

군집주행 환경이 비자율차량의 차량 추종에 미치는 영향분석

Impacts of Automated Vehicle Platoons on Car-following Behavior of Manually-Driven Vehicles

서상혁* · 이설영** · 오철*** · 최새로나****

* 주저자 : 한양대학교 교통물류공학과 석사과정
 ** 공저자 : 한양대학교 교통물류공학과 석·박사통합과정
 *** 교신저자 : 한양대학교 교통물류공학과 교수
 **** 공저자 : 한양대학교 교통물류공학과 연구교수

Sanghyuk Suh* · Seolyoung Lee** · Cheol Oh*** · Saerona Choi****

* Transportation and Logistics Engineering, Hanyang University
 ** Transportation and Logistics Engineering, Hanyang University
 *** Transportation and Logistics Engineering, Hanyang University
 **** Transportation and Logistics Engineering, Hanyang University

† Corresponding author : cheolo@hanyang.ac.kr

Vol.16 No.4(2017)
 August, 2017
 pp.107~121

ISSN 1738-0774(Print)
 ISSN 2384-1729(On-line)
<https://doi.org/10.12815/kits.2017.16.4.107>

Received 4 July 2017
 Revised 2 August 2017
 Accepted 21 August 2017

© 2017. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

요약

본 연구에서는 군집주행환경에서 비자율차의 행태분석을 위해 영상기반의 조사를 통해 피실험자의 인지특성과 군집주행 인지여부를 조사하고, 주행 시뮬레이션 실험을 통해 비자율차의 차량거동을 수집했다. 또한, 주행 시뮬레이션 실험 후 NASA-TLX 설문조사를 통해 작업부하점수를 조사했다.

영상기반 인지특성 조사 결과 피실험자 대부분이 군집주행 중인 차량들을 인지하고 군집 차량군으로 인해 부담감을 느끼는 것으로 나타났다. 군집주행환경에서의 평균속도가 비군집 주행환경일 때보다 낮게 나타났고, 평균속도의 표준편차는 군집주행환경일 때 더 높게 나타났다. 인지특성과 작업부하점수를 연계분석한 작업부하평가 결과 군집, 비군집주행환경 시 인지특성별로 작업부하점수가 통계적으로 유의한 차이가 나타나는 결과들을 확인했다. 인지특성과 차량거동을 연계분석한 차량거동평가 결과에서도 군집, 비군집주행환경 시 통계적으로 유의한 차이가 나타나는 결과들을 확인했다.

본 연구의 결과를 고령운전자, 여성 등 고위험군 운전자의 안전성 증대, 비자율차 운전자에게 주변 군집주행차량에 대한 정보 제공 방안 모색 등의 비자율차 운전자를 위한 교통관 리전략을 수립하는데 활용할 수 있을 것이라 판단된다.

핵심어 : 군집주행, 작업부하, 비자율차, NASA-TLX, 주행 시뮬레이션

ABSTRACT

This study conducted a 3-stage survey and simulation experiment to identify the impact of vehicle platoons on car-following behavior of manually-driven vehicles. Vehicle maneuvering data obtained from driving simulations was statistically analyzed based on three measures including average speed, acceleration noise, and offset to represent the deviation of lateral movements. Results indicate that MV drivers tended to have psychological burden while driving in automated vehicle platooning environments, which resulted in different vehicle maneuvers. It is expected that the outcome of this study would be useful fundamentals in developing various traffic operations strategies for managing mixed traffic stream consisting of MVs and autonomous vehicles.

Key words : Platooning driving, Workload, Manual vehicle, NASA-TLX, Driving simulation

I. 서론

Alexander et al.(2013)는 2020년을 기점으로 자율주행자동차의 상용화가 이루어지고, 전 세계 자율주행 산업의 연간 성장률이 2020년부터 2035년까지 약 85%가 될 것으로 예상하였으며, 2035년 자율주행차의 보급률이 약 85%가 될 것이라고 예상하였다. 자율주행자동차의 상용화가 이루어지고 보급률이 높아지는 동안 자율주행차와 비자율차가 혼재되어 있는 상황이 지속될 것이다. 이러한 상황은 안전성, 효율성 측면에서 부정적인 영향을 미칠 가능성이 높다(Park et al.,2004; Tsugawa et al.,2006). 따라서 자율주행 및 군집주행에 관한 연구 뿐 아니라 자율주행차나 군집주행차량군과 비자율차가 혼재되어있는 상황에 대한 분석이 필요하다.

자율주행 및 군집주행에 대한 연구나 차량거동과 관련된 연구들은 주로 주행 시뮬레이션을 이용해 수행되었고(Kim et al.,2008; Jo et al.,2008; Kim et al.,2006; Gouy et al.,2014), 주행 시뮬레이션을 이용해 특정 상황에서 운전자가 느끼는 작업부하나 스트레스에 대한 연구(Lank et al.,2011; Heikoop et al.,2017)도 수행된 바 있지만 군집주행환경에서 비자율차 운전자의 작업부하 및 차량거동을 분석한 연구는 미흡한 상황이다. 본 연구의 목적은 영상기반 인지특성 및 인적특성 조사에서 수집한 피실험자의 인지특성, 주행 시뮬레이션을 활용해 수집한 군집주행환경에서 비자율차 운전자의 차량거동, NASA-TLX 설문조사를 통한 작업부하점수를 연계분석해 비군집, 군집주행환경에 따라 인지특성별로 비자율차 운전자의 차량거동 및 작업부하를 평가하는 것이다.

