

# 군집주행 환경에서 비자율차의 차로변경행태 분석

이설영 · 오철\*

한양대학교 교통·물류공학과

## Lane Change Behavior of Manual Vehicles in Automated Vehicle Platooning Environments

LEE, Seol Young · OH, Cheol\*

Transportation and Logistics Engineering, Hanyang University, Gyeonggi 15588, Korea

\*Corresponding author: cheolo@hanyang.ac.kr

### Abstract

Analysis of the interaction between the automated vehicles and manual vehicles is very important in analyzing the performance of automated cooperative driving environments. In particular, the automated vehicle platooning can affect the driving behavior of adjacent manual vehicles. The purpose of this study is to analyze the lane change behavior of the manual vehicles in automated vehicle platooning environment and to conduct the experiment and questionnaire surveys in three stages. In the first stage, a video questionnaire survey was conducted, and responsive behaviors of manual vehicles were investigated. In second stage, the driving simulator experiments were conducted to investigate the lane change behaviors of in automated vehicle platooning environments. To analyze the lane change behavior of the manual vehicles, lane change durations and acceleration noise, which are indicators of traffic flow stability, were used. The driving behavior of manual vehicles were compared across different market penetration rates (MPR) of automated vehicles and human factors. Lastly, NASA-TLX (NASA Task Load Index) was used to evaluate the workload of the manual vehicle drivers. As a result of the analysis, it was identified that manual vehicle drivers had psychological burdens while driving in automated vehicle platooning environments. Lane change durations were longer when the MPR of the automated vehicles increased, and acceleration noise were increased in the case of 30-40 years old or female drivers. The results from this study can be used as a fundamental for more realistic traffic simulations reflecting the interaction between the automated vehicles and manual vehicles. It is also expected to effectively support the establishment of valuable transportation management strategy in automated vehicle environments.

**Keywords:** automated vehicle platooning, driving simulator, lane change behavior, manual vehicle, questionnaire survey

### 초록

자율주행기술이 교통류에 미치는 영향을 분석하기 위해서는 자율차와 비자율차 간의 상호작용을 분석하는 것이 중요한 이슈이다. 특히 자율주행기술을 활용한 유용한 서비스 중의 하나인 군집주행은 주변의 비자율 차량의 주행행태에 영향을 미칠 수 있다. 본 연구의 목적은 군집주행 환경에서 비자율차의 차로변경행태 분석하는 것이며, 3단계의 실험 및 조사를 수행하였다. 1단계 영상기반 인지특성 분석을 통해 군집주행 환경에서 어떠한 반응행태를 보일 것인지를 조사하였으며, 2단계 주행시뮬레이션 실험을 통해 비자율차의 차로변경행태를 분석하였다. 차로변경

J. Korean Soc. Transp.  
Vol.35, No.4, pp.332-347, August 2017  
<https://doi.org/10.7470/jkst.2017.35.4.332>

pISSN : 1229-1366  
eISSN : 2234-4217

Received: 8 March 2017

Revised: 24 May 2017

Accepted: 30 June 2017

Copyright ©  
Korean Society of Transportation

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.

행태를 분석하기 위해 차로변경시간과 교통류의 안전성을 나타낼 수 있는 지표인 가속소음을 이용하였으며, 자율차의 시스템 보급률(Market Penetration Rate, MPR)과 피실험자 인적요소에 따른 비자율차의 주행행태 차이를 비교·분석하였다. 마지막 단계인 NASA-TLX(NASA Task Load Index)를 통해 비자율차 운전자의 작업부하를 평가하였다. 분석결과 군집차량군 주변의 비자율차 운전자는 심리적인 부담감을 느끼며, MPR이 증가할수록 차로변경 시간이 길어지고 30-40대 운전자 또는 여성 운전자의 경우 안전성이 낮아지는 것으로 나타났다. 본 연구에서 도출된 결과는 자율차와 비자율차의 상호작용을 반영한 보다 현실성 높은 교통시뮬레이션 실험 시 기초자료로 활용될 수 있고, 이를 기반으로 자율협력주행 환경에서 적용 가능한 교통운영관리전략 수립을 효과적으로 지원할 것으로 기대된다.

**주요어:** 군집주행, 설문조사, 자율협력주행, 주행시뮬레이션, 차로변경 행태분석

## 서론

자동차 기술과 IT기술이 결합된 자율주행자동차와 통신의 발전으로 자율주행시대가 빠르게 현실화되고 있다. 또한 자율주행자동차는 차량간 통신(V2V)과 차량과 인프라간 통신(V2I)으로 주변 도로상황 및 인접차량의 정보를 제공받아 보다 능동적으로 위험 요인에 대한 회피행동이 가능하게 된다. Alexander and Gartner(2013)에 따르면 자율주행자동차는 2020년 전후 상용화되고 북미, 서유럽 및 아시아 태평양 지역의 자율주행 관련 산업의 연간성장률은 2020년에서 2035년 사이 약 85%가 될 것으로 예상하였다. 또한 자율주행자동차의 시스템 보급률(Market Penetration Rate, MPR)은 2035년 약 75%가 될 것으로 예상하였다. 이러한 자율주행환경에서 MPR이 100%가 될 때까지는 자율차와 비자율차가 혼재되어있는 상황이 상당 기간 지속될 것이며, 자율차와 비자율차가 상호작용을 하며 주행하게 될 것이다. 자율차와 비자율차가 혼재되어 있는 상황은 불안정한 교통흐름이 유발될 가능성이 높고, 이는 안전성 측면에서도 부정적인 영향을 미쳐 교통사고의 빈도와 심각도를 증가시킬 수 있다(Park and Ritchie, 2004; Golob and Recker, 2004; Tsugawa et al., 2006). 그러므로 자율협력주행 환경에서 자율차에 대한 연구뿐만 아니라 비자율차 행태를 이해하는 것은 대단히 중요한 연구주제이다.

기존 교통분야 자율주행관련 연구들은 주로 시뮬레이션을 이용하여 수행되었으며, 시뮬레이션은 교통시뮬레이션과 주행시뮬레이션으로 구분할 수 있다. 교통시뮬레이션을 이용한 연구는 자율차가 교통류에 미치는 영향을 안전성, 운영효율성 측면에서 분석하였으며(Arem et al., 2006; Aria et al., 2016; Jeong et al., 2014; Talebpour and Mahmassani, 2016), 주행시뮬레이션을 이용한 연구의 경우 자율차 주행모드 전환에 따른 개별 운전자의 반응 및 행동을 분석하는 연구가 다수 수행되었다(Gouy et al., 2014; Larburu et al., 2010; Varotto et al., 2015; De Winter et al., 2014; Heikoop et al., 2017; Naujoks et al., 2015). 그러나 자율협력주행환경에서 비자율차의 주행행태를 분석한 연구는 미흡하였으며, 특히 횡방향 주행행태를 분석한 연구는 부재한 상황이다.

