

자동차 안전 경고음에 대한 고령운전자의 반응 특성

김 만 호¹⁾, 이 용 태²⁾, 손 준 우^{*3)}

대구경북과학기술원 공공원천기술연구센터^{1)~3)}

Age-related Deficits in Response Characteristics on Vehicle Safety Warning

Man Ho Kim¹⁾ · Yongtae Lee²⁾ · Joonwoo Son^{*3)}

Abstract : Recent technological advances made a vehicle more intelligent to increase safety and comfort. Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) provide drivers with safety warning information through audible sounds, visual displays, and tactile devices. However, elderly drivers have been known to decrease the physical and cognitive ability such as muscular strength, hearing, eyesight, short term memory, and space perception. Therefore, possible age-related deficits should be considered to design an effective warning system.

This paper aims to evaluate the impact of advancing age on response performance on vehicle safety warning alarms which are widely used for altering driving hazards. The frequency, period and intensity of warning sounds are considered to characterize the warning sounds. In order to analysis the response performance among age groups: younger (20-29), middle (40-49) and older (60-69), 38 drivers were asked to drive a simulated rural road in driving simulator. The results of the present study suggest that age-related deficits in the hearing could play a role in the response performance on vehicle safety warning.

Key words : elderly driver, age-related deficits, vehicle safety warning, response characteristics, hearing, driving simulator, advanced driver assistance system (ADAS)

1. 서 론

우리나라는 2000년에 65세 이상 인구가 전체 인구의 7%를 넘으면서 고령화 사회로 진입하였고, 2019년과 2026년에는 고령사회와 초고령사회로 진입할 것으로 예상된다. 특히, 고령화 사회에서 고령 사회로 진입하는 시기가 19년밖에 걸리지 않을 것으로 예상되며 선진국과 비교하여 고령화가 훨씬 빠르게 진행되고 있다(ROTA, 2006; Ministry of health & welfare, 2005). 또한, 2025년에는 미주, 유럽 및 아시아 인구의 25% 이상이 고령자로 구성될 것

으로 예상되며, 전 세계적으로 급격한 고령화가 진행되고 있다(James, 1985). 고령화 사회와 함께, 1999년에서 2002년까지 한국의 61~70세의 운전면소지자는 16.8%, 71세 이상은 22.5%의 증가를 가져왔으며, 운전면허 소지 증가율 6.8%를 크게 상회하고 있다. 따라서 고령화 사회로 진입하는 과정에서 고령 운전자의 급격한 증가는 필연적으로 예상되며, 전 세계적으로 고령운전자는 자동차 시장의 새로운 소비 주체로 인식되고 있다(Joseph et al, 2006; Kim et al, 2008).

일반적으로, 고령운전자는 근력, 시력, 청력을 비롯한 신체적 능력과 단기 기억, 공간 인지와 같은 인지적 능력이 일반운전자에 비하여 떨어지는 특징을

* Corresponding author. E-mail: json@dgist.ac.kr

가지고 있다(Ministry of health & welfare, 2005). 특히, 고령운전자는 노인성 난청으로 인하여 급격한 청력 소실이 발생하여 소리를 잘 듣지 못하는 경우가 많다. 그림 1은 주파수의 변화에 대하여 연령별 피험자의 순음 청력도를 나타내고 있다(Kim et al, 2005). 그림에서, 고령운전자는 주파수가 증가할수록 청력역치가 통계적으로 유의하게($p<0.0001$) 증가함을 확인하였다. 즉, 고령운전자는 1kHz 이상의 주파수를 가지는 소리를 잘 듣지 못하는 것을 의미한다. 이와 같은 고령운전자의 청력 소실은 일상생활뿐만 아니라 자동차 운전 중 경고음을 듣지 못해서 교통사고가 발생할 수도 있다.

자동차에서 발생하는 경고음은 차량의 문이 열린 경우에 발생하는 DoorOpen 경고음, 안전벨트를 착용하지 않을 경우에 발생하는 SeatBelt 경고음과 주차 시 후방 장애물이 있을 경우에 발생하는 PAS (Parking Assistance System) 등이 있다. 하지만, 지능형 자동차(intelligent vehicle)의 지능화가 더욱 높은 수준으로 진행됨에 따라, 안전에 관련된 다양한 경고음이 추가되고 있다. 특히, 전반의 충돌 상황이 발생할 경우 경고를 하는 SCC(Smart Cruise Control)나 차선을 이탈한 상황이 발생할 경우에 경고를 하는 LDWS(Lane Departure Warning System)은 상용 자동차에 적용되어 경고음을 통하여 운전자에게 위험 정보를 제공한다(Lee et al, 2006; Yong et al, 2007). 하지만, 국내에서는 SCC나 LDWS 와 같은 첨단 안전 시스템의 경고음은 설계를 할 때 그림 1과 같은 고령운전자의 청력 소실 결과를 고려하지 않고 설

계한다. 즉, 교통사고가 발생할 수 있는 전방 충돌이나 차선 이탈과 같은 위험 상황에서 고령운전자는 경고음을 듣지 못하고 적절한 반응을 못하는 경우가 발생할 수 있다(ISO 16352, 2005).

