

# A comparative study on cognitive abilities of the drivers responding to auditory and tactile signals under driving and non-driving task conditions.

Sang Ho Kim, Jong Kyu Shin

School of Industrial Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gumi, 39177

## Abstract

**Objective:** The objective of this study is to compare the driver's response rate and time between auditory and tactile signals given in two different task conditions (Driving/Non-Driving). It is for checking whether haptic signals can be used as a component of the car warning system. **Background:** As recent automobiles are evolving into intelligent information systems everyday, the amount of information that drivers need to process increase correspondingly. Too much information presented simultaneously on visual displays may distract driver's attention and it may cause serious traffic accidents. It is hypothesized that multimodal in-vehicle information systems can be a possible solution for reducing the driver's cognitive overload. **Method:** Experiment were conducted to gather response rate and time for given warning signals delivered in different modalities, auditory and tactile, using a computerized interactive driving simulator. The subjects are tested under two different task conditions: driving and non-driving. Response rate and time for the haptic signals are compared with those for the auditory signals. **Conclusion:** The study shows that there is slight difference in response rate between the two modalities, but the difference is not practically significant. For response time, auditory signals draw faster responses compare to the haptic signals in 73msec on the average. **Application:** The result from this study supports that haptic signals can be used as substitute warnings when other channels are busy and signals can be initiated a bit earlier than the situation.

Keywords: Driving, Driver's response, Haptic, Auditory, safety signals

## 1. Introduction

자동차 운전은 높은 수준의 주의력을 요하는 작업이며, 운전자가 충분한 주의를 기울이지 않을 경우 위험한 상황에 직면하게 된다. 운전과정에서의 차량안전성을 향상시키기 위해 최근 자동차의 기술 개발 방향은 잠재적 위험요인에 대하여 운전자에게 경고

를 제시하거나 운전자의 적절한 대응이 지연될 경우 이를 중재할 수 있는 정보시스템이나 안전보조 장치 혹은 자율주행 장치에 초점을 맞추고 있다. 차선이탈 경고, 사각지대 경고, 전방추돌 경고 등 다양한 정보시스템들이 개발되고 있으며, 일부 기술은 이미 상용화 단계에 접어들었다.

현대의 자동차는 단순한 이동수단의 개념을 넘어서서 모바일 네트워크 기반의 교통

정보시스템에 있어 가장 주요한 구성요인으로 변모하고 있다. 이러한 과정에서 차량 내에 설치된 각종 정보단말기로부터 쏟아지는 다양한 정보들로 인해 운전자들의 주의가 오히려 분산되거나 정보의 내용을 파악하여 올바른 조작을 수행하기까지의 정보처리과정에서 부담이 가중되는 문제점이 발생할 수 있다. 따라서 각종 경보시스템이나 안전보조장치 등의 개발과정에서 이들 시스템의 사용성을 확보하기 위한 방안으로서 사용자 인터페이스의 특성이 충분히 고려되어야 할 것이다. 특히, 시각중심의 기존 차량용 정보디스플레이들의 역할을 부분적으로 대체할 수 있는 멀티모달 디스플레이의 개발을 통해 시각에 편중된 정보수용 채널을 분산시키는 방안들이 모색될 필요가 있다.

본 연구는 촉각(햅틱)을 이용한 멀티모달 차량 정보시스템을 개발하기 위한 선행연구로서 위험상황을 전달하기 위한 정보전달 수단으로 진동신호를 사용할 경우 운전자가 다른 양식의 신호와 비교해도 충분한 수준의 정확도와 반응속도를 나타내는지를 실험을 통해 확인해보는 것에 그 목적을 두었다.

## 2. Method

본 연구에서는 진동과 소리의 물리적 특성을 결정하는 일부 파라미터 값을 변화시켜 설계한 신호를 피실험자들에게 제시한 후 그 반응률과 평균반응시간을 측정하는 실험을 실시하였다. 반응측정 실험은 차량 시뮬레이터를 이용한 주행모드와 비주행 모드의 두 가지 조건하에서 각각 실시하였다. 다음의 Table 1은 전달신호의 특성을 변화시키기 위하여 사용한 설계 파라미터들을 정리한 것이며, Figure 1은 차량 시뮬레이터를 이용한 주행모드에서의 실험과정을 나타낸 것이다.