자율차가 군집주행을 할 경우 비자율차 운전자는 주변차량이 일반적인 행태로 주행하지 않는다는 것을 인지하게 되고, 기존의 주행행태는 다른 행태를 보일 가능성이 있다(Gouy et al., 2014). 또한 주변차량이 군집주행을 하는 상황에서 차로변경을 할 때 부담감이 더욱 클 것으로 판단하였다. 이에 본 연구의 목적은 주행시뮬레이션을 이용하여 군집주행 환경에서 비자율차의 차로변경행태를 분석하고, 영상과 NASA-TLX(NASA Task Load Index)기반의 조사를 통해 인접 군집주행에 따른 비자율차 운전자의 반응특성을 평가하는 것이다. 연구는 3단계로 구성되어 있으며, 영상기반 운전자 인지특성 조사, 주행시뮬레이션 실험, NASA-TLX 기반 운전자 작업부하 조사 순으로 진행하였다. 1단계에서는 군집주행 상황에 대한 시뮬레이션 영상을 시청한 후 영상이 군집주행 상황을 충분히 구현하였는지 여부와 군집주행 환경에서 어떠한 반응행태를 보일 것인지를 조사하였다. 2단계인 주행시뮬레이션 분석은 피실험자 30명을 대상으로 진행하였으며, 차로변경시간과 가속도의 표준편차인 가속소음을 중심으로 분석을 수행하였다. 3단계로 주행시뮬레이션 실험 후 NASA-TLX를 통해 시나리오별 차로변경에 대한 피실험자의 작업부하를 평가하였다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 교통시물레이션을 이용한 자율주행관련 연구와 주행시물레이션 분석을 이용한 기존 연구들을 고찰하였다. 3장에서는 분석방법론을 3단계로 제시하였으며, 영상기반 운전자 인지특성 조사, 주행시물레이션, NASA-TLX기반 운전자 작업부하 조사에 대한 내용을 각각 제시하였다. 4장에서는 분석결과를 제시하였으며, 마지막 장에서는 본 연구에서 도출된 결론 및 향후 연구과제를 제시하였다.

## 기존 문헌 고찰

본 연구의 문헌 검토는 자율주행관련 교통시물레이션 분석 연구와 주행시물레이션 관련 연구를 중심으로 수행하였으며, 기존 연구와의 차별성을 제시하였다.

### 1. 자율주행관련 교통시물레이션 분석 연구

교통시물레이션을 기반의 기존 연구는 안전성 및 운영효율성 관점에서 자율차가 교통류에 미치는 영향을 정량적으로 제시하였다. Arem et al.(2006)는 교통류 시물레이션 모델을 이용하여 Cooperative adaptive cruise control(CACC)가 교통류 특성에 미치는 영향을 분석하였다, 분석결과 CACC의 MPR이 40% 이하에서는 교통흐름에 큰 영향을 미치지 않으나, MPR이 60% 이상일 경우는 교통류에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 연구에 따르면, 연속적으로 주행하는 CACC 차량의 간격은 차로변경이 가능한 간격보다 작으며, 이러한 상황에서 차로변경 실패가 발생할 수 있음을 언급하였다. Aria et al.(2016)은 교통시물레이션인 Vissim을 이용하여 자율차가 교통류에 미치는 영향을 분석하였다. 자율차의 주행행태는 기존문헌에서 제시한 알고리즘을 이용하였으며, Vissim의 파라미터를 조정하여 자율주행환경을 구현하였다. 분석시나리오인 MPR이 0%인 상황과 100%인 상황으로 설정하였다, 분석결과 자율차는 교통류 운영효율성에 긍정적인 영향을 미치며, 특히 혼잡한 네트워크에서 더욱 효과적인 것으로 나타났다. Jeong et al.(2014)은 차량간 교통정보 및 제어시스템의 효과를 평가 하기 위해 Vissim을 이용한 분석을 수행하였으며, 교통류 상황(Level of service, LOS)과 MPR을 다양하게 적용한 시나리오를 설정하였다. 커넥티드카 개념의 차량 도입이 교통류에 미치는 영향을 안전성, 운영효율성, 환경성 측면에서 평가하였다. Talebpoor and Mahmassani(2016)은 첨단기술 차량의 효과를 분석하는 연구를 수행하였다. 혼잡한 교통상황에서의 차량간 상호작용을 분석하기 위해, 차량은 비자율차, 자율차, 커넥티드카(Connected Car)로 설정하였다. 분석결과 군집의 크기가 줄어들고 MPR이 증가함에 따라 안전성이 증대되었으며, 자율차는 같은 MPR수준에서 커넥티드카보다 통과교통량이 많은 것으로 분석되어 운영효율성이 증대되는 것으로 나타났다.

### 2. 자율주행관련 주행시물레이션 분석 연구

교통시물레이션 기반의 연구와는 달리 주행시물레이션 기반의 실험은 개별 운전자의 반응 및 행동을 이해하기 위해 수행되어왔다. Gouy et al.(2014)는 주행시물레이터를 이용하여 고속도로를 모사하고 군집간 시간간격에 따른 인접차로의 비자율차 운전자의 주행특성을 파악하였다. 분석결과 트럭군집은 비자율차에 영향을 주었으며, 군집간 간격이 줄어들 때 비자율차도 전방의 차량과 간격을 좁히는 행태를 보였다. 또한 주행시물레이션을 이용하여 자율차와 비자율차 관계에 대해 분석한 타 연구들에서는 설문조사를 통한 운전자 작업부하 또는 주행모드 전환에 관련한 연구를 진행하였다(Larburu et al., 2010; Varotto et al., 2015; De Winter et al., 2014; Heikoop et al., 2017; Naujoks et al., 2015). Larburu et al.(2010)은 군집형성에 따른 주행모드 전환에 대한 운전자 인적 요소를 평가하고자 Human-Machine Interface(HMI)에 따른 영향을 안전성 측면에서 분석하였다. Varotto et al.(2015)은 주행시물레이터를 이용하여 ACC와 수동운전 주행모드전환에 대한 연구를 수행하였다. 분석 결과 ACC차량 도입이 교통류 불안정성, 혼잡을 증대시키는 부정적 결과를 초래할 수 있다는 결론을 도출하였다. De Winter et al.(2014)은 주행시물레이션을 이용해 ACC와 Highly Automated Driving(HAD)에 따른 운전자 작업부하정도를 분석한 기존

연구들의 결과를 종합하여 메타분석을 수행하였다. 분석결과 운전자가 전방 주시를 하고 있을 경우, 수동운전에 비해 시스템에서 전방의 상황을 인지하는 능력이 높게 나타났다. 그러나 운전자가 전방주시를 하고 있지 않은 자율주행 환경에서는 상황을 인지하는 능력이 현저하게 저하되는 것으로 나타났다. 또한 Heikoop et al.(2017)와 Naujoks et al.(2015)도 시뮬레이션을 이용한 자율주행 관련 연구를 수행하였으며, 운전자의 작업부하 및 스트레스를 계량화하는 분석을 진행하였다.

### 3. 기존 연구와의 차별성

많은 연구자들이 자율주행에 관한 연구를 수행하였지만, 자율주행환경에서 비자율차의 주행특성을 분석한 연구는 미흡하다. Gouy et al.(2014)는 군집간 시간간격에 따른 비자율차의 종방향 주행행태만을 분석하였으며, 특히 차로변경과 같은 횡방향 주행행태를 분석한 연구는 부재한 상황이다. 또한 행태분석이 아닌 설문조사를 이용하여 운전자의 심리 분석을 하는 연구가 대부분이었다. 따라서 본 연구는 군집주행환경에서 비자율차의 차로변경행태 분석에 초점을 두고 분석을 진행하였다는 점에서 기존 연구와 차별성을 가진다.

## 분석방법론

본 연구에서는 Figure 1에 제시한 바와 같이 동일한 피실험자를 대상으로 3단계의 조사 및 실험을 수행하여 군집주행환경에서 비자율차의 반응행태를 분석하였다.

