

주행 시 좌우 차량 인지에 대해 햅틱 및 사운드 피드백이 운전자의 운전 경험에 미치는 영향

The Impact of Haptic and Auditory Feedback on Drivers' Experience During Left and Right Vehicle Detection While Driving

김태훈 Taehun Kim 대구경북과학기술원 DGIST raflereak@gmail.com	이도균 Dokyun Lee 대구경북과학기술원 DGIST dokyun@dgist.ac.kr	허태훈 TaeHoon Her 대구경북과학기술원 DGIST taehoon.her@dgist.ac.kr	고강현 Kanghyeon Ko 대구경북과학기술원 DGIST kokanghyun98@gmail.com	송진영 Jean Y. Song 연세대학교 Yonsei University jeansong@yonsei.ac.kr
---	--	--	--	---

요약문

본 연구는 운전자가 주행 중 전방 주시나 주의 산만으로 인해 차량의 양측면을 시각적으로 확인하기 어려운 상황에서, 사운드 및 햅틱 피드백을 통해 양측 차량 간 거리를 신속하게 인지할 수 있는지를 확인하고자 하였다. 이를 위해 18 명의 실험 참여자를 대상으로 집단 내 설계(within-subjects design)를 적용하여 연구를 진행하였다. 참가자들은 세 가지 피드백 시스템(사운드, 햅틱, 사운드+햅틱)이 적용된 차량 주행 영상을 시청하였고, 피드백 알림을 인지할 때마다 버튼을 누르도록 요청받았다. 각 피드백 시스템을 모두 경험한 후에는 설문조사와 반구조화된 인터뷰를 실시하였다.

연구 결과, 세 가지 피드백 시스템 간 반응 속도에는 유의미한 차이가 발견되지 않았다. 그러나 설문조사와 인터뷰를 통해 참가자들은 시각적 사각지대에서 옆 차량의 접근을 쉽게 인지할 수 있는 피드백 시스템이 운전에 유용하다는 경향을 보였으며, 특히 사운드와 햅틱을 결합한 피드백 시스템에 대한 선호도가 가장 높았다. 본 연구는 피드백 시스템이 차량 간 안전 거리 인지에 미치는 잠재적 효과를 확인하였으며, 향후 연구에서는 차량 간 안전 거리별 진동 피드백의 강도와 패턴 등 세부 설계 요소에 대해 논의한다.

주제어

햅틱 피드백, 사운드 피드백, 차량 인터랙션

1 서론

현대의 운전 환경에서는 확인해야 할 요소가 많아지면서 운전자의 시각적 부담이 크게 증가하고 있다. 전방과 룸미러, 사이드미러뿐만 아니라 헤드업 디스플레이(HUD), 계기판, 내비게이션, 스마트폰 등 다양한 상호

작용 인터페이스가 운전자의 시각 처리에 포함되어야 하는 시대가 되었다. 이러한 인터페이스들은 운전자의 편의를 높이기 위해 제공되고 있지만, 그 수가 증가함에 따라 운전자의 업무 부담이 가중되고 시각적 산만을 유발할 수 있다[1]. 선행 연구에서는 고속도로에서 시각적 부하가 운전자의 운전 성능에 부정적인 영향을 미친다는 결과가 보고되었다[2].

차량 시스템의 발전으로 운전자는 운전 중에도 스마트폰의 기능을 활용할 수 있게 되었다. 통화, 메시지 확인 및 전송, 음악 감상 등 다양한 상호작용이 가능하다. 이러한 상호작용들은 사용자가 시선을 다른 곳으로 돌리지 않도록 설계되었지만, 주의가 다른 곳으로 분산되어 정신적 산만함을 유발할 수 있고, 운전 중 위험한 상황에 노출되었을 때 반응 속도가 느려질 수 있다[3][4]. 핸드프리 통화를 할 경우에도 교통 위반, 차선 유지 실패, 주의력 저하, 반응 시간 지연 등의 문제가 발생할 수 있다는 연구 결과가 있다[5][6].

