

Effectiveness of multichannel warning signal in an automated driving environment

Sang Myung Kim, Hyou Won Seo

¹Department of Industrial and Information Systems Engineering,
Soongsil University, Seoul, South Korea

ABSTRACT

Objective: This study aims to investigate the effectiveness of multichannel warning in different levels of automated driving environment. **Background:** As the driving environment changes from manual to fully automated setting, maintaining the driver's situation awareness and notifying critical information to the driver gets more important. Since automated driving enables driver to perform other tasks than driving, it is important to give a timely notification according to the importance of information. Previous studies evaluated multimodal warning signal to reduce the response time and facilitate driver's decision making, but the efficacy of multichannel warning in an automated driving was not fully validated yet. **Method:** We measured the reaction time to three modalities(visual, auditory and haptic) in three driving conditions(manual driving, monitored driving and automated driving) with 17 participants. **Results:** Statistical analysis result showed that visual channel is much more vulnerable than haptic and auditory channel. Driver's response time is much longer in visual channel than auditory and haptic channel at all three driving conditions. Among three driving conditions, manual driving showed less change in response time than other environments. There was an interaction effect between modality and driving conditions. While the difference in modalities was significant at monitored and automated driving, there was no significant difference at manual driving. Lastly, participants were most satisfied with auditory stimuli, followed by haptic and visual stimuli. **Conclusion:** Contrary to our expectation that haptic and visual signals are more effective than auditory signal, in manual driving, drivers responded to auditory signal faster than others. Haptic and auditory signal showed constantly smaller variances than visual signal in all driving environments, which means that drivers can respond to auditory and haptic signal more reliably for all types of driving tasks. **Application:** The results of this study can help designing an effective warning signal system for automated driving environment.

Keywords: Automated driving, Multichannel, Warning signal, Response Time, Workload

1. Introduction

최근 기술의 발달로 인해서 자율주행 자동차에 대한 관심이 높아지고 기존 자동차 업체를 포함한 여러 정보기술 기업에서도 2030년 까지 완전 자율 주행 자동차를 상용화 하려는 목표를 가지고 기술 개발에 매진하고 있다. 자율주행 기술의 발달은 기존 운전자의 업무에도 크게 변화를 주게 되는데 현재 운전자의 주된 업무는 운전 행위 행위라 하면 자율주행 환경에서는 그 외 일반 사무환경이나 가정 환경에서 하는 일을 수행 하는 것이 가능해진다. 하지만 자율주행의 발전 단계에 따라서 긴급상황에서는 제어권을 자동운전 시스템에서 운전자로 이양해야 하는 문제가 생기게

된다. 따라서 운전자가 상황인식(situation awareness)을 유지 하는 것이 필요하고 운전자의 반응시간을 최소화 해야 할 지에 대한 문제가 대두되고 있다.

미국 고속도로교통안전국(NHTSA)은 자율주행 기술 수준을 5단계의 수준으로 정의했다. 0계단서부터 No automation, Function-specific automation, Combined Function automation, Limited self-driving automation 그리고 Full-self-driving automation이다. 0단계에서 2단계까지에서 책임소재는 운전자에게 있으며 0단계는 운전자가 직접 주행하며 모든 기능을 통제한다. 1단계와 2단계는 특정, 통합 기능을 조작하지만 독서나 휴식은 불가능하다. 3단계와 4단계에서는 책임소재가 차량으로 전가되며, 독서 및 휴식이 가능해진다. 3단계에서는 필요에

따라서 운전자가 개입하고 4단계에 자동차는 운전자 개입이 없는 완전 자율주행을 한다. 미국 캘리포니아 등의 지역에서는 이미 자율주행자동차 면허증 발급 시작했다. 이러한 기술과 제도의 발달로 인하여 과거 운전을 하지 못했던 소비자들까지 자동차를 이용하여 자동차 이용자 수는 크게 증가할 것으로 예상된다.

