges
Driver factor	Demogr-aphics	Sex	Driver's sex	Male, Female
		Age	Driver's age	Youth(under 29), Middle(30~65age), Old(over 65)
		Education	Driver's education level	Final education
	Physical	eyesight	Driver's eyesight	-
		Hearing ability	Driver's hearing ability	-
		Height	Calculating driver's height by seat position	Seat position(Front, Middle, Backward)
	Mentality	Awakening	Driver's distraction	Sleepiness scale
		Dispersion of attention	Driver's underload	None, Visual, Cognitive
		Anxiety	Driver's anxiety degree	Anxiety scale
		Driving propensity	Driver's driving propensity	Offensive, Normal, Defensive
		New technology preference	Driver's autonomous vehicle technology preference	5 point scale
		Autonomous vehicle Reliability	Reliability of autonomous vehicle system	5 point scale
	Experie-nce	Driving experience	Proficiency according to driving experience	Beginner(under 1 year), Normal(1~3 year), Expert(3 year over)
		professionalism	Job related to driving	Yes, No
		ADAS experience	ADAS experience	Yes, No

〈Table 4〉 Scenario variables and definition for vehicles

Types		Variables	Definitions	Ranges
Vehicle factor	Vehicle characte-ristics	Type of vehicle	Vehicle type according to purpose	Car, SUV etc
		Condition of vehicle	Condition of vehicle	Normal, Failure
		Driving direction	Driving direction of vehicle	Front side, Left side, Right side
		Driving speed	Driving speed of vehicle	Stop, Low, Middle, High
	Driving characte-ristic	Driving control authority	Driving control authority	Driver, Autonomous vehicle system
		Driving operation	Operation required for vehicle driving	Longitudinal and Lateral control, Driving situation monitoring, Emergency situation reaction
	Autono-mous vehicle system	Autonomous system level	Classification autonomous system level by SAE standard	Level 1, 2, 3, 4, 5
		Autonomous system condition	Classification autonomous system condition	Normal, failure, Performance limit
		Autonomous system function	Classification autonomous system function	Recognition module, Estimation module, Control module
		Take-over notice method	When autonomous system informs the driver, notice method	Auditory, Touch, Sight, multimodal

〈Table 5〉 Scenario variables and definition for environment

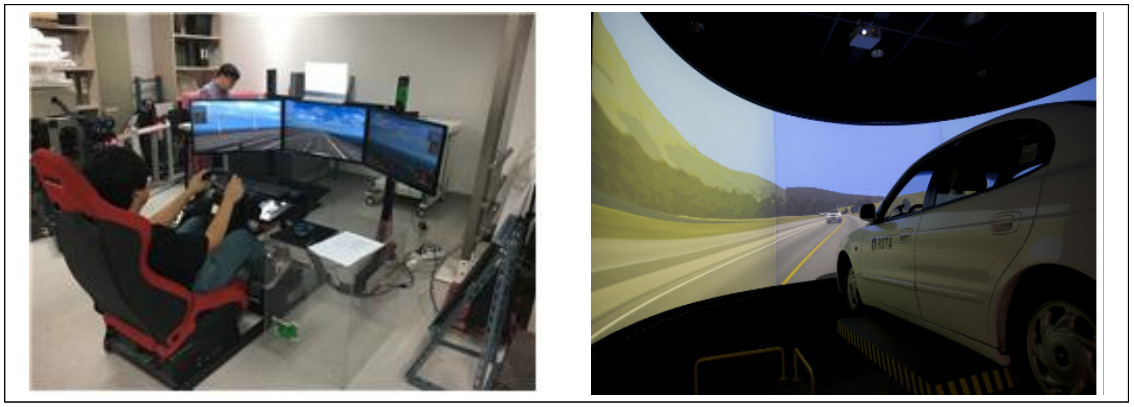
Types		Variables	Definitions	Ranges
Environ ment factor	Geometric condition	Highway section	Highway section of experiment	Basic section, weaving section, Ramp
		Number of lanes	Number of one-way lanes	1, 2, 3, 4, 5 ~
		Gradient	Maximum gradient	-
		Curve radius	Minimum curve radius	-
	Traffic condition	Degree of congestion	Indicate surrounded vehicles by LOS	LOS A ~ F
		Free flow speed	Autonomous vehicle's free flow speed	-
		Autonomous vehicle rate	autonomous vehicle rate on experiment road	0 ~ 100%
		C-ITS	V2I communication by C-ITS	○ / ×
		Distance between obstacles	Distance when driver recognizes obstacles	
	Environment condition	Weather	Weather of experiment road	Sunshine, Cloudy, Rainfall, Snowfall
		Day and night division	Day and night division experiment time	Day, Night

6. 고속도로 대표 시나리오 기반 제어권 전환 안전성 평가 방법

향후 제어권 전환을 위해 주어져야 할 시간 및 기타 요소들의 기준이 정해지면 상용화 될 자율주행차량들은 탑재된 시스템이 기준을 만족시킬 수 있음을 실험으로 증명해야 할 것이다. 실험을 통해서 운전자의 안전을 위한 제어권 전환과 관련된 모든 상황을 고려할 필요가 있다. 이와 같은 실험을 위해 고려해야 할 모든 변수는 본 시나리오의 운전자요인, 차량요인, 환경요인의 변수들 간의 조합을 통해 충분히 고려가 가능할 것

으로 판단된다. 따라서 제어권 전환 안전성 평가를 위해서는 6개의 시나리오에 대해 각각 변수들의 조합과 범위를 달리하여서 실험을 진행하고, 실험을 통해 측정된 제어권 전환의 시간 및 기타 요소들이 기준에 적합한지 판단하게 될 것이다.