II. 기존문헌 고찰

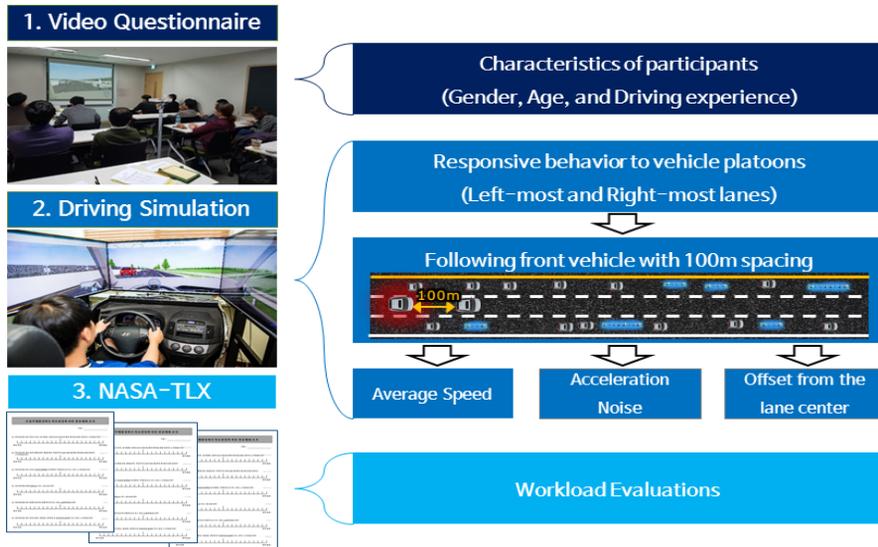
본 연구의 문헌 검토는 자율주행관련 주행시뮬레이션 관련 연구와 인지특성, 차량거동, 작업부하에 관한 연구를 중심으로 수행하였으며, 기존 연구와의 차별성을 제시하였다.

Kim et al.(2008)은 주행 시뮬레이션을 활용해 연령변화에 따른 운전능력의 변화 임계점 분석을 실시하였고, 51세 이상부터 속도예측능력, 주의전환능력, 거리지각능력 등 운전능력이 감소하는 것으로 나타났다. Jo et al.(2008)은 주행 시뮬레이션을 활용해 고령운전자와 청장년 운전자의 주행특성 연구를 실시하였다. 분석 결과 고령운전자가 청장년층 운전자보다 저속주행하는 경향을 보이고, 이상교통상황에서 판단시간의 지연과 판단 오류 등이 더 많이 나타났다. Kim et al.(2006)은 운전자의 성별, 운전능력에 대한 지각과 운전 중 경험하는 스트레스 상황에 대한 분석을 실시하였다. 남성운전자는 본인의 운전능력이 뛰어나다고 지각하는 반면에, 여성운전자는 상대적으로 본인의 운전능력이 떨어진다고 지각하는 것으로 나타났다. 또한 돌발상황이나 이상교통상황에서 여성이 남성보다 많은 스트레스를 받는 것으로 나타났다. Gouy et al.(2014)는 주행 시뮬레이션을 활용해 군집주행환경이 비자율차 운전자의 종방향 주행행태에 미치는 영향분석을 수행하였다. 분석 결과 군집주행중인 차량 간 차두간격이 짧아수록 비자율차 운전자의 속도 표준편차가 높게 나타났다. Lank et al.(2011)는 주행 시뮬레이션을 활용해 자율주행하는 트럭군 환경(KONVOI)에서 비자율차 운전자의 작업부하 평가를 실시하였다. KONVOI 환경일 때 피실험자가 느끼는 스트레스와 작업부하가 KONVOI 환경이 아닐 때 보다 더 높게 나타났다. Heikoop et al.(2017)은 주행 시뮬레이션을 활용해 군집주행이 운전자의 인지능력, 작업부하, 스트레스에 미치는 영향 분석을 실시하였고, 그 결과 연령이 높아질수록 군집주행에 따른 운전자의 작업부하 점수가 높은 것으로 나타났다.

많은 연구자들이 군집주행과 군집주행에 대한 운전자의 반응에 관한 연구를 수행하였지만, 비자율차 운전자가 주변의 군집차량의 영향으로 인한 차량의 거동 및 NASA-TLX를 활용해 작업부하를 평가한 연구는 미흡하다. 본 연구에서 주행 시뮬레이션을 통해 비군집, 군집주행환경을 구분하여 실험, 자료 수집을 수행하고, 비자율차 운전자의 작업부하평가를 NASA-TLX를 활용해 실시했다는 점에서 기존 연구와 차별성을 가진다.

Ⅲ. 분석방법론

본 연구에서는 <Fig. 1>에 제시한 바와 같이 3단계의 조사 및 실험을 수행하며 군집주행환경과 비군집주행 환경에서 비자율차의 반응행태를 분석하였다.



<Fig. 1> Research procedure

1. 데이터 수집

1) 실험자 모집

본 연구에서는 데이터 수집을 위하여 2016년 11월 3일부터 12월 9일까지 30명, 2017년 2월 7일부터 2월 22일 2회에 걸쳐 60명의 피실험자를 모집하였으며, 설문조사 및 실험시간은 1명당 약 30분정도 소요되었다. 또한 실험시간과는 별도로 피실험자들이 드라이빙 시뮬레이터를 적응할 수 있는 충분한 시간을 부여하였으며, 실험 시나리오 도로 이외의 난이도 높은 노선을 추가적으로 주행하도록 하였다. 피실험자의 성별은 남성 29명, 여성 31명이었으며, 연령대는 20대~60대로 각 연령대별 인원은 <Table 1>에 제시하였다. 이 중 30대 여성 1명의 데이터를 시뮬레이터 부적응으로 분석에서 제외하여 총 59명의 데이터를 이용하였다.