실험에는 운전경험이 있는 20대 대학생 및 대학원생 14명이 참여하였으며 각 실험 조건에서 반응시간에 대한 측정을 3회씩 실시하였다. 햅틱신호의 경우에는 피실험자의 신체부위와 직접 접촉이 필요하므로 운전

방해가 되지 않도록 신체 4부위(손등, 손목, 위팔, 허벅지)에 밴드를 이용해 고정시킨 햅츠크에이터를 통해 전달하였다. 소리신호는 시뮬레이터 뒤편에 별도로 설치된 스피커를 이용하여 전달하였다.



Figure 1. Driving simulator

Table 1. Design parameters of the given signals

		Haptic Component						
Acceleration(Gain)		1	2	3	4	5		
Frequency(Hz)		80	90	100	150	200	250	350
		Auditory Component						
Sound pressure(dB)		60	65	70	75	80		
Frequency(Hz)		300	1000	2000	3000	4000	6000	10000

발생되는 신호의 특성과 순서를 제어하기 위해 LabView를 기반으로 자체 코딩한 프로그램을 이용하였으며, 물리적 장치로는 NI사의 A/D, D/A 컨버터와 Tactile Labs사의 햅츠크에이터, Britz사의 스피커를 이용하였다. 주행/비주행과 진동/소리는 각각을 블럭인자로 설계하여 진동신호가 주어진 상태에서 비주행 모드의 실험을 먼저 실시한 후 주행모드의 실험을 실시하였다. 이후 진동신호에 대한 실험과 동일한 실험을 소리신호에 대하여 반복 실시하였다.

## 3. Results

### 3.1 Response Rate

주어진 신호의 특성에 따라 반응률에 어떠한 차이가 있는지를 확인하기 위하여 각 실험조건에서 피실험자들이 보인 반응의 회수를 분석하였다. 분석 결과 진동신호와 소

리신호 모두에서 Table 1에 나타난 파라미터 값의 변화에 따라 일부 조건에서는 다른 조건에 비해 반응률이 다소 떨어지는 현상이 발견되었다. 그러나 본 연구에서는 진동신호와 소리신호가 반응률에 미치는 전반적인 영향을 파악하기 위하여 모든 조건에서의 평균적인 반응률을 비교한 결과를 제시한다.

Figure 2에 나타난 바와 같이 비주행 모드에서 소리신호와 진동신호의 반응률을 분석한 결과 소리신호가 평균 95.7%로 햅틱신호의 91.3%에 비해 4.4%P 높은 반응률을 나타냈다. 반응률 평균에 대한 유의차 검정결과 p-value가 0.001미만으로 통계적으로 유의한 차이가 있음을 확인하였다.

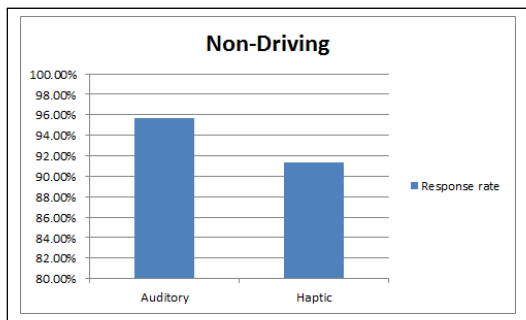


Figure 2. The response rate at Non-driving mode

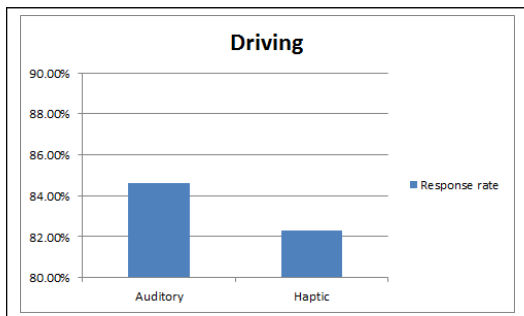


Figure 3. The response rate at Driving mode

주행모드에서는 소리신호와 진동신호 모두에서 반응률이 비주행 모드에 비해 줄어든 것으로 나타났다. 이러한 결과는 운전작업에 따른 인지적 부담의 증가가 신호탐지에 영향을 미치고 있음을 나타내주는 것이다. Figure 3에 나타난 바와 같이 소리신호

의 경우에는 84.6%, 햅틱신호의 경우에는 82.3%의 평균 반응률을 보여 두 신호 특성간에 2.3%P의 차이가 있음을 확인하였다. 평균 반응률의 유의차에 대한 분석결과 p-value= 0.024로 통계적으로는 유의차가 있음을 확인하였다. 그러나 그 값의 차이가 실제적으로는 큰 의미를 갖지 않는 것으로 판단되며, 비주행 모드와 비교할 경우 소리신호는 11.1%P의 반응률 감소를 보인 반면, 진동신호는 9%P의 감소를 보여 운전작업으로 인한 인지적 부담의 증가에 대해 더 강인한 특성을 보였다는 점에서 햅틱 정보시스템의 활용가능성을 확인할 수 있었다.