기존 차량인간공학 분야에서는 수동 운전 상황에서 자극 양상에 따른 반응속도(Break Response Time, Response Time) 및 작업 부하(Workload)를 분석한 연구가 주를 이룬다. 수동운전 상황에서 연산 과제 및 단어 암기를 통해 인지적 주의분산을 유도하고 이에 따른 운전자의 반응시간을 측정하여 사고 위험성을 분석하거나(Kim & Lee, 2012) 시각, 촉각, 청각, 다중감각 자극에 따른 반응속도, 만족도, 작업 부하를 측정하는 연구가 진행되었다. 반응속도의 경우에는 다중감각, 촉각, 시각, 청각의 순으로 빨랐으며 만족도는 다중감각이 제일 높고 촉각이 제일 낮았다. 작업부하의 경우에는 다중감각이 제일 낮고 청각 촉각의 순서였다(Chang et al., 2011). 청각, 시각, 촉각에 따른 반응속도를 측정한 연구에서는 청각과 촉각 사이에서 유의한 차이를 확인했지만 그 외의 경우에는 유의미한 차이가 없었다. 또한 자극의 종류와 자극의 위치 사이에는 유의미한 교호작용이 존재하지 않는 것을 확인했다(Ho et al., 2005). 시각 자극과 진동 자극 사이에 공간 정보를 부여(Spatial Coding) 하는 지에 따른 효율성(Tan et al., 2003)과 정보 전달 신호(Informative Signal)에 대한 연구(mujhaba A htamad et al., 2015)가 있었다. 신호에 대한 예상이 없을 경우에는 진동 자극이 청각 자극 보다 빠르지만, 청각 자극은 진동 자극에 비해 차량 외부에 존재하는 사건에 대한 전달 효율성이 높은 것으로 밝혀졌다. 또한 자동차 경적 같은 경우는 내재적인 신호이기 때문에 다른 신호들에 비해 보다 빠르게 반응했다. 연령이 높은 사람들이 젊은 사람들에 비해 시각 자극과 청각 자극에 대한 반응이 느렸지만, 다중 신호 자극에 대해서는 비슷하게 반응했다(Spence & Ho, 2008). 위험성에 따른 감각 신호 세기 조절에 대한 연구에서는 진동 신호가 다른 신호들에 비해 운전, 신뢰도, 호감도가 높다는 것을 밝혔다. 하지만 긴급도 부분에서는 세기 조절이 없는 청각 신호가 가장 신뢰할 수 있다는 결과가 나왔다(Lee et al., 2004). 또한 청각 자극은 특정 지역을 보지 않아도 인지가 가능한 장점이 있어 위급한 상황에서 더 우수한 것으로 나타났다(Eisert et al., 2015)

그러나 자율주행 상황에서의 신호 효율성에 대한 연구는 아직 부족하며 현재까지의 연구결과만으로 효율적인 인터페이스를 설계하기에는 무리가 있다. 자율주행 상황에서는 수동운전 상황에 비해 자동차 내부 및 외부환경에 대한 주의가 줄어들고, 주행이 아닌 다른 업무에 집중하기 때문에 주행 상황에서 발생하는 자극 신호에 대한 반응 속도가 높아질 가능성이 크다. 따라서 기존의 실험과는 다르게 새로운 실험을 진행해야

하며, 새로운 운전자 환경에 대한 이해가 필요하다(이지인, 2016).

이에 본 연구에서는, 운전 상황과 자극 양상에 따른 반응속도의 차이를 확인하고자 한다. 운전 환경을 세 단계(수동주행, 자율주행 1단계, 자율주행 4단계)로 나누어 단계별로 각각 다른 업무(task)를 부여했다. 그리고 각 단계에서 자극에 대한 반응시간을 비교, 분석하여 각 상황에서 가장 효율적인 자극 양상을 도출했다.

2. Method

2.1 Participants and Apparatus

본 실험에는 총 17명의 피험자가 참가했다. 피험자의 평균 연령은 25.2세이며, 모두 운전면허를 가지고 있고 실제 운전 경력은 평균 1.9년으로 조사되었다.