따라서 본 논문은 자동차 안전 경고음에 대하여 고령운전자의 반응 특성을 차량 시뮬레이터 주행 상황 하에서 안전 경고음의 주파수, 주기와 크기 특성에 따른 연령별 운전자의 반응 특성을 분석하여 적절한 경고음의 범위를 제안하고자 한다.

본 논문은 서론을 포함하여 4장으로 구성되어 있으며, 2장에서는 차량 시뮬레이터 환경에서 경고음의 반응 특성을 분석하는 실험 절차를 설명한다. 3장에서는 실험 결과를 분석하고 결과를 토의한다. 마지막으로, 4장에서는 결론 및 향후 연구 방향에 대해서 기술한다.

2. 실험 절차

2.1 피험자

자동차 안전 경고음에 대하여 고령운전자의 반응 특성을 분석하기 위하여, 38명의 피험자를 모집하였다. 여기서, 피험자는 20대 12명, 40대 11명, 60대 고령운전자 15명으로 구성하였다. 청력 소실은 성별 유의성을 갖지 않기 때문에, 남성 운전자만 모집하였다(Kim et al, 2005). 실험에 참가한 피험자는 최소 주 2회 이상 운전을 하고, 3년 이상의 운전 경력을 소유하고, 약 3시간 전후의 실험을 수행할 수 있는 건강상의 문제가 없는 사람으로 선정하였다. 특히, 중이염 등의 귀와 관련된 질병이 있거나 정신과 치료를 요구하는 질병을 가지고 있는 피험자는 제외하였다. 피험자 모집을 위하여, 20대는 40,000 원, 40대는 50,000 원과 고령운전자는 50,000 원의 비용을 지불하였다.

2.2 차량 시뮬레이터

자동차 안전 경고음에 대하여 고령운전자의 반응 특성을 분석하기 위하여 그림 2와 같이 대구경북과학기술원(DGIST)의 차량 시뮬레이터를 이용하여 실험을 수행하였다. 차량 시뮬레이터는 DLP 프로젝터, 스크린(120인치, 2400×1800mm), 제어용 PC와 차량(Benz사의 Smart)로 구성되어 있다. 차량 시뮬

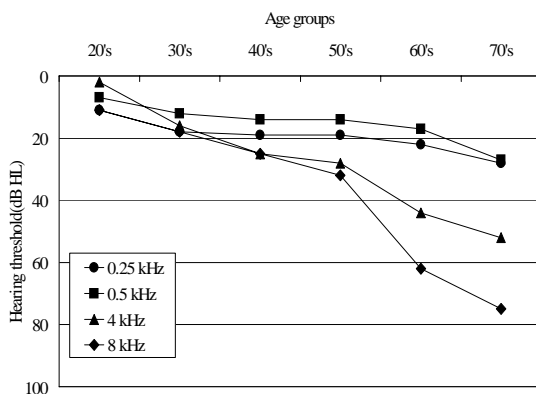


그림 1. 연령별 운전자의 청력 검사 결과

레이터 소프트웨어는 System Technology사의 STISIM Drive™를 사용하였으며, 20-30Hz 주기로 도로와 차량 영상을 1024×768 해상도로 스크린 화면에 표시된다.

2.3 자동차 안전 경고음

자동차 안전 경고음에 대하여 고령운전자의 반응 특성을 분석하기 위하여, 실험 경고음은 H사에서 사용하는 전방 충돌 경고음과 차선 이탈 경고음을 기준으로 제작하였다. 특히, 경고음의 특성은 이비인후과 전문의와 실용 음악 전문가의 의견 및 국제 표준을 참고하여 선정하였다(ISO 16352, 2005). 여기서, 경고음의 특성은 주파수(0.5kHz, 0.75kHz, 1kHz, 1.5kHz, 2kHz, 3kHz, 4kHz), 주기(200ms, 300ms, 400ms, 500ms, 1000ms)와 크기(85dB, 75dB)로 구분하여 제작하였다. 140개의 실험 경고음을 제작하여 차량 시뮬레이터를 운전하면서 무작위로 경고음을 발생시켜 고령운전자의 반응 특성을 분석하였다.