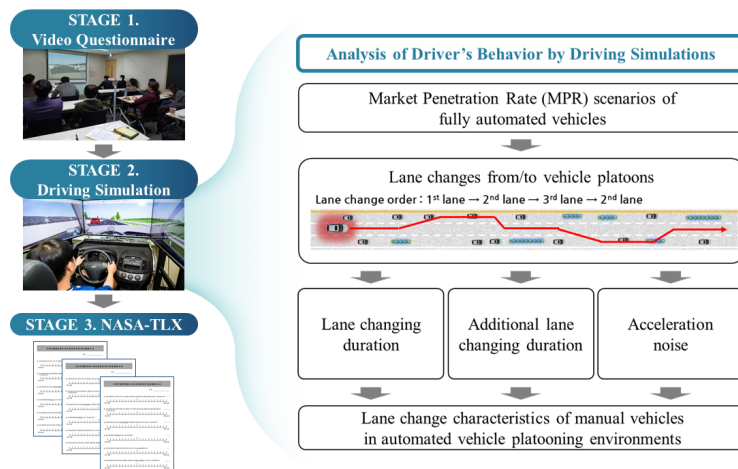


Figure 1. Research process

### 1단계. 영상기반 운전자 인지특성 조사

영상기반 조사는 피실험자가 시뮬레이션 상에서 구현되는 자율차의 군집주행 상황에 대한 영상을 시청하고 이에 따른 피실험자의 인지특성을 조사하는 것을 목적으로 진행하였다. 영상조사 결과는 주행시뮬레이션 실험결과 또는 NASA-TLX 결과와 비교할 수 있으며, 시뮬레이션 영상이 군집주행을 효과적으로 구현하는지를 판단하는 자료로 이용될 수 있다. 설문조사 첫 번째 페이지에서는 군집주행에 대한 기본적인 개념을 설명하고 피실험자의 인적사항을 조사하였다. 두 번째 페이지에서는 MPR 0%, 50%, 100% 영상에 대한 반응을 조사하였다. 1-2번 문항은 MPR 100% 상황에 대한 영상을 시청한 후 시뮬레이션 영상이 군집주행을 반영하였는지 또한 군집차량군으로 인해 부담감을 느끼는지를 질의한 문항이었다. 3-8번 문항은 주행행태의 변화를 종방향, 횡방향(차로변경)으로 질의하였으며, 이때 3-4번은 MPR 0%, 5-6번은 MPR 50%, 7-8번은 MPR 100%의 상황에 대한 영상이었다. 마지막 9번 문

항은 주행 시 정신적으로 가장 영향을 많이 받을 것 같은 영상을 선택하는 문항이었다. 영상기반 운전자 인지특성 조사 결과, 인접차로의 군집주행으로 비자율차 운전자가 애로사항을 느끼는 것으로 나타났으며, 비자율차 주행행태 분석이 필요할 것으로 판단되었다.

## 2단계. 주행시뮬레이션

본 연구에서는 주행시뮬레이터를 활용하여 군집주행환경에서 비자율차의 차로변경행태를 분석하였으며, 실험 중인 상황은 Figure 2에 제시하였다. 주행시뮬레이터 소프트웨어인 UC-win/Road를 이용하였으며, 58 inch 모니터 3개와 실제 차량 부품인 브레이크, 엑셀, 핸들로 구성되어있다. 주행시뮬레이션 실험을 통해 수집한 자료인 속도, 핸들조향정도, 차량위치 등을 이용하여 분석에 활용하였다.

주행시뮬레이션 실험기간은 2016년 11월 3일부터 12월 9일까지로 30명의 피실험자를 대상으로 진행하였으며 실험시간은 1명당 약 40분정도 소요되었다. 피실험자의 성별은 남성 15명, 여성 15명이었으며, 연령대는 20-60대로 각 연령대별 인원은 Table 1에 제시하였다. 이 중 30대 여성 1명과 50대 남성 1명이 시뮬레이터 부적응으로 분석에서 제외하여 총 28명의 데이터를 이용하였다.



Figure 2. Driving simulation experiment

Table 1. Age group distribution of participants

Age	Gender		Total
	Male	Female	
20s	5	4	9
30s	4	3	7
40s	3	4	7
More than 50	3	4	7
Total	15	15	30

시뮬레이션 실험 환경은 3차로의 연속류 직선도로의 1차로와 3차로에 자율차량이 존재하며, 시나리오에 따라 MPR이 달라진다. 군집주행을 수행하는 자율차는 제한속도 100km/h로 주행하게 되며 군집의 크기는 4대, 8대, 12대로 배정하였다. 또한 군집내 자율차의 간격(Intra-platoon gap)은 기존문헌에 따라 4m로 설정하였으며, 군집간간격(Inter-platoon gap)은 제한속도 100km/h일 때 안전정지거리에 따라 100m로 설정하였다(Tsugawa et al., 2011).

MPR의 경우 자율차로 인한 파급력을 판단할 수 있는 요소이며, MPR 증가에 따른 비자율차의 주행행태를 분석하는 것이 중요하다. 이에 따라 주행시뮬레이션 실험의 시나리오는 군집주행을 하는 자율차의 비율인 MPR에 따라 총 7개의 시나리오로 설정하였고, 각 시나리오의 MPR은 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 100%로 구성하였다. 이 중 0%, 50%, 100%를 기본 시나리오로 설정하였고, MPR이 50%이상인 상황에서는 차로변경이 어려울 것이라 판단하여 0%-50%사이 MPR을 세분화하여 주행시뮬레이션 실험을 수행하였다.

피실험자는 2차로에서 주행을 시작하게 되며, 3km의 가상주행도로에서 총 4번의 차로변경을 하게 된다. 차로변경 요청 시 피실험자는 방향지시등을 켜 후 차로변경을 하게 되며, 차로변경을 하기 어려운 상황에서는 차로변경을 포기할 수 있다. 본 실험에서는 군집차로로 차로변경하는 행태를 분석하기 위해 강제적인 차로변경 상황을 분석하였지만 실험 시 차로변경 제한시간을 두지 않았으며, 충분한 차로변경의 기회를 제공하였다. 차로변경 분석구간은 차로변경 의지가 생긴 지점과 차로변경 시·종점으로 정의할 수 있다. 차로변경 의지는 방향지시등을 켜올 때( $p_1$ )로 설정하였으며, 차로변경 시점은 주행차량의 앞바퀴가 차선에 닿은 지점( $p_2$ ), 차로변경 종점은 주행차량의 앞바퀴가 변경하려고 하는 차로중앙을 통과한 지점( $p_3$ )으로 설정하였다. 또한 차로변경의 특성을 분석함에 있어 차로변경 분석구간을 세분화하였다.  $p_1-p_2$ 는 차로변경을 준비하는 구간( $d_1$ )으로 정의하였으며, 실질적으로 차로변경을 수행하는  $p_2-p_3$ 는 차로변경 실행구간( $d_2$ )으로 정의하였다. 각 차로변경 구간을 주행하며 소요된 시간은 차로변경시간(sec)으로 설정하였으며, 차로변경 분석 구간에 대한 정의는 Figure 3에 제시하였다.

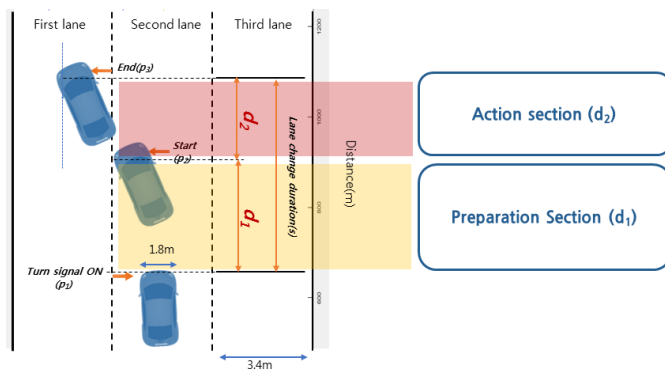


Figure 3. Illustrative example of lane change section

본 연구에서 체계적인 분석을 위해 도로 구간을 세분화한 내용을 Figure 4에 제시하였다. 총 4번의 차로변경 중 A 구간은 2차로에서 자율차와 비자율차가 혼재되어있는 1차로로 차로변경을 하는 구간, B구간은 1차로에서 주행차량이 없는 2차로로 차로변경을 하는 구간이다. 또한 C구간은 2차로에서 자율차와 비자율차가 혼재되어있는 3차로로 차로변경하는 구간, D구간은 3차로에서 주행차량이 없는 2차로로 차로변경하는 구간을 의미한다. 또한 차로변경 구간을 차로변경 실행구간과 차로변경 준비구간에 따라 세분화하였다. 예를 들어 A구간의 차로변경 준비구간( $d_1$ )은  $Ad_1$ 으로 정의하였다.

