

차량시뮬레이터 기반 악천후 시 운전자 활동 불편도 평가 연구

정 상 현¹⁾ · 김 재 원¹⁾ · 홍 사 라¹⁾ · 임 정 호²⁾ · 이 명 현²⁾ · 양 지 현³⁾

국민대학교 자동차공학전문대학원¹⁾ · 현대자동차 소행패키지기술팀²⁾ · 국민대학교 자동차공학과³⁾

Development of Driver Discomfortness Evaluation Under Severe Weather in Driving Simulator

Sanghun Jeong¹⁾ · Jaewon Kim¹⁾ · Sara Hong¹⁾ · Jungho Lim²⁾ · Myunghun Lee²⁾ · Ji Hyun Yang^{*3)}

¹⁾Graduate School of Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 02707, Korea

²⁾Compact Vehicle Package Engineering Team, Hyundai Motor Company, 150 Hyundaiyeonguso-ro, Namyang-eup, Hwaseong-si, Gyeonggi 18280, Korea

³⁾Department of Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 02707, Korea

(Received 9 December 2020 / Revised 20 February 2021 / Accepted 25 February 2021)

Abstract : Due to the rapid climate change, drivers are now more likely to drive in severe weather conditions than before. In bad weather, drivers have no option but to cope with a very unusual environment, increasing the likelihood that an accident will transpire. Therefore, it is important to find ways to operate vehicle systems more easily and safely during bad weather. In this study, we investigated 6 in-vehicle activities generally performed by drivers by evaluating their discomfort level under three different weather conditions: foggy, rainy, and sunny. For the quantitative assessment, the drivers' physiological, eye-gaze, in-vehicle equipment control, and vehicle control data were measured. For the qualitative assessment, the driver's discomfort was measured using the semantic differential method. The results showed that non-driving tasks were found to be the least comfortable activities during all three weather conditions. On the other hand, driving-related tasks were found to be carried out more comfortably in good weather than in bad weather.

Key words : Weather(기상), Driver(운전자), Driving simulator(차량 시뮬레이터), Inconvenience(불편), Semantic differential(의미척도법), Non-driving-related tasks(운전과 무관한 일), Driving-related tasks(운전과 관련된 일)

1. 서론

차량을 주행하면서 기상 요소는 시야의 변화, 소음, 차량의 거동 등 다양한 측면에서 운전자에게 영향을 미친다. 따라서 악천후 상황에서 운전자에게 평소와는 매우 다른 환경에서 차량을 주행하게 되고, 이는 운전자의 불편함을 넘어서 안전까지 위협하는 상황에 이르게 된다. 최근 폭우와 잦은 안개 발생 등의 이상기후 현상이 계속해서 증가하며,¹⁻⁴⁾ 악천후 환경에서 운전자 사고율 및 치사율이 높다^{5,6)}는 것을 고려했을 때 이상기후 시 운전자의 환경 개선은 필수적이다.

악천후를 동반한 이상기후의 증가 현상은 수년간 축적된 기상 데이터들을 통해서 증명되고 있다. 기상청에

서 제공하는 2017 이상기후 보고서에 따르면, 2017년의 평균기온이 1973년 이후 최고 2위를 기록했고, 중부지방의 평균강수량의 경우 평년(1981~2010년)의 강수량 366.4 mm보다 증가한 439.0 mm의 강수량을 기록하였다.¹⁾ 2011년 기상청에서 발간한 한국기후변화백서에 의하면 향후 30년간(2011~2040년) 연평균 강수량은 200 mm 이상 증가하고, 2040년 이후에는 300 mm 이상 증가할 것으로 전망하고 있다.²⁾ 연 강수량의 증가와 시간당 30 mm 이상의 강한 비가 증가하는 추세로 볼 때, 앞으로의 미래에는 더 많은 강우 현상이 발생할 가능성이 크다. 문술희와 이승호³⁾는 1961~2010년을 기준으로 국내의 안개 발생 빈도를 조사한 결과 대체로 감소하는 경향이 나타났

*Corresponding author, E-mail: yangjh@kookmin.ac.kr

[†]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.

지만, 추풍령과 일부 서해안 지역에서는 증가하는 모습을 나타냈다고 하였다. 이를 통해 국내의 일부 지역에서는 안개 발생 빈도가 증가하고 있다는 것을 알 수 있다. 민승기 등⁴⁾은 지구온난화가 폭우, 폭설 등의 이상기후에 영향을 미친다는 사실을 밝혀냈다. 현재, 지구온난화의 심각성이 증가하는 추세로 보아 앞으로도 악천후를 동반한 이상기후 현상은 꾸준히 발생할 것이고 차량을 설계하는데 있어서 무시할 수 없는 환경적 요소로 볼 수 있다.

우천 및 안개 시 발생하는 차량 사고가 전체 차량 사고의 상당 부분을 차지하고, 맑은 날씨에서 발생한 사고에 비해 그 피해 수준이 상당히 치명적인 것으로 알려졌다. 이영남과 김광원⁵⁾은 인천지역의 기상 데이터 및 교통사고 데이터를 분석하여 강수는 그 양과 관계없이 교통사고의 발생률에 상당한 영향을 미친다는 사실을 밝혀냈다. 또한 5년 동안(2001~2005)의 데이터를 기준으로 강수 시 사망률은 35.9 %로 전체 사망자 1,223명 중 439명으로 상당히 높은 수치를 나타내었다. 안개 상황에서의 교통사고는 다른 기상 관련 요소보다 치명적이다. 조혜진과 윤수정⁶⁾은 155명의 운전숙련자에게 설문지를 진행한 결과 응답자의 90 % 이상이 안개가 발생한 도로 주행 시 위험을 경험한 것으로 나타났다. 또한 안개 상황에서의 교통사고는 전체 교통사고의 0.3 %로 그 발생 비율은 적은 편이지만, 사고의 치사율은 11.2%로 맑은 날 치사율의 3배 이상을 나타내 상당히 위험한 상황임을 알 수 있다.

기상 상태 변화에 따른 운전자 사고를 방지하기 위해 운전자의 차량제어 및 생체 신호 패턴에 관한 연구들이 진행되고 있다. Saffarian 등⁷⁾은 안개와 맑은 기상 환경에서 느끼는 위험감 정도와 조향 패턴을 분석하였다. 운전자는 차량 시뮬레이터에서 선두 차량을 따라 주행하며 스티어링에 위치한 태블릿으로 느껴지는 위험감 정도(0~100 %)를 체크하였다. 운전자는 보이지 않는 안개 환경에서 맑음 대비 높은 위험감을 느꼈고 조향 활동(deg/s)이 증가하는 모습을 보였다. Ghasemzadeh과 Ahmed⁸⁾은 SHRP 2 Naturalistic Driving Study의 데이터를 사용하여 맑은 기상 대비 폭우 시 운전자의 차선 유지 능력을 분석하였다. 폭우 시 운전자는 맑음 대비 3.8배 높은 차선 위치 표준편차를 나타냈다. 또한 차량 속도가 높을수록 운전자의 차선 유지 능력이 향상되는 것으로 나타났다. Konstantopoulos 등⁹⁾은 차량 시뮬레이터에서 숙련된 운전자(평균 경력 34년)와 초보 운전자(평균 24시간 운전수업 수간)가 3가지(주간, 야간, 우천) 기상 환경에서 운전하도록 하여 시선의 움직임 분석하였다. 숙련된 운전자는 초보 운전자 대비 시선 이동 빈도가 높으며 시선의 고정 시간이 짧은 것으로 나타났다. 또한 우천 같은 열악한 가시성 조건에서는 숙련된 운전자와 초보

운전자 모두 시선 이동 빈도가 낮아지고 시선의 고정 시간이 길어져 시각적 정보를 처리하는데 부하가 걸리는 모습을 보였다.

