

# 도로·교통 조건 및 기상 상황이 부분 자율주행자동차의 제어권전환에 미치는 영향 분석

## Analysis of the Influence of Road·Traffic Conditions and Weather on the Take-over of a Conditional Autonomous Vehicle

박 성 호\* · 윤 용 원\*\* · 고 한 검\*\*\* · 정 하 림\*\*\*\* · 윤 일 수\*\*\*\*\*

\* 주저자 : 아주대학교 교통공학과 박사과정  
 \*\* 공저자 : 한국교통안전공단 자동차안전연구원 자율주행실 책임연구원  
 \*\*\* 공저자 : 한국교통안전공단 자동차안전연구원 자율주행실 차장  
 \*\*\*\* 공저자 : 아주대학교 교통공학과 박사과정  
 \*\*\*\*\* 교신저자 : 아주대학교 교통시스템공학과 교수

Sungho Park\* · YongWon Yun\*\* · Hangeom Ko\*\* · Harim Jeong\*\*\* · Ilsoo Yun\*\*\*\*

\* Dept. of Transportation Eng., Ajou University  
 \*\* Korea Automobile Testing & Research Institute, Korea Transportation Safety Authority  
 \*\*\* Korea Automobile Testing & Research Institute, Korea Transportation Safety Authority  
 \*\*\*\* Dept. of Transportation Eng., Ajou University  
 † Corresponding author : Ilsoo Yun, ilsooyun@ajou.ac.kr

Vol.19 No.6(2020)

December, 2020

pp.235~249

pISSN 1738-0774

eISSN 2384-1729

<https://doi.org/10.12815/kits.2020.19.6.235>

2020.19.6.235

Received 21 October 2020

Revised 14 November 2020

Accepted 30 November 2020

© 2020. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

### 요 약

국토교통부는 2019년 12월에 세계 최초로 레벨 3 자율주행 차량에 대한 안전기준을 제정하였으며, 제어권전환을 포함한 부분 자율주행시스템의 안전과 관련된 기준들을 명시하였다. 하지만, 제정된 “부분 자율주행시스템의 안전기준”에서는 구체적인 운전 환경 등이 명시되어 있지 않다. 따라서, 자율주행자동차의 안전한 주행을 위해서는 실제로 자율주행자동차가 주행하게 될 다양한 운전 환경이 제어권전환에 미치는 영향을 분석할 필요가 있다. 본 연구에서는 주행 시뮬레이터를 이용하여 교통상황(서비스수준 D, E, F)과 기하구조(직선 및 곡선부) 및 기상 상황(주야 및 강우)이 제어권전환 시간과 안정화시간에 어떠한 영향을 미치는 지 알아보았다. 실험 절차는 사전교육, 연습주행, 시험주행의 순서로 진행되었으며 시험주행은 교통량 및 기하구조 실험과 기상 상황 실험으로 나누어서 진행되었다. 실험 결과, 교통상황과 기상 상황은 제어권전환 시간 및 제어권전환 안정화시간에 통계적으로 유의한 영향을 미치지 않았으며, 곡선반경만이 제어권전환 안정화시간에 통계적으로 유의한 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

핵심어 : 자율주행자동차, 제어권전환, 주행 시뮬레이터, 서비스수준, 기상 상황

### ABSTRACT

The Ministry of Land, Infrastructure and Transport established safety standards for Level 3 autonomous vehicles for the first time in the world in December 2019, and specified the safety standards for conditional autonomous driving systems. Accordingly, it is necessary to analyze the influence of various driving environments on take-over. In this study, using a driving simulator, we investigated how traffic conditions and weather conditions affect take-over time and stabilization time. The experimental procedure was conducted in the order of preliminary training, practice driving, and test driving, and the test driving was conducted by dividing into a traffic density and geometry

experiment and a weather environment experiment. As a result of the experiment, it was analyzed that the traffic volume and weather environment did not affect the take-over time and take-over stabilization time, and only the curve radius affects take-over stabilization time.

Key words : Autonomous Vehicle, Take-over, Virtual Driving Simulator, Level of Service, Weather

## I. 서 론

### 1. 연구의 배경 및 목적

2016년 2월 자율주행차(autonomous vehicle) 임시운행 허가 제도가 시행된 이후 현재까지 약 120여대의 자율주행차가 임시운행 허가를 받고 국내에서 운행 중이다. 또한, 국토교통부는 2019년 12월에 「자동차 및 자동차부품의 성능과 기준에 관한 규칙」을 개정하여 세계 최초로 레벨 3 자율주행 차량에 대한 안전기준을 제정하였으며, 2020년 7월부터 레벨 3 자율주행 차량의 출시 및 판매가 가능해졌다. 미국에서도 2020년 2월을 기준으로 캘리포니아, 미시건, 뉴욕, 플로리다 등 41개 주에서 자율주행차 관련법이 제정되었으며, 각 주마다 상이하게 적용할 수 있는 점을 쉽게 찾아보고자 데이터베이스를 구축하여 대중에 공개하였다(The Korea Transport Institute, 2020).

제어권전환(Take-over)이란 5단계인 완전자율주행을 제외한 3, 4단계에서 필요에 따라 자율주행자동차 시스템과 운전자 사이의 운전 주체가 변경되는 행위를 말한다. 여기서 필요한 때란 자율주행자동차 시스템의 운영설계범위(operational design domain, ODD)를 넘어설 때, 자율주행자동차 시스템이 여러 가지 이유로 더 이상 스스로 운행할 수 없다고 판단할 때, 또는 운전자가 스스로 운전하고자 할 때 등이다(Park et al., 2019).

「자동차 및 자동차부품의 성능과 기준에 관한 규칙」의 111조의3(부분 자율주행시스템의 안전기준)에서는 부분 자율주행시스템의 안전기준을 명시하고 있으며, 이 중 제어권전환(운전전환요구)에 대한 항목이 명시되어 있다. 하지만, 제정된 “부분 자율주행시스템의 안전기준”에서는 구체적인 운전 환경 등이 명시되어 있지 않다. 그러므로 보다 안전한 주행을 위하여 다양한 운전 환경이 제어권전환에 미치는 영향에 대한 연구가 반드시 필요하다.

