한국심리학회지: 산업 및 조직
Korean Journal of Industrial and Organizational Psychology
2003. Vol. 16, No. 1, 33 - 56

© 한국 산업 및 조직심리학회 2003

운전 시뮬레이션을 이용한 추돌상황 재현 및 차량내 추돌 경고 시스템의 효과에 관한 연구*

이 재 식†

부산대학교 심리학과

본 연구는 추돌 가능 상황을 시뮬레이션을 통해 인위적으로 재현한 후에, 운전자들이 특징적으로 보이는 행동 패턴이 무엇인지를 밝혀 추돌 사고의 근본적인 행동 요소를 탐색하고, 운전자의 추돌 회피에 도움을 가장 많이 줄 수 있는 추돌 경고 시스템의 설계 형태가 어떠한 것인지를 검토할 목적으로 수행되었다. 구체적으로, 실험 I에서는 추돌 가능 상황에서 운전자들이 위험을 발견하고 최초로 추돌 회피 행동을 보이기 시작하는 시점과 추돌을 피하기 위해 최대의 노력이 실행되기까지의 시간을 추돌 경고 시스템의 제공 여부와 관련하여 비교하였다. 실험 II에서는 두 가지 유형의 추돌 경고 시스템 조건들 및 통제 조건에서 관찰한 운전자의 추돌 회피 효율성을 다양한 종속 측정치들을 통해 비교/분석하여, 추돌 회피를 보조해 주는데 가장 효과적인 추돌 경고 시스템의 설계 형태가 무엇인지를 모색하였다. 실험 I과 II의 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 추돌 가능 상황에서 추돌을 회피하기 위한 최대의 노력이 발휘되는 시점에 비해 최초의 회피 반응이 표출되는 시점이 추돌의 여부를 결정하는 더 중요한 요인이라는 것이 시사되었다. 둘째, 추돌을 회피하기 위한 최대의 노력이 발휘되는 시간은 추돌 경고 시스템의 제공 여부와 상관없이 차간거리가 짧을수록 빨랐지만, 최초 추돌 회피 반응은 추돌 경고 시스템이 제공된 조건에서만 이러한 경향이 관찰되었다. 셋째, 추돌 경고 시스템은 최대 추돌 회피 반응보다는 최초 추돌 회피 반응에 주로 영향을 미쳤다. 넷째, 다양한 추돌 회피 반응들을 종속치로 분석한 결과, 연속적인 시각 추돌 경고 시스템이 불연속적인 시각 추돌 시스템보다 상대적으로 추돌 회피 반응에 더 많은 이점을 준다는 것이 관찰되었다. 마지막으로 본 연구의 장단점 및 시사점들이 논의되었다.

주요어 : 운전 시뮬레이션, 차량내 추돌경고 시스템, 추돌 회피반응, 운전자 정보처리

---

* 본 논문은 2001년도 한국학술진흥재단의 학술연구비(선도 연구자 지원사업, 과제 번호 KRF-2001-041-C00542)에 의하여 지원되었음. 도움을 준 부산대학교 심리학과 인간공학/공학심리 실험실의 최시환, 하회준, 이지영, 최원범, 김예리, 그리고 시뮬레이션 프로그램 작성에 도움을 준 변성민에게 감사드린다.

† 교신저자 : 이재식, 부산대학교 심리학과, 051-510-2131, jslee100@pusan.ac.kr

자동차 사고 중 가장 빈번한 것은 차량 대 차량의 추돌 사고(front-to-rear-end collision)이다. 우리나라의 교통 사고 통계 자료를 보면 진행 중 상황에서의 추돌 사고는 2000년에서 2001년의 기간 동안 전체 교통 사고의 16%를 차지하여 교통 사고 유형 중에서 가장 빈번한 것 중의 하나로 나타나고 있다(특히 주차 혹은 정차 중의 추돌 사고 수까지 포함하면 우리나라에서의 자동차 추돌 사고는 전체 사고의 21.5%를 차지한다). 미국의 경우에는 전체 교통 사고의 25%가 추돌 사고라는 통계 자료가 있다. 특히 더 중요한 점은 교통 사고 때문에 발생하는 도로의 정체 시간 전체에 대해 약 32%의 정체 시간이 추돌 사고로 인한 것이라고 한다(National Highway Traffic Safety Administration, 1995). 이러한 결과는 우리나라의 교통 사고 유형에도 적용될 수 있으며, 교통 사고에 의한 인명 손실 이외에도 교통 정체에 의한 시간적, 경제적 손실을 감안하면, 자동차의 추돌 사고의 비중이 매우 크다고 할 수 있다.