이전에 선행되었던 악천후 및 이상기후 관련 차량 연구 대부분이 기상 통계자료와 차량 주행 성능, 생체지표에 국한되어 진행된 연구였다. 하지만 본 연구에서는 차량 주행 중 운전자가 느끼는 불편함에 대한 연구를 평가하는 정량적인 방법을 개발하여 운전 중 수행 가능한 다양한 활동들의 불편도 순위를 도출하고, 추후 이루어질 연구에서 실질적인 불편도 개선안을 도출해 궁극적으로는 차량 주행의 안전성을 확보하는 것을 목적으로 하였다. 예를 들어, 악천후 상황에서 운전자들은 정상 기상 상황보다 그들의 주의 수준이나 행동을 조절하여 상대적으로 조심스럽게 운전하는 것이 상식이다. 하지만 구체적으로 어느 수준의 기상 변화에서 운전자가 실질적으로 불편함을 느끼고, 시선이나 손동작 같은 어떠한 요소들이 운전자의 불편함을 유발하는지에 대해서는 더 많은 연구가 진행될 필요가 있다.

본 연구에서는 Full-Scale 시뮬레이터를 기반으로 맑음과 2가지 악천후(질은 안개, 강우) 기상환경에서 운전자가 6가지 활동을 수행하는 실험을 진행하였다. 그리고 9가지의 정량적 지표들(GSR 진폭, 전방주시 비율, 시선 수평 표준편차, 동공 지름 변화량, Time-To-Collision, 볼륨 크기, 차량 속도, 액셀 조작 빈도, 브레이크 조작 빈도)을 통해 기상 수준에 따른 유의미한 차이를 나타내는지 분석하였으며, Semantic differential 평가 방법을 사용하여 6가지 활동에 대해 운전자 느끼는 불편도 순위를 정성적으로 평가하였다.

2. 시뮬레이션 가시거리 검증 실험

본 실험을 진행하기에 앞서 시뮬레이션의 가시거리 검증 실험을 진행하였다. 가시거리 검증 실험에서는 SW의 가시거리 설정 수준에 따른 운전자의 물체 인지 시점의 유의한 변화가 있는지 확인하여, 시뮬레이터 환경에서도 SW 상의 가시거리 수준에 따라 유의한 운전자 반응의 차이가 나타나는지 검증하였다.

2.1 실험 설계

팅 빈 직진 도로의 한 지점에 4가지 물체(Fig. 1) 중 1가지를 랜덤으로 위치시키고 물체의 1 km 앞에서 차량이 출발할 수 있도록 시나리오를 구현하였다. 운전자에게는 차량을 약 15 km/h의 속도로 주행하며 어떤 물체인지 인지가 가능할 때 브레이크를 밟아 차량을 멈추도록 지시하였다. 주행 환경의 기상 수준은 본 실험에서 구현될

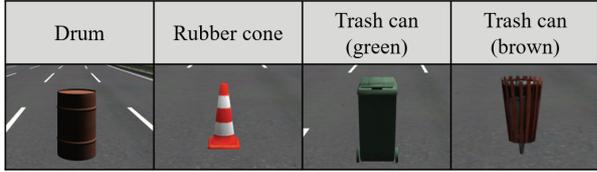


Fig. 1 Four objects to be recognized by the driver

3가지의 기상 수준(안개: 가시거리 70 m, 우천: 가시거리 300 m, 맑음: 가시거리 ∞ m)을 반영하여 6가지로 세분화하였다. 안개 3가지(가시거리 설정값: 50 m, 70 m, 100 m), 우천 2가지(가시거리 설정값: 200 m, 300 m), 맑음 1가지(가시거리 설정값: ∞ m)의 6가지 기상 조건에서 운전자는 각 1번씩 총 6번의 실험을 진행하였다. 본 실험과 동일한 31명의 피험자를 대상으로 실험을 진행하였으며, 물체를 인지하고 브레이크를 밟은 시점을 기준으로 물체와 차량 간의 거리를 물체 인지 거리라 정의하고 기록하여 데이터 분석을 진행하였다.

2.2 실험 결과

시뮬레이션 가시거리 설정값에 따른 운전자의 물체 인지 거리를 분석하기 위해 기술 통계 및 추론 통계 분석을 진행하였다. 추론 통계 방법으로는 정규성의 만족과 등분산의 불만족 조건에 따라 Welch test를 사용하였으며 Games-Howell을 통해 사후 분석을 진행하였다.

통계 분석 결과(Table 1) 물체 인지 거리는 가시거리 설정값과 비례하여 증가하는 모습을 보였으며 가시거리 50 m에서 12.94 m의 가장 짧은 물체 인지 거리, 가시거리 ∞ m에서 86.14 m의 가장 긴 물체 인지 거리를 나타냈다. P-value는 0.001 미만으로 유의수준(α) 0.05를 기준으로 유의한 차이를 나타냈으며, 사후 분석 결과 3가지의 가시거리 수준 쌍(70 m와 100 m, 100 m와 200 m, 200 m와 300 m)을 제외하고 모든 가시거리 수준 사이에서 물체 인지 거리의 유의한 차이를 나타냈다.

결론적으로 가시거리 검증 실험을 통해 시뮬레이션

Table 1 Perceived distance by visibility

Visibility on SW (m)	Perceived distance	
	Mean (SD)	p<0.001
50	12.94 (2.59)	50 < 70, 100, 200, 300, ∞ 70 < 200, 300, ∞ 100 < 300, ∞ 200 < ∞ 300 < ∞
70	19.52 (4.08)	
100	22.95 (5.16)	
200	32.35 (10.07)	
300	38.18 (14.22)	
∞	86.14 (39.73)	

환경에서 가시거리 수준의 변화에 따라 운전자가 물체를 인지하고 나타내는 반응의 유의한 차이가 있다는 것을 검증하였으며, 이를 기반으로 본 실험에서도 기상 수준에 따라 가시거리를 변화하여 실험을 진행하였다.

3. 차량 시뮬레이터 기반 실험 설계

3.1 실험 시나리오

사각형 모양의 천안 시내 도로가 본 실험의 시나리오 경로로 구성되었으며, 주변 차량들은 LOS C의 교통량으로 한 차로에 1 km마다 10초과 14대 이하의 차량이 통행¹⁰⁾하도록 구성하였다. 기상 환경 및 획득될 데이터 구간 길이를 고려하여 주변 차량의 최대 속도를 40 km/h로 설정하고 운전자는 기본적으로 40 km/h의 속도를 맞추되 운전 중 다른 활동 수행 시 주행이 어렵다고 판단되면 속도를 줄여 실험을 진행할 수 있도록 지시하였다.