따라서 본 연구에서는 세 가지 피드백을 활용하여 차량의 초음파 센서로 차량 간의 거리를 감지하고 감지된 거리에 따라 단계를 나누어 피드백을 제공하는 시스템을 제안 및 설계하여 주행 중 운전자의 시각적 산만을 줄이고, 정신적 산만 상태에서도 위험 상황을 신속히 인지할 수 있는지 확인한다. 또한, 지속적인 피드백으로 운전자에 스트레스를 줄 수 있는데 통합 피드백일 경우 효과적이게 제공할 수 있는지 확인한다. 이를 통해 연구목표를 달성하기 위해 다음과 같이 연구 질문을 설정하였다.

- 연구질문 1. 주의산만과 전방주시로 주행 중 사이드미러를 보지 못하는 상황에서 햅틱 및 사운드 피드백이 옆의 차량의 접근을 인지하도록 도움을 줄 수 있는가?
- 연구질문 2. 햅틱 및 사운드와 통합된 피드백 중 어떤 것을 운전자가 선호하는가?

- 연구질문 3. 햅틱 및 사운드와 통합된 피드백 중 어떤 것이 가장 빠른 반응속도를 유도하는가?

2 선행 연구 및 이론적 배경

2.1 운전자의 산만함

선행 연구에 따르면 운전자의 주의 및 산만함에 대해 4가지 핵심 요소로 정의되어 있는 것을 확인할 수 있다[9]. 첫째, 운전으로부터 주의가 산만해지는 것. 둘째, 운전과 관련이 있을 수도 있고 없을 수도 있는 차량 내부 또는 외부의 경쟁 활동으로 주의가 산만해지는 것. 셋째, 경쟁 활동으로 인해 운전자가 주의를 다른 곳으로 돌리게 되거나 유도될 수 있음. 넷째, 안전 운전에 부정적인 영향을 미친다는 암묵적 또는 명시적 가정이 있음.

이와 같이 산만함은 주변의 다양한 요인에 의해 발생할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 운전자가 즉각적으로 주변 차량의 접근의 정도 및 위험을 인지할 수 있는 피드백 시스템을 제안하고, 검증한다.

2.2 햅틱 피드백 시스템

햅틱 피드백은 오늘날 다양한 분야에서 연구되고 활용되고 있다. 모바일 기기에서 터치에 대한 피드백을 제공하거나, 게임 하드웨어나 차량에서 활용되고 있다. 차량 햅틱 피드백과 관련된 연구들을 탐색한 결과, 다양한 방법으로 차량에 적용하기 위한 연구가 진행되고 있으며, 시트에서 진동을 주거나 차선 이탈 경고를 위한 햅틱 피드백[10] 등 상용화된 기술도 존재한다. 또한, 내비게이션 정보를 효과적으로 전달하기 위해 스티어링 휠에서 진동 피드백을 제공하여 내비게이션 신호를 올바르게 인지할 수 있는지에 대한 연구 결과가 있다[11]. 센서를 활용하여 차선과 차량이 가까워지면 핸들에 진동을 주어 경각심을 주는 기술도 있다.

2.3 사운드 피드백 시스템

사운드 피드백 시스템은 게임 효과음부터 모바일 기기의 알림음 같은 다양한 분야에서 사용되고 있다. 차량에서도 다양한 연구가 진행되고 있는데, 차량의 소음을 스피커로 내어 운전자의 만족도를 높이는 기술로 사용자들의 현실감과 몰입감을 향상시키는 연구가 있다[12]. 또한 안전을 위한 목적으로도 사용되는데, 주차 시 사각지대에 물체가 있으면 사운드 피드백을 주어 경각심을 가지게 하거나, 차선 유지 보조를 위해 차선에서 이탈하려고 할 때 사운드 피드백을 주거나, 운전자가 장시간 운전대를 잡지 않거나 졸음운전을 하고 있다고 판단될 때 경고음을 내는 방식으로 활용되고 있다. 본 연구에서는 안전을 위한 장치로서 주행 중 양방향에 근접하는 차량

이 있을 때 피드백을 제공하여 운전자가 차량의 접근을 인지할 수 있는지를 확인하고자 한다.