자동차내 추돌 경고 시스템(in-vehicle warning system)을 개발하는데 요구되는 기본적인 운전자들의 정보처리 특성이나 감성 특성을 파악하여 궁극적으로는 보다 효율적이고 안전한 경고 시스템을 개발하기 위해서는 추돌 사고를 유발하는 운전자의 특성뿐만 아니라, 다양한 형태의 추돌 경고 시스템이 갖는 물리적 특징들과 이들을 자동차내 경고 시스템에 구현시켰을 때 각 조건들에 따라 운전자의 실제적인 운전 수행(즉, 추돌 가능 상황에서 운전자의 추돌 회피 행동)이 어떠한 양상으로 나타나는지를 살펴보아야 할 것이다.

구체적으로, 운전 시뮬레이션을 이용하여 추돌 상황을 현실감 있게 재현한 상태에서 운전자의 추돌 회피 행동이 어떠한 양상으로 나타나는지 살펴보고, 이러한 운전자의 추돌 회피 노력을 보조해 줄 수 있는 차량내 추돌 경고 시스템은 어떻게 설계되어야 하는지 파악되어야 할 것이다.

추돌 사고의 원인

연구자들에 의해 제안된 추돌 사고의 원인, 특히 운전자와 관련된 원인들은 대체적으로 안전거리 미확보와 운전 부주의 등이다. 먼저 운전자들이 안전 거리를 충분히 확보하지 않고 운전하는 이유는 운전자들이 앞에서 달리는 차는 갑자기 정차하거나 서행하지 않을 것이라고 막연히 믿는 이유가 가장 크고, 이러한 믿음은 실제 운전자들의 경험을 통해서 강화되기 때문이라고 한다(Evans, 1991). 즉, 실제 운전에서 앞차가 갑자기 정지 혹은 서행하여 위험한 순간이 되는 빈도는 매우 적기 때문에 앞차와 근접해서 운전하는 것을 그렇게 위험한 것으로 생각하지 않는 것이다. 그러나 운전 중에 출현하는 장애물에 대처할 수 있는 시간적 여유가 운전자에게 필요하며, 운전자가 잠재적 위험상태의 변화에 적절히 대응할 수 있는 충분한 시거리(sight distance)를 운전자는 확보할 수 있어야 한다. 운전자가 예측하지 못한 장애물에 충돌하지 않을 수 있는 충분한 전방 시거리를 확보하기 위한 것이 제동정지 시거리의 확보로 연결된다. 제동 정지 시거리의 결정은 운전자의 지각-반응 시간을 고려해야하며, 이것은 운전자가 위험물을 발견하고 브레이크를 걸기까지의 시간을 의미한다. 따라서 운전자가 앞의 장애물이 갑자기 출현한다거나, 앞차가 갑자기 정차하는 등의 위험한 상황에서 사고를 피하기 위해 어떠한 반응 양상을 보이는지 관찰할 필요가 있다.