차량 주행 중 운전자가 수행 가능한 활동을 크게 2가지의 분류로 나누었다. DRT(Driving-Related Tasks)는 운전 수행과 직접적으로 관련이 있는 활동으로 차선 변경, 우회전, 정지 차량 회피 3가지로 선정하였으며, NDRT(Non-Driving-Related Tasks)는 운전 수행과 직접적인 관련이 없는 활동으로 시선 및 Task 조작 위치의 차이를 나타낼 수 있는 볼륨 조절(시선 이동 불필요, 핸들 버튼 조작), 공조장치 조작(센터패시아 하단), 내비게이션 조작(센터패시아 상단) 3가지를 선정하여 총 6가지의 활동을 선정하였다(Fig. 2). 차선 변경 활동은 실험 진행자의 음성방송 지시에 따라 좌측과 우측으로 각각 3번씩 총 6번의 차선변경을 수행하도록 진행되었다. 우회전 활동은 사각형 경로 중 총 3곳의 꼭짓점 위치에서 수행하지만 횡단보도와 신호등이 위치한 2곳의 우회전 구간에서만 데이터를 취득하였다. 정지 차량 회피 활동은 본 활동에 할당된 구간 중 무작위의 위치에 정차된 차량을 배치하여 운전자가 정지 차량을 1번 회피하도록 구성하였다. 볼륨 조절 활동은 우회전 경로 500 m 전을 기점으로 시작해 차량이 움직인 위치에 맞춰 녹음된 내비게이션 안내 음성을 제공(500 m 앞 우회전 → 보행자 사고 다발 구간 → 300 m 앞 우회전 → 사고 다발 구간 → 잠시 후 우회전)하였으며, 운전자는 자신이 듣기 편한 수준으로 차량의 오디오를 조작해 볼륨을 조절하였다. 공조장치 조작 활동은 센터패시아 하단에 위치한 공조장치(Fig. 3)를 6번 조작하도록 음성방송으로 지시하였다. 공조장치 조작 명령은 풍량(0~4단계), Mode(바람이 나오는 방향 4가지), 온도(차갑게, 보통, 뜨겁게) 3가지를 조합(예: 공조장치를 풍량 3, Mode 2, 온도 뜨겁게로 맞춰주세요)하여 변경하도록 구성하였다. 내비게이션 조작 활동은 센터패

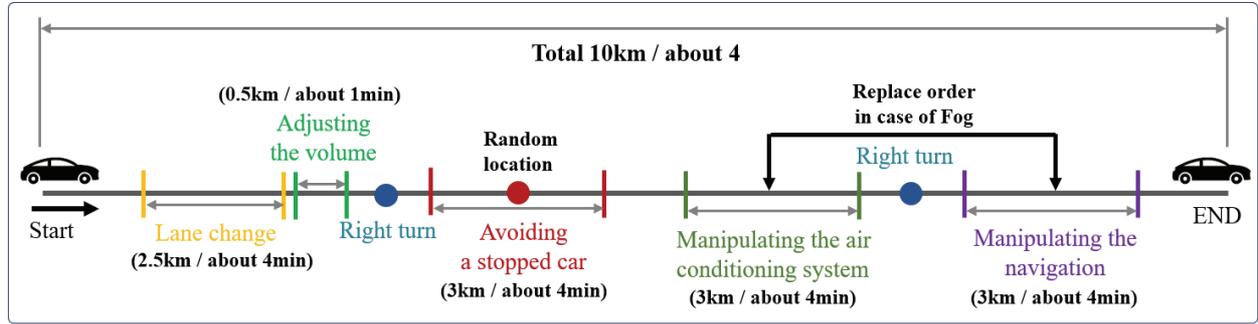


Fig. 2 Experiment scenario



Fig. 3 Air conditioning system of simulator

시아 상단 고정된 스마트폰을 통해 내비게이션 목적지를 6번 변경하도록 구성되었다. 내비게이션 애플리케이션으로는 T map을 사용하였으며 운전자는 즐겨찾기에 미리 등록된 20가지의 목적지 중 지시받은 목적지를 찾아 목적지 변경 활동을 수행하였다.

3.2 독립변수

본 실험의 독립변수는 기상 수준으로 안개, 우천, 맑음 3가지 수준으로 설정하였다(Fig. 4). 안개 상황은 짧은 가지거리로 인한 불편함을 유도하기 위해 짙은 안개 수준인 70 m의 가지거리를 설정하였다. 우천 상황은 일반 안개 수준인 300 m의 가지거리와 SW에서 구현 가능한 최대 강우 수준(강우량 기준이 아닌 SW 상의 자체적인 기준) 및 와이퍼 속도(약 1.53 Hz)를 설정하여 산만한 환경과 가지거리의 제한으로 운전자가 불편함을 느낄 수 있도록 유도하였다. 또한 맑음 상황은 ∞ m의 가지거리를 설정하여 기상으로 인한 불편함이 발생하지 않도록 도로 환경을 구현하였다. 참고로 가지거리 수준은 국제 기

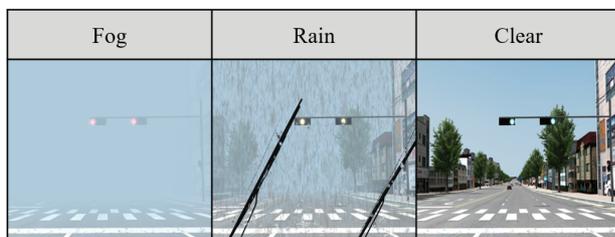


Fig. 4 Independent variable (Three weather conditions)

준에 따라 가지거리 40~200 m는 짙은 안개 수준, 가지거리 200~1,000 m는 일반 안개 수준으로 알려져 있으며,¹¹⁾ 40 km/h로 주행 시 헤드레스트에서 측정된 주변 소음 크기는 안개와 맑음 환경에서는 약 58 dB, 우천 환경에서는 약 65 dB로 측정되었다.

3.3 종속변수

본 실험의 종속변수는 크게 정량적 지표와 정성적 지표 2가지로 나뉜다(Table 2). 정량적 지표는 운전자 관련 지표 4가지(GSR 진폭, 전방주시 비율, 시선 수평 표준편차, 동공 지름 변화량), 차량 관련 지표 4가지(Time-To-Collision, 차량 속도, 액셀 조작 빈도, 브레이크 조작 빈도) 그리고 볼륨 크기로 구성되어 총 9가지의 정량적 지표를 선정하였다. 또한 정성적 지표로는 SD(Semantic Differential) 설문 평가 방법 1가지만을 분석 지표로 선정하였다.