2.4 통합 피드백 시스템의 필요성

햅틱 피드백과 사운드 피드백을 통합적으로 제공하는 연구도 존재하며, 그 결과 피드백을 통합적으로 제공하는 것이 운전자의 운전 경험을 만족시키는 것이 가능하다는 연구 결과가 있다[13]. 이를 토대로 햅틱과 사운드를 통합한 피드백을 제공하여 단일 피드백보다 효과가 있는지를 알아보하고자 한다.

2.5 피드백 시스템의 효과

햅틱과 사운드 피드백은 많은 영역에서 사용되고 있지만, 대부분 사용자의 만족도를 높이기 위한 목적이다. 그러나 차량에서는 사용자의 안전을 위해 채택되고 사용되고 있다. 안전을 위해서는 사용자의 경각심을 깨워주는 것이 중요하며, 이를 위해 진동과 사운드가 사용된다. 제안하는 시스템은 주행 중 지속적으로 피드백을 받기 때문에 사용자에게 스트레스를 줄 수 있다. 앞선 연구에서는 이를 위해 진동과 사운드가 사용자에게 불편함을 주는 정도를 확인하였다[14]. 진동과 사운드가 함께 제공되었을 때 더욱 효과적일 수 있는지를 추가로 확인하기 위해 본 연구에서는 진동과 사운드가 통합된 피드백을 실험에 적용하여 확인하고자 한다.

3 연구 방법

3.1 제안 피드백 시스템 설명

본 연구에서 제안하는 피드백 시스템은 초음파 센서를 통해 차량 간의 거리를 감지하고, 감지된 거리 정도에 따라 단계를 나누어 피드백을 제공하는 시스템이다. 피드백의 종류는 경고음의 빈도가 다르게 구성된 3단계의 사운드 피드백과, 진동의 강도가 강해지는 3단계의 햅틱 피드백이 있다. 각 피드백은 개별적으로 또는 통합하여 제공될 수 있으며, 본 연구에서는 가장 효과적인 피드백 종류를 파악하기 위해 각 시나리오에 다르게 적용하여 실험을 진행하였다.

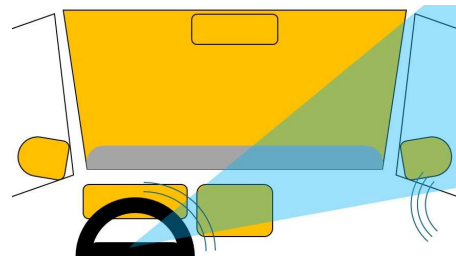


그림 1. 진동 및 사운드 피드백을 받았을 때의 운전자의 시야 실험에서 실제 운전 상황을 조성하는 것은 참가자에게 위험 리스크가 있다고 판단하여, 일반 주행 영상을 선택

하여 해당 주행 영상에 피드백 시스템이 시나리오를 통해 제공된다는 것으로 제한한 피드백 시스템을 경험할 수 있게 만들었다 (그림 2). 영상은 유튜브에서 가져온 크리에이티브 커먼즈 라이선스가 적용된 영상들을 활용하였다. 영상 제공자별로 설정이 다르다는 점에서 하나의 영상에서 시나리오 세 가지를 추출하였다. 각 영상은 3 분으로 구성되어 있으며, 일반적인 주행 영상에서 피드백 시스템이 활성화되어 참가자에게 피드백이 전달되게 하였다.

참가자는 총 18 명으로 구성되었으며, 3 가지 피드백 옵션에 대해 Balanced Latin Square 를 적용하여 6 가지의 경우의 수에 3 가지 영상을 랜덤하게 적용하여 실험에 참가하도록 하였다. 실험 시간은 10 분, 설문 및 인터뷰 시간은 20 분으로 설정되어 총 소요시간은 30 분이였다. 참가자 분포는 남성 15 명, 여성 3 명이며, 연령대는 19~25 세 9 명, 26~35 세 9 명이다. 운전 경력은 1 년 미만 7 명, 13 년 미만 5 명, 35 년 미만 5 명, 5 년 이상 1 명으로 분포되었다.

본 연구에서 진행하는 실험에서 참가자가 사용하는 하드웨어는 24 인치 모니터로 주행 영상을 출력하고, 이어폰과 조이스틱을 통해 주행 영상의 사운드와 제한한 피드백 시스템의 햅틱, 사운드, 햅틱+사운드 총 3 가지 피드백을 경험하도록 설정되었다.