제어권전환에 영향을 미치는 요인은 상황 변수(situation variables)와 운전자 변수(driver variables)로 나누어 생각할 수 있으며, 상황 변수는 자율주행시스템 설계 변수, 운전 환경 변수, 실험 통제 변수로 구분하여 생각할 수 있다(Park and Son, 2019). 본 연구에서는 주변 교통량, 기하구조, 기상 상황 등 운전 환경 변수의 변화가 제어권전환에 미치는 영향을 분석하여 안전한 제어권전환을 도모하고자 한다. 구체적으로는 운전 환경 변수가 제어권전환에 걸리는 시간과 제어권전환의 질에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

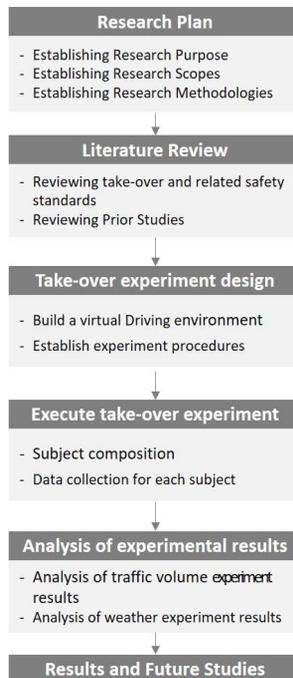
운전 환경 변수 중에서 교통상황을 대변하는 서비스수준(level of service, LOS)과 기하구조, 주야 및 강우를 포함하는 기상상황을 대상으로 분석을 실시하였다. 교통상황과 기하구조 및 기상상황은 운전 환경을 대표하는 변수라고 할 수 있으며, 상황에 따라 다양한 변화가 일어날 수 있다. 따라서 이러한 변화가 제어권전환에 어떠한 영향을 미치는 지 규명할 필요성이 있다. 본 연구에서는 자율주행차가 교통량이 많거나 용량 상황에서 운전자들이 제어권전환을 요구받을 시에 어떠한 변화가 있는지 주행 시뮬레이터(driving simulator)를 통해 실험을 실시하였다. 또한 주야의 변화와 날씨의 변화(강우)가 제어권전환에 미치는 영향을 알아보기 위한 실험도 같이 진행하였다.

### 2. 연구의 범위 및 절차

본 연구의 공간적 범위는 주행 시뮬레이터를 이용하여 우리나라의 고속도로 환경을 구현하고 피실험자가 주행하게 하였다. 연구를 위해 총 52명의 피실험자를 모집하고 실험을 수행하였으며, 피실험자 1명 당 9건의

실험데이터를 수집하였다. 특히, 혼잡한 교통상황을 구현하기 위하여 LOS D, E, F에 해당하는 교통량을 적용하였으며, 기하구조는 직선과 곡선부를 구현하였다. 기상이 제어권전환에 미치는 영향을 분석하기 위해 주간 및 야간, 맑음과 강우의 상황을 구현하였다.

연구의 절차는 연구계획, 관련 연구 고찰, 실험 설계, 실험 실시, 결과 분석의 순으로 진행되었다. 연구 계획 단계에서는 연구의 목적 및 범위를 설정하였다. 관련 연구 고찰 단계에서는 기존에 수행된 제어권전환과 관련된 연구를 고찰하였다. 많은 연구들 중에서 교통량과 기상 상황을 변수로 적용하여 제어권전환 실험을 실시한 연구를 고찰하였다. 실험 설계 단계에서는 제어권전환 실험을 위해 필요한 환경을 구축하였다. 실험 조건에 부합하는 적절한 가상환경을 구현하기 위하여 고속도로 기하구조 조사, LOS 단계 별 교통량 설정, 평균 강수량 조사, 고속도로 야간 조명 기준 등에 대하여 조사를 실시하였다. 실험 실시 단계에서는 구축된 가상환경에서 52명의 피실험자들과 함께 실험을 진행하여 데이터를 취득하였다. 결과 분석 단계에서는 취득한 데이터를 토대로 교통량, 기하구조, 기상 상황이 제어권전환 시간에 미치는 영향을 분석하였다. 전체적인 연구의 절차는 <Fig. 1>과 같다.



<Fig. 1> Research process

## II. 관련 이론 및 연구 고찰

### 1. 제어권전환 안전기준

「자동차 및 자동차부품의 성능과 기준에 관한 규칙」에서는 제어권전환은 부분 자율주행시스템이 운전자에게 운전조작을 요구하는 것이라고 정의하고 있다. 작동상태에 있는 부분 자율주행시스템은 ODD에 대응할

수 없는 경우에 운전자에게 운전전환 요구를 시행하며, 대응할 수 있는 충분한 시간을 제공할 것을 명시하고 있다. 이와 같이 제어권전환이 예상되는 경우 해당 상황이 발생하기 15초 이전에 시작할 것을 명시하였다. 또한 예상되지 않는 상황과 부분 자율주행시스템에 고장이 발생한 경우에는 즉시 제어권전환을 시작할 것으로 명시하였다. 제어권전환의 경고는 시각·청각, 시각·촉각, 시각·청각·촉각 중 선택하여 사용해야 하며, 제어권전환 요청 후 4초 이내에 경고신호를 증가하기 시작할 것을 명시하였다.

## 2. 관련 연구 고찰

최근의 제어권전환과 관련된 연구는 운전 외 과업(non-related driving task, NDRT), 알림의 종류 및 조합 등 다양한 독립변수에 대하여 연구가 수행되었다. 본 연구에서는 교통량 및 기하구조, 기상 상황을 독립변수로 시행한 연구에 대하여 고찰을 실시하였다.

Du et al.(2020)은 운전자의 인지 부하와 밀도가 제어권전환에 어떠한 영향을 미치는 지에 대하여 연구하였다. 주행 시뮬레이터를 이용하여 80명의 피실험자들에 대하여 각 8번씩 실험을 진행하였다. 인지 부하는 NDRT의 난이도를 각각 1과 2로 적용하여 다르게 설정하였으며, 밀도는 0veh/km/lane과 15veh/km/lane로 적용하여 실험을 진행하였다. 분석 결과 인지 부하와 밀도에 따른 제어권전환 시간은 차이가 없었으며 조건 별로 2.2초~2.3초의 평균 제어권전환 시간이 도출되었다.