Figure 1. Experiment environment

본 실험에서는 세 가지의 주행상황(수동주행환경(manual driving), 운전자의 관여도가 높은 자율주행환경(monitored driving), 운전자의 관여도가 낮은 자율주행환경(automated driving))을 가정하여 진행되며, 이를 구현하는데 ‘유로트럭 시뮬레이터2’ 프로그램을 사용하였다. 그 이유는 벤츠의 ‘Future Truck 2025’를 통해 알 수 있듯이 자율주행의 상용차 적용은 승용차의 도입보다 경제적인 측면 등에서 더 중요하게 여겨지기 때문이다. 실험에서 시각, 청각, 촉각의 세 가지 신호자극을 무작위로 제시한 후 반응 시간을 측정하기 위해서 E-Prime 소프트웨어를 사용했다. 시각 신호 자극은 24인치 모니터에 1920×1080 해상도로 주어졌으며, 청각 신호 자극은 스피커를 좌우에 한 개씩 배치하여 언어 신호(verbal)로 주어졌다. 보통 자동차 내부의 엔진 소음이 50db로 알려져 있기 때문에 ‘유로트럭 시뮬레이터2’ 실험했을 때의 크기는 50db로 설정하여 실제 자동차 내부와 비슷

한 소음환경이 되도록 했다. 그리고 이러한 환경에서 청각 자극은 충분히 인지 가능하도록 내부 소음보다 충분히 큰 70db로 제시되었다. 촉각 신호 자극은 50Hz의 진동을 발생시키는 두 개의 진동모터를 의자 바닥 면의 양 끝에 부착하여 제시되었다. 피실험자의 반응 속도를 측정하기 위한 입력장치로는 빨간색, 녹색, 파란색 세 개의 버튼이 순서대로 부착되어 있는 스위치 박스가 사용되었다. 전체적인 실험 장치 구성은 Figure 1에서 보이는 것과 같다.

2.2 Experimental Design

실험의 독립변수는 주행 환경(수동주행환경, 운전자의 관여도가 높은 자율주행환경, 운전자의 관여도가 낮은 자율주행환경)과 신호 방식(시각, 청각, 촉각)이고, 3×3 피실험자 내 설계였다.

수동주행환경에서 피험자는 ‘유로트럭 시뮬레이터2’에서 직접 운전 시뮬레이션을 수행하면서 신호 자극을 받았다. 운전자의 관여도가 높은 자율주행환경에서 피실험자는 미리 녹화된 ‘유로트럭 시뮬레이터2’의 영상을 보면서 신호 자극을 받았다. 피험자들이 재생되고 있는 영상에 집중하도록 차선변경횟수, 추월횟수, 차선을 밟는 횟수, 추월 당한 횟수를 종이에 적도록 하였다. 운전자의 관여도가 낮은 자율주행환경에서도 피험자는 미리 녹화된 영상을 보면서 신호 자극을 받도록 하였고 실험 도중에 부가적인 업무를 수행하게 하여 피험자의 인지적 주의분산을 유도했다(김민중, 2016). 피험자는 휴대전화로 일부 오타가 있는 메시지를 전송 받은 후, 받은 메시지에 있는 오타를 수정하여 다시 실험자에게 메시지를 전송하도록 했다.

피험자는 각 주행상황 별로 총 18회의 신호자극을 20~40초 사이의 간격으로 무작위로 받은 후 스위치 박스의 빨간색(왼쪽) 혹은 녹색(오른쪽)의 버튼을 눌렀다. 이 때 신호 자극은 버튼과 공간적 자극 반응(spatial compatibility)을 일치시켰다(Ho, et al., 2005). 시각 신호는 아래의 Figure 2처럼 별도의 모니터에 제시되었다. 청각 신호는 차량 네비게이션과 같이 여성의 목소리로 언어 신호를 주었으며, 빨간색 버튼을 누르라는 명령에서는 왼쪽 스피커에서만, 녹색 버튼을 누르라는 명령에서는 오른쪽 스피커에서만 소리가 나도록 위치 정보를 일치시켰다. 촉각 신호는 두 개의 진동 모터를 의자 아래 양 끝에 부착하여 피실험자의 허벅지아래 쪽을 통해서 제시되었다. 신호 간 형평성을 유지하기 위해서 모든 신호는 피험자가 버튼을 누를 때까지 지속되었다.