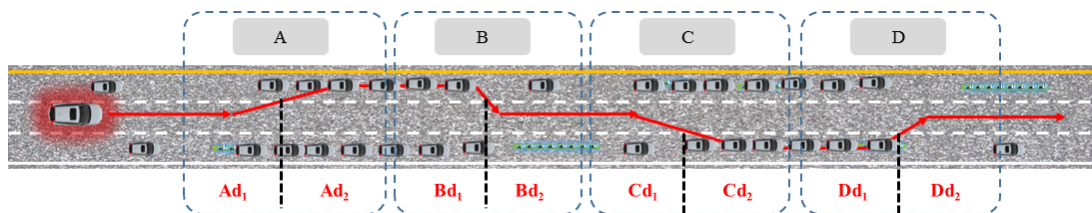


Figure 4. Sections for the analysis

### 3단계 : NASA-TLX기반 작업부하 조사

NASA-TLX 설문조사는 대형 시스템에서 작업수행시 요구되는 작업부하 평가를 위하여 미국 항공우주국에서 개발한 방법으로 본 연구에서는 군집주행 환경에서 운전자의 작업부하(Workload)를 평가하기 위한 목적으로 주행 시뮬레이션 실험 후 진행되었다. NASA-TLX는 Task에 대한 작업부하를 평가하기 위한 방법론으로 본 실험에서는

군집주행환경에서 차로변경 Task에 대한 피실험자의 작업부하를 평가하였다. 군집주행환경에서는 비자율차 운전자의 반응이 달라질 것으로 판단되며, 차로변경을 수행함에 있어 개인에 따라 차로변경 능력의 차이가 존재하므로 이에 대한 작업부하도 다르게 나타날 것이다. 정신적 작업부하를 주관적으로 평가하는 도구로 NASA-TLX, SWAT(Subjective Workload Assessment Technique), Cooper-Harper Scale 등이 사용되며, 본 연구에서는 측정 대상에 대한 높은 신뢰성과 항공교통부분에서 광범위하게 사용되고 있는 NASA-TLX를 이용하였다. NASA-TLX는 정신적 요구(mental demand), 신체적 요구(physical demand), 시간적 요구(temporal demand), 임무성취감(performance), 노력수준(effort), 좌절감(frustration)의 6가지 영역에 대한 주관적 요소를 평가하며, 가중치를 적용하여 작업부하 점수를 도출할 수 있다(Kim et al., 2010; Jeon et al., 2009a; Jeon et al., 2009b). 본 연구에서는 전문가의 설문조사를 통해 가중치를 산출하는 계층화 분석법(Alytical Hierarchical Process, AHP)을 사용하였다. 교통 전문가 10명에게 군집주행환경에서 차로변경 시 운전자에게 요구되는 항목 중 중요하다고 생각되는 요소를 쌍대비교 형식을 통해 9점 척도로 조사하였다. 또한 응답의 일관성을 검증하기 위해 10% 미만의 일관성 비율 값이 산출된 전문가 의견만을 반영하여 가중치를 산출하였다. 가중치 산출 결과, 임무성취감이 0.282로 가장 높으며, 좌절감이 0.102로 산출되었다. 작업부하 점수는 100점 척도로 계산되며, 점수가 높을수록 군집주행환경에서 차로변경 시 비자율차 운전자의 작업부하가 큰 것으로 판단할 수 있다. 본 실험에서 이용한 NASA-TLX 설문조사 항목과 가중치는 Table 2에 제시하였으며, 주행시뮬레이션 실험 중 기본 시나리오인 MPR 0%, 50%, 100%에 대해서 설문을 진행하였다.

**Table 2.** Questions for NASA-TLX survey

Classification	Questions	Weight
Mental demand	How mentally demanding was the task during changing the lane?	0.156
Physical demand	How physically demanding was the task during changing the lane?	0.169
Temporal demand	How hurried or rushed was he pace of the task during changing the lane?	0.147
Performance	How unsuccessful were you in accomplishing what you were asked to do during changing the lane?	0.282
Effort	How hard did you have to work to accomplish your level of performance during changing the lane?	0.142
Frustration	How insecure, discouraged, irritated, stressed, and annoyed were you during changing the lane?	0.102

## 분석결과

본 연구에서는 28명의 피실험자를 대상으로 3단계에 걸친 조사 및 실험의 결과를 이용하여 군집주행환경에서 비자율차의 차로변경 행태분석을 수행하였다. 분석결과는 영상기반 인지특성 분석결과, 주행시뮬레이션 분석결과, 그리고 NASA-TLX기반 운전자 작업부하 분석결과 순으로 제시하였다. 또한 주행시뮬레이션 실험을 통한 차로변경 행태분석의 결과로서 차로변경시간, 차로변경 추가 소요시간, 가속소음에 대한 분석결과를 중심으로 제시하였다.

### 1. 영상기반 운전자 인지특성 분석

영상기반 운전자 인지특성 분석에 대한 결과를 Figure 5에 제시하였다. 분석결과, 95%의 피실험자가 MPR 100% 영상에 대해 군집주행으로 인식하였으며, 이는 주행시뮬레이션 영상이 군집주행을 구현하였음을 보여주는 조사결과이다(Figure 5-a). 또한 80% 이상의 피실험자가 주변차로를 주행하는 군집차량군에 심적 부담을 느끼는 것으로 나타났으며(Figure 5-b), 특히 MPR 100%인 상황에서 심리적 압박감이 큰 것으로 나타났다(Figure 5-c).

차로변경을 가능여부를 묻는 질문에 대해서는 모든 MPR에서 차로변경이 가능하다는 응답자가 약 50%로 가장 많았다. 그러나 MPR 0%인 경우와 비교하여 MPR 50%와 100%인 경우 차로변경이 불가능하거나 쉽지않다는 응답이 많았으며, 차로변경 불가능의 경우 MPR 100%가 3명으로 가장 많았고 차로변경이 쉽지않다는 의견은 MPR 50%에서 12명으로 가장 많은 것으로 나타났다. 차로변경이 불가능하거나 쉽다않다는 응답자수를 합한 인원수는 MPR 50%인 상황에서 가장 많은 것으로 나타났으며, 이는 군집주행을 하는 자율차와 비자율차가 혼재되어 있는 상황으로 주변 차량 주행행태의 동질성이 떨어지기 때문으로 판단된다(Figure 5-d). 영상기반 운전자 인지특성 조사를 통해 군집주행환경에서 차로변경을 수행해야 할 경우 운전자가 느끼는 심리적 압박감이 커지는 것을 확인하였다. 이러한 운전자의 심리적 압박감이 실제 주행환경에서는 차량의 거동 변화로 나타나게 될 것이다. 따라서 주행시 물레이션 실험을 통해 운전자의 행태 및 차량의 거동변화를 분석하는 것은 자율차와 비자율차의 상호작용을 이해하는데 중요한 요소이다.