두 번째 추돌 사고의 원인은 운전자의 부주의

이다. 즉, 대부분의 운전자들은 앞 차량의 움직임을 항상 감시하면서 운전하지는 않는다. 예를 들어, 시각적 주의는 운전자가 운전 중에 처리하는 정보가 거의 대부분 시각 경로를 통해 획득된다는 점에서 가장 중요한 정보처리의 측면이지만(Rockwell, 1972; McKnight & Adams, 1970), 이러한 시각적 주의의 중요성에도 불구하고 약 30-50%의 시각적 주의가 대부분의 상황에서 운전과 직접적으로 관련 없는 곳(예를 들어, 도로상의 경치나 광고판 등)에 주어진다는 사실에 주목할 필요가 있다(Hughes & Cole, 1986). 또한 비록 시선을 도로 상에 두고 있다는 것과 도로 상에서 일어나는 변화에 대한 정보를 운전자들이 모두 처리한다는 것은 별개의 문제이다. 예를 들어, 운전자가 운전하고 있는 도로 위에 시선을 두고 있다 해도, 라디오를 듣거나 옆 사람과 대화하기 위하여 주의를 전환하는 상황에서처럼 반드시 도로 상에서 주어지는 정보가 모두 다 처리되는 것은 아니다. 이러한 상황에서 앞차가 갑자기 정차하는 경우는 완전한 주의가 주어진 상황에 비해 운전자의 반응시간이나 추돌 회피 행동이 매우 느려질 수 있다.

추돌 사고와 운전자 정보처리

추돌 사고와 관련한 인간 요인 중에서 운전자의 행동/수행과 안전(예컨대, 운전자가 긴박한 충돌 위험 상황을 적절하게 지각하고 반응하는 능력이 있는가에 관한 문제)에 대한 문제가 주된 물음거리였다(Clarke, Goodman, Perel, & Knipling, 1992). 이러한 관점에서 Mortimer(1988)는 많은 추돌 사고가 사고 차량의 운전자가 선행 차량을 보지 못했거나, 복잡한 지각적 요인으로 인해 발생한다고 보고하였다. 특히 지각적 요인의 측면에서 운전자는 자신의 차량 속도와 선행 차량의 상대 속도에 대한 정보를 획득하는데 어려움을 겪는다고 보고하였다(Mortimer, 1990). 또한 Janssen (1989)은 사고차량 운전자의 판단 잘못으로 인해 추돌 사고가 발생한다고 하였고, Hirst와 Graham (1997)은 추돌 사고는 운전자가 초기 단계에서 다른 운전자나 물체를 탐지하는데 실패하거나, 장애물의 움직임을 잘못 판단하여 발생한다고 하였다.

따라서 운전자가 위험물을 발견하고 이에 대해 안전하고 효율적으로 대처하는 방법이 무엇인지는 운전자의 운전 기술 정도를 평가하는데 매우 중요한 측면이다. 예를 들어, 운전자들이 운전 중 도로상에서 갑자기 위험물이 나타난 경우 일반적으로 어떻게 반응하는가, 그리고 그 반응 패턴이 과연 효율적인가 하는 문제들은, 추돌 가능 상황에서 운전자들이 얼마나 효율적으로 추돌을 회피할 수 있는지를 결정하는 주요 요인들이 된다.

앞에서도 언급되었지만, 추돌 사고와 관련된 운전자 정보처리의 가장 중요한 특징은 운전자의 부주의 혹은 주의 분산이다. 예를 들어 미국의 경우, 전체 추돌 사고의 63%가 운전자의 부주의 때문이었다. 운전자의 주의는 운전자가 어떤 시점에서 어떤 지점을 주시하고 있는가와 관련된 문제이다. 운전자는 운전 중에 끊임없이 외부 환경을 주사(scanning)하며 이러한 것들이 때때로, 운전자로 하여금 도로에서 눈을 떼게 만들고 다른 자극들에 주의를 기울이게 한다(Dingus, McGehee, Manakkal, Jahns, Carney, & Hankey, 1997).

통계 자료에 의하면 만약 운전자들이 완전히 주의를 기울인다면 사고의 45%는 예방할 수 있을 것이라고 한다(Treat, Tumbas, McDonald, Shinar, Hume, Mayer, Stanisfer, & Castellan, 1977). 사고의 원인이 되는 이러한 주의 집중의 실패는 내적

자극(즉, 차량 내에 주의를 빼앗김) 혹은 외적 자극(차장 밖의 주변 환경들에 주의를 빼앗김)이나, 운전과는 무관한 생각들에 의해 정지 신호나 표지판 탐지에 실패하는 것으로 인해 나타난다 (Shinar, 1978).