실험의 종속 변수는 신호에 대한 반응속도(Response Time)로 측정되었다. 반응속도는 자극이 제시되는 시점부터 스위치박스의 버튼을 누를 때까지의 시간을 ms단위로 측정했으며, 각 주행 별로 신호 자극은 6회씩(시각, 촉각, 청각 각 2회씩)3회 반복하여 진행했다.

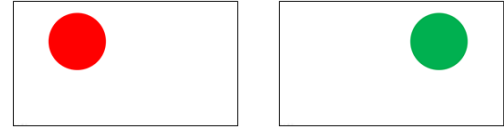


Figure 2. Spatial visual coding signal

2.3 Procedure

실험을 하기 전 피험자에게 실험의 목적과 방법에 대해서 설명을 하였으며, 실험 환경에 익숙해 지도록 하기 위해서 피험자에게 10분간 ‘유로트럭 시뮬레이터2’를 연습하도록 했다. 연습 후에는 피험자가 신호자극을 명확히 인식하도록 세 가지 자극을 한 번씩 제시했다. 여기서는 별도 업무를 수행하지 않고 신호자극에 대한 반응 시간만을 측정하였고 이 반응시간을 기준으로 해서 각 운전상황에 따라 변화된 차이 값을 분석하였다. 기본 반응시간 측정 후에 수동주행환경, 운전자의 관여도가 높은 자율주행환경, 운전자의 관여도가 낮은 자율주행환경을 무작위로 선택하여 실험을 진행했다. 수동주행환경의 경우 운전하던 차량이 넘어져 더 이상 실행 진행할 수 없는 경우에는 실험을 처음부터 다시 시작했다. 각각의 주행환경에 대한 실험이 끝난 후에는 5분간의 휴식을 주어 이전의 상황이 영향을 미치는 것을 줄였다. 전체 실험의 소요 시간은 평균 50분 정도였으며, 실험실에는 실험 진행자 1인과 피실험자 1인만이 들어가 외부환경에서 받을 수 있는 영향을 최소화하였다.

3. Results

본 연구의 객관적 측정치인 반응시간은 17명의 피험자에게 3가지 주행환경 별로 306개씩 총 918개의 데이터가 사용되었다. 수집된 데이터를 바탕으로 3x3 분산 분석을 수행하였다.

3.1 Baseline Experiment

세 가지의 주행환경과 비교하기 위해 다른 어떠한 업무도 부여하지 않은 상태에서 시각, 촉각, 청각 신호에 대한 반응시간을 측정하였으며 일원배치 분산분석을 사용하여 분석했다. 분석의 결과 자극의 종류에 대한 주효과($F(2,303)=7.34, p<.001$)가 있는 것으로 나타났으며, 반응시간은 시각 자극이 가장 빨랐고 그 다음으로 촉각, 청각 자극 순이었다. 자극 간의 우위를 확인하기 위해 LSD검정을 실시한 결과 시각 자극은 촉각, 청각과 유의미한 차이를 보였

지만 촉각과 청각 자극은 서로 유의미한 차이를 보이지는 않았다. 각 자극의 평균은 시각 자극이 755.5ms, 촉각 자극이 840.1ms, 청각 자극이 876.0으로 Figure 3에 나타나 있다.