Gold et al.(2016)의 연구에서는 밀도가 제어권전환에 미치는 영향을 알아보려고 하였다. 주행 시뮬레이터를 이용하여 총 72명의 피실험자들을 대상으로 고속도로 편도 3차선을 구현하여 실험을 실시하였다. 밀도는 각각 0veh/km, 10veh/km, 20veh/km을 적용하여 실험을 진행하였다. 각 밀도 별로 NDRT 시행시와 미시행시에 대하여 분석을 실시하였다. 분석 결과 밀도별 제어권전환 시간은 0veh/km 시 약 2.5초, 10veh/km 시 약 3.4초, 20veh/km 시 약 3.5초인 것으로 도출되었다. ANOVA 분석 결과 0veh/km시의 제어권전환 시간이 다른 두 상황과 차이가 있는 것으로 나타났다.

Park et al.(2019)의 연구에서는 교통량과 곡선반경이 제어권전환에 미치는 영향을 연구하였다. 50명을 대상으로 주행 시뮬레이터를 활용하였으며 제어권전환 소요시간 및 안정화시간을 종속변수로 하였다. 독립변수는 교통량을 LOS A, C, E를 적용하였으며, 곡선반경은 직선, 1500m, 720m를 적용하여 실험을 실시하였다. 분석 결과 교통량과 곡선반경에 따른 제어권전환 소요시간은 차이가 없었으며, 직선보다 곡선부에서 제어권전환 안정화시간이 약 2초 정도 증가하는 것으로 나타났다.

Li et al.(2018)는 나이와 날씨가 제어권전환에 어떠한 영향을 미치는 지에 대한 연구를 실시하였다. 제어권전환 실험을 위하여 주행 시뮬레이터를 이용하였으며 총 76명의 피실험자에 대해서 실시하였다. 피실험자는 비노년층(60대 이하) 37명, 노년층(60대) 39명으로 구성하였다. 날씨는 맑음, 비, 눈, 안개 등 4가지 시나리오로 구성하였다. 실험결과 모든 날씨 상황에서 노년층에서 제어권전환 시간이 더 소요되는 것으로 나타났다. 날씨별로는 맑은 날씨에서는 노년층과 비노년층의 제어권전환 시간 차이가 1.37초로 크게 나타났으며, 비(0.98초), 눈(0.4초), 안개(0.12초) 순으로 점차 차이가 줄어들었다.

Lee(2020)은 조건부 자율주행 시 운전자의 제어권 전환 성능과 눈 움직임을 조사하여 환경이 운전자에게 어떠한 영향을 미치는 지 알아보려고 하였다. 다양한 환경(낮, 비, 눈, 안개, 밤 등)에서 제어권전환 시간, 비운전 관련 업무 성능, 정신적 작업 부하도, 눈 움직임 등을 측정하였다. 총 16명의 피실험자에게 각 환경 별로 4번씩, 피실험자 별로 20번의 실험을 진행하였다. 환경 별 제어권전환 시간에 대한 분석 결과, 각 환경별 제어권전환 시간은 낮은 2.88초, 비는 2.96초, 눈은 3.10초, 안개는 3.17초, 밤은 3.30초로 분석되었다. ANOVA를 이용한 환경 별 분석 결과 낮과 밤, 비와 밤 환경에서 유의미한 차이가 나타났다.

### 3. 기존 연구의 시사점 및 차별성 도출

교통량과 관련된 기존의 연구들을 살펴보면 제어권전환에 대한 교통량의 영향이 일관되지 않게 도출된 것을 알 수 있다. Du et al.(2020)과 Park et al.(2019)의 연구에서는 교통량의 영향이 없다고 도출된 반면 Gold et al.(2016)의 연구에서는 차이가 있는 것으로 분석되었다. 이와 더불어 교통량을 변수로 시행된 연구들 모두 용량상태에 대한 실험이 이루어지지 않았다. 본 연구에서는 기존 연구와의 차별성을 위하여 교통량이 많은 상황과 용량 상태인 LOS D, E, F를 구현하여 실험을 진행하였다.

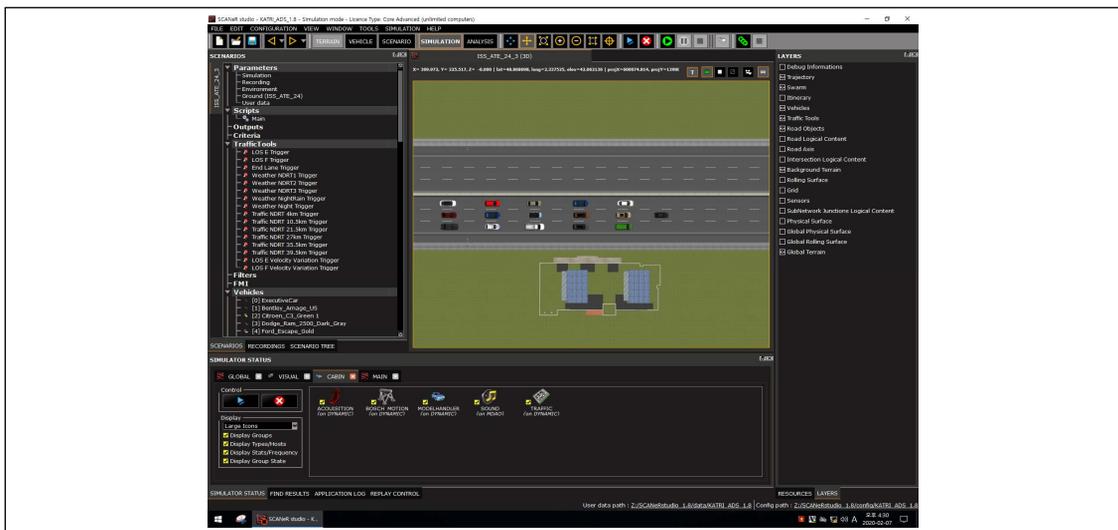
기상 상황과 관련된 기존 연구에서는 비, 눈, 안개 등의 상황에 대하여 실험을 진행하였다. 본 연구에서는 상대적으로 출현 빈도가 낮고 주행 시뮬레이터를 이용한 구현이 어려운 눈, 안개 상황을 제외하고 야간 및 비의 상황에 대하여 실험을 실시하였다. 또한 기존 연구에서 시행되지 않은 야간 강우 상황을 구현하여 실험을 실시하였다.