2.4 실험 절차

자동차 안전 경고음에 대하여 고령운전자의 반응 특성 실험은 그림 3과 같은 실험 절차에 따라 수행하였다. 전체 실험 절차는 차량 시뮬레이터 주행 실험을 중심으로 주행 전 단계와 주행 후 단계로 구성하였다. 실험 전 단계는 서명 및 설명(consent and overview), 피험자 자격 검토(subject eligibility review), 사전 설문(pre questionnaire), 안전 경고음

훈련(safety warning training)과 차량 시뮬레이터 주행 훈련(simulator training)으로 구성하였다. 차량 시뮬레이터 주행 실험은(response experiment) 전방 충돌 경고음과 차선 이탈 경고음으로 구분하여 수행하였다. 실험은 경고음의 특성에 따라 제작한 경고음을 무작위로 발생시키고 가속 페달에서 발을 떼는 시간을 측정하는 과정을 반복 수행하였다. 여기서, 1차 반응 실험 종료 후 반복 실험에 따른 피로 누적을 고려하여 약 5분간의 휴식을 가지고 실험을 계속 수행하였다. 차량 시뮬레이터의 주행 도로는 환경 변수의 영향을 최소화하기 위하여 왕복 4차선의 직선 도로를 선정하였다. 또한, 실험은 전방 충돌 경고음과 차선 이탈 경고음을 무작위로 설정하여 학습 효과에 의한 영향을 최소화하였다. 실험 후 단계는 사후 설문(post-questionnaire)으로, 실험 후 운전자의 상태 및 스트레스 정도를 확인하였다.

2.5 분석 방법

자동차 안전 경고음에 대하여 고령운전자의 반응 특성을 분석하기 위하여, SPSS version 14 프로그램을 사용하였다. 경고음의 주파수, 주기와 크기 특성의 세 가지 독립 변수 및 교호작용에 대하여 분석하였다. 반응 특성은 차량 시뮬레이터에서 운전 중 발생하는 경고음에 대한 반응 시간을 측정하여 ANOVA 분석을 수행하였다. 또한, 전방 충돌 경고음과 차선 이탈 경고음을 구분하여 실험을 수행하여 경고음에 대한 반응 시간을 측정하여 ANOVA 분석을 수행하였다.



그림 2. 대구경북과학기술원의 차량 시뮬레이터

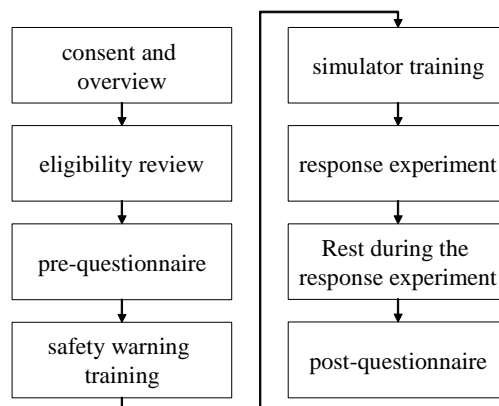


그림 3. 실험 절차의 구성

3. 실험 결과

자동차 안전 경고음에 대한 고령운전자의 반응 특성을 분석하기 위하여, 경고음의 주파수, 주기와 크기 특성에 따른 고령운전자의 반응 특성을 분석하였다. 여기서, 반응 시간은 경고음이 발생한 시간부터 경고음을 듣고 가속 페달에서 밟을 때는 시간의 차이로 정의한다. 그림 4는 경고음의 주파수 특성에 대하여 연령별 운전자의 반응 특성을 나타내고 있다. 그림에서, 20대와 40대 운전자는 주파수의 변화에 영향을 받지 않고, 일정한 반응 시간을 가짐을 확인하였다. 즉, 20대 운전자는 주파수의 변화에 상관없이 약 500ms 전후의 반응 시간을 가지며, 40대 운전자도 주파수의 변화에 상관없이 약 600ms 전후의 반응 시간을 가지는 것을 의미한다. 반면에, 고령운전자는 주파수의 변화에 따라 반응 시간이 증가하는 것을 확인할 수 있으며, 주파수에 대해서 통계적으로 유의한 차이($F(6, 659)=2.888, P=0.00$)를 보였다. 즉, 고령운전자는 2kHz 이상의 주파수에 대해서 반응 시간이 급격히 늦어지는 것을 관찰할 수 있다. 또한, 고령운전자는 20대 운전자와 비교하여 200ms 이상의 반응 시간 차이를 가지며, 주파수가 높아짐에 따라 반응 시간의 차이는 더 커짐을 확인하였다. 즉, 고령운전자는 경고음을 20대 운전자와 동일한 시간에 들어도, 신체적인 퇴화에 의하여 20대 운전자와 비교하여 약 200ms 이상 반응하는 시간이 느리다.