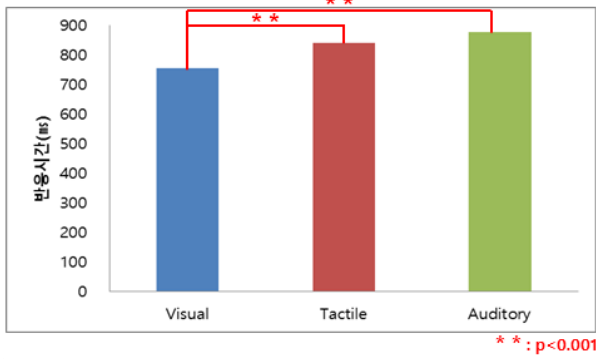


Figure 3. Base Response Time Results

3.2 Effect of modality & Driving conditions

분석에 사용된 자료는 각 주행 환경에 따라서 기본 반응 시간에 비해서 증가된 양을 사용하였다.

각각의 주행환경 별로 신호 방식에 따른 반응시간의 경향을 보면 모든 주행환경에서 '시각'의 반응시간이 가장 많이 증가했고, '촉각', '청각' 순으로 반응시간의 증가량이 점점 감소하는 경향을 보여준다. 특히 '시각'의 경우 자율주행의 자동화 정도가 증가할수록 증가 폭이 매우 크게 나타났다. 주행환경 별로 신호 방식의 증가량이 유의한 차이가 있는지를 확인하기 위해 일원배치 분산분석을 사용하였다. 분석 결과 수동주행환경에서 신호방식에 따른 반응시간 증가량의 차이는 없으므로 나타났으며, 운전자의 관여도가 높은 자율주행환경에서 신호방식에 따른 효과($F(2,305)=6.51, p<0.01$)와 운전자의 관여도가 낮은 자율주행환경에서 신호 방식에 따른 효과($F(2,305)=8.42, p<0.01$)만이 유의함으로 나타났다. 아래의 Table 1에 각 주행환경 별 분산분석 결과가 나타나 있다.

반응시간의 변화량의 두 개의 종속변수인 신호 방식과 주행환경에 대한 이원분산분석 결과, 신호 방식의 주효과 ($F(2,918)=14.69, p < 0.001$)와 주행환경의 주효과($F(2,918) = 8.41, p < 0.001$), 신호방식과 운전 환경의 상호작용효과 ($F(4,918) = 4.64, p = 0.001$)가 있음이 나타났다. 다음의 Table 2는 신호 자극과 주행환경의 평균과 표준편차다. 신호유형과 주행환경에서 결과의 우위를 확인하기 위해 LSD검정을 사용했다. 신호 방식에 대한 반응시간은 '시각'이 '청각'과 '촉각'보다 유의하게 오래 걸렸다(시각-청각, 시각-촉각: $p<0.001$). 주행상황에 따른 반응시간은 운전자의 관여도가 낮은 자율주행환경이 수동주행환경과 운전자의 관여도가 높은 자율주행환경보다 유의하게 오래 걸렸다.

또한 상호작용의 관계를 설명하기 위해 각각의 주행환경에서 신호 방식이 유의한 차이가 있는지를 사후검정을 통해 분석했다. 검정 결과 수동주행환경에서 반응시간의 변화량은 '시각'이 '청각'보다 유의하게 증가했다($p<0.05$). 운전자의 관여도가 높은 자율주행환경에서 반응시간의 변화량은 '시각'이 '청각', '촉각'보다 유의하게 증가했다(청각-촉각 $p<0.05$). 운전자의 관여도가 낮은 자율주행환경에서도 '시각'의 반응시간 변화량은 '청각', '촉각'보다 유의하게 증가했다(청각, 촉각: $p<0.05$). 아래의 Figure 4에는 상호작용도가 그려져 있다.