<Fig. 2> Driving simulation experiments

<Table. 1> Age group distribution of participants

Age	Gender		
	Male	Female	Total
20s	7	8	14
30s	8	8	16
40s	7	8	15
More than 50	7	8	15
Total	29	31	60

2) 영상기반 인적특성 및 인지특성 조사

영상기반 조사는 피실험자의 인적특성을 조사하고, 시뮬레이션 상에서 구현되는 자율차의 군집주행 상황에 대한 영상을 시청한 후 피실험자의 군집주행 인지 여부와 군집주행으로 인한 부담감에 대해서 조사하는 것을 목적으로 진행하였다. 특히 인적특성 조사 결과는 주행시뮬레이션 실험결과 또는 NASA-TLX 결과와 연계 분석할 수 있으며, 시뮬레이션 영상이 군집주행을 효과적으로 구현하는지를 판단하는 자료로 이용될 수 있다. 설문조사 첫 번째 페이지에서는 군집주행에 대한 기본적인 개념을 설명하고 피실험자의 인적사항(성별, 연령대, 운전경력)을 조사하였다. 두 번째 페이지에서는 비군집, 군집 주행환경 영상에 대한 반응을 조사하였다.

3) 주행시뮬레이션

본 연구에서는 주행시뮬레이터를 활용하여 비군집, 군집 주행환경에서 비자율차 운전자의 차량거동 및 작업부하를 비교분석하였다. 시뮬레이션 실험 환경은 3차로의 연속류 직선도로이며, 비군집, 군집주행환경 모두 1차로와 3차로의 차량들은 차로변경을 하지 않는다. 인접차량이 존재하는 1차로와 3차로는 LOS D의 교통상황이며, 군집주행 시나리오의 경우 1, 3차로의 모든 차량이 군집주행을 하는 상황이다. 군집주행을 수행하는 차량은 제한속도 100kph로 주행하게 되며 군집의 크기는 4대, 8대, 12대로 랜덤하게 배정하였다. 또한 군집 내 차량 간 간격은 기존문헌(Tsugawa et al.,2006)에 따라 4m로 설정하였으며, 군집 간 간격은 제한속도 100kph일 때 안전정지거리에 따라 100m로 설정하였다. 피실험자는 2차로에서 주행을 시작하게 되며, 3km의 가상주행도로에서 100m 전방의 차량을 따라 주행할 것을 요청받는다. 피실험자는 비군집, 군집주행환경에서 각 1회씩 총 2회 실험을 진행하게 되며, 피실험자의 군집주행환경 적응으로 인한 오류를 피하기 위해 각 피실험자 별로 비군집, 군집주행환경의 순서는 무작위로 진행하였다.

4) 차량거동 평가지표

주행 시뮬레이션 실험을 활용해 각 피실험자의 차량거동 자료를 수집하였다. 총 60명의 자료 중 이상치 제거를 위해 절사평균 상하위 8명과 시뮬레이션 부적응자 1명의 자료를 제외하였고, 운전자의 주행행태와 중·횡방향 주행안전성 파악을 위한 효과적으로 평균속도, 가속소음, Offset을 선정하였다. 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). Offset은 차로중앙에서 떨어진 정도를 의미하며, 차량의 중심이 차로중앙보다 왼쪽으로 치우친 경우는 음수 값이, 오른쪽으로 치우친 경우는 양수 값이 도출된다(<Fig. 2>). 각 효과적도 별 산출식은 아래 식 (1),(2),(3)에 제시하였다.

$$\text{평균속도: } V_j = \sum_{k=1}^m \left(\frac{V_k}{m} \right) \quad (1)$$

$$V_k = \frac{\sum_{i=1}^t (p_{i+1} - p_i)}{1000(m)/3600(s)}$$

V_j = 시나리오 j 의 피실험자주행속도 평균(kph)
 V_k = 피실험자 k 의 주행속도(kph)
 t = 주행시간(s)
 p_i = 시간 i 에서의 위치(m)
 m = 시나리오 별 피실험자수

$$\text{가속소음: } \tilde{a}_j = \sum_{k=1}^m \frac{\tilde{a}_k}{m} \quad (2)$$

$$a_k = \sum_{i=1}^t \frac{1000(m) \cdot (v_{t+1} - v_t)}{3600(s) \cdot t}$$

$$\tilde{a} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^t (a_{ki})^2}{m}} - a_k^2$$

\tilde{a}_j = 시나리오 j 의 가속소음(m/s^2)
 a_k = 피실험자 k 의 가속도 평균(m/s)
 t = 주행시간(s)
 a_{ki} = 피실험자 k 의 시간 i 에서 가속도(m/s)
 \tilde{a}_k = 피실험자 k 의 가속소음(m/s^2)

$$\text{Offset: } O_j = \frac{\sum_{k=1}^m O_k}{m} \quad (3)$$

$$O_k = \frac{\sum_{i=1}^t |O_i|}{t}$$

O_j = 시나리오 j 의 Offset(m)
 O_k = 피실험자 k 의 Offset 평균(m)
 O_i = 피실험자 k 의 시간 i 에서 Offset(m)
 t = 주행시간(s)
 m = 시나리오 별 피실험자수