## III. 제어권전환 실험 설계

### 1. 가상환경 구축

제어권전환 상황을 구축하기 위하여 주행 시뮬레이터를 활용하였으며, 이를 위해 <Fig. 2>와 같이 주행 시뮬레이션 프로그램인 SCANeR을 활용하였다. 실제 고속도로와 유사한 환경을 구성하기 위하여 경부고속도로 상행선 중 안성 JC~오산 IC를 구간의 기하구조를 조사하여 차로폭, 중앙분리대 형태 등을 참조하였다. 해당 구간의 길이는 13.2km이며 버스전용차로가 포함된 편도 4차선이다. 해당 구간의 2018년 연평균일일 교통량은 75,786대/일인 것으로 파악되었다.

이와 같은 데이터를 참조하여 왕복 6차선과 갓길을 구현하였으며, 실제 실험에서는 편도 차로만으로 실험을 실시하였다.



<Fig. 2> Building a virtual driving environment for highways using SCANeR

본 연구에서 독립변수로는 교통량과 도로의 기하구조 중 곡선반경, 기상 상황으로 설정하였다. 교통량은 혼잡한 상황을 설정하기 위하여 LOS를 척도로 LOS D, E, F에 해당하는 교통량으로 설정하였다. LOS D, E, F에 해당하는 교통량은 도로용량편람(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2013)에서 명시하는 고속도로 본선의 효과적도인 밀도를 적용하여 각각 16pcpkmpl, 26pcpkmpl, 34pcpkmpl을 적용하였으며, 차량의 구성은 모두 승용차로 한정하여 구성하였다.

기하구조 중 곡선부를 변수로 설정하여 구현하였으며, 편경사 6%가 포함된 반경 600m의 곡선을 구현하였다. 해당 수치는 경부고속도로의 제한속도에 따른 도로의 구조시설 기준에 규칙 해설(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2013)에서 제시하는 최소 평면곡선 반지름을 기준으로 적용하였다.

기상 상황 중 강수와 야간 환경 설정을 위해 강수량과 고속도로 조명기준에 대하여 조사를 실시하였다. 기상청 강우 데이터를 수집하여 안성JC~오산IC 구간의 2018년도 강수량을 조사한 결과 강우시 평균 강수량은 2.2mm/h였으며 표준편차는 3.9mm/h인 것으로 분석되었다. 하지만 본 연구에서 사용한 SCANNER에서는 해당 수치를 직접적으로 구현하는 기능이 부재하여, 운전자가 비가 오는 것을 인지할 수 있고 정상적인 운전에 영향을 미치지 않는 수준으로 구현하였다. 야간 환경을 구현하기 위하여 도로조명기준(Ministry of Trade, Industry and Energy, 2007)에서 제시하고 있는 고속도로의 평균노면조도 기준인 14lx를 참조하여 구현하였다.



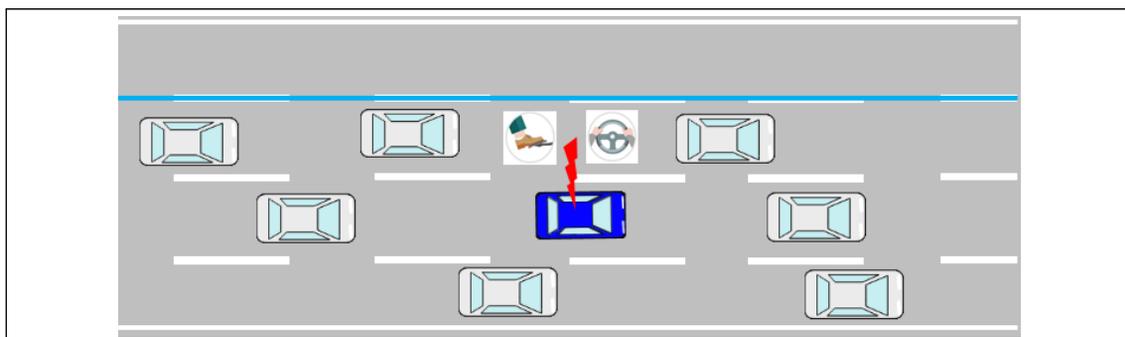
<Fig. 3> Rainfall and night driving screen implemented by driving simulator

각 LOS 별 주행속도를 설정하기 위하여 고속도로 환경 구현 시 참조한 경부고속도로 안성 JC~오산 IC 상행선 구간의 속도를 분석하였다. 2018년 해당 구간의 평균 속도와 교통량 1시간 단위로 수집하여 LOS D, E, F에 해당하는 교통량과 그 때 당시의 속도를 분석하였다. 분석 결과 LOS D에서는 80km/h, LOS E에서는 70km/h, LOS F에서는 40km/h를 적용하여 구현하였다. 이와 더불어 경부고속도로에서 시행되고 있는 지정차로제를 반영하기 위하여, LOS D, E에서는 1차선은 기준 속도 +10km/h, 3차선은 기준속도 - 10km/h를 적용하였다. LOS F에서는 각각 +5km/h, -5km/h를 적용하여 구현하였다. 또한 강우 시에는 고속도로 주행속도가 낮아지는 기존의 연구가 있는 것으로 파악되었다. 강우와 고속도로의 주행속도에 관한 기존 연구 중 Kim(2008)과 Maeng(2005)의 연구에서 강우 시 주행속도 변화량 산정을 수행하였지만, 기존 연구의 속도 변화량이 일괄적이지 않아 적용하기 어려울 것으로 판단되었다. 본 연구에서는 안성 JC~오산 IC 구간의 2018년 1시간 단위 속도 데이터를 취득하여 강우 시와 비강우 시로 구분하여 t-test를 수행하였다. 분석결과 <Table 1>과 같이 강우와 비강우 시의 주행속도가 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났으며, 강우 시 주행속도가 약 10km/h 작게 나타나 이를 실험에 반영하였다.