경험이 많은 운전자들은 주의가 분산되는 상황에 매우 잘 적응하여 결과적으로 운전 과제에 더 적은 주의를 기울이고, 비운전 과제에 더 많은 주의를 기울인다고 생각되어져 왔다. 그러나 운전에 익숙한 운전자들이라도 효과적으로 주의를 분배하는 능력에는 개인에 따라 차이가 있는 것으로 보인다. Kahneman, Ben-Ishai 및 Lotan (1973)은 경험 많은 이스라엘 버스 운전자를 대상으로 한 연구에서 사고율과 주의 과제 수행간의 정적인 상관을 보고하였다. 그들이 사용한 과제는 운전자들에게 두 귀에 서로 다른 메시지가 제시되는 헤드폰을 착용하도록 한 후, 청각 단서가 제시되면 운전자들의 주의를 한 귀에서 다른 귀의 메시지로 옮기도록 하는 것이었다. 실험 결과, 사고율이 높을수록 운전자가 놓친 정보가 더 많고 선택주의 과제에서의 에러도 더 많았다. 미국 운송회사의 운전자들을 대상을 한 Mihal과 Barrett(1976)의 연구도 이와 유사하게 운전자의 사고 빈도와 선택주의 과제에서의 수행 간에 통계적으로 유의미한 상관을 얻었다.

운전 중의 주의분산에 관한 Brown(1965)의 연구는 주의를 기울여야 할 부담이 적은 경우, 운전자들은 어떠한 일차과제 수행(즉, 운전수행)의 손상 없이도 부가적인 심적 과제들을 수행할 수 있음을 보였다. 그러나 부가적으로 주의를 기울여야 할 이차과제가 운전자로 하여금 스트레스를 유발시킬 정도이면, 일차과제의 수행이 저하된다는 것이 관찰되었다.

본 실험에서는 일상적인 운전 상황에서 크게 벗어나지 않으면서 운전자들이 적절히 대처하지 않을 경우 선행 차량과 추돌할 가능성을 높임으로써 추돌 경고 시스템의 효과를 보다 민감하게 검증하고자 하였기 때문에, 운전자들의 주의를 인위적으로 분산시켰다. 본 실험에서 요구되는 주의 분산 과제는 시각적 주의 분산과제로 운전자의 시야가 도로에서 이탈하여 차내의 다른 곳을 주시하도록 요구된 것이었다. 이러한 과제 조건은 앞의 선행 연구에 대한 개관에서 소개된 비교적 인위적인 주위 분산 과제(예를 들어 운전과제를 수행하면서 암산 과제를 수행하게 하거나 이원 청취를 하게 하는 것과 같은) 보다는 실제 운전 상황에서 보다 흔히 경험할 수 있는 주의 분산 과제를 모사한다고 할 수 있다. 본 실험에 선택된 주위 분산 과제는 운전 중에 자동차의 실내등을 켜도록 요구하는 것이었다.

추돌 경고 시스템에 관한 선행 연구

역사적으로 볼 때, 자동차 안에서 운전자에게 주어지는 추돌 경고의 가장 기본적 형태는 불연속적인 "On-Off" 방식이었다(Dingus et al., 1997). 즉, 추돌 위험성의 정도와는 상관없이 어떤 특정 기준 안에 추돌 위험 가능성이 포착되면 특정 신호를 제시하는 형태였다. 그러나 일상적인 운전 상황에서는 추돌 위험성이 그 정도에서 다양하며, 이에 따라 운전자들에게 요구되는 추돌 회피 방법도 다양하다는 점을 고려하면, 이러한 경고 방식의 가장 큰 문제는 추돌 경고에 대한 운전자들의 비신뢰감일 것이다. 즉, 별로 심각하지 않은 상황에 대해 일일이 그리고 무엇보다도 동일한 수준의 경고가 제시되기 때문에 운전자들은 시스템을 신뢰하지 않게 되고 심한 경우에는 시스템을 꺼버리는 효과를 낳게 되었다.