그림 2. 실험환경

3.2 연구 절차

실험을 시작하기 전, 참가자들은 실험 절차와 목적에 대해 설명 들었고, 정보 제공 동의서를 읽고 서명했다. 그 후, 참가자들은 정해진 시간에 실험 장소에서 모니터에 출력되는 영상을 시청하며, 이어폰에서 나오는 사운드 피드백과 조이스틱에서 나오는 진동 피드백을 통해 양 옆 차량 간의 거리를 인지하였다. 위험 상황을 인지할 경우 버튼을 눌러 반응 속도를 측정하였다. 실험이 끝난 후 간단한 설문조사 및 반구조화된 인터뷰에 참여하였다.

인터뷰는 사전 동의 하에 녹음을 진행하여 데이터를 수집하였다.

3.3 데이터 수집 및 분석

참가자들은 인지한 위험에 대해 해당 방향의 버튼을 누르도록 지시받았다. 수집된 데이터는 위험 상황에 대한 반응 속도를 파악하기 위해 사용되었다. 이를 통해 세 가지 피드백 시스템에 대한 참가자들의 반응 속도를 비교할 수 있었다.

실험 후 참가자들에게 설문조사를 진행하였다. 설문은 총 26 가지의 질문으로 구성되어 있으며, 참가자들의 기본 정보, 피드백 시스템에 대한 만족도와 반응 속도, 인식 정확도, 인지 부하, 운전에도 도움 여부, 안전성, 스트레스 정도, 몰입도, 피드백 시스템에 대한 도움 정도 및 개선점에 대한 서술을 포함하였다.

설문조사 후 긍정적인 평가를 위해 인터뷰를 진행하였다. 인터뷰는 총 13 가지의 질문으로 구성되어 있으며, 참가자들이 실험에서 얻은 주관적인 평가를 수집하였다. 피드백 방식에 대한 선호도 평가와 개선점, 거리 인지 정도 등에 대한 정보를 수집하였다.

4 연구 결과

4.1 실험 데이터 분석

각 피드백 방법에 따른 반응 속도를 조사하였다. 실험에서 참가자들은 한 조건 당 하나의 영상이 배정되어 총 세 가지의 자동차 주행 영상을 시청하고, 소리 또는 진동이 느껴질 때 버튼을 눌렀다. 각 조건에 대해 참가자들의 평균 반응 속도(M)과와 표준 편차(SD)를 보고한다(표 1).

표 1. 반응속도 (단위: 초)

Case	햅틱	사운드	햅틱 + 사운드
M	1.39	1.78	1.67
SD	0.61	0.81	0.69

Shapiro-Wilk 검정을 통해 정규성 검정을 하였고, 정규 분포를 따르지 않기 때문에 Friedman 검정을 진행했다. 사운드와 햅틱($p=0.052$), 사운드와 햅틱+사운드($p=0.833$), 햅틱과 햅틱+사운드($p=0.080$)를 비교하였을 때 유의미한 차이를 발견하지 못했다. 이는 참가자들이 세 가지 피드백 시스템들의 경고 알람을 비슷한 시간에 반응한다는 것을 보여준다.

4.2 설문 데이터 분석

참가자 18 명을 대상으로 피드백 시스템에 대한 선호도, 반응 속도, 스트레스, 운전 경험에 도움이 되었는지에 대해 Likert 5 점 척도를 통해 조사하였다. 표 2 를 통해 각

Case 에 따른 피드백 시스템에 대한 참가자들의 평균 점수를 보고한다.

표 2. 피드백 시스템에 대한 평균 점수

Case	햅틱	사운드	햅틱 + 사운드
선호도	3.44	3.50	3.94
반응 속도	3.72	3.67	4.11
스트레스	3.22	3.28	3.33
운전 경험도 움 여부	3.22	3.72	3.83

선호도는 1 점(매우 불만족) - 5 점(매우 만족)으로 평가하였고, 사운드+햅틱, 사운드, 햅틱 순으로 나타났다. 반응 속도는 1 점(매우 느림) - 5 점(매우 빠름)으로 평가하였고, 참가자들은 사운드+햅틱 시스템이 위험 상황에서 가장 빠르게 인지할 수 있었다고 보고하였다. 스트레스는 1 점(전혀 그렇지 않다) - 5 점(매우 그렇다)로 평가하였고, 세 가지 피드백 시스템 모두 비슷한 점수를 나타냈다. 각 피드백 시스템이 운전 경험에 도움을 주었는지에 대해 1 점(전혀 도움이 되지 않았음) - 5 점(매우 도움이 되었음)으로 평가하였고, 햅틱+사운드, 사운드, 햅틱순으로 나타났다.