<Table 1> T-test results of speed during non-rainfall and rainfall

Whether	N	Average	Standard Deviation	p-value
Non-rainfall	7971	79.7km/h	11.1km/h	0.000
Rainfall	568	89.4km/h	11.7km/h	

본 연구에서의 제어권전환 상황은 <Fig. 4>와 같이 고속도로 본선에서 자율주행으로 주행 중 자율주행 기능의 고장으로 인해 제어권전환 요청이 발생하는 상황으로 설정하였다. 피실험자가 자율주행으로 운행하는 차량에서 NDRT를 수행하며 임의의 시간이 지난 후, NDRT가 중단되고 제어권전환에 대한 알림이 전달되면 운전자가 제어권을 이양받고 수동으로 주행하도록 설계하였다.



<Fig. 4> Take-over request situation

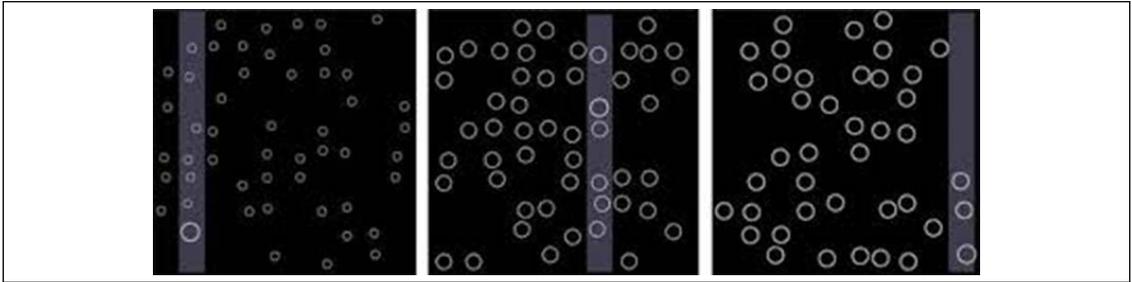
제어권전환 알림 시 알림 방법은 청각과 시각을 동시에 사용하였다. 자율주행으로 운행 중 임의의 시점에서 70db의 경고음과 계기판에 위치한 별도의 시각장치에서 경고화면이 나타나도록 하였다. 시각장치에서는 <Fig. 5>와 같이 제어권전환 알림 이외에도 현재의 주행 상태를 표시하도록 하였다.



<Fig. 5> Take-over request warning and driving situation screen

본 연구에서는 자율주행 중 실험자에게 NDRT를 실시하도록 하였다. 레벨 2, 3단계에서는 자율주행 상태에서도 전방을 주시해야하지만, 실제로는 그렇지 않을 가능성이 존재하기 때문에 이와 같은 상황을 실험에 반영할 필요가 있다. NDRT를 지정하지 않으면 운전자마다 다른 행위를 하게 될 수 있는데 이는 제어권전환 시간에 영향을 줄 수 있다는 기존의 연구가 있다. 따라서 이러한 영향을 최소화할 수 있는 NDRT를 선택하여 실험에 반영하였다. NDRT는 SuRT(surrogate reference task)를 설정하였으며, SuRT는 화면에 표시된 여러

개의 원 중 크기가 다른 원이 존재하는 영역을 체크하는 것으로, 일정 간격으로 새로운 화면을 표출하여 운전자의 주의를 지속적으로 환기시키도록 하였다.



<Fig. 6> Example of SuRT

## 2. 실험 절차

실험 절차는 사전교육, 연습주행, 시험주행의 순서로 진행하였다. 사전교육은 피실험자가 실험에 참가하기 앞서 정상적인 실험이 가능한 상태인지 확인하고, 전체적인 실험의 절차에 대해서 설명을 실시하였다. 이와 더불어 제어권전환에 대한 설명과 제어권전환 요구시에 발생하는 청각 알림음, 시각 화면 등을 미리 보여주고 익숙해지도록 교육을 실시하였다.



Source: Korea Transportation Safety Authority's homepage

<Fig. 7> Driving simulator

연습주행과 시험주행은 주행 시뮬레이터를 이용하여 진행되었다. 주행 시뮬레이터는 실제 도로주행 실험이 불가능하거나 어려운 도로교통 환경을 가상환경에 구현하여, 실험자가 원하는 실험환경에서 모의로 주행할 수 있는 시스템이다. 주행 시뮬레이터는 실제 도로주행 실험보다 저렴한 비용으로 실험이 가능하며, 피실

험자들이 교통사고 등의 잠재적 위험을 배제할 수 있는 등의 장점을 가지고 있다.

연습주행은 시험주행에 앞서 시험주행과 유사한 상황에서 피실험자가 주행하는 과정으로 본 연구에서는 약 10분 가량이 소요되었다. 연습주행의 목적은 피실험자가 주행 시뮬레이터에 익숙해지는 시간을 제공함과 더불어 사전교육에서 전달받은 사항을 잘 기억하고 수행하는 지에 대한 확인이다. 더불어 자율주행 모드의 동작에 대한 연습, 제어권전환 상황에 대한 연습 등 실제 시험주행에서 발생하는 상황을 연습하는데 목적이 있다. 피실험자들의 대부분은 주행 시뮬레이터와 자율주행에 대한 경험이 없기 때문에 이와 같은 연습주행 과정이 반드시 필요하며, 연습주행이 충분하지 않을 경우 실험주행에서 수집된 데이터에 대한 신뢰성이 하락할 수 있다.