〈Fig. 2〉 Conceptual illustration of 'offset' from lane center

5) NASA-TLX기반 작업부하 조사

작업부하(Workload)란 어떤 과제를 수행하는 데 부과되는 주의 혹은 노력의 양으로 정의할 수 있다(실험 심리학용어사전). NASA-TLX 설문조사는 대형 시스템에서 작업수행 시 요구되는 작업부하 평가를 위하여 미국 항공우주국에서 개발한 방법으로 본 연구에서는 군집주행환경에서 운전자의 작업부하를 평가하기 위한 목적으로 주행시뮬레이션 실험 후 진행되었다. NASA-TLX는 Task에 대한 작업부하를 평가하기 위한 방법론으로, 본 실험에서는 피실험자가 주행 시뮬레이션을 통해 연속류 직선도로를 주행하는 동안 군집주행 환경에 의해 느끼는 작업부하를 평가하는데 활용되었다. 군집주행환경에서는 비자율차 운전자의 반응이 달라질 것으로 판단되며, 인적특성 별로 군집주행환경에 의한 작업부하가 다르게 나타날 것이다. 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, 각 항목 별로 계층화 분석법(Analytical Hierarchical Process, AHP)을 통해 산출한 가중치를 적용하여 작업부하 점수를 도출하였다(Kim et al.,2010; Jeon et al., 2009a; Jeon et al., 2009b). 작업부하 점수는 100점 척도로 계산되며, 점수가 높을수록 비자율차 운전자의 작업부하가 큰 것으로 판단할 수 있다. 본 실험에서 이용한 NASA-TLX 설문 조사 항목과 가중치는 <Table 2>에 제시하였으며, 주행시뮬레이션 실험 중 비군집, 군집 주행환경 시나리오에 대해서 설문을 진행하였다.

<Table 2> Questions for NASA-TLX survey

Classification	Questions	Weight
Mental demand	How mentally demanding was the task?	0.281
Physical demand	How physically demanding was the task?	0.488
Temporal demand	How hurried or rushed was the pace of the task?	0.080
Performance	How unsatisfied are you in accomplishing what you were asked to do?	0.048
Effort	How hard did you have to work to accomplish your level of performance?	0.073
Frustration	How insecure, discouraged, irritated, stressed and annoyed were you?	0.031

2. 작업부하평가

영상기반 인적특성 및 인지특성 조사에서 수집한 인적특성 자료와 주행시뮬레이션 실험 이후 NASA-TLX를 활용해 수집한 작업부하 점수를 연계해 분석하였다. 비군집, 군집 주행환경에서 성별, 연령대, 운전경력 별로 작업부하 점수에 차이가 있는지 확인하기 위해 통계분석 프로그램인 SPSS를 활용해 T-test와 ANOVA 분석을 실시하였다. T-test와 ANOVA는 표본의 평균 차이를 비교하는 방법으로 표본의 개수에 따라 검정방법이 다르게 적용되며, 표본 개수가 2개일 때는 독립표본 t-test를 표본개수가 3개 이상일 때는 ANOVA를 사용한다. 기존연구에서 나타난 결과들로 미루어보아 비군집, 군집 주행환경에 따라, 인적특성에 따라 작업부하 점수에 차이가 나타날 것으로 판단된다.

3. 차량거동평가

인적특성과 군집주행환경이 작업부하에 영향을 미치고, 작업부하의 결과로 차량거동이 나타난다는 가정을 설정했다. 운전자가 군집주행환경에 부담감이나 스트레스를 느끼게 되면 속도, 가속소음, Offset의 값이

비군집주행환경에서의 값과 비교해 불안정하거나 상이하게 나타날 것으로 판단된다. 작업부하평가와 마찬가지로 수집한 인적특성 자료와 주행 시뮬레이션 실험을 통해 수집한 차량거동 자료를 연계해 분석하였다. 비군집, 군집 주행환경에서 성별, 연령대, 운전경력 별로 차량거동에 차이가 있는지 확인하기 위해 T-test와 ANOVA 분석을 실시하였다.

IV. 분석결과

본 연구에서는 60명의 피실험자를 대상으로 3단계에 걸친 조사 및 실험의 결과를 이용하여 군집주행환경에서 비자율차 운전자의 차량거동 및 작업부하 평가를 수행하였다. 분석결과는 영상기반 인지특성 분석, 군집주행환경에 따른 평균속도 평가, 군집주행환경에 따른 작업부하 평가 그리고 차량거동평가 결과 순으로 제시하였다. 본 연구에는 주행속도, 작업부하점수, Offset, 가속소음 4가지 항목에 대하여 군집주행환경과 비군집주행환경에서의 특성을 비교하였다. 속도와 작업부하점수는 군집과 비군집 사이에 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으나, Offset과 가속소음은 통계적인 차이가 없는 것으로 분석되었다. 따라서 Offset과 가속소음은 세부항목인 성별, 연령대, 운전경력별 세부분석을 수행하였으며, 통계적으로 유의한 결과가 나타난 항목을 중심으로 제시하였다.