### 3.1 Response Time

앞서 실시한 반응률 분석 결과를 바탕으로 주어진 신호에 대해 반응을 나타낸 관측치들을 이용하여 반응시간에 미치는 신호특성 및 주행조건의 영향을 분석하였다.

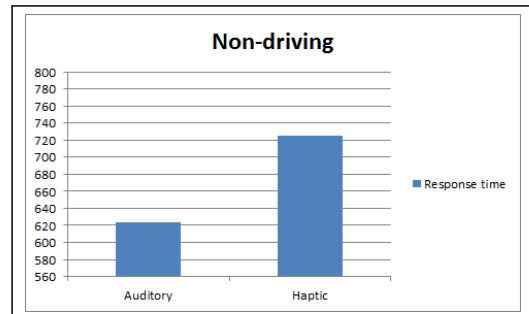


Figure 4. The response time at Non-driving mode

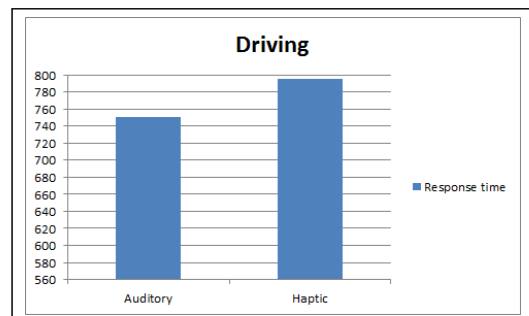


Figure 5. The response time at Driving mode

Figure 4에 나타난 바와 같이 비주행 모드에서 소리신호와 진동신호에 대한 운전자

의 평균 반응시간은 각각 624 msec와 725 msec로 측정되었다. 소리신호가 진동신호에 비해 101 msec 빠른 반응시간을 나타냈으며 이 차이는 통계적으로도 유의하였다( $p$ -value < 0.001).

Figure 5는 주행모드에서 주어진 소리신호와 진동신호에 대한 평균 반응시간을 나타낸 것이다. 소리신호에 대한 반응시간은 750 msec이었으며, 진동신호에서는 795 msec이었다. 비주행 모드와 비교할 때 소리신호는 반응시간이 126 msec 늦어졌으며, 진동신호는 70 msec 늦어지면서 두 신호특성 간의 반응시간 차이가 101 msec에서 45 msec로 감소함을 확인하였다.

## 4. Discussion

본 연구에서는 진동신호를 이용한 멀티모달 경보시스템을 개발하기 위한 사전연구의 일환으로 소리신호와 진동신호에 대한 운전자의 반응률과 반응시간을 비교 검토해 보았다. 연구결과를 통해 정리한 바와 같이 여러 가지 특성을 지닌 소리신호와 진동신호의 반응률을 비교했을 때 소리신호에 대한 반응률이 진동신호에 비해 다소 높음을 확인하였다. 그러나 두 신호에 대한 반응률 차이가 인지부담이 낮은 비주행 모드일 때에 비해 주행모드에서 더 줄어들어 2.3% P 수준의 근소한 차이를 보인다는 사실을 확인한 것은 의미가 있다. 이는 차량운전과정에서 진동신호를 사용하더라도 그 탐지율이 소리신호에 비해 크게 악화되지 않음을 나타내는 것이다. 특히 진동신호의 설계 파라미터 값에 따라 반응률에 다소 간의 차이가 있었음을 감안하면 적절히 설계된 진동신호를 선별하여 사용할 경우 소리신호와 대등한 수준의 반응률을 이끌어낼 수 있을 것으로 기대된다.