Table 2 Analysis results (in lane change)

Category		index	Unit
Quantitative	Body	GSR Amplitude	μ mho
		Ratio of looking forward	%
	Eye	Horizontal SD of the fixation point	cm
		Change in the size of the pupil	mm
	Operate	Time-To-Collision	sec
		Volume	Audio set value
	Vehicle	Vehicle speed	km/h
		Frequency of gas pedal operation	count/min
		Frequency of brake pedal operation	count/min
Qualitative	Survey	Semantic differential method	7-point scale

3.3.1 GSR 진폭

이재화와 이진표¹²⁾는 사람이 부정적인 감정 상태에서 피부전기반응(GSR, Galvanic Skin Response)의 수치가 감소한다고 하였다. 따라서 본 연구에서는 GSR의 최솟값과 최댓값의 차이를 GSR 진폭이라 정의하여 GSR의 활성화 정도를 관찰해 운전자의 부정적인 감정의 활성화 정도를 평가하였다. 또한 Heino 등¹³⁾은 GSR이 내부/외부 자극에 대한 감정의 긴장 수준과 밀접한 관련이 있다고 하였는데, 이를 바탕으로 운전자의 활동 중 정지 차량 회피 활동에서는 GSR 진폭을 통해 운전자의 부정적인 감정 평가 측면이 아닌 얼마나 놀라서 긴장하였는지를 평가하여 불편도를 간접적으로 평가하였다. 또한 GSR 데이터는 분석되기 전 0.05 Hz의 하이 패스 필터에 통과되어 사람마다 다르게 나타나는 기본적인 활성화 전위인 Tonic 성분을 제거한 뒤 Phasic 성분만을 사용하여 데이터 분석을 진행하였다.

3.3.2 전방주시 비율

전방주시 비율은 차량 주행 중 다른 활동으로 인해 전방을 주시하는 패턴이 어떻게 변화되는지 분석하기 위해 선정되었다. 본 지표는 데이터 분석 구간에서의 전체 시간 대비 운전자가 전방주시 영역을 응시한 시간의 비율로, 운전자가 얼마나 전방을 주시했는지 알 수 있는 지표이다. 전방주시 영역은 윈드실드로 정의하였으며 운전자의 시선 방향이 윈드실드와 교차하게 되면 전방을 주시한 것으로 기록되었다.

3.3.3 시선 수평 표준편차

시선 수평 표준편차는 차량 주행 중 다른 활동으로 인해 수평 방향으로의 시선이 분산되는 패턴을 분석하기 위해 선정되었다. 본 지표는 전방 스크린과 교차하는 운전자의 시선 응시점 좌표의 수평 방향 표준편차를 의미한다.

3.3.4 동공 지름 변화량

Hess와 Polt¹⁴⁾는 동공의 크기를 측정하는 것이 사용자의 감성을 안정적으로 측정할 수 있는 좋은 방법 중 한 가지라고 하였다. 김지호 등¹⁵⁾은 동공의 반응이 인지적인 처리 과정뿐만 아니라 감정적인 처리 과정을 확인하는 지표로도 사용되며, 재미와 기쁨 같은 긍정적 감정을 느끼면 동공 지름 변화량이 상대적으로 커진다고 하였다. 이는 반대로 부정적인 감정의 비중이 더 높은 상태에서는 동공 지름 변화량이 상대적으로 감소하는 경향을 보인다는 것을 의미하며, 이러한 특성을 통해 운전자의 불편한 감성을 평가하기 위하여 동공 지름 변화량을

평가 지표로 활용하였다. 또한, 기상별 조도 변화에 따른 동공 지름의 크기 변화와 개인별 선천적인 크기의 차이를 최소화하기 위해 직진 구간 대비 다른 활동(차선변경, 공조장치 조작 등)을 수행할 때의 동공 지름 차이를 계산하여 전치리를 진행하였다.

3.3.5 TTC(Time-To-Collision)

TTC는 정지 차량 회피 상황에서 운전자가 얼마나 안전의 여유를 확보한 채 차선 변경 또는 감속을 시작하여 대처하였는지 분석하기 위해 선정되었다. TTC는 앞차(본 연구에서는 정지된 차량)와 떨어진 거리를 앞차와의 상대속도로 나뉜 값으로 앞차와 충돌하는 데 걸리는 시간을 의미한다. 즉, TTC 값이 높을수록 충돌할 때까지 시간적 여유가 있어 더 여유롭고 안전한 상황으로 볼 수 있다. 또한 운전자는 정지 차량을 회피하는 동작으로 스티어링 휠 조작과 브레이크 조작 중 한 가지를 수행하게 되는데 이 두 가지 방법 중 한 가지를 조작한 처음 시점을 기준으로 TTC를 계산하였다.

3.3.6 볼륨 크기

볼륨 크기는 기상 수준에 따른 선호되는 볼륨 크기를 분석하기 위해 선정되었다. 볼륨 조절 활동에서 제공되는 안내 음성은 스마트폰을 시뮬레이터 차량의 오디오 시스템에 블루투스로 연결하여 제공되었다. 차량의 운전석 헤드레스트에서 측정된 오디오 시스템의 볼륨 크기는 설정 음량 10에서는 약 35~50 dB, 음량 20에서는 약 55~65 dB 그리고 음량 30에서는 약 65~75 dB의 음량 크기를 나타낸다.

3.3.7 차량 속도

차량 속도는 여러 가지 활동을 수행했을 때 작업 수행에 어려움을 느끼고 차량 속도를 줄였는지 확인하기 위해 선정되었다.

3.3.8 액셀 조작 빈도

액셀 조작 빈도는 여러 가지 활동을 수행했을 때 운전자의 액셀 페달 조작 패턴을 분석하기 위해 선정되었다. 액셀 조작 빈도는 단위 시간(분)당 액셀 조작 횟수로, 액셀 개도 값의 최댓값 대비 10% 이상으로 넘어갈 때를 기준으로 조작 횟수를 계산하였다.

3.3.9 브레이크 조작 빈도

브레이크 조작 빈도는 여러 가지 활동을 수행했을 때 운전자의 브레이크 페달 조작 패턴을 분석하기 위해 선정되었다. 브레이크 조작 빈도는 단위 시간(분)당

브레이크 조작 횟수로, 브레이크 답력 값의 최댓값 대비 10% 이상으로 넘어갈 때를 기준으로 조작 횟수를 계산하였다.

3.3.10 SD(Semantic Differential) 설문 평가

SD 설문 평가는 기상 수준 별로 수행되는 다양한 활동들에 대한 실질적인 불편도 점수를 평가하기 위해서 선정되었다. SD 설문 평가는 상반된 의미가 있는 형용사를 양쪽에 배치하여 실험 대상자가 어떤 상황이나, 제품, 풍경 등에서 느껴지는 감성에 가까운 형용사에 체크하여 감성을 평가하는 방법이다. 본 연구에서는 차량 주행 중 수행되는 활동별 4~5개의 서로 의미가 상반되는 형용사 쌍을 선정(Table 3)하여 평가를 진행했다. 형용사 쌍간의 점수 척도는 7점 척도로 낮은 점수에 긍정적 의미의 형용사를 높은 점수에 부정적 형용사를 배치하여 점수가 높게 나올수록 운전자가 부정적인 감성을 느껴 불편한 것으로 평가할 수 있도록 설계하였다.

형용사 쌍의 종류에 따라 느껴지는 감성 변화의 정도가 사람마다 다를 수 있다. 이러한 문제점을 개선하여 SD 평가 점수의 정확도 향상을 위해 가중평균(Weighted average) 개념을 추가하였다. 가중평균 계산식은 아래 식 (1)과 같다.

$$\text{Weighted Average} = \frac{W_1 \times X_1 + W_2 \times X_2 + \dots + W_n \times X_n}{W_1 + W_2 + \dots + W_n} \quad (1)$$

where W_n : weight of X_n

가중평균 계산을 위해 피험자는 추가로 각 형용사 쌍에 대한 가중치를 부여했는데, 각 활동에 할당된 4~5개의 형용사 쌍에 평가된 가중치의 합이 100이 되도록 설계하였다.