1. 영상기반 운전자 인지특성 분석

영상기반 운전자 인지특성 분석에 대한 결과를 <Fig. 3>에 제시하였다. 분석결과, 95%의 피실험자가 군집주행영상에서 주변차로를 주행하는 차량들에 대해 군집주행으로 인식하였으며, 이는 주행시뮬레이션 영상이 군집주행을 구현하였음을 보여주는 조사결과이다(<Fig. 3-a>). 또한 피실험자의 76.7%가 주변차로를 주행하는 군집차량군에 심적 부담을 느끼는 것으로 나타났다(<Fig. 3-b>). 이러한 운전자의 심리적 압박감이 실제 주행환경에서는 차량의 거동 변화로 나타나게 될 것이다. 따라서 주행시뮬레이션 실험을 통해 운전자의 행태 및 차량의 거동변화를 분석하는 것은 자율차와 비자율차의 상호작용을 이해하는데 중요한 요소이다.



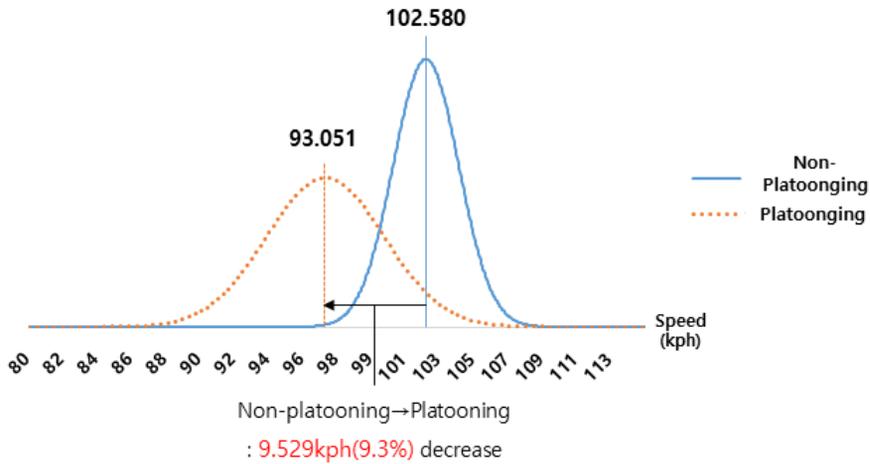
(a) Does the reality of simulated vehicle platoons seem to be acceptable? (b) Do you feel the burden due to platooning vehicles?

<Fig. 3> Results of video questionnaire

2. 군집주행환경에 따른 차량거동 분석

주행 시뮬레이션을 활용해 비군집 주행환경과 군집 주행환경에 따른 비자율차 운전자의 차량거동을 비교 분석했다. T-test 결과 평균속도, 가속소음, Offset 세 가지의 차량거동 중 평균속도에서 유의확률이 0.1이하로 나타나 90% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다(<Table 3>). 군집주행일 때의 평균속도가 비군집 주행환경일 때의 평균속도보다 약 9.5kph(9.3%) 감소한 것으로 나타났고 표준편차 역시 비군집 주행환경일 때의 약 2배에 달하는 값이 나타났다. 이는 군집주행 인지 시 속도표준편차가 높게 나타난다는 기존 연구결과(Gouy et al., 2014)와 유사한 결과이다. 가속소음과 Offset 분석의 경우 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다.

<Table 3> Comparison of average speed by t-test



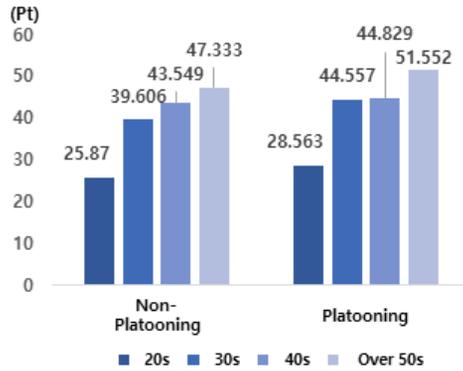
Group Statistics					
	Mean		Std.Deviation		
Non-platooning	102.850		1.858		
Platooning	93.051		3.339		
t-test					
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
	F	Sig.	t	df	Sig.(2-tailed)
Equal variance assumed	6.721	0.011	3.515	100	0.001
Equal variance not assumed	-	-	3.515	50.923	0.001

3. 작업부하평가

군집 주행환경에 대해 운전자가 느끼는 심리적 부담감을 평가하기 위해 성별, 연령대, 운전경력별로 피실험자의 작업부하점수 차이가 있는지 통계분석을 수행하였다. 각 인적특성별로 성별에 따라 T-test, 연령대, 운전경력에 따라 ANOVA 분석을 수행하였다. 분석결과 비군집, 군집 주행환경일 때 모두 연령대별 작업부하점수에서 유의확률이 0.1이하로 나타나 90% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났고 모든 연령대에서 군집 주행환경일 때의 작업부하점수가 비군집 주행환경일 때의 점수보다 높게 나타났다

(<Table 4>). 또한 연령대가 높아질수록 작업부하점수도 높아지는 것을 확인할 수 있는데, 이는 연령이 높아질수록 군집주행에 따른 운전자의 작업부하 점수가 높아진다는 기존 연구결과(Heikoop et al., 2017)와 유사한 결과이다. 성별, 운전경력별 분석에서는 통계적으로 유의한 차이를 확인할 수 없었다.