대등한 수준의 반응률을 확보할 수 있을 지라도 주어진 신호에 대한 반응시간이 늦어질 경우 큰 위험을 초래할 수 있다. 따라서 진동신호를 이용한 멀티모달 경보시스템의 활용성을 확보하기 위해서는 신호에 대

한 반응시간이 여타의 신호특성에 비해 크게 악화되지 않아야 한다. 본 연구결과를 통해서 소리신호에 비해 진동신호에 대한 반응시간이 느림을 확인하였다. 소리신호가 다른 양식의 신호에 비해 빠른 반응을 유발한다는 것은 익히 알려진 사실이며, 이는 감각기관의 특성에 기인한 것이다. 따라서 진동신호의 파라미터 값을 변화시킨다 해도 소리신호에 비해 더 빠르거나 동일한 반응시간을 이끌어낼 수는 없다. 그러나 반응시간의 차이가 심각하지 않은 수준이라면 진동신호를 경보를 전달하기 위한 수단으로 사용할 수 있을 것이다. 본 연구에서 실험을 통해 측정한 결과 주행모드에서는 소리신호가 평균 750 msec의 반응시간을 보였으며, 진동신호의 경우에는 795 msec로 45 msec 느린 반응시간을 나타냈다. 이 시간차를 시속 100 km로 달리는 자동차의 공주거리로 비교해보면 소리신호의 경우는 약 20.8 m이며, 진동신호의 경우는 22.1 m로 1.25 m 정도의 차이를 보인다. 경우에 따라 이러한 공주거리의 차이로 인해 위험성 정도가 큰 차이를 보일 수도 있겠으나 두 신호의 반응시간의 차이가 통상적으로 용인할 수 있는 수준인 것으로 판단된다. 따라서 적절히 설계된 진동신호를 사용할 경우 소리신호에 비해 상대적으로 크게 뒤지지 않는 운전자의 반응을 이끌어낼 수 있을 것으로 기대된다. 또한 일반적인 차량경보 시스템을 개발하는 과정에서 공주거리를 줄이기 위한 방안으로 경보를 실제상황보다 다소 조기에 발령하는 방식을 적용하고 있다. 진동신호를 이용한 멀티모달 경보시스템에서는 경보 발령 시기를 조금 더 앞당기는 방식으로 반응시간의 지연효과를 감소시킬 수 있을 것이다.

본 연구에서는 소리신호와 진동신호에 대한 단순반응시간(Simple Reaction Time)만을 비교 분석하였다. 그러나 진동신호를 이용한 멀티모달 경보시스템의 활용성을 제고하기 위해서는 서로 다른 위험상황에 대한 차이를 운전자에게 전달할 수 있도록 변별력을 갖춘 진동신호들이 개발될 필요가 있으며, 이 신호들이 전달되는 과정에서 선

택반응시간(Choice Reaction Time)이 주어진 위험회피 과업의 안전성을 확보할 수 있는 수준이 되어야 한다. 따라서 향후에는 변별력을 확보할 수 있는 서로 다른 햅틱 신호의 설계방안과 이들 신호를 이용한 정보 처리 과업에서의 반응시간을 측정하기 위한 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

## Acknowledgements

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (2012R1A1A4A01006316).

## References

- Kim Y.S “A Study on Driver Distraction Using a Driving Simulator” Kukmin university in Korea, 2010.
- Choi K.I, Lee H.N, Choe J.H, Jung E.S “Ergonomic Design of Warning Sounds Used in Cars” *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers* Vol. 35, No. 1, pp. 101–108, March 2009.
- Chung K.M, Lee B.T, Hwang J.S, Cho K.S “The Development and Evaluation of the User Interface for a In-Car Collision Avoidance Warning System” , HCI, 2013.
- Yoon B.J, Kim J.H, “Research and development of advanced automotive technology trends” *Control, Robotics, and Systems society*, Vol. 18, No. 2, pp. 21–29, June 2012.
- Lee J.S “Effects of In-Vehicle Collision Warning Type on Driver’s Collision Avoidance Behavior and Subjective Rating” *Korean journal of Industrial and Organizational Psychology*, Vol. 15, No. 1, 125–146, 2002.
- Hu H, Park Y.S, Choi N.C, Jung O, Yoo D.J, Lee W.S “Development of Effective Warning Systems for Dangerous Driving Situations Based on Auditory Warning” HCI, 2010.

## Author listings

**Sang Ho Kim:** kimsh@kumoh.ac.kr  
**Highest degree:** PhD, Department of Industrial Engineering, POSTECH  
**Position title:** Professor, School of Industrial Engineering, Kumoh National Institute of Technology  
**Areas of interest:** Human Factors in Product Design, Intelligent System Design and Evaluation, Occupational Safety

**Shin Jong Kyu:** shinjg@kumoh.ac.kr  
**Highest degree:** B.S, Department of Industrial Engineering, Kumoh National Institute of Technology  
**Position title:** M.S Candidate, School of Industrial Engineering, Kumoh National Institute of Technology  
**Areas of interest:** Human Factors in Automotive Technology