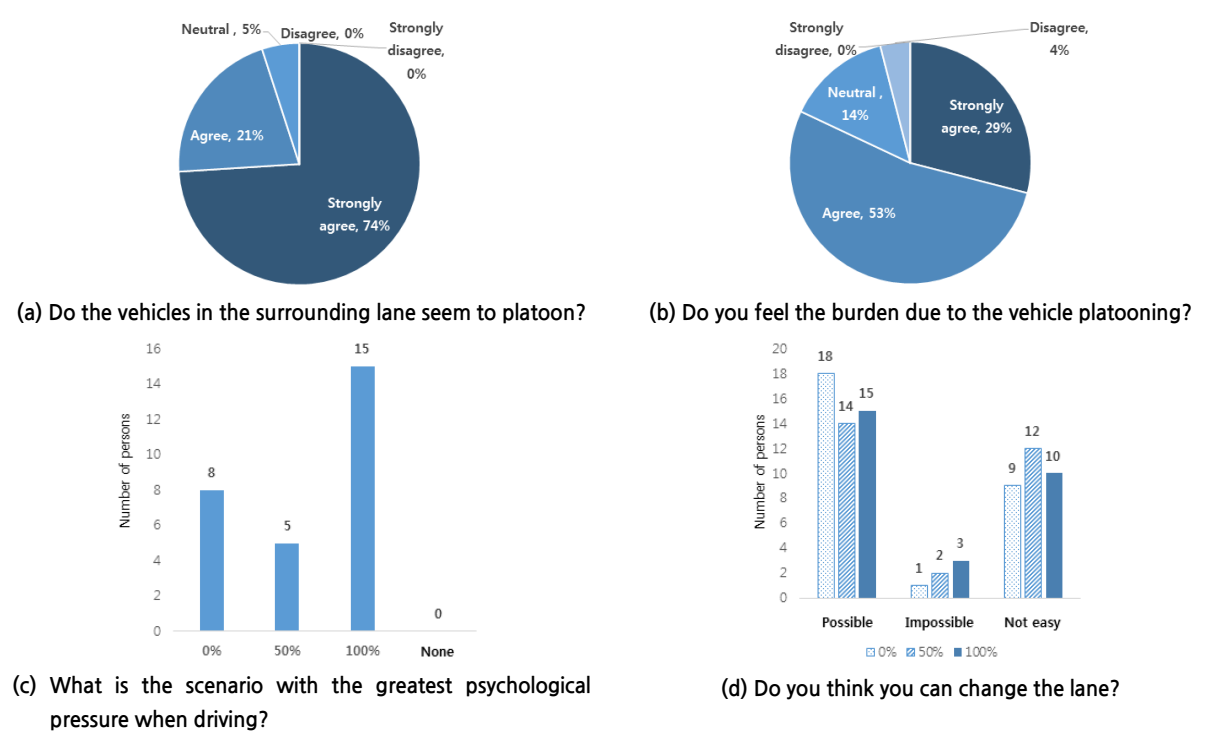


Figure 5. Results of video questionnaire

## 2. 주행시물레이션 기반 차로변경행태 분석

### 1) 차로변경시간

차로변경 구간 사이에는 충분한 주행거리가 주어졌으며, 각 차로변경의 방향과 군집주행 차로 여부에 따른 조건이 다르므로 각 차로변경을 독립적인 사건으로 판단하여 분석하였다. 피실험자는 한 시나리오 중 4번의 차로변경을 요구받게 되며, 방향지시등을 켜 후 주변차로로 차로변경을 수행 하게 된다. 이러한 상황에서 운전자는 차로변경에 대한 어려움을 느끼거나 차로변경을 실패할 수 있다. 본 실험에서는 차로변경실패를 2가지 상황으로 정의하였다. 첫 번째는 피실험자가 차로변경을 포기한 경우, 두 번째는 차로변경 도중 또는 직후 주변차량과 충돌한 경우이다. MPR에 따른 차로변경 실패율(%)은 Figure 6에 제시하였다. MPR 50%, 100% 경우는 다른 시나리오와 비교하여 차로변경실패 횟수가 많은 것으로 나타났다. 하지만 MPR에 따른 차로변경 실패 비율이 일관성을 보이지 않는 이유는 표본의 크기에 영향을 받은 것으로 판단되며, 추가적인 실험을 통해 일관성을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.



차로변경 행태에 대한 분석은 차로변경 성공한 경우에 대해서만 분석을 수행하였다. 세부구간별 차로변경시간의 특징 및 통계적 차이를 분석하기 위해 분산분석을 수행하였으며, 분석결과를 Table 3에 제시하였다. 세부구간에 따른 차로변경시간을 분산분석을 이용하여 분석한 결과, 유의확률이 0.05이하로 나타나 95% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 이는 세부구간의 차로변경시간을 비교한 결과, 각 세부구간 간에 차이가 나타난 것을 의미한다. 또한 표본들 간의 구체적인 차이를 확인하기 위하여 각 세부구간별 차이가 어떠한 형태로 나타나는지를 검정할 수 있는 사후분석을 수행하였다. 사후검정 결과, 차로변경 준비구간( $d_1$ )과 차로변경 실행구간( $d_2$ )에서의 차로변경시간이 차이가 있는 것으로 나타났으며,  $d_1$ 이 평균 4초정도 더 긴 것으로 나타났다. 또한  $d_1$ 에서는 차량이 없는 차로인 2차로로 차로변경을 하는 구간(B,D구간)과 군집주행을 하는 차로로 차로변경하는 구간(A,C구간)의 차로변경시간이 집단간 차이가 있는 것으로 나타났으며, 특히 Ad1의 차로변경시간은 6.80초로 가장 긴 것으로 나타났다.

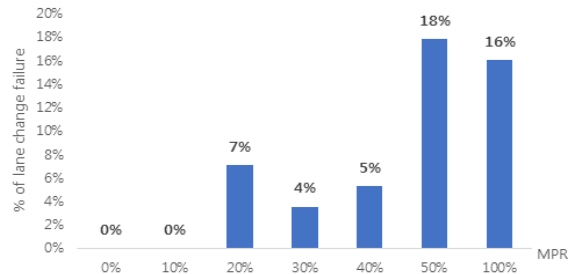


Figure 6. Lane change failures by MPRs

Table 3. Results of ANOVA (Lane change durations)

ANOVA					
	Sum of Squares	d.f	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	870.164	7	124.309	106.224	0.000
Within Groups	215.326	184	1.170		
Total	1085.490	191			

Post-Hoc test							
Section	N	Subset for alpha = 0.05					
		1	2	3	4	5	
Duncan	Dd <sub>2</sub>	24	1.2479				
	Cd <sub>2</sub>	24	1.3120				
	Bd <sub>2</sub>	24	1.6216	1.6216			
	Ad <sub>2</sub>	24		1.9764			
	Bd <sub>1</sub>	24			4.5616		
	Dd <sub>1</sub>	24			4.8407		
	Cd <sub>1</sub>	24				6.1059	
	Ad <sub>1</sub>	24					6.7952
	Sig.		0.263	0.257	0.373	1.000	1.000

## 2) 차로변경 추가 소요시간

군집주행 차로로 비자율차가 차로변경을 수행하는 경우 차로변경시간의 특성을 분석하기 위해서는 일반차로로 차로를 변경하는 시간과 비교하는 것이 의미가 있다고 판단하였다. 이는 개인별 특성이나 운전 숙련도에 따라 차로 변경에 소요되는 시간의 차이를 반영하기 위함이다. 따라서 본 연구에서는 군집차로 차로변경시간과 일반차로 차로

변경시간의 차이를 차로변경 추가 소요시간으로 정의하고 특성분석을 진행하였다. 차로변경 추가 소요시간이 성별, 연령, MPR에 따라 집단간 차이가 존재하는지를 평가하였다. 집단간 평균비교 분석결과, 95% 신뢰수준에서 성별과 MPR은 집단간 통계적 차이가 있는 것으로 나타난 반면, 연령은 집단간 차이가 없는 것으로 나타났다.