<Table 4> Comparison of workloads by age



ANOVA					
		d.f	Mean Square	F	Sig.
Non-Platooning	Between Groups	3	1255.148	3.288	0.027
	Within Groups	56	381.708	-	-
	Total	59	-	-	-
Platooning	Between Groups	3	1365.474	3.162	0.031
	Within Groups	56	431.801	-	-
	Total	59	-	-	-

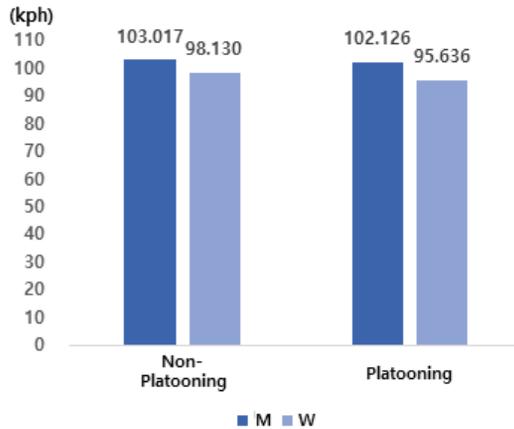
4. 차량거동평가

본 연구에서는 운전자가 군집 주행환경에 심리적 부담감을 느끼게 되면, 차량거동의 변화가 그 결과로써 나타날 것이라고 가정하였다. 그에 따라 비군집, 군집 주행환경에서 피실험자의 인적특성별로 차량거동에 차이의 존재 여부를 확인하기 위해 분석을 수행하였다.

1) 성별 차량거동평가

먼저 성별로 평균속도, 가속소음, Offset 차이가 있는지 T-test를 수행하였다. 분석결과 비군집, 군집주행환경 모두 남자, 여자의 평균속도 비교 시 유의확률이 0.1이하로 나타나 90% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 차이가 존재하는 것으로 나타났다(<Table 5>). 여자의 평균속도가 남자의 평균속도보다 낮게 나타났으며, 이는 돌발상황이나 이상교통상황에서 여성이 남성보다 낮은 운전능력 지각을 가진다는 연구결과(Kim et al., 2006)와 관련성이 있다고 판단된다. 또한 통계적으로 유의한 차이가 존재하지는 않지만, 남녀 모두 군집 주행환경 시의 평균속도가 비군집 주행환경 시의 평균속도보다 낮게 나타났다. 이는 군집주행환경이 운전자에게 영향을 미치는 것으로 해석할 수 있다.

〈Table 5〉 Comparison of average speed by gender



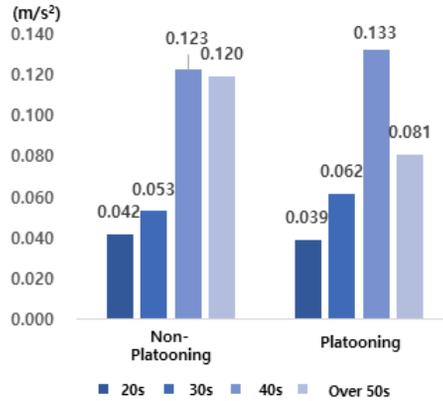
t-test					
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
	F	Sig.	t	df	Sig.(2-tailed)
Non-platooning	3.287	0.076	1.753	49	0.086
Platooning	1.106	0.298	2.829	49	0.007

2) 연령대별 차량거동평가

연령대별로 차량거동에 차이가 나타나는지 ANOVA 분석을 수행하였다. 분석결과 가속소음의 경우 비군집, 군집주행환경 모두 유의확률이 0.1 이하로 나타나 90% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 평균차이가 존재하는 것으로 나타났고(<Table 6>), Offset의 경우 비군집주행환경일 때 유의확률이 0.1 이하로 나타나 90% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 평균차이가 존재하는 것으로 나타났다(<Table 7>).

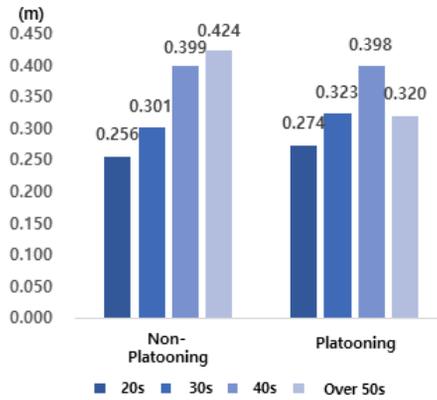
연령대별 분석결과 20대와 30대의 가속소음, Offset 값과, 40대와 50대 이상의 가속소음, Offset 값이 구분되는 것으로 나타나 각각 청년층, 중장년층으로 연령대를 재구성하여 T-test를 수행하였다. 분석결과 가속소음, Offset 모두 비군집, 군집주행환경에서 중장년층이 청년층보다 높게 나타났고(<Table 8>, <Table 9>), 이는 중장년층이 더 불안정한 주행행태를 나타냈다고 해석할 수 있다. 또한 청년층의 경우 군집주행환경일 때의 가속소음과 Offset 값이 비군집주행환경일 때보다 높게 나타나 군집주행환경이 운전자에게 부담감을 주는 것으로 판단했다.