그림 5는 경고음의 주기 특성에 따른 연령별 운전

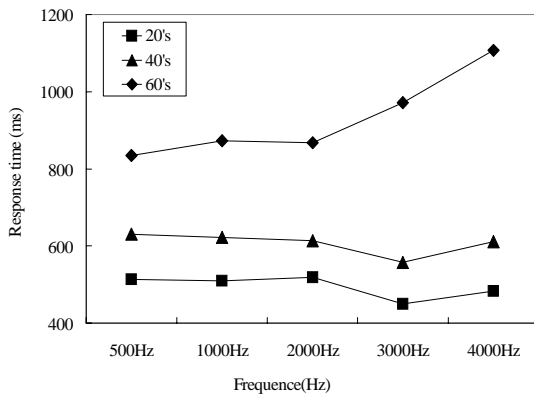


그림 4. 연령별 운전자의 경고음 주파수 변화에 대한 반응 결과

자의 반응 특성을 나타내고 있다. 그림에서, 20대와 40대 운전자는 주기의 변화에 영향을 받지 않고, 일정한 반응 시간을 가짐을 확인하였다. 주파수의 경우와 유사하게, 20대 운전자는 주기의 변화에 상관없이 약 500ms 전후의 반응 시간을 가지며, 40대 운전자도 주기의 변화에 상관없이 약 600ms 전후의 반응 시간을 가지는 것을 의미한다. 반면에, 고령운전자는 주기의 변화에 따라 반응 시간이 조금씩 늦어지는 것을 확인할 수 있지만, 주기에 대해서 통계적으로 유의한 차이($F(4, 636)=1.718, P=0.144$)를 보이지 않았다. 즉, 고령운전자는 주기에 대해서 반응 시간의 차이가 없다는 것을 의미한다. 하지만, 고령운전자는 주파수의 경우와 유사하게 20대 운전자와 비교하여 200ms 이상의 반응 시간 차이를 가지며, 주기가 느려짐에 따라 반응 시간의 차이는 더 커짐을 확인하였다.

그림 6은 경고음의 크기 특성에 대하여 연령별 운전자의 반응 특성을 나타내고 있다. 그림에서, 20대와 40대 운전자는 크기의 변화에 영향을 받지 않고, 일정한 반응 시간을 가짐을 확인하였다. 즉, 20대 운전자는 크기의 변화에 상관없이 약 500ms 전후의 반응 시간을 가지며, 40대 운전자도 크기의 변화에 상관없이 약 600ms 전후의 반응 시간을 가지는 것을 의미한다. 반면에, 고령운전자는 크기의 감소에 따라 반응 시간이 늦어지는 것을 확인할 수 있으며, 크기에 대해서 통계적으로 유의한 차이($F(1, 659)=11.140, P=0.01$)를 보였다. 즉, 고령운전자는 높은 크기에 대해서 반응 시간이 빠른 것을 의미한다.

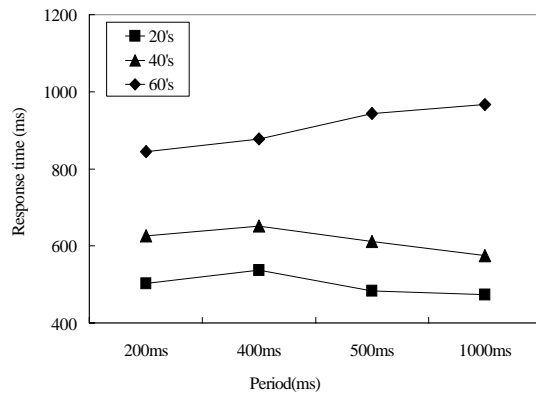


그림 5. 연령별 운전자의 경고음 주기 변화에 대한 반응 결과

다.

이상과 같은 실험 결과로부터, 전방 충돌 경고음을 설계할 주파수, 주기와 크기의 특성을 고려해야 함을 확인할 수 있다. 특히, 경고음의 주파수는 0.5kHz에서 2kHz 범위를 고려해야 하며, 크기는 높은 쪽이 반응 특성이 우수함을 확인하였다.