시험주행은 교통량 실험과 기상 상황 실험으로 나누어서 진행되었다. 교통량 실험은 기상 상황 등 다른 조건과 변수들이 동일한 환경에서 교통량과 기하구조의 변화에 따른 제어권전환 시간을 측정하였다. 교통량의 변화는 LOS D에서 시작하여 교통량이 자연스럽게 증가하여 LOS E와 LOS F로 변화하도록 설계하였다. 각 LOS 별로 직진과 곡선부에서 한 번씩 제어권전환 실험을 진행하여 교통량 실험에서는 총 6번의 실험을 실시하였다. 기상 상황 실험에서는 교통량, 기하구조 등의 조건이 동일한 환경에서 기상 상황의 변화에 따른 제어권전환 시간을 측정하였다. 기상 상황의 변화는 강우에서 시작하여 야간 강우, 야간의 순서로 변화하도록 설계하였다. 기상 상황 실험에서 맑음의 실험을 생략한 것은 교통량 실험에서 해당 데이터를 수집할 수 있기 때문이다. 교통량 실험은 실험 당 약 6분이 소요되어 36분, 기상 상황 실험은 실험 당 약 10분이 소요되어 30분으로, 실험자의 주행상황에 따라 약 65분~70분 동안 시험주행이 실시되었다.

<Table 2> Configuration of practice driving and test driving

No.	Experiment No.	Experiment content	Density	Curve	Whether	Experiment time
1	Experiment #0	Practice driving	LOS D	Straight and 600m	Sunny	10min
2	Experiment #1	Changes in traffic density and geometry	LOS D	Straight	Sunny	6min
3				600m	Sunny	6min
4			LOS E	Straight	Sunny	6min
5				600m	Sunny	6min
6			LOS F	Straight	Sunny	6min
7				600m	Sunny	6min
8	Experiment #2	Changes in Whether	LOS D	Straight	night	10min
9				Straight	night and rain	10min
10				Straight	rain	10min

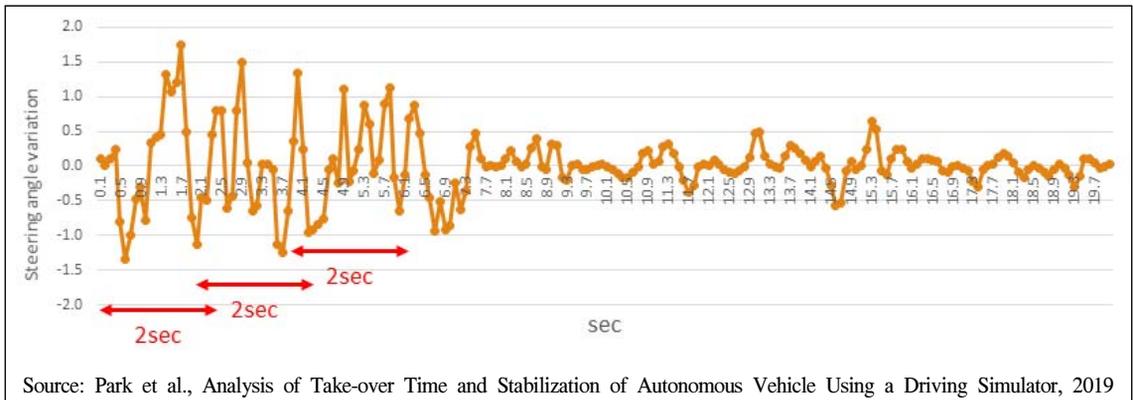
## IV. 제어권전환 실험 실시

### 1. 피실험자 구성

본 연구에 참가하는 피실험자는 일상적으로 운전을 하는 20대~60대를 대상으로 총 52명이다. 52명 중 남자가 33명, 여자는 19명으로 구성하였다. 평균 나이는 43.9세이며, 연령 대 별로는 20대가 5명, 30대가 11명, 40대가 23명, 50대가 7명, 60대가 6명으로 구성하였다. 운전경력은 평균 16.4년으로, 10년 미만이 13명, 10년 이상 20년 미만이 17명, 20년 이상 30년 미만이 18명, 30년 이상 경력자가 4명으로 구성하였다.

## 2. 자료 수집 내용

주행 시뮬레이터를 통해 각 피실험자로부터 차량속도, 가속도, 스티어링 휠 각도, 가속 페달 압력, 브레이크 페달 압력, 차량의 주행 상태(수동운전, 자동운전, 제어권전환 알림) 등의 데이터를 0.1초 단위로 수집하였다. 교통량과 기상 상황 등의 변화가 제어권전환에 미치는 영향을 분석하기 위하여 본 연구에서는 제어권전환 시간과 제어권전환 안정화시간을 종속변수로 하여 측정하였다. 제어권전환 시간은 제어권전환 알림이 발생 후 운전자가 브레이크 또는 가속 페달을 밟아 수동운전으로 변환하기까지의 시간을 측정하였다. 이와 더불어 제어권전환 직후 운전자가 평소의 운전 상태에 도달하기까지의 시간을 판단해보고자 제어권전환 안정화시간을 측정하였다. 제어권전환 안정화시간은 Park et al.(2019)의 연구에서 측정한 방법과 동일하게 스티어링 휠 각도의 변화량으로 판단을 하였다. 해당 연구에서는  $n+0.1$ 초 시점의 스티어링 휠 각도와  $n$ 초 시점의 스티어링 휠과의 차이를 지표로 하여, 각 실험별로 시행되는 초기 수동운전 데이터의 표준편차를 기준값으로 설정하였다. <Fig. 8>에서 보여지는 예시와 같이 제어권전환이 이루어진 후 2초 이상 기준값 내에 들어오는 시점을 안정화 시점으로 판단하였다.



<Fig. 8> Example of stabilization point search using manual operation data

## V. 제어권전환 실험 결과 분석

총 52명의 피실험자들에게 각각 9건의 실험 데이터가 발생하여 총 468건의 데이터를 획득하였다. 이 중 28건의 데이터가 이상치로 판단되어 440건의 데이터로 분석을 실시하였다. 이상치로 판단되는 데이터는 실험 절차에 대해 완벽히 인지하지 못해 실험에 제대로 임하지 못한 경우와 멀미가 심하여 실험을 끝까지 수행하지 못한 경우였다.