3.4 실험 참가자

실험에는 31명의 남녀(남자: 26명, 여자: 4명)가 실험에 참여하였다. 실험 참여자들의 평균연령은 27.7세(SD=5.6), 평균 운전 경력은 5.06년 그리고 1년 평균 주행 거리는 9,903.2 km로 평소에 운전을 주기적으로 하는 사람들을 모집하여 실험을 진행하였다. 또한 본 연구는 국민대학교에 위치한 생명윤리위원회(IRB, Institutional Review Board)로부터 승인(KMU-201903-HR-202)을 받아 진행되었으며 생명윤리위원회에서 제정한 규정에 따라 진행되었다.

3.5 실험 장비

3.5.1 차량 시뮬레이터

2016년식의 LF 쏘나타를 기반으로 제작된 Full scale의 차량 시뮬레이터를 사용하였다(Fig. 5). 시뮬레이터는 3 자유도(Heave, Pitch, Roll)의 모션 시스템을 갖추고 있으며 SCANer studio(ver1.8) 드라이빙 시뮬레이션 소프트웨어를 사용하여 구동된다. 또한 차량 전방에 위치한 3개의 스크린, 2개의 LCD 사이드미러 그리고 1개의 LCD 백미러를 통해 운전자에게 시뮬레이션 영상이 제공되며 캐빈 내부에 설치된 CCD 카메라를 통해 운전자는 모니터링된다.

3.5.2 GSR 측정 장비

BIOPAC사의 MP160 모델을 사용해 운전자의 손가락에서 GSR 신호를 취득하였다. 데이터는 무선 시스템을 통해 취득되었으며 BIOPAC사의 ACQKNOWLEDGE 소프트웨어가 사용되었다.

3.5.3 시선 추적기

Smart Eye사의 Smart Eye Pro 3-camera System을 사용하였으며 대시보드 상단에 설치되어 운전자의 시선 데이터를 취득하였다.

Table 3 Adjective pair used in SD method

	Lane change	Right turn	Avoiding a stooped car	Adjusting the volume	Manipulating the air conditioning system	Manipulating the navigation
Adjective pair (Positive ↔ Negative)	Dull ↔ Keen	Dull ↔ Keen	Dull ↔ Keen	Pleasant ↔ Unpleasant	Pleasant ↔ Unpleasant	Pleasant ↔ Unpleasant
	Easy ↔ Difficult	Easy ↔ Difficult	Easy ↔ Difficult	Easy ↔ Difficult	Easy ↔ Difficult	Easy ↔ Difficult
	Safe ↔ Dangerous	Safe ↔ Dangerous	Safe ↔ Dangerous	Comfortable ↔ Anxious	Comfortable ↔ Anxious	Comfortable ↔ Anxious
	Visible ↔ Invisible	Visible ↔ Invisible	Visible ↔ Invisible	Barely audible ↔ Audible	Simple ↔ Hassle	Simple ↔ Hassle
	-	-	Unsurprised ↔ Surprised	Calm ↔ Distracted	Calm ↔ Distracted	Calm ↔ Distracted



Fig. 5 Experiment equipment

3.5.4 실험 장비 동기화

한국표준과학연구원(KRISS)에서 제공하는 컴퓨터 시간 동기화 프로그램(UTCK3.1)을 통해 매 실험 시작 전 모든 실험 장비(차량 시뮬레이터, GSR 측정 장비, 시선 추적기)간의 시간 오차를 0.05초 이내로 보정하여 데이터를 획득하였으며, 획득된 데이터는 Matlab을 통해 사후 동기화를 진행하여 데이터를 분석하였다.

3.6 실험 절차

3.6.1 실험 준비

실험 참가자는 실험에 대한 전반적인 설명을 들은 후 실험 참가 동의서를 작성한다. 동의서 작성을 마친 후에는 시뮬레이터 차량에 앉아 시트와 핸들의 세팅을 편하게 맞추고, GSR 센서 부착과 시선 추적기 캘리브레이션을 진행한다.

3.6.2 시나리오 교육 및 학습

먼저 시뮬레이터에 적응하기 위해 실험 참가자는 실험과 상관없는 연습용 시가지 도로를 주행한다. 그리고

본 실험에 대한 내용을 자세하게 교육받고 실제 주행할 도로 및 주행 중 수행해야 하는 활동들을 직접 수행해보며 연습을 진행한다.

3.6.3 시나리오 주행

실험 참가자는 3가지의 기상 수준(안개, 우천, 맑음)이 구현된 3가지 시나리오를 각각 1번씩 주행하며 주행을 진행하며 1회의 주행을 마치자마자 SD 설문 평가를 진행한다. 1회 주행 및 SD 설문 작성 후 10분의 휴식 시간이 주어졌으며, 실험 참가자의 피로도 및 멀미 수준에 따라 추가적인 휴식 시간을 제공하였다.

3.6.4 실험 마무리

실험이 종료되면 실험 참가자에게 부착된 GSR 센서를 탈거하고, 취득된 데이터 검토 및 백업을 진행한다.

4. 실험 결과

4.1 주행 중 활동별 정량지표 분석 결과

차량 주행 중 수행하게 되는 활동별로 상황 및 요구되는 운전자의 행동 특성이 다르기 때문에 서로 다른 정량 지표들이 각각의 활동에 할당되어 분석되었으며(Table 4-8), 우회전 활동은 정성 분석인 SD 설문 평가만 진행되었다. 데이터 분석 과정으로는 기술 통계 분석 후 추론 통계 분석을 진행하였다. 정규성과 등분산 조건을 만족할 시 One-way ANOVA를 사용하여 사후 분석 방법으로는 Bonferroni를 사용하였으며, 정규성을 불만족할 시 Kruskal-Wallis를 사용하여 사후 분석 방법으로는 Tukey test using ranks를 사용하였다. 또한, 모든 통계 분석은 유의수준(α) 0.05를 기준으로 분석되었다.

모든 정량지표는 최소 1건 이상의 시나리오에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 각 정량지표에서 차이를 나타낸 시나리오는 GSR 진폭 1건(정지차량 회피), 전방 주시 비율 1건(내비게이션 조작), 시선 수평 표준편차 2건(공조장치 조작, 내비게이션 조작), 동공 지름 변화량 3건(차선 변경, 공조장치 조작, 내비게이션 조작), TTC 1건(정지차량 회피), 볼륨 크기 1건(볼륨 조절), 차량 속도 3건(차선 변경, 공조장치 조작, 내비게이션 조작), 엑셀 조작 빈도 2건(공조장치 조작, 내비게이션 조작), 브레이크 조작 빈도 2건(공조장치 조작, 내비게이션 조작)으로 나타났다.