〈Table 6〉 Comparison of acceleration noise by age



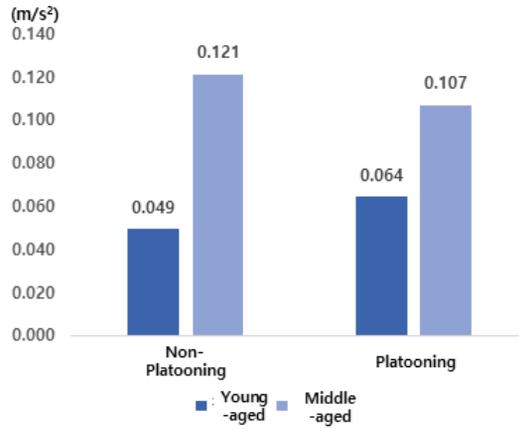
ANOVA					
		d.f	Mean Square	F	Sig.
Non-Platooning	Between Groups	3	0.023	6.503	0.001
	Within Groups	47	0.004	-	-
	Total	50	-	-	-
Platooning	Between Groups	3	0.021	6.212	0.001
	Within Groups	47	0.003	-	-
	Total	50	-	-	-

〈Table 7〉 Comparison of offset by age



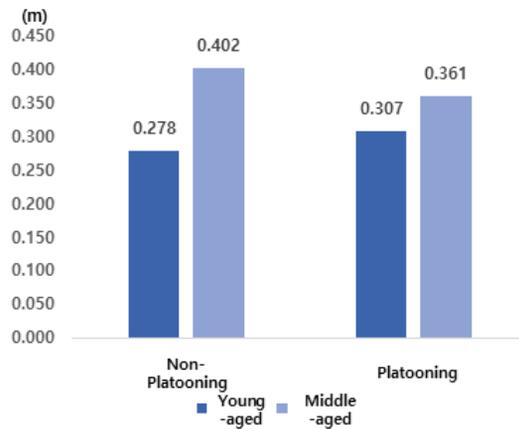
ANOVA					
		d.f	Mean Square	F	Sig.
Non-Platooning	Between Groups	3	0.077	5.576	0.002
	Within Groups	47	0.014	-	-
	Total	50	-	-	-
Platooning	Between Groups	3	0.036	1.531	0.195
	Within Groups	47	0.022	-	-
	Total	50	-	-	-

〈Table 8〉 Comparison of acceleration noise by age group



t-test					
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
Non-platooning	5.983	0.018	-4.316	33.312	0.000
Platooning	0.024	0.878	-2.226	49	0.031

〈Table 9〉 Comparison of offset by age group

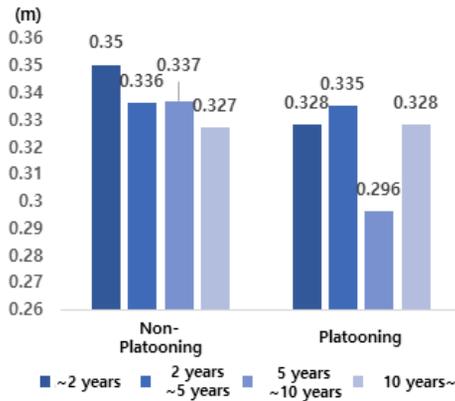


t-test					
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
Non-platooning	0.696	0.408	-3.871	48	0.000
Platooning	0.004	0.950	-1.267	47	0.211

3) 운전경력별 차량거동평가

운전경력별로 차량거동에 차이가 나타나는지 ANOVA분석을 수행하였다. 분석결과 비군집주행환경일 때 운전경력별 Offset이 유의확률 0.1 이하로 90% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다(<Table 10>). 또한 비군집주행환경일 때 운전경력이 많은 피실험자인 경우 Offset이 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는 운전경력이 많아질수록 시뮬레이션 환경과 같은 낮은 주행 환경에 더 빠르게 적응한 것으로 해석할 수 있다.

<Table 10> Comparison of offset by driving experience



ANOVA					
		d.f	Mean Square	F	Sig.
Non-Platooning	Between Groups	3	0.046	2.681	0.058
	Within Groups	46	0.017	-	-
	Total	49	-	-	-
Platooning	Between Groups	3	0.013	0.596	0.621
	Within Groups	45	0.022	-	-
	Total	48	-	-	-

V. 결론 및 향후 연구과제

전 세계적으로 자율협력주행 또는 군집주행 관련 연구 및 개발이 활발히 이루어지고 있으며, 통신기술과 정보제공을 위한 인프라의 개발로 군집주행이 가능하게 될 것이다. 한 국내 자동차제조 기업에서는 2018년 군집주행 시연을 목표로 두고 있을 정도로 군집주행기술의 상용화가 목전에 다가온 상황이다. 그러나 대부분의 기존 연구에서는 군집주행 기술 자체에 대한 분석이 진행되었으며, 주변차량들이 군집주행을 하고 있는 환경에서 비자율차의 행태나 비자율차 운전자의 반응에 대한 연구는 활발하게 이루어지지 않았다. 따라서 본 연구에서는 군집주행환경이 비자율차와 비자율차 운전자에게 미치는 영향분석을 실시하였으며, 차량 거동 및 작업부하 분석을 중점으로 진행하였다.