실험은 크게 실차를 이용한 실험과 VR을 이용한 시뮬레이션 실험으로 나눌 수 있다. 모든 실험 시 실차를 이용하는 것이 이상적이지만, 제어권 전환 실험은 운전자의 안전에 위협이 될 수 있는 상황이 다수 존재하기 때문에 제약을 받는다. 또한 자율주행시스템의 구현과 그에 따른 비용이 많이 소요되기 때문에 이와 같은 문제점을 보완할 수 있는 VR을 이용한 시뮬레이션 실험이 선호되고 있다.



〈Fig. 2〉 Take-over experiment using a VR driving simulator

Ⅳ. 결론 및 향후 연구과제

1. 결 론

본 연구에서는 자율주행자동차의 제어권 전환에 대한 안전성 평가 시 자율주행자동차에 적합한 평가를 위해 고속도로 제어권 전환 시나리오 개발을 목적으로 하였다. 이를 위해 연구의 범위와 내용을 설정하고, 관련 이론과 기존 연구에 대한 고찰을 하였다. 고속도로의 구간 분류와 주행 중 발생할 수 있는 모든 상황을 고려하고 이를 조합하여 200여개의 주행 시나리오로 구분하였다. 도출된 주행 시나리오 중 유의미한 시나리오 선정을 위해 2014년 고속도로에서 발생한 교통사고의 경위자료를 분석하고 이를 주행시나리오와 매칭하여 43개의 시나리오로 압축하였다. 운전자의 안전을 위해 반드시 고려해야 할 제어권 전환의 특성을 반영하여 4개의 주행 시나리오를 선정하였으며, 선정된 주행 시나리오를 구체화하여 6개의 제어권 전환 고속도로 시나리오를 도출하였다. 시나리오와 더불어 실험 시 고려해야 할 사항들을 크게 차량요인, 자동차요인, 환경요인으로 구분하여 변수를 선정하였다. 선정된 변수는 차량요인 변수 15개, 자동차요인 변수 10개, 환경요인 변수 11개 등 총 36개가 선정되었으며, 각 변수의 정의와 범위를 제시하였다.

본 연구에서 제시한 고속도로 제어권 전환 시나리오와 변수는 향후 상용화 될 자율주행차량들의 안전성 평가를 위한 실험 시 체계적인 실험을 위한 기준을 제시하는데 의의가 있다. 제어권 전환의 안전성 뿐만 아니라 제어권 전환에 필요한 시간 측정 실험 등 제어권 전환과 관련된 모든 실험에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 향후 연구과제

현재 만들어진 시나리오는 단발성 이벤트를 기반으로 한 시나리오이기 때문에 실제 실험에 적용하기 위해서는 시나리오들을 종합하여 통합 시나리오를 만들 필요성이 있다. 단일 시나리오로 실험을 할 경우 실험의 연속성이 단절되고 효율성이 낮아지기 때문에 실험의 목적에 적합한 시나리오를 선정하여 통합 시나리오를 구성할 필요가 있다.

실험 시 변수 설정 및 각 변수에 대한 고찰이 필요하다. 현재 선정된 변수는 총 36개로 규모와 범위가 다양하기 때문에 실험의 목적에 맞게 변수를 설정하는 연구가 필요하다. 더불어 각 변수들에 대한 고찰을 통해 기본값 혹은 권장되는 기준값을 제시할 필요가 있다고 판단된다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 국토교통부 교통물류연구사업의 연구비지원(과제번호 17TLRP-B131486-01)에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

Choi(2017), A Study on Design Guidelines for Switching Driving Control of Autonomous Vehicles – Autonomous Driving Level 3, Ajou University.

Christian G., Moritz K., Christoph H., David L. and Klaus B.(2015), 6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics and the Affiliated Conferences, pp.3025-3032.

CNN(2012), Fianl Air France crash report says pilots failed to react swiftly.

Gold C., Körber M., Hohenberger C., Lechner D. and Bengler K.(2015), "Trust in Automation – Before and After the Experience of Take-over Scenarios in a Highly Automated Vehicle," *Procedia Manufacturing*, vol. 3, pp.3025-3032.

Korea Transportation Safety Authority(2016), Measures against Road Traffic Safety Projects prepared for Autonomous Vehicle Era.

Lutz L., Philipp K. and Josef S.(2014), "Designing Take Over Scenarios for Automated Driving : How Does Aumented Reality Support the Driver to Get Back Into the Loop?," *Proceedings of t he Human Factors and Ergonomics Society 58th Annual Meeting*, pp.1681-1685.

Min K., Her R., Kim K., Choi M. and Lee S.(2017), "A Proposal of Customized Notification System based on Scenarios to Cede Control on Autonomous Driving," *Proceedings of OF HCI Korea*, pp.1156-1160.

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(2013), Highway Capacity Manual.

Navigant Research(2013), "Autonomous Vehicles(Self-Driving Vehicles, Autonomous Parking, and Other Advanced Driver Assistance Systems : Global Market Analysis and Forecasts," Published 3Q in 2013.

SAE(2016), Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles.

Zeeb K., Buchner A. and Schrauf M.(2015), "What determines the take-over time? An integrated model approach of driver take-over after automated driving," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 78, pp.121-221.