Table 1. The result of each driving environment ANOVA

		df	F	Sig.
Manual driving	Between Groups	2	2.37	.095
	Within Groups	303		
	Total	305		
Monitored driving	Between Groups	2	6.51	.002
	Within Groups	303		
	Total	305		
Automated driving	Between Groups	2	8.42	.000
	Within Groups	303		
	Total	305		

Table 2 The response time at two factors

		Average	Standard deviation
Modality	Visual	631.94	2208.14
	Tactile	164.30	349.53
	Auditory	130.01	271.01
Driving Environment	Manual	110.89	296.90
	Vigilance	282.63	927.86
	Automated	532.73	2046.92

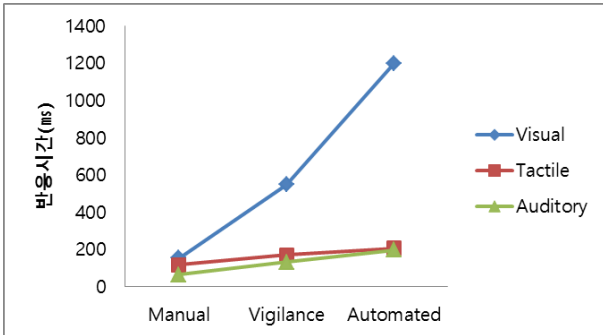


Figure 4. Interaction plot

3.3 NASA-TLX & Evaluating modality

NASA-TLX를 이용하여 각 운전상황 별 작업부하를 측정했다. 신체적 요구량(Physical Demand)는 수동주행환경에서 51.6, 관여도가 높은 자율주행에서는 36.3, 관여도가 낮은 자율주행에서는 23.3로 나타났다. 정신적 요구량(Mental Demand)은 수동주행환경에서는 68.4, 운전자의 관여도가 높은 자율주행환경에서는 71.3, 운전자의 관여도가 낮은 자율주행환경에서는 80.2로 나타났다. 시간적 요구량(Temporal Demand)는 수동주행환경이 52.4, 운전자의 관여도가 높은 자율주행환경이 70.6, 운전자의 관여도가 낮은 자율주행환경은 78.1로 나타났다.

신체적인 요구량의 경우 수동주행환경에서 운전자의 관여도가 낮은 자율주행환경으로 작업 부하가 감소하는 것을 확인했다. 또한 수동주행환경과 운전자의 관여도가 낮은 자율주행환경 사이에 유의한 차이($p < 0.05$)를 확인했다. 시간적 요구량의 경우 반대로 운전자의 관여도가 낮은 자율주행환경으로 갈수록 증가하는 것을 확인했다. 또한 수동주행환경과 운전자의 관여도가 높은 자율주행환경, 운전자의 관여도가 낮은 자율주행환경사이에서 유의한 차이($p < 0.05$)를 확인했다.

마지막으로 자극 양상에 대한 피실험자의 효율성 및 만족도를 평가했다. 청각, 진동, 시각 순으로 높은 만족도를 보였으며, 한 명을 제외한 모든 피실험자들이 시각이 제일 불편하다고 답했다. 청각을 선호하는 사람들이 10명, 촉각을 선호하는 사람들이 7명이었다.

4. Discussion

본 연구에서는 효율적인 자율주행 자동차 경보시스템 설계를 위한 사전연구의 일환으로 각 자극양상에 따른 운전자의 반응 속도를 비교 검토했다. 연구결과를 통해 정리한

바와 같이 주요 인자는 자극 양상과 운전 환경으로 나타났고, 두 요인간의 교호 작용 또한 확인했다

모든 운전상황에서 가장 반응시간을 최소로 하는 자극은 청각자극으로 나타났다. 그 다음으로 효율적인 자극은 촉각, 시각 순이었다. 수동 운전 상황에서 촉각, 시각, 청각의 순서로 효율적으로 나타났던 기존의 연구결과와는 다른 결과를 얻었다. 이는 운전 경력이 별로 없는 학생이었기 때문에 발생한 차이라고 생각된다. 자동차 시트처럼 의자를 통해 전달되는 진동 자극에 익숙하지 않아 정보 처리에 시간이 오래 걸렸기 때문이라고 생각한다. 또한 운전 경력이 별로 없어 자동차 운전 상황에 과도한 주의와 집중하면서 시각에 대한 작업부하가 크게 늘어나게 되어 인지 분산이 발생했다고 생각된다.