4.1.1 차선 변경(Lane change task)

차선 변경 활동에서는 동공 지름 변화량과 차량 속도 지표가 기상 수준별 차이가 있는 것으로 나타났다($p <$

Table 4 Mean and standard deviation in lane change task

Weather condition	Change in the size of the pupil(mm)		Vehicle speed(km/h)	
	Mean (SD)	p<0.001	Mean (SD)	p<0.001
Fog	0.15 (0.12)	Fog<Clear Rain<Clear	33.65 (3.74)	Fog<Clear Fog<Rain
Rain	0.17 (0.15)		39.00 (3.78)	
Clear	0.31 (0.18)		38.18 (4.28)	

0.001). 동공 지름 변화량은 맑음 대비 안개와 우천 시 더 작은 값을 나타냈는데, 이는 운전자가 차선 변경을 수행하며 더 부정적인 감정을 느꼈다고 해석될 수 있다(Table 4). 또한 차량 속도는 맑음과 우천 대비 안개 상황에서 더 낮은 값을 나타냈는데, 이는 운전자가 차선 변경 활동에 어려움이 있어 차량의 안전확보를 위해 속도를 줄인 것으로 볼 수 있으며 불편한 감정으로 이어질 수 있다.

4.1.2 정지차량 회피(Avoiding a stopped car task)

정지차량 회피 활동에서는 GSR 진폭과 TTC 지표가 기상 수준 별 차이가 있는 것으로 나타났다(p<0.01, p<0.001). GSR 진폭은 맑음과 우천 대비 안개의 환경에서 값이 높게 나타났는데, 이는 운전자가 정지차량을 발견하고 더 놀랐다는 것을 의미한다. 또한 TTC는 가시거리가 짧은 순서인 안개, 우천, 맑음 순서로 값이 작게 나타났는데, 이는 가시거리가 짧은 환경일수록 운전자가 충돌할 위험성이 큰 조건에서 정지차량 회피를 시도했다는 것을 의미한다(Table 5). 결과적으로 3가지 기상 수준 중 안개 환경에서 운전자는 정지차량을 발견하고 가장 놀랐으며 가장 위험한 상황에서 차량을 회피했다는 것을 알 수 있다.

Table 5 Mean and standard deviation in avoiding a stopped car task

Weather condition	GSR amplitude(μmho)		TTC(Sec)	
	Mean (SD)	p<0.01	Mean (SD)	p<0.001
Fog	2.58 (1.93)	Clear<Fog Rain<Fog	3.94 (1.23)	Fog<Clear Rain<Clear Fog<Rain
Rain	1.35 (1.12)		5.33 (1.80)	
Clear	1.30 (1.34)		7.91 (2.04)	

4.1.3 볼륨 조절(Adjusting the volume task)

볼륨조절 활동에서는 볼륨 크기 지표가 기상 수준 별 차이가 있는 것으로 나타났다(p<0.001)(Table 6). 볼륨 크기는 맑음과 안개 대비 우천 시 값이 크게 나타났는데, 이를 통해 우천 시에는 운전자가 오디오 볼륨을 평소보다 높게 설정한다는 것을 알 수 있다.

4.1.4 공조장치 조작(Manipulating the air conditioning system task)

공조장치 조작 활동에서는 5가지 지표(시선 수평 표

Table 6 Mean and standard deviation in adjusting the volume task

Weather condition	Volume	
	Mean (SD)	p<0.001
Fog	21.16 (2.89)	Clear<Rain Fog<Rain
Rain	25.88 (2.56)	
Clear	20.88 (2.78)	

Table 7 Mean and standard deviation in manipulating the air conditioning system task

Weather condition	Horizontal SD of the fixation point (cm)		Change in the size of the pupil (mm)		Vehicle speed (km/h)		Frequency of gas pedal operation (count/min)		Frequency of brake pedal operation (count/min)	
	Mean (SD)	p<0.01	Mean (SD)	p<0.01	Mean (SD)	p<0.01	Mean (SD)	p<0.01	Mean (SD)	p<0.01
Fog	23.17 (5.96)	Fog<Clear	0.15 (0.16)	Fog<Clear Rain<Clear	33.77 (3.91)	Fog<Clear Fog<Rain	10.32 (4.20)	Clear<Fog Clear<Rain	2.15 (1.27)	Rain<Clear
Rain	26.12 (4.35)		0.12 (0.14)		36.41 (3.05)		10.32 (4.89)		1.59 (1.08)	
Clear	29.07 (7.51)		0.25 (0.15)		36.37 (2.97)		7.20 (3.68)		2.60 (1.42)	

준편차, 동공 지름 변화량, 차량 속도, 엑셀 조작 빈도, 브레이크 조작 빈도)가 기상 수준 별 차이가 있는 것으로 나타났다($p<0.01$)(Table 7). 시선 수평 표준편차는 맑음 대비 안개 시 더 작은 값을 나타냈는데, 이는 운전자가 측면 방향의 주변 상황을 더 살피지 못하고 있다는 것을 의미하며 불편한 감정으로 이어질 수 있다. 동공 지름 변화량은 맑음 대비 안개와 우천 시 더 작은 값을 나타냈는데, 이는 운전자가 차선 변경을 수행하며 더 부정적인 감정을 느꼈다고 해석될 수 있다. 차량 속도는 맑음과 우천 대비 안개에서 더 낮게 나타났는데, 이는 운전자가 공조장치 조작 활동에 어려움이 있어 차량의 안전확보를 위해 속도를 줄인 것으로 볼 수 있으며 불편한 감정으로 이어질 수 있다. 엑셀 조작 빈도는 맑음 대비 안개와 우천 시 높은 값을 나타냈으며, 이러한 잦은 페달 조작은 운전자에게 피로감을 주고 주변 상황이 상대적으로 더 위험한 상황임을 나타내 부정적인 감정으로 이어질 수 있다. 브레이크 조작 빈도는 맑음 대비 우천 시 낮은 값을 나타냈으며, 이러한 데이터를 바탕으로 가시거리가 좁아진 상황에서 운전자는 브레이크 페달보다는 엑셀 페달을 위주로 차량을 컨트롤했다는 것을 알 수 있다.

4.1.5 내비게이션 조작(Manipulating the navigation task)

내비게이션 조작 활동에서는 6가지 지표(전방주시 비율, 시선 수평 표준편차, 동공 지름 변화량, 차량 속도, 엑셀 조작 빈도, 브레이크 조작 빈도)가 기상 수준 별 차이가 있는 것으로 나타났다(전방주시 비율, 차량 속도: $p<0.01$, 동공 지름 변화량, 엑셀 조작 빈도, 브레이크 조작 빈도: $p<0.001$, 시선 수평 표준편차: $p<0.05$). 전방주시 비율은 맑음과 우천 대비 안개에서 높은 값을 나타냈으며, 이는 운전자가 전방을 계속해서 살피야 할 위험한 상황에 노출된 것을 나타내며 불편한 감정으로 이어질 수 있다(Table 8). 시선 수평 표준편차는 맑음 대비 안개 시

더 작은 값을 나타냈는데, 이는 운전자가 측면 방향의 주변 상황을 더 살피지 못하고 있다는 것을 의미하며 불편한 감정으로 이어질 수 있다. 동공 지름 변화량은 맑음 대비 안개와 우천 시 더 작은 값을 나타냈는데, 이는 운전자가 내비게이션을 조작하며 더 부정적인 감정을 느꼈다고 해석될 수 있다. 차량 속도는 우천 대비 안개에서 더 낮게 나타났는데, 이는 운전자가 내비게이션 조작 활동에 어려움이 있어 차량의 안전확보를 위해 속도를 줄인 것으로 볼 수 있으며 부정적인 감정으로 이어질 수 있다. 엑셀 조작 빈도는 맑음 대비 안개 시 높은 값을 나타냈으며, 이러한 잦은 페달 조작은 운전자에게 피로감을 주고 주변 상황이 상대적으로 더 위험한 상황임을 나타내 부정적인 감정으로 이어질 수 있다. 브레이크 조작 빈도는 맑음 대비 안개와 우천 시 낮은 값을 나타냈으며, 이러한 데이터를 바탕으로 가시거리가 좁아진 상황에서 운전자는 브레이크 페달보다는 엑셀 페달을 위주로 차량을 컨트롤했다는 것을 알 수 있다.