종합적으로 참가자들은 사운드+햅틱 피드백을 선호하고, 도움이 된다고 인지함을 알 수 있다. 또한, 세 가지 경고 시스템에 대해 스트레스는 크게 느끼지 않았고, 운전 경험에 전반적으로 도움이 되었다고 인식하였다.

4.3 인터뷰 데이터 분석

반구조화된 인터뷰를 통해 각 피드백 시스템에 대한 참가자들의 평가와 개선할 점에 대해서 보고한다.

참가자들은 본 연구에서 제안한 세 가지 피드백 시스템들을 처음 경험하였지만 쉽게 이해할 수 있을 정도로 직관적이고, 사용하기 쉬웠다고 언급하였다. 특히, 햅틱 피드백은 거리를 인지하는 데 있어 진동을 바로 알아차릴 수 있어 좋았다고 보고하였다. 사운드 피드백의 경우, 처음에 명확한 구분이 어려웠고, 시끄러운 상황에서는 들리지 않을 것 같다는 의견이 있었다. 결과적으로, 대부분의 참가자들은 각각의 단점을 보완할 수 있는 사운드+햅틱 피드백을 선호하는 경향을 보였다, 일부 참가자들은 햅틱의 퀄리티 및 빈도와 강도로 인하여 햅틱 피드백을 선호하지 않는 경우도 있었다.

어떤 점이 개선되면 좋을지에 대해 대부분의 참가자들은 피드백의 볼륨 및 강도를 조절할 수 있으면 좋겠다고 언급하였고, 피드백의 단계가 명확하게 파악되었으면 좋

겠다는 의견도 있었다. 또한, 사운드의 경우 상황에 따라 들리지 않을 수 있으므로 차량 내부 상황을 인지하여 적응형으로 강도를 조절하는 방법이 제안되었다.

전반적으로 참가자들은 피드백 시스템들이 위험 상황 인지에 도움이 되었으며, 사이드 미러를 확인해야 하는 트리거 역할로 사용될 것 같다는 의견과 함께 안전 운전에도 도움이 될 수 있을 것이라고 언급하였다. 또한, 피드백 시스템을 통해 빠른 반응 속도로 위험상황을 피할 수 있기 때문에 사용할 의향이 높다고 보고하였다.

5 결론

5.1 논의

본 연구는 운전 중 운전자의 시각적 산만을 줄이고, 주변 차량과의 거리를 인지할 수 있는 피드백 시스템의 잠재적 효과를 확인하였다. 비록 수집된 데이터가 반응 속도에 대해 유의미한 차이를 도출하지 못했지만, 인터뷰와 설문조사를 통해 참가자들은 제안한 피드백 시스템을 선호하고 사용하고자 하는 경향을 보였다. 특히 사운드와 햅틱을 결합한 피드백 시스템은 사용자들의 선호도가 높았으며, 운전 경험 향상에 도움이 될 수 있음을 확인하였다.

사운드+햅틱 피드백은 다양한 감각을 통해 정보를 제공함으로써 위험 상황 인지에 도움이 되었고, 운전자의 시각적 부담을 줄이면서도 효과적으로 정보를 전달할 수 있어 긍정적으로 평가되었다. 그러나 사운드 피드백의 경우 주변 소음에 의해 인지하기 어려울 수 있다는 한계가 있었다.

향후 연구에서는 햅틱 피드백 및 사운드 피드백의 강도와 패턴을 구분하여 운전자가 더욱 직관적으로 상황을 빠르게 인지할 수 있도록 설계함으로써 운전 안전에 기여하고자 한다.