각 변수의 변화에 따른 제어권전환 소요시간과 안정화시간 분석을 위해 선형혼합모형(Linear Mixed Model, LMM)을 사용하여 분석을 실시하였다. 본 연구에서와 같이 실험자 별로 반복 측정을 통해 데이터를 수집하는 경우 데이터 간의 자기상관성이 존재할 수 있다. 이러한 자기상관성을 고려하기 위하여 피실험자에서 반복적으로 여러 데이터를 수집하는 경우 적합한 분석 방법으로는 반복측정분산분석(Repeated Measures Analysis of Variance, RM-ANOVA), 선형혼합모형(Linear Mixed Model, LMM), 일반화추정방정식(Generalized

Estimating Equation, GEE) 등이 있다(Kang, 2011). 반복측정분산분석은 결측치가 포함된 실험자의 데이터는 분석이 불가능하기 때문에 본 연구에 적합하지 않으며, 선형혼합모형을 이용하여 분석을 실시하였다.

### 1. 교통량 실험 결과 분석

선형혼합모형을 이용하여 교통량과 기하구조가 제어권전환 시간에 미치는 영향을 분석해보았다. <Table 3>에서와 같이 변수 별 검정통계량은 교통량이 신뢰수준 95%에서 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다.

<Table 3> Test statistics of density and curve radius for take-over time

Type	F-value	p-value
Traffic density	4.975	0.009
Radius of curve	1.449	0.232

<Table 4>와 같이 교통량의 변수 별 대응 비교 결과 LOS D와 LOS E에서만 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났으며 그 차이는 약 0.3초인 것으로 분석되었다. 하지만 LOS D와 LOS F에서는 유의미한 차이가 나지 않기 때문에 실질적으로 교통량에 따른 제어권전환 시간의 차이는 없다고 판단된다.

<Table 4> Post-hoc test result of density for take-over time

Density		Mean interval	Standard Deviation	p-value
LOS D	LOS E*	0.319	0.105	0.009
	LOS F	0.243	0.108	0.084
LOS E	LOS D*	-0.319	0.105	0.009
	LOS F	-0.076	0.106	1.000
LOS F	LOS D	-0.243	0.108	0.084
	LOS E	0.076	0.106	1.000

LOS 별로 제어권전환 시간을 살펴보면 <Table 5>에서 보인 바와 같이 LOS D에서는 2.9초 및 표준편차 0.2초, LOS E에서는 평균 2.6초 및 표준편차 0.2초, LOS F에서는 평균 2.6초 및 표준편차 0.2초 나타났다. 곡선반경 별로 살펴보면 직선에서는 평균 2.7초 및 표준편차 0.1초, 곡선반경 600m에서는 평균 2.6초 및 표준편차 0.1초로 나타났다.

<Table 5> Average take-over times by density and curve radius

Type	LOS D	LOS E	LOS F	Grand mean
Straight	2.8±0.2sec.	2.7±0.2sec.	2.7±0.2sec.	2.7±0.1sec.
600m	2.9±0.2sec.	2.4±0.2sec.	2.6±0.2sec.	2.6±0.1sec.
Grand mean	2.9±0.2sec.	2.6±0.2sec.	2.6±0.2sec.	-

교통량과 기하구조에 따른 제어권전환 안정화시간을 비교해 본 결과 <Table 6>에서와 같이 변수 별 검정통계량은 곡선반경이 신뢰수준 95%에서 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다.

<Table 6> Test statistics of density and curve radius for take-over Stabilization time

Type	F-value	p-value
Traffic density	1.437	0.243
Radius of curve	23.890	0.000

곡선반경의 대응 별 비교결과 <Table 7>과 같이 직선과 곡선반경 600m는 약 2.8초의 차이가 있는 것으로 분석되었다.

<Table 7> Post-hoc test result of radius for take-over time

Radius		Mean interval	Standard Deviation	p-value
Straight	600m	-2.842	0.581	0.000

LOS 별로 제어권전환 안정화시간을 살펴보면 <Table 8>에서 보인 바와 같이 LOS D에서는 6.9초 및 표준편차 0.6초, LOS E에서는 평균 5.9초 및 표준편차 0.6초, LOS F에서는 평균 6.1초 및 표준편차 0.6초로 분석되었다. 곡선반경 별로 살펴보면 직선에서는 평균 4.9초 및 표준편차 0.5초, 곡선반경 600m에서는 평균 7.7초 및 표준편차 0.5초로 분석되었다.

<Table 8> Average take-over times by density and curve radius

Type	LOS D	LOS E	LOS F	Grand mean
Straight	5.4±0.7sec.	4.5±0.7sec.	4.7±0.8sec.	4.9±0.5sec.
600m	8.4±0.7sec.	7.2±0.8sec.	7.5±0.8sec.	7.7±0.5sec.
Grand mean	6.9±0.6sec.	5.9±0.6sec.	6.1±0.6sec.	-

## 2. 기상 실험 결과 분석

기상 상황의 변화가 제어권전환 시간에 미치는 영향을 분석해보았다. <Table 9>에서와 같이 변수 별 검정 통계량은 주야와 강우 모두 신뢰수준 95%에서 유의하지 않은 것으로 나타났다.

<Table 9> Test statistics of whether for take-over time

Type	F-value	p-value
Day and night	0.871	0.352
Sunny and rainfall	0.768	0.382

주야 별로 제어권전환 시간을 살펴보면 <Table 10>에서 보인 바와 같이 주간에서는 2.8초 및 표준편차 0.1초, 야간에서는 평균 2.8초 및 표준편차 0.2초로 분석되었다. 강우 별로 살펴보면 맑음에서는 평균 2.7초 및 표준편차 0.1초, 강우에서는 평균 3.0초 및 표준편차 0.2초로 분석되었다.

<Table 10> Average take-over times by whether

Type	Day	Night	Grand mean
Sunny	2.7±0.1sec.	2.7±0.2sec.	2.7±0.1sec.
Rainfall	2.9±0.2sec.	3.0±0.2sec.	3.0±0.2sec.
Grand mean	2.8±0.1sec.	2.8±0.2sec.	-

기상 상황에 따른 제어권전환 안정화시간을 비교해 본 결과 <Table 11>에서와 같이 변수 별 검정통계량은 신뢰수준 95%에서 유의하지 않은 것으로 나타났다.