4.2 불편도 순위 분석 결과

SD 설문을 통해 평가된 불편도 점수가 Fig. 6에 정리되어 있으며 평가 점수가 높을수록 운전자가 불편함을 느꼈다는 것을 의미한다. 추론 통계 분석 절차는 4.1절의 정량지표 분석 방법과 동일하게 진행되었다. 분석 결과 불륨 조절을 제외한 모든 활동에서 기상 수준 별 불편도 점수의 유의한 차이($p<0.001$)를 나타냈으며, 모든 활동에서 맑음 대비 안개와 우천 시 운전자가 더 불편함을 느끼는 것으로 나타났다. 또한 추론 통계의 사후 분석 결과 DRT(차선 변경, 우회전, 정지차량 회피)와 불륨 조절을 제외한 NDRT(공조장치 조작, 내비게이션 조작)는 안개와 맑음, 우천과 맑음 사이의 비교에서 유의한 지표 값의 차이를 나타냈지만, 안개와 우천 사이의 비교에서는 DRT만 유의한 지표 값의 차이를 나타내어 DRT가 NDRT에 비해 기상 수준에 따른 더 민감한 불편도 차이를 보였다.

Table 8 Mean and standard deviation in manipulating the navigation task

Weather condition	Ratio of looking forward (%)		Horizontal SD of the fixation point (cm)		Change in the size of the pupil (mm)		Vehicle speed (km/h)		Frequency of gas pedal operation (count/min)		Frequency of brake pedal operation (count/min)	
	Mean (SD)	$p<0.01$	Mean (SD)	$p<0.05$	Mean (SD)	$p<0.001$	Mean (SD)	$p<0.01$	Mean (SD)	$p<0.001$	Mean (SD)	$p<0.001$
Fog	53.74 (10.71)		23.66 (3.92)		0.21 (0.16)		30.45 (3.99)		12.17 (4.10)		1.60 (0.85)	
Rain	46.88 (11.46)	Clear<Fog Rain<Fog	24.26 (4.57)	Fog<Clear	0.29 (0.21)	Fog<Clear Rain<Clear	34.28 (4.37)	Fog<Rain	9.95 (4.31)	Clear<Fog	1.79 (1.03)	Fog<Clear Rain<Clear
Clear	45.65 (9.39)		26.40 (4.58)		0.46 (0.25)		32.83 (4.26)		8.21 (3.50)		2.99 (1.67)	

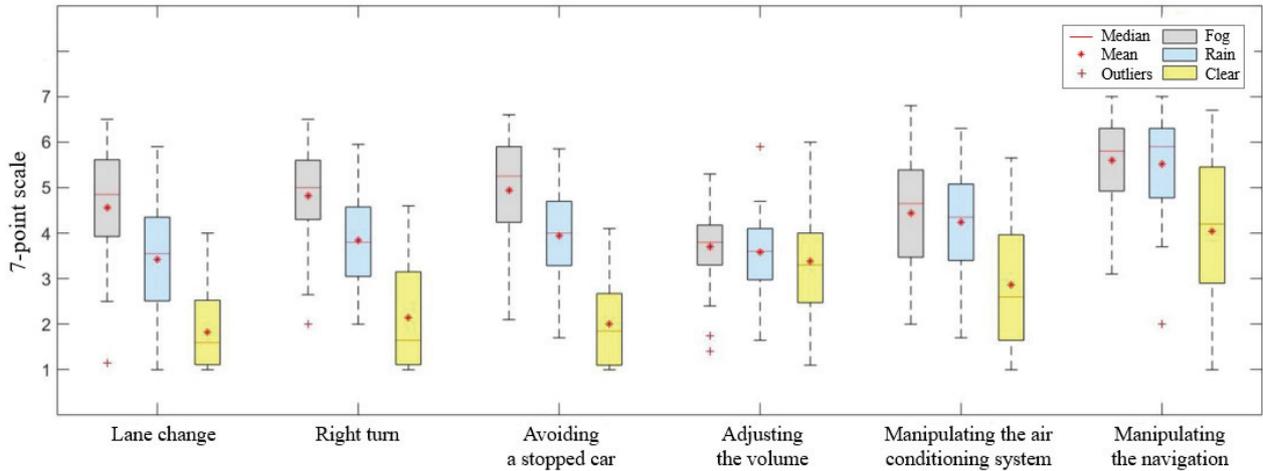


Fig. 6 SD(Semantic Differential) scale assessment

Table 9 Inconvenience ranking

Inconvenience ranking	Absolute evaluation			Relative evaluation (in comparison with clear)	
	Fog	Rain	Clear	Fog	Rain
1	Manipulating the navigation	Manipulating the navigation	Manipulating the navigation	Avoiding a stopped car	Avoiding a stopped car
2	Avoiding a stopped car	Manipulating the air conditioning system	Adjusting the volume	Lane change	Right turn
3	Right turn	Avoiding a stopped car	Manipulating the air conditioning system	Right turn	Lane change
4	Lane change	Right turn	Right turn	Manipulating the air conditioning system	Manipulating the navigation
5	Manipulating the air conditioning system	Adjusting the volume	Avoiding a stopped car	Manipulating the navigation	Manipulating the air conditioning system
6	Adjusting the volume	Lane change	Lane change	Adjusting the volume	Adjusting the volume

불편도 평가 점수를 기반으로 순위를 나열(Table 9)하였을 때 내비게이션 조작 활동이 가장 불편한 것으로 나타났으며, 나머지 활동들의 순위는 기상 수준별로 특별한 규칙을 나타내지 않았다. 하지만 불편도 점수를 맑음 대비 안개와 우천 각각의 상황에서의 상대적인 점수를 평가한 결과 안개와 우천 모두 DRT(차선 변경, 우회전, 정지차량 회피)가 1~3위를 나타내었고 NDRT(볼륨 조절, 공조장치 조작, 내비게이션 조작)가 그 뒤를 따라 4~6위의 불편도 순위를 나타내었다. 그리고 맑음 대비 안개와 우천 모두 불편도 1위의 활동은 정지 차량 회피, 불편도 6위의 활동은 볼륨 조절로 나타났다.

5. 결론

본 논문에서는 차량 시뮬레이터 환경에서 악천후를

포함한 3수준의 기상환경(안개, 우천, 맑음)을 구현하여 6가지 활동에 대한 운전자의 불편도를 평가하는 실험을 진행하였다. 이를 통해 각각의 기상환경에 정량적인 생체 신호와 차량 신호를 분석하고, SD 설문문을 활용해 운전 중 수행되는 각각의 활동에 대한 운전자의 불편도 평가를 진행하여 불편도 순위를 제시하였다.