본 연구에서는 군집주행환경에서 비자율차의 행태분석을 위해 3단계의 조사 및 실험을 수행하였다. 1단계

로 시뮬레이션 영상이 군집주행을 구현하였는지 판단하고 운전자의 인적특성을 조사하기 위해 영상기반의 조사를 진행하였다. 또한 2단계에서는 주행 시뮬레이션 실험을 통해 군집주행환경에서 비자율차의 차량거동을 분석하였으며, 마지막 단계에서는 주행 시뮬레이션 실험 후 운전자의 작업부하를 조사하기 위해 NASA-TLX 설문조사를 수행하였다. 영상기반 운전자 인지특성 조사 결과 피실험자의 95%가 군집주행 중인 차량들을 인지하였으며 피실험자의 76%가 군집차량군으로 인해 심리적인 부담감을 느끼는 것으로 나타났다. 주행 시뮬레이션 분석결과, 군집주행환경에서의 평균속도가 비군집주행환경일 때 보다 약 9.5kph(9.3%) 감소하는 것으로 나타났고 평균속도의 표준편차 역시 군집주행환경일 때 더 크게 나타났다. 피실험자의 인적특성과 NASA-TLX를 이용한 작업부하를 연계해 분석한 작업부하평가 결과 군집, 비군집주행환경일 때 모두 연령대가 높아질수록 작업부하점수가 높아지는 것으로 나타났고, 연령대별로 작업부하점수에 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 피실험자의 인적특성과 주행 시뮬레이션을 통해 수집한 차량거동을 연계해 분석한 차량거동평가 결과 군집주행환경일 때 성별 평균속도, 연령대별 가속소음에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났고, 비군집주행환경일 때 연령대별 Offset, 가속소음과 운전경력별 Offset에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다.

다가올 자율주행시대의 교통관리 개념에서 자율주행차, 군집주행에 대한 연구뿐만 아니라, 비자율차에 대한 연구도 활발하게 진행되어야 한다. 본 연구의 결과를 고령운전자나 여성 등의 고위험군 운전자의 안전성 증대, 비자율차량 운전자에게 주변 군집주행차량에 대한 정보 제공 방안 모색, 자율주행차/비자율차 분리 방안 모색 등의 비자율차량 운전자를 위한 교통관리전략을 수립하는데에 활용할 수 있을 것이라 판단된다.

본 연구를 발전시키기 위해서는 다음과 같은 추가적인 연구가 필요하다. 첫째, 본 연구에서는 운전자 인적특성을 고려한 연구결과를 제시했으나 향후 연령대별 인지반응시간이나 성별 주행행태 등이 반영된 추가 연구가 필요하다. 더불어 본 실험에서는 표본이 크지 않기 때문에 통계적인 분석결과를 제시하였으나, 추후 추가적인 피실험자 모집을 통한 대규모 실험을 통해 분석결과와 신뢰성을 높일 수 있을 것으로 판단된다. 둘째, 주행 시뮬레이션을 통한 차량거동 자료 수집 시, 군집주행차량군의 차종, 색깔이 모두 동일해 피실험자의 군집주행 인지에 영향을 미쳤을 것으로 판단되어, 향후 군집주행차량군 구현 시 개선이 필요하다. 또한 군집주행 파라미터인 군집내간격, 군집간간격, 군집크기(군집내 차량대수)등을 고려한 다양한 시나리오와 다각적인 분석이 수행되어야 할 것으로 판단된다. 마지막으로 주로 종방향 거동 중심의 차량 추종행태 뿐만 아니라 차로변경 등 횡방향 주행행태에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 국토교통부 국토교통기술연구개발사업의 연구비지원(17TLRP-BI01406-03)에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

- Kim et al.(2006), "Difference in Perception of Male and Female Drivers Regarding the Driving Ability and Driving," *Korean Journal of Psychological and Social Issues*, pp.37-53.
- Jo et al.(2008), "A Study on Driving Characteristics of the older drivers and younger drivers using a Driving Simulator," *Journal of Korea Safety Management and science*, pp.43-52.

- Kim et al.(2008), "Identification of Age Threshold for Driving Performance," *Journal of the KOSOS*, pp.71-78.
- Heikoop D. D. et al.(2017), "Effects of platooning on signal-detection performance, workload, and stress: A driving simulator study," *Applied Ergonomics*, pp.116-127.
- Christian L. et al.(2011), "Interaction of Human, Machine, and Environment in Automated Driving Systems," *Journal of the Transportation Research Board*, pp.138-145.
- Alexander D. and Gartner J.(2013), "Self-Driving Vehicles, Autonomous Parking, and Other Advanced Driver Assistance Systems: Global Market Analysis and Forecasts".
- Oh D. W., Oh C. and Jang 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," Korean Society of Transportation, *J. Korean Soc. Transp.*, vol. 27, no. 5, pp.145-153.
- Gouy M., Wiedemann K., Stevens A., Brunett G. and 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.*, vol. 27, pp.264 - 273.
- Jeon J. D., Lee Y. H. and Choi Y. C.(2009), "A Study on the Operational Impact of Abnormal Aircraft in ATC Operations:Focusing on Situation Awareness and Workload," The Korean Society for Aviation and Aeronautics, *J Korean Soc Aviat. and Aeronaut*, vol. 17, no. 3, pp.32-39.
- Ko H. G., Kim J. H., Seong M. J. and Lee J. S.(2012), "Safe Driving Inducement Effect Analysis of Smart Delineator through Driving Simulation Evaluation," *J. Korean Soc. Transp.*, Korean Society of Transportation, vol. 30, no. 4, pp.43-59.
- Kim J. Y., Park J. S. and Cho Y. J.(2010), "Biomechanical Measuring Techniques for Evaluation of Workload," The Ergonomics Society of Korea, *J. Ergon. Soc. Korea*, vol. 29, no. 4, pp. 445-453.
- Tsugawa S., Kato S., Aoki K., Talebpour A., Mahmassani H. S. and Lee C. et al.(2006), "Evaluation of variable speed limits to improve traffic safety," *Transp. Res. Part C: emerging technologies*, vol. 14, no. 3, pp.213-228.
- Park S. and Ritchie S. G.(2004), "Exploring the relationship between freeway speed variance, lane changing, and vehicle heterogeneity," Transportation Research Board 83th Annual Meeting, Transportation Research Board, Washington, D.C.