<Table 11> Test statistics of whether for take-over Stabilization time

Type	F-value	p-value
Day and night	1.532	0.219
Sunny and rainfall	3.395	0.068

LOS 별로 제어권전환 안정화시간을 살펴보면 <Table 12>에서 보인 바와 같이 주간에서는 5.9초 및 표준편차 0.5초, 야간에서는 평균 5.2초 및 표준편차 0.4초로 분석되었다. 강우 별로 살펴보면 맑음에서는 평균 5.1초 및 표준편차 0.5초, 강우에서는 평균 6.0초 및 표준편차 0.4초로 분석되었다.

<Table 12> Average take-over times by whether

Type	Day	Night	Grand mean
Sunny	5.3±0.7sec.	4.9±0.5sec.	5.1±0.5sec.
Rainfall	6.4±0.5sec.	5.6±0.5sec.	6.0±0.4sec.
Grand mean	5.9±0.5sec.	5.2±0.4sec.	-

## VI. 결 론

본 연구에서는 주행 시뮬레이터를 이용하여 교통상황과 기상상황이 제어권전환 시간 및 안정화시간에 어떠한 영향을 미치는 지 알아보았다. 연구를 위해 기존의 제어권전환 연구 중 교통량과 기상 상황을 변수로 하여 시행된 연구에 대한 고찰을 하였다. 연구 목적에 부합하는 시뮬레이션 환경을 구축하기 위하여 경부고속도로 안성 JC~오산 IC 구간의 기하구조, 교통량, 강수량, 속도 등을 조사하였고, 고속도로의 야간 조명 기준 등을 파악하고 이를 반영하여 실험을 위한 가상 환경을 구축하였다. 제어권전환 상황은 고속도로 주행 중 기능 고장으로 인한 제어권전환으로 설정하였으며, 제어권전환 시 청각과 시각 알림을 주었다. 자율주행 중 피실험자의 주의를 환기하고자 NDRT를 하도록 설정하였으며 SuRT를 시행하였다. 실험 절차는 사전교육, 연습주행, 시험주행의 순서로 진행되었으며 시험주행은 교통량 및 기하구조 실험과 기상 상황 실험으로 나누어서 진행되었다. 실험 결과 교통량과 기상 상황은 제어권전환 시간 및 제어권전환 안정화시간에 영향을 미치지 않았으며, 곡선반경만이 제어권전환 안정화시간에 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

본 연구에서 도출된 결과를 바탕으로 고속도로에서 제어권전환 시 주변환경에 맞춰 그에 부합하는 제어

권전환 시간을 부여하는 등으로 활용할 수 있을 것이다. 특히 곡선부에서 제어권전환이 발생할 경우 일반적인 상황에서의 제어권전환 시간보다 증가된 시간을 제공하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

향후 연구에서는 다양한 기상 상황에서 제어권전환에 대한 영향을 알아볼 필요가 있다. 본 연구에서는 야간 및 강우 상황을 구현하여 실험을 실시하였지만, 안개 및 강설 상황 등에 대해서도 추가로 고려해볼 필요가 있다. 하지만 주행 시뮬레이터의 특성 상 강설 상황에서의 미끄럼마찰계수 변화 등을 구현하기 어렵기 때문에 이와 같은 변화를 구현하기 위한 고찰이 추가적으로 필요하다. 또한 강우 상황에 대한 가상시뮬레이션 환경의 현실성을 증가할 수 있는 방안에 대한 고찰이 필요하다. 강우 상황은 비가 차체와 부딪힐 때 발생하는 소리, 와이퍼의 작동 등 다양한 상황을 묘사하여야 하는데, 시뮬레이터에서는 이러한 상황을 구현하기 어려우므로 이를 묘사할 수 있는 방안에 대한 고찰이 필요하다.

## ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 국토교통부 교통물류연구사업의 연구비지원(과제번호 20TLRP-B131486-04)에 의해 수행되었습니다.

## REFERENCES

- Du N., Kim J., Zhou F., Pulver E., Tilbury D., Robert L. P., Pradhan A. and Yang X. J.(2020), "Evaluating Effects of Cognitive Load, Takeover Request Lead Time, and Traffic Density on Drivers' Takeover Performance in Conditionally Automated Driving," *Automotive UI '20: 12th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*, pp.66-73.
- Gold C., Körber M., Lechner D. and Bengler K.(2016), "Taking Over Control From Highly Automated Vehicles in Complex Traffic Situations: The Role of Traffic Density," *Human Factors*, vol. 58, no. 4, pp.642-652.
- Kang Y. K.(2011), *Exploration of Optimal Statistical Methods to Analyze Longitudinal Data with Missing Values for Clinical Research Involving Knee Arthroplasty*, Dankook University.
- Kim S.(2008), *The impact Analysis of Precipitation th the Maximum flow rate and Speed on Freeway*, University of Seoul.
- Lee H.(2020), *Human-Vehicle Interaction in Conditional Autonomous Vehicle: Take-over Requests in Environments*, Hanyang University.
- Li S., Blythe P., Guo W. and Namdeo A.(2018), "Investigation of older driver's takeover performance in highly automated vehicles in adverse weather conditions," *IET Intelligent Transport Systems*, vol. 12, no. 9, pp.1157-1165.
- Maeng J. H.(2005), *Empirical Analysis of the Relationship between Precipitation and Traffic Flow Speed on Highway*, Yonsei University.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2013), *Highway Capacity Manual*.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2013), *Road structures and facilities Commentary Guidelines*.

- Ministry of Trade, Industry and Energy(2007), *Lighting for Roads*, Korean Agency for Technology and Standards.
- Park M. and Son J.(2019), “Reference Test Scenarios for Assessing the Safety of Take-over in a Conditionally Autonomous Vehicle,” *Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers*, vol. 27, no. 4, pp.309-317.
- Park S., Jeong H., Kwon C., Kim J. and Yun I.(2019), “Analysis of Take-over Time and Stabilization of Autonomous Vehicle Using a Driving Simulator,” *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 18, no. 4, pp.31-43.
- The Korea Transport Institute(2020), <http://blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=koti10&logNo=221905750751>, 2020.10.16.