성별에 따른 t-test결과는 Table 4에 제시하였으며, 성별에 따른 차로변경 추가 소요시간의 차이가 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다. 여성보다는 남성일 경우 군집주행 상황에서 차로변경 추가 소요시간이 평균적으로 약 1초정도 더 소요되는 것으로 나타났다.

**Table 4.** Analysis results of additional lane change durations by gender (t-test)

		Group Statistics							
	N	Mean	Std.Deviation	Std.Error Mean					
Man	153	2.040	3.151	0.255					
Woman	106	1.076	2.288	0.222					

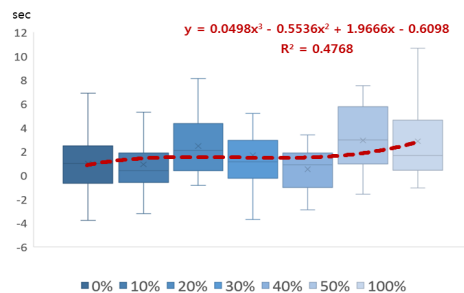
  

t-test									
Levene's Test for Equality of Variances				t-test for Equality of Means					
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std.Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variance assumed	9.738	0.002	-2.692	257.000	0.008	-0.963	0.358	-1.668	-0.259
Equal variance not assumed			-2.849	256.406	0.005	-0.963	0.338	-1.629	-0.297

MPR에 따른 차로변경 추가 소요시간 분산분석 결과는 Table 5에 제시하였으며, 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. MPR별 차로변경 추가 소요시간을 Figure 7에 Box plot으로 제시하였으며, MPR별 차로변경 추가 소요시간의 중앙값을 이용하여 각각에 대한 추세선을 도출한 결과 3차식의 추세선이 적합한 것으로 판단되었다. MPR이 증가함에 따라 차로변경에 필요한 추가소요시간이 길어지는 추세를 나타냈다.

**Table 5.** Analysis results of additional lane change durations by MPR (ANOVA)

ANOVA					
	Sum of Squares	d.f	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	204.037	6	34.006	4.479	0.000
Within Groups	1913.155	252	7.592		
Total	2117.192	258			



**Figure 7.** Additional lane change durations by MPR

### 3) 가속소음

가속소음(Acceleration Noise, AN)은 가속도의 표준편차로서 도로주행시 안전성을 측정할 수 있는 주행특성을 반영한 지표이며, 개별차량의 가속소음의 변화는 교통류 안전성에 영향을 미친다(Oh et al., 2009; Ko et al., 2012). 군집주행환경에서 비자율차 차로변경의 안전성을 분석하기 위해 세부구간별 가속소음 분석을 수행하였다.

세부구간별 차이를 파악하기 위해 분산분석을 수행하였으며, 분석결과는 Table 6에 제시하였다. 분산분석 결과, 유의확률이 0.05이하로 나타나 95% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으며, 세부구간별 가속소음은 같다는 귀무가설을 기각하게 된다. 이는 세부구간별 가속소음이 집단간 차이가 있음을 의미한다. 사후 검정 결과, 가속소음의 경우 차로변경 준비구간( $d_1$ )과 차로변경 실행구간( $d_2$ )에 대한 영향보다는 군집차로로 차로변경을 하는 경우(A,C구간)에 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 이를 통해 군집차로로 차로변경을 하는 경우 안전성이 저하되는 것을 알 수 있다. A구간 차로변경 실행구간( $Ad_2$ )의 경우, 차로변경시간은 다른 세부구간에 비해 짧은 반면 가속소음은 0.2451로 가장 높은 것으로 나타났다, 이는 짧은 시간 위험하게 차로변경을 한다는 것으로 판단할 수 있다. C구간 차로변경 준비구간( $Cd_1$ )의 경우 차로변경 준비시간이 길며, 가속소음은 0.23으로 높은 것으로 나타났다. 이는 우측 군집차로로 차로변경을 하는 경우 차로변경을 준비하는 동안 위험한 운전행태를 보이는 것으로 해석할 수 있다.

**Table 6. Results of ANOVA (Acceleration noise)**

ANOVA					
	Sum of Squares	d.f	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.340	7	0.049	10.667	0.000
Within Groups	0.838	184	0.005		
Total	1.178	191			

Post-Hoc test							
Section	N	Subset for alpha = 0.05					
		1	2	3	4	5	
Duncan	Bd <sub>2</sub>	24	0.1142				
	Dd <sub>2</sub>	24	0.1324	0.1324			
	Bd <sub>1</sub>	24		0.1685	0.1685		
	Dd <sub>1</sub>	24			0.1758		
	Cd <sub>2</sub>	24			0.1780		
	Ad <sub>1</sub>	24			0.2018	0.2018	
	Cd <sub>1</sub>	24				0.2321	0.2321
	Ad <sub>2</sub>	24					0.2451
Sig.		0.352	0.065	0.121	0.122	0.507	

가속소음이 성별, 연령, MPR에 따라 집단간 차이가 있는지를 분석하고자 t-test와 분산분석을 수행하였다. 분석 결과 성별, 연령의 경우 유의확률이 90% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으나, MPR은 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다.

성별에 따른 가속소음에 대한 t-test결과는 Table 7에 제시하였으며, 성별에 따른 가속소음이 통계적으로 차이가 있는 것으로 나타났다. 성별에 따른 가속소음의 평균이 비교해 볼 때, 남성보다 여성의 가속소음이 0.03정도 더 높은 것으로 나타났다. Table 4의 결과와 종합해볼 때, 여성의 경우 남성에 비해 군집주행차로로 차로변경시 추가적으로 필요로하는 시간은 짧지만 오히려 가속소음이 높아 안전성은 낮아지는 것으로 분석되었다. 그러나 제한된 피실험자

군을 대상으로 실험한 결과이므로 보다 일반적이고 객관적인 결과를 얻기 위해서는 향후 대규모 실험이 필요할 것으로 판단된다.

**Table 7. Analysis results of acceleration noise by gender (t-test)**

		Group Statistics					
	N	Mean	Std.Deviation	Std.Error	Mean		
Man	362	0.162	0.105	0.006			
Woman	290	0.188	0.107	0.006			

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std.Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Equal variance assumed		3.304	0.070	-3.132	650.000	0.002	-0.026	0.008	-0.043	-0.010
Equal variance not assumed				-3.127	615.898	0.002	-0.026	0.008	-0.043	-0.010

연령의 경우 연령대별 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으며, 분산분석과 사후검정 결과는 Table 8에 제시하였다. 분석결과 20대와 50대 이상이 같은 집단으로 나타났고, 30대와 40대가 같은 집단인 것으로 나타났다. 20대와 50대 이상의 차로변경 시간은 비교적 다른 연령대보다 긴 반면 가속소음은 각각 0.15와 0.16으로 다른 연령대보다 작은 것으로 분석되었다. 반면 30대와 40대 운전자의 경우, 군집주행환경에서 차로변경 시 다른 연령대에 비해 가속소음이 큰 것으로 나타났다. 자율차와 비자율차의 효과적인 상호작용을 유도할 수 있는 교통운영관리 방안을 개발하고 적용하여 교통류 흐름의 안전성을 제고시킬 필요가 있다.

**Table 8. Analysis results of acceleration noise by ages (ANOVA)**

		ANOVA				
		Sum of Squares	d.f	Mean Square	F	Sig.
Between Groups		0.331	3	0.110	10.078	0.000
Within Groups		7.084	648	0.011		
Total		7.414	651			

		Post-Hoc test			
Section	N	Subset for alpha = 0.05		Sig.	
		1	2		
Duncan	20s	207	0.1464		
	More than 50	139	0.1631		
	30s	164		0.1941	
	40s	142		0.1992	
	Sig.		0.1539	0.6650	

MPR에 따라 가속소음의 차이가 있을 것으로 예상하였으나, 분산분석 결과 유의확률이 0.560으로 MPR별 차이가 없는 것으로 나타났다. 하지만 군집주행 MPR에 따른 비자율차의 안전성을 분석하는 것은 중요한 연구이며, 이에 대한 연구는 추가적으로 수행될 필요가 있다고 판단된다.