5.2 연구 한계점 및 후속 연구

본 연구는 실제 차량에서 진행되지 않아 도로의 노면 상태에 따른 진동 피드백의 혼동 여부, 시끄러운 운전 상황에서 사운드 피드백의 인지 여부 등과 같은 제약 사항이 존재하였다.

향후 연구에서는 실제 운전 환경에서 피드백 시스템을 적용하여 노면 진동과 피드백 진동의 구분 가능성을 검증하고, 햅틱의 강도와 패턴을 세분화하고 사운드의 음역대와 빈도 및 크기를 세분화한 기준에 맞게 재구성하여 운전자가 더욱 직관적으로 주행 중에 차량 양옆의 상황을 인지할 수 있도록 연구하고자 한다.

참고 문헌

1. N. Louveton, R. McCall, V. Koenig, T. Avanesov, T. Engel, Driving while using a smartphone-based mobility application: Evaluating the impact of three multi-choice user interfaces on visual-manual distraction, *Applied Ergonomics*, Volume 54, 2016, Pages 196-204
2. Johan Engström, Emma Johansson, Joakim Östlund, Effects of visual and cognitive load in real and simulated motorway driving, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Volume 8, Issue 2, 2005, Pages 97-120
3. P.A. Hancock, M. Lesch, L. Simmons, The distraction effects of phone use during a crucial driving maneuver, *Accident Analysis & Prevention*, Volume 35, Issue 4, 2003, Pages 501-514
4. Elke Muhrer, Mark Vollrath, The effect of visual and cognitive distraction on driver's anticipation in a simulated car following scenario, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Volume 14, Issue 6, 2011, Pages 555-566
5. Kristen E. Beede, Steven J. Kass, Engrossed in conversation: The impact of cell phones on simulated driving performance, *Accident Analysis & Prevention*, Volume 38, Issue 2, 2006, Pages 415-421
6. Joanne L. Harbluk, Y. Ian Noy, Patricia L. Trbovich, Moshe Eizenman, An on-road assessment of cognitive distraction: Impacts on drivers' visual behavior and braking performance, *Accident Analysis & Prevention*, Volume 39, Issue 2, 2007, Pages 372-379
7. N. Li and C. Busso, "Detecting Drivers' Mirror-Checking Actions and Its Application to Maneuver and Secondary Task Recognition," in *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 17, no. 4, pp. 980-992, April 2016,
8. Jaemin Chun, In Lee, Gunhyuk Park, Jongman Seo, Seungmoon Choi, Sung H. Han, Efficacy of haptic blind spot warnings applied through a steering wheel or a seatbelt, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Volume 21, 2013, Pages 231-241
9. Michael A. Regan, Charlene Hallett, Craig P. Gordon, Driver distraction and driver inattention: Definition, relationship and taxonomy, *Accident Analysis & Prevention*, Volume 43, Issue 5, 2011, Pages 1771-1781
10. Keisuke Suzuki, Håkan Jansson, An analysis of driver's steering behaviour during auditory or haptic warnings for the designing of lane departure warning system, *JSAE Review*, Volume 24, Issue 1, 2003, Pages 65-70
11. C. J. Ploch, J. H. Bae, C. C. Ploch, W. Ju and M. R. Cutkosky, "Comparing haptic and audio navigation cues on the road for distracted drivers with a skin stretch steering wheel," 2017 IEEE World Haptics Conference (WHC), Munich, Germany, 2017, pp. 448-453
12. Zhao, Lin & Nybacka, Mikael & Rothhämel, Malte & Drugge, Lars. (2023). Influence of sound, vibration, and motion-cueing feedback on driving experience and behaviour in real-life teleoperation.
13. H.-S. Kim, S.-J. Lee, and B.-W. Kim, "A Study on the Multi-sensory Usability Evaluation of Haptic Device in Vehicle," *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, vol. 13, no. 11. The Korea Academia-Industrial Cooperation Society, pp. 4968 - 4974, 30-Nov-2012.
14. Halabi, Osama & Bahameish, Mariam & Al-Naimi, Latefa & Al-Kaabi, Amna. (2015). A study on the design and effectiveness of tactile feedback in driving simulator. *Proceedings of IEEE/ACS International Conference on Computer Systems and Applications, AICCSA*. 2015. 742-746