운전 환경에 따른 반응시간 변화량은 운전의 자동화 정도가 점점 증가할수록 시각이 청각과 진동보다 훨씬 더 크다고 나타났다. 이런 결과가 나타난 가장 큰 이유는 수동주행환경에서 자율주행환경으로 바뀔 때 따라서 운전자들이 행하는 업무의 대부분이 시각 능력에 의존하기 때문이다. 각각의 자율주행환경에서 핸드폰을 사용하거나 지속적인 감시를 하는 것은 대부분 시각을 사용하는 업무였기 때문에 시각에 대한 주의가 분산되어 시각신호를 잘 인지하지 못했던 것으로 생각된다. 이에 반해 촉각과 청각의 증가량은 매우 작았고 특히 청각에 대한 증가량은 각 주행환경에 관계없이 거의 일정했다.

수동운전환경의 반응시간 변화량이 다른 두 개의 자율주행 환경의 변화량보다 더 작다는 결과가 나타난 이유는 각각의 작업부하가 달랐기 때문으로 생각된다. NASA-TLX의 결과를 보면 수동운전에서 자율주행상황으로 갈수록 업무 수행에 대한 정신적 요구량과 시간적 요구량이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 관여도가 높은 자율주행의 경우, 운전자 자신의 의지에 따른 주행이 아니기 때문에 움직임 예측에 높은 주의가 필요하다. 이에 따라 주행 감시에 대한 인지적 요구량이 수동운전 보다 오히려 높았다. 관여도가 낮은 자율주행의 경우에는 맞춤형 오류를 수정하여 메시지를 보내는 작업이 실제 운전하는 보다 더 높은 인지적 요구를 필요로 한 것으로 보인다. 각 환경에 부가된 업무가 과도하게 설정이 됐을 수도 있으나 실제로 자율 주행이 된다면, 한 가지 업무가 아닌 여러 가지 업무를 동시에 처리해야 할 가능성이 높다. 그러므로 현재 직접운전을 할 때보다 훨씬 더 높은 인지적인 부하가 발생할 것으로 예상된다.

촉각의 경우, 왼쪽과 오른쪽의 진동을 구별하는데 어려움을 느끼는 피실험자들이 많이 존재했다. 진동으로 전달할 수 있는 정보의 양은 다른 자극들에 비해서 상대적으로 적고 운전자에게 혼란을 줄 가능성이 높다고 생각된다. 이에 비해 청각은 작업부하도 매우 낮으며 명확한 정보 전달을 한다는 장점이 있다. 실험 결과, 자율주행상황에서 촉각

과 청각에 대한 유의한 차이는 존재하지 않았다. 하지만 피 실험자들의 선호도 조사와 정확도를 고려하면 청각을 이용한 신호 전달 시스템을 설계하는 것이 가장 유리한 것으로 나타났다. 하지만 청각은 주변소음의 영향을 민감하게 때문에 실제 상황에 적용하는데 주의가 필요하다. 그리고 환경에 따라서 단일 채널의 자극이 전달되지 않을 수 있으므로 촉각과 청각을 동시에 사용하는 방법도 검토해 볼 필요가 있다.