### 3. NASA-TLX 기반 운전자 작업부하 분석

NASA-TLX 기반의 설문조사를 통해 주행시물레이션에 따른 운전자의 작업부하를 분석하고자 하였다. 차로변경에 따른 작업부하를 비교하기 위해 차로변경하지 않는 경우에 대한 실험을 추가적으로 진행하였으며, NASA-TLX의 분석결과는 Figure 8에 제시하였다. 분석결과, 차로변경 Task에 대한 작업부하는 차로변경을 하지 않는 경우와 비교하여 평균적으로 작업부하점수가 42.17% 증가하는 것으로 분석되었다. 또한 군집차량군이 존재하는 MPR 50%, 100% 상황에서 작업부하점수가 각각 65.59와 54.33로 MPR 0% 상황보다 작업부하가 가중되는 것을 확인하였다.

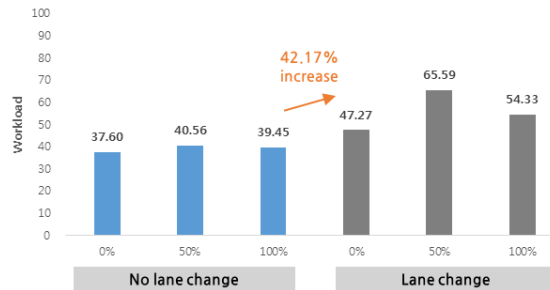


Figure 8. Results of workload score

차로변경 Task에 대한 NASA-TLX의 6가지 평가 항목을 비교한 결과는 Table 9에 제시하였다. 모든 항목의 점수는 MPR 50%, 100%, 0% 순으로 나타났다. 분석결과 비자율차 사이로 차로변경을 하는 MPR 0%인 상황보다 군집차량군 사이로 차로변경을 하는 경우 정신적, 신체적, 시간적, 성취감, 노력, 좌절감에 대한 요구를 크게 느끼는 것으로 나타났다. 그러나 모든 항목에서 MPR 100%인 상황보다 MPR 50%인 상황에서 작업부하점수가 높은 것으로 나타났다. 이는 비자율차가 혼재되어 있는 경우 차량간 간격이 각기 다른 반면, MPR 100%인 상황에서는 군집간 간격이 100m로 일정하므로 비자율차 운전자가 차로변경을 위한 차간간격을 찾는 것이 수월했기 때문으로 판단된다.

Table 9. Comparison of workload scores by classification

	Mental demand			Physical demand			Temporal demand			Performance			Effort			Frustration		
	0%	50%	100%	0%	50%	100%	0%	50%	100%	0%	50%	100%	0%	50%	100%	0%	50%	100%
Average	10.9	15.5	13.0	10.4	15.3	12.4	9.9	14.0	11.8	8.2	12.8	8.3	10.6	15.1	12.0	9.3	14.1	11.1
Std.	5.1	4.4	5.3	5.0	4.7	4.9	4.3	5.7	5.1	4.7	3.5	5.1	4.4	4.2	5.1	4.3	5.0	5.0
Min.	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	7	0	4	2	2	3	4	2
Max.	21	21	21	19	21	18	17	21	18	19	19	19	18	21	18	17	21	17

NASA-TLX 설문결과와 영상 및 주행시물레이션 분석결과를 비교하여 볼 때, 군집차량군이 없는 MPR 0%인 상황보다 MPR이 50%와 100%인 상황에서 차로변경에 대한 부담이 큰 것으로 나타났다. 영상설문조사 결과인 Figure 5-d와 마찬가지로 Figure 8의 작업부하 점수도 MPR 0%, 100%, 50% 순으로 높아지며, 이와 동일하게 군집차로로 차로변경시 차로변경 실패율이 높아지는 것을 Figure 6을 통해 확인하였다. 또한 이러한 패턴은 Figure 7에

서 제시한 차로변경 추가소요시간에서도 확인할 수 있다. 3가지 단계 모두 군집주행 환경에서 차로변경 시 비자율차 운전자들이 부담을 느끼는 것으로 나타났으며, 특히 MPR이 50%인 상황에서 주변 차량 주행행태의 동질성이 떨어지기 때문에 피실험자의 주행행태 및 작업부하가 가장 부정적인 영향을 받는 것으로 나타났다. 이와 같이 군집주행 환경에서 비자율차의 차로변경실패와 MPR에 따라 추가적으로 필요한 차로변경 시간은 운전자의 작업부하와 밀접한 관계가 있는 것으로 판단된다. 운전자의 작업부하가 커지게 될 경우 운전자의 집중력이나 상황 파악 능력을 저해하여 사고를 발생시킬 개연성이 있다(Lee et al., 2010). 결과적으로 군집주행차로로 차로변경을 수행하는 경우 비자율차의 안전성이 저해될 가능성이 높으며, 교통류의 안정성이 전반적으로 감소할 수 있다. 따라서 자율협력주행환경에서 비자율차 운전자의 부담을 줄일 수 있는 군집주행에 대한 운영전략을 논의할 필요가 있을 것으로 판단된다.

## 결론 및 향후 연구과제

미래 교통시스템을 선도하는 기술로서 자율주행자동차가 대두되고 있으며, 통신의 발전과 인프라에서 제공되는 정보들로 자율협력주행이 가능하게 될 것이다. 그러나 대부분의 기존 자율주행 연구들에서는 개별자율차 또는 자율주행기능에 대한 분석이 진행되었으며, 자율주행 환경에서 비자율차의 행태에 대한 연구는 활발하게 이루어지지 않았다. 기존문헌을 고찰한 결과 주행시뮬레이션을 이용한 자율주행 관련 연구들은 자율차 시스템 오류에 따른 운전권한 전환에 대한 연구나 자율차에서 경고 및 정보 전달을 효과적으로 제공할 수 있는 연구들이 대부분이었다. 따라서 본 연구에서는 자율주행환경에서 비자율차의 주행행태 특성을 분석하였으며, 특히 차로변경에 초점으로 두어 분석을 진행하였다. 비자율차 운전자 측면에서 개별자율차보다는 군집주행에 영향을 많이 받을 것으로 판단되어 본 연구의 범위는 군집주행환경으로 분석범위를 한정하였다.

본 연구에서는 군집주행환경에서 비자율차의 행태분석을 위해 3단계의 조사 및 실험을 수행하였다. 1단계로 시뮬레이션 영상이 군집주행을 구현하였는지 판단하고 운전자의 인지특성을 조사하기 위해 영상기반의 조사를 진행하였다. 또한 2단계에서는 주행시뮬레이션 실험을 통해 군집주행환경에서 비자율차의 차로변경행태를 분석하였으며, 마지막 단계에서는 운전자의 작업부하를 조사하기 위해 NASA-TLX 설문조사를 수행하였다. 영상기반 운전자 인지특성 조사 결과 군집차량군으로 인해 심리적인 부담감을 느끼며, 특히 MPR 100%인 상황에서 부담이 가장 큰 것으로 나타났다. 주행시뮬레이션 분석결과, 군집주행 차로로 차로변경을 하는 경우 차로변경 준비시간이 길어지며, MPR이 커질수록 차로변경시간이 점점 더 길어지는 것으로 분석되었다. 차로변경 준비시간이 길어질 경우, 차로변경 하지 못하거나 주변 차량에 영향을 미쳐 정체를 유발하는 등 교통소통에 영향을 미칠 수 있다. 또한 군집주행 차로로 차로변경을 할 때 가속소음이 높아지며, 비자율차의 안전성을 높이기 위해서는 가속소음이 비교적 높은 요인들에 대한 관리가 우선적으로 필요할 것으로 판단된다. 마지막으로 NASA-TLX를 이용한 조사결과 군집차로로 차로변경 시 작업부하가 커지는 것으로 나타났다.