4. 결 론

본 논문은 고령운전자의 경고음 특성에 대하여 반응 특성을 차량 시뮬레이터 주행 실험을 수행하여 분석하였다. 특히, 자동차 안전 경고음의 주파수, 주기와 크기 특성에 대하여 고령운전자의 반응 특성을 분석하여 적절한 경고음의 범위를 제안하였다. 또한, 고령운전자를 포함하는 연령별 운전자의 경고음 특성에 대하여 반응 특성을 분석하여, 자동차 안전 경고음을 설계하는 기준을 제안하였다. 이상과 같은 실험 결과로부터 본 논문은 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 고령운전자는 자동차 안전 경고음의 특성 중에서 주파수와 크기에 대해서 통계적으로 유의한 차이를 가짐을 확인하였다. 즉, 고령운전자는 경고음의 주기보다는 주파수와 크기 특성에 대하여 반응 시간의 차이를 가짐을 확인하였다.

둘째, 고령운전자는 20대 운전자와 비교하여 약 200ms 이상의 반응 시간 차이를 가지며, 주파수와 크기의 특성에 따라 그 차이는 더 커짐을 확인하였다. 즉, 고령운전자는 경고음의 특성과 상관없이 20대 운전자와 비교하여 약 200ms 이상의 가속 페달의 반응 시간

차이를 가지며, 자동차 경고음을 설계할 때 고려해야 함을 확인하였다.

본 연구는 자동차 안전 경고음의 반응 특성에 대하여 연구를 수행하였으며, 향후 경고음의 반응 특성과 함께 연령별 운전자의 감성적인 특성도 함께 고려하는 연구가 필요하다. 또한, 전방 충돌 경고 상황이나 차선 이탈 경고 상황이 발생할 때 경고음의 특성에 따른 반응 시간 및 감성 특성에 대한 연구도 필요하다.

후 기

본 연구는 국토해양부 교통체계 효율화사업의 연구비와 교육과학기술부의 “대구경북과학기술원” 기관 고유 연구 사업비로 수행되었습니다.

References

- ROad Traffic Authority(ROTA), Main cause analysis of traffic accident , 2006.
- Ministry of health & welfare Presidential Committee on Ageing and Future Society, "A Study on Analyzing Industries for the Elderly and Developing their Cultivation Plans," Ministry of health & welfare, 2005.
- James L. Malfetti, "Needs and problems of older driver: Survey results and recommendations," Proceedings of the older drivers colloquium, 1985.
- Joseph F.Coughlin and Bryan Reimer, "New Demands from an Older Population: An Integrated Approach to Defining the Future of Older Driver Safety," Convergence Transportation Electronics Association and SAE International, 2006.
- M. H. Kim, and J. Son, "Driving Behavior Analysis of Elderly Driver for Development of Elderly-Friendly Vehicle Safety," KSAE Annual Conference, pp.1721-1726, 2008.
- S. H. Kim, S. S. Jarng, J. H. Sin, C. K. Yeo, Y. K. Han, and J. K Lee, "Age and Gender Specific Reference Levels for Hearing Thresholds of Normal Aging in Korean," Journal of Acoustical Society of Korea, vol. 24, no. 6, pp. 238-247, 2005.
- J. K. Lee, and I. S. Lee, "Intelligent Advanced Safety Vehicle Technology Development," Auto Journal, vol. 28, no. 4, pp. 22-27, 2006.

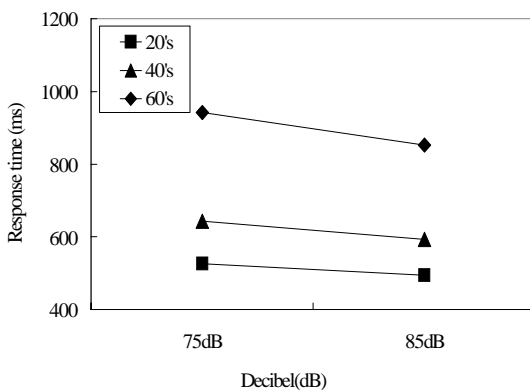


그림 6. 연령별 운전자의 경고음 크기 변화에 대한 반응 특성

- B. Y. Yong, Y. H. Park, K. H. Yoon, and D. S. Hwang,
"Evaluation System for Forward Vehicle Collision
Warning System," Transactions of KSAE vol. 15,
no. 3, pp.85-90, 2007.
- ISO standard (16352), "Ergonomic aspects of
in-vehicle presentation for transport information and
control systems - warning systems", 2005.