기상 수준에 따른 정량적 지표의 증감 추이를 분석한 결과와 불편도 점수의 증감 추이를 분석한 결과 모든 정량적 지표와 불편도 점수 사이에 일관된 관계(비례 또는 반비례)가 나타났다. GSR 진폭을 예로 들면 맑음에서 안개로, 맑음에서 우천으로 환경이 변화했을 때 GSR 진폭이 통계적으로 유의하게 값이 증가하는 모습을 보였고 불편도 점수도 똑같이 증가하는 모습을 보여 정량 지표와 불편도 사이에 비례관계를 나타냈다. 따라서 본

논문에서 분석된 정량 지표는 운전자가 수행한 6가지의 활동들에 대한 주요 불편 인자로 볼 수 있으며, 추후 6가지의 활동들에 다양한 환경에서의 불편도 평가 및 개선된 서비스의 제공 기준 시점&환경 관련 연구에 활용될 수 있다.

불편도 점수의 절대평가 결과 NDRT(불륨 조절, 공조 장치 조작, 내비게이션 조작)가 상당수 상위권을 차지했지만 맑음 대비 상대평가 결과에서는 NDRT가 모두 4-6위의 하위권을 차지하고 DRT(차선 변경, 우회전, 정지차량 회피)가 1~3위의 상위권을 차지했다. 이러한 결과를 통해 6가지 활동들에 대한 불편도 개선의 우선순위를 결정할 때 각 기후별 절대적인 기준으로는 NDRT의 불편도 개선이 우선시되지만 맑음 기후 대비 악천후 시 불편도를 개선한다는 상대적인 측면에서는 DRT의 불편도를 개선하는 것이 운전자의 만족도를 더 높여줄 수 있을 것으로 예상된다.

악천후 시 운전자가 느끼는 불편감이나 위험감(Saffarian 등⁷⁾)이 유의미하게 증가하는 것을 보았을 때 기후의 변화가 운전자의 심리적인 부분에 크게 관여하는 것을 알 수 있었다. 최근 들어 급격한 기후 변화가 자주 나타나는 것을 고려했을 때 차량 소비자의 부정적인 경험이 증가한다 볼 수 있으며, 이것을 해결하여 운전자에게 긍정적인 경험을 제공하는 것이 차량 구매에 긍정적인 영향을 줄 수 있을 것으로 생각된다. 또한 악천후 시 조향 활동 증가(Saffarian 등⁷⁾), 차선 유지 능력 저하(Ghasemzadeh와 Ahmed⁸⁾) 같은 차량 횡방향 제어에 대한 문제뿐만 아니라 액셀 조작 빈도 증가와 같은 종방향 제어에 대한 문제점도 드러났는데, 이는 기상악화가 주행 안정성을 전반적으로 저하시키며 종방향과 횡방향 제어 모두 개선할 수 있는 시스템 도입이 필요하다는 것을 의미한다.

추후 진행될 연구에서는 본 연구에서 반영하지 못했던 김 서림, 습도 등과 같은 추가적인 환경요소들을 구현 및 통제가 필요하다. 그리고 본 연구에서는 상대적으로 젊은 연령대(평균연령 27.7세)의 운전자로 국한되어 더 다양한 연령대를 대상으로 연구를 진행할 필요가 있다. 또한 운전자의 불편도를 개선할 수 있는 서비스를 개발 및 제공하여 운전자의 불편도가 실제로 유의미하게 개선되었는지 검증하는 연구들이 진행되어야 할 것이다. 이러한 연구들이 진행되었을 때 운전자에게 더욱 만족도 높은 차량 조작 환경을 제공할 수 있으며, 이는 곧 운전자의 심리적 여유와 안정적인 차량 조작으로 이어져 다양한 기후에서도 편안하고 안전한 차량 개발이 가능해질 것으로 예상된다.

후 기

본 연구는 현대 NGV “이상 기후 시 운전자 행동 분석을 통한 주행안전성 개선 방안 연구”과제의 지원을 받아 수행되었습니다. 또한, 교신저자는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업(No.2021R1A2C1005433)의 부분적인 지원을 받았습니다.

References

- 1) Korea Meteorological Administration, 2017 Abnormal Climate Report, 11-1360000-000705-01, 2017.
- 2) Korea Meteorological Administration, Korea Climate Change White Paper, 11-1360000-000813-12, 2011.
- 3) S. Mun and S. Lee, “A Study on the Change of Fog Frequency and Duration Hours in South Korea,” *Journal of Climate Research*, Vol.8, No.2, pp.93-104, 2013.
- 4) S. K. Min, X. Zhang, F. W. Zwiers and G. C. Hegerl, “Human Contribution to More-Intense Precipitation Extremes,” *Nature*, Vol.470, No.7334, pp.378-381, 2011.
- 5) Y. N. Lee and K. W. Kim, “A Study on the Relationships between the Fatal Traffic Accidents and Meteorological Factors,” *The Korean Association of Police Science*, Vol.6, No.3, pp.125-164, 2007.
- 6) H. J. Cho and S. Yoon, “Effects of Reduced Visibility due to Fog on Drivers Behaviours,” *Korean Society of Civil Engineers Annual Conference Proceedings*, pp.253-256, 2003.
- 7) M. Saffarian, R. Happee and J. D. Winter, “Why Do Drivers Maintain Short Headways in Fog? A Driving-Simulator Study Evaluating Feeling of Risk and Lateral Control during Automated and Manual Car Following,” *Ergonomics*, Vol.55, No.9, pp.971- 985, 2012.
- 8) A. Ghasemzadeh and M. M. Ahmed, “Drivers’ Lane-Keeping Ability in Heavy Rain: Preliminary Investigation Using SHRP 2 Naturalistic Driving Study Data,” *Transportation Research Record*, Vol.2663, No.1, pp.99-108, 2017.
- 9) P. Konstantopoulos, P. Chapman and D. Crundall, “Driver’s Visual Attention as a Function of Driving Experience and Visibility. Using a Driving Simulator to Explore Drivers’ Eye Movements in Day, Night and Rain Driving,” *Accident Analysis & Prevention*, Vol.42, No.3, pp.827-834, 2010.
- 10) Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, *Korea Highway Capacity Manual 2013*, 2013.
- 11) A. H. Perry and L. J. Symons, *Highway Meteorology*,

- CRC Press, Florida, 2002.
- 12) J. H. Lee and K. P. Lee, "The Method for Measuring the Initial Stage of Emotion in Use Context," *Science of Emotion and Sensibility*, Vol.13, No.1, pp.111-120, 2010.
 - 13) A. Heino, H. H. Van der Molen and G. J. S. Wilde, Risk-Homeostatic Processes in Car Following Behaviour: Electrodermal Responses and Verbal Risk Estimates as Indicators of the Perceived Level of Risk during a Car-Driving Task, NL: Traffic Research Center, University of Groningen, 1990.
 - 14) E. H. Hess and J. M. Polt, "Pupil Size as Related to Interest Value of Visual Stimuli," *Science*, Vol.132, No.3423, pp.349-350, 1960.
 - 15) J. H. Kim, Y. A. Lee, H. S. Lee and J. H. Kim, "The Effect of Humor Advertising using Pupilometer System: Focusing on the Incongruity-Resolution Theory," *Korean Journal of Consumer and Advertising Psychology*, Vol.9, No.1, pp.1-24, 2008.