자율주행 시대를 대비하여 자율차 뿐만 아니라 비자율차에 대한 연구도 활발하게 진행되어야 하며, 이와 같은 연구를 통해 자율주행환경에서의 체계적인 교통운영관리 전략을 준비할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구의 결과를 활용하여 군집주행 상황에서 비자율차의 안전성을 높이고 운전자의 부담감을 줄일 수 있는 교통관리 전략을 수립할 수 있다. 예를 들어 MPR이 일정 수준 이상일 경우 군집주행 전용차로를 1차로에 운영하여, 비자율차의 차로변경에 부정적인 영향을 미치지 않는 방안을 고려할 수 있다. 또한 차로변경 시간을 비롯한 비자율차 운전자의 행태는 미시교통시뮬레이션에서 군집주행환경에서 비자율차량의 차로변경행태에 적용할 수 있다. 이를 통해 보다 비자율차의 행태를 반영한 교통류 분석을 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구를 발전시키기 위해서는 다음과 같은 추가적인 연구가 필요하다. 첫째, 본 연구에서는 군집간격, 군집내 간격, 군집크기, 군집속도 등 군집 파라미터에 대한 실험은 진행하지 않았다. 그러나 군집 파라미터 설정에 주변 비자율차 행태가 달라질 것으로 예상되기 때문에 향후에는 군집 파라미터를 고려한 추가적인 분석이 수행되어야 할 것으로 판단된다. 둘째, 주행시뮬레이션 실험에 있어 차로변경을 강제적으로 요구하였으며, 추후에는 피실험자가 선

택적으로 차로변경을 하는 상황에 대한 분석이 수행할 필요가 있다. 셋째, 본 연구에서는 3단계의 조사 및 실험을 개별적으로 분석하는데 초점을 맞추어 결과를 제시하였으나, 방법론간 연계분석을 추가적으로 수행하여 인지특성, 주행행태, 작업부하간의 관계 도출이 필요할 것으로 판단된다. 마지막으로 본 실험에서는 표본이 크지 않기 때문에 모든 결과를 통계적으로 제시하였으나, 표본 집단별로 대표성을 확보하기 위해서는 좀 더 현실적인 실험환경과 추가적인 피실험자 모집을 통한 실험이 진행되어야한다. 특히 추가적인 3단계 실험이 진행된다면, 주행시물레이션 뿐만 아니라 영상기반 조사와 작업부하 조사 결과의 설명력을 높일 수 있을 것이다. 또한 자율차에 대한 실제 데이터가 있을 경우 시물레이션 연구에 반영한다면, 실험환경을 구현 및 보완하여 보다 현실을 반영한 분석을 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

## ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by a grant(17TLRP-B101406-03) from Technology Business Innovation Program(TBIP) funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government.

## REFERENCES

- Alexander D., Gartner J. (2013), *Self-Driving Vehicles, Autonomous Parking, and Other Advanced Driver Assistance Systems, Global Market Analysis and Forecasts.*
- Aria E., Olstam J., Schwietering C. (2016), Investigation of Automated Vehicle Effects on Driver's Behavior and Traffic Performance, *Transp. Res. Procedia* 15, 761-770.
- De Winter J. C. F., Happee R., Martens M. H., Stanton N. A. (2014), Effects of Adaptive Cruise Control and Highly Automated Driving on Workload and Situation Awareness: A Review of the Empirical Evidence, *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 27, 196-217.
- Golob T. F., Recker W. W. (2004), A Method for Relating Type of Crash to Traffic Flow Characteristics on Urban Freeways, *Transp. Res. Part A Policy Pract.* 38(1), 53-80.
- Gouy M., Wiedemann K., Stevens A., Brunett G., Reed N. (2014), Driving Next to Automated Vehicle Platoons: How do Short Time Headways Influence Non-platoon Drivers' Longitudinal Control?, *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 27, 264-273.
- Jeon J. D., Lee Y. H., Choi Y. C. (2009), A Study on the Operational Impact of Abnormal Aircraft in ATC Operations: Focusing on Situation Awareness and Workload, *J Korean Soc Aviat. and Aeronaut.* 17(3), The Korean Society for Aviation and Aeronautics, 32-39.
- Jeon Y. W., Daimon T., Kawashima H., Kwon K. S. (2009), Comparison on the Driver Characteristics and Subjective Workload According to the Road Direction Change Using Driving Simulator, *Korea Ind. Syst. Eng.*, 32(1), The Society of Korea Industrial and Systems Engineering, 26-33.
- Jeong E., Oh C., Lee G., Cho H. (2014), Safety Impacts of Intervehicle Warning Information Systems for Moving Hazards in Connected Vehicle Environments, *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board* 11-19.
- Kim J. Y., Park J. S., Cho Y. J. (2010), Biomechanical Measuring Techniques for Evaluation of Workload, *J. Ergon. Soc. Korea*, 29(4), The Ergonomics Society of Korea, 445-453.
- Ko H.G., Kim J. H., Seong M. J., Lee J. S. (2012), Safe Driving Inducement Effect Analysis of Smart Delineator

- Through Driving Simulation Evaluation, *J. Korean Soc. Transp.*, 30(4), Korean Society of Transportation, 43-59.
- Larburu M., Sanchez J., Rodriguez D. J. (2010), Safe Road Trains for Environment: Human Factors' Aspects in Dual Mode Transport Systems, *ITS World Congr. Busan*, 1-12.
- Lee W. S., Park J. W., Kim S. J., Yoon S. H., Xiappeng Y., Ryu H. C. et al. (2010), Development of an Analysis System for Bio-signal and Driving Performance Measurements, *J. Ergon. Soc. Korea*, 29(1), The Ergonomics Society of Korea, 47-53.
- Naujoks F., Purucker C., Neukum A., Wolter S., Steiger R. (2015), Controllability of Partially Automated Driving Functions - Does It Matter Whether Drivers are Allowed to Take Their Hands off the Steering Wheel?, *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.*, 35, 185-198.
- Oh D. W., Oh C., Chang M.S. (2009), Methodology for Evaluating Freeway Interchange Spacing for High Design Speed based on Traffic Safety: Focused on Analysis of Acceleration Noise Using Microscopic Traffic Simulations, *J. Korean Soc. Transp.*, 27(5), Korean Society of Transportation, 145-153.
- Park Seri., Ritchie S. G. (2004), Exploring the Relationship Between Freeway Speed Variance, Lane Changing, and Vehicle Heterogeneity, *Transportation Research Board 83rd Annual Meeting*, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Talebpour A., Mahmassani H. S. (2016), Influence of Connected and Autonomous Vehicles on Traffic Flow Stability and Throughput, *Transp. Res. Part C, Emerging Technologies*, 71, 143-163.
- Lee C., Hellinga B., Saccomanno F. (2006), Evaluation of Variable Speed Limits to Improve Traffic Safety, *Transp. Res. Part C, Emerging Technologies*, 14(3), 213-228.
- Van Arem, B., Van Driel C. J., Visser R. (2006), The Impact of Cooperative Adaptive Cruise Control on Traffic-flow Characteristics, *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, 7(4), 429-436.
- Varotto S. F., Hoogendoorn R. G., van Arem B., Hoogendoorn S. P. (2015), Empirical Longitudinal Driving Behaviour in case of Authority Transitions Between Adaptive Cruise Control and Manual Driving, *J. Transp. Res. Board*, 2489, *Transportation Research Record*, 105-114.