5. Conclusion

본 연구에서는 자율주행자동차 단계에 따른 효율적인 자극 양상에 대해 연구했다. 자율주행의 발전에 따라 변화하는 주행환경에 맞춰 새로운 신호 전달 시스템 설계를 위한 실험을 진행했다. 모든 환경에서 청각이 가장 유리했으며, 환경 변화에 따른 민감도 역시 가장 낮았다. 선호도 또한 가장 높았다. 이 결과는 차후 자율주행차량 설계 시 어떤 감각기관을 이용해서 중요한 정보를 전달하는 것이 좋은지에 대한 기본 자료로 사용될 수 있을 것을 보인다. 하지만 본 연구는 실제 운전 환경이 아닌 실험실 환경에서 이루어진 평가이므로 실제 차량에서 발생할 수 있는 소음과 진동에 대한 고려가 없다는 한계점이 존재한다. 또한, 여러 운전 상황이 있을 수 있으나 제한된 시나리오에서만 실험이 진행되었고, 피실험자의 대부분이 20대라는 점에서 연구결과를 일반화 하기에는 한계가 있다. 하지만 자율주행자동차에서의 신호 전달 효율성에 대한 체계적인 실험이 없는 상황에서 본 연구는 좋은 선행연구가 될 수 있을 것으로 기대한다.

References

- Hun-Hae Kim, Woon-Sung Lee, "Effect of Driver's Cognitive Distraction on Driver's Physiological State and Driving Performance", *Journal of the Ergonomics Society of Korea* 31(2), pp.371-377, 2012
- Mean Jong Kim, Sol Hee Yoon, Yong Gu Ji, "Exploring the User Experience for Autonomous Vehicle and the Role of Windshield Display : Based on Frame Approach", *Proceedings of HCI Korea*, 2016
- Wonsuk Chang, Wonil Hwang, Yong Gu Ji, "Haptic Seat Interfaces for Driver Information and Warning Systems", *International Journal of Human-Computer Interaction* 27:12(pp. 1119-1132), 2012
- Heekyung Moon, Sun H. Han, Jaemin Shun, seunghwan Oh, Cheehwan Jang, Hossang Jo, "Analysis of Driver's Dangerous Situation Induced by Cognitive Workload and Distraction", *Ergonomics*

- Society of Korea* (pp. 225-229), 2012
- Yongwon Yun, "Trend and Issue of Driver-Vehicle Interface for Autonomous Vehicle", *Auto Journal Korea*, 2016
- Charles Spence and Cristy Ho, "Tactile and Multisensory Spatial Warning Signals for Drivers", *IEEE TRANSACTIONS ON HAPTICS*, VOL. 1, NO. 2, 2008
- Cristy Ho and Charles Spence, "Assessing the Effectiveness of Various Auditory Cues in Capturing a Driver's Visual Attention", *Journal of Experimental Psychology* Vol 11, No.3(pp 157-174), 2005
- Ho, Cristy, Charles Spence, and Hong Z. Tan, "Warning signals go multisensory", *Proceedings of HCI International* Vol. 9 (pp. 1-10), 2005
- Hong Z. Tan, Robert Gray, J. Jay Young, Ryan Traylor, "A Haptic Back Display for Attentional and Directional Cueing", *No.1 Haptics-e*, 2003
- Jesse L. Eisert, Bridget A. Lewis, & Carryl L. Baldwin, "Using the method of adjustment to enhance collision warning perception", *Proceedings 19th Triennial Congress of the IEA*, Melbourne, 2015
- John D. Lee & Joshua D. Hoffman, Elizabeth Hayes, "Collision Warning Design to Mitigate Driver Distraction", *CHI 2004*, Vienna, 2004
- Mujhaba Ahtamad, Robert Gray, Cristy Ho, Nick Reed & Charles Spence, "Informative Collision Warnings: Effect Of Modality And Driver Age", *Proceedings of the eights International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*, 2015

Author listings

Sang Myung Kim: llisyn@ssu.ac.kr

Highest degree: B.S, Department of Industrial Information Systems Engineering, the University of Soongsil

Position title: Researcher,

Areas of interest: Human-Vehicle interaction, Cognitive Engineering, Active Safety for Transportation Systems, Human Factors in Automotive Engineering

Hyou Won Seo: hw7517@ssu.ac.kr

Highest degree: B.S, Department of Industrial Information Systems Engineering, the University of Soongsil

Position title: Researcher,

Areas of interest: Human-Vehicle interaction, Cognitive Engineering, Active Safety for Transportation Systems, Human Factors in Automotive Engineering