사실 이러한 경향은 자동차내 추돌 경고 시스

템보다는 민간 항공기에서 많이 사용된 충돌 경보 시스템(Traffic Collision Alerting System: TCAS-I)에서 먼저 관찰되었다. 이러한 경향은 궁극적으로 조종사들로 하여금(물론 자동차의 경우 운전자들에게도) 자극 신호에 대한 반응수준을 너무 "관대하게" 하도록 하여 실제 위험을 알리는 경고 신호 자체를 놓치도록(miss)하는 효과를 갖는다.

이에 따라 추돌 경고를 제시할 때는 운전자들이 추돌 상황에 따라 반응 강도를 적절하게 조절하고, 추돌 상황을 보다 유연하게 인식할 수 있도록 하는 노력이 시도되었는데, 예를 들어 Lee, McGehee, Dingus 및 Wilson(1998)은 추돌 가능 차량과의 차간 거리에 따라 시각 및 청각 경고의 수준을 달리한 추돌 경고 시스템을 운전자들에게 제시한 후 각각의 차간 거리에 따른 운전자의 추돌 회피 행동을 분석한 바 있다(본 연구도 이들이 사용한 시스템 알고리듬을 약간의 수정을 거쳐 사용하였다).

또한 Dingus 등(1997)은 다양한 추돌 경고 시스템 유형을 사용하여(예를 들어, 앞에서 언급된 "On-Off" 방식과 등급화된 경고 시스템을 시각 혹은 청각 양상으로 제시하는 방식을 모두 사용하였다) 추돌 가능 상황뿐만 아니라 운전자들이 선행 차량과의 차간 거리를 유지하는데 경고 시스템이 어떠한 효과를 갖는지도 분석하여 청각 경고보다는 시각 경고가 차간 거리의 유지에 유용한 정보로 사용된다는 것을 발견하였다.

실험 I: 운전 시뮬레이션을 통해 재현된 추돌 상황에서 운전자의 추돌 회피 행동

실험 I은 추돌 상황에서 운전자의 추돌 회피 행동과 관련된 두 가지의 질문에 관심을 두고 수행되었다. 첫째, 운전자들이 위험물을 발견하고 그것을 피하기 위한 행동은 구체적으로 어떻게 표출되는지 살펴보고자 한다. 예를 들어, 위험을 알아차리고 브레이크를 밟기 위하여 언제 가속기로부터 발을 떼는지(최초 추돌 회피 반응 개시 시간) 혹은 추돌을 회피하기 위하여 최대의 노력을 발휘하는 시점은 언제인지(최대 반응 실행 시간) 등은 추돌 회피의 여부를 결정짓는 주요 요인이 될 수 있을 것이다. 이를 위해 운전 시뮬레이션을 이용하여 피험자의 차량과 선행 차량과의 차간거리(headway)가 다양하게 조작된 조건에서 다양한 추돌 회피 행동들이 어떤 패턴으로 나타나는지 탐색하고자 한다.

둘째, 운전자의 추돌 회피 반응은 추돌 경고 시스템이 제공되었을 때와 그렇지 않을 때 차이가 있는지 살펴보고자 한다. 실제로 많은 연구들이 추돌 경고 시스템이 제공된 경우에 더 우수한 추돌 회피 행동이 관찰된다는 것을 보고하고 있다(예를 들어, 이재식, 2002). 그러나 중요한 점은 추돌 경고 시스템을 제공함으로서 운전자들의 다양한 회피 행동 요소들 중 어떤 측면을 보조해 주는지 살펴보아야 할 것이다. 즉, 추돌 경고 시스템과 운전자가 상호작용하면서 최종적으로 보이는 반응뿐만 아니라 운전자의 추돌 회피 반응의 어느 단계가 이점을 얻을 수 있는지 탐색할 필요가 있다. 이를 통해 차량의 추돌과 관련된 가장 핵심적인 운전자 회피 반응의 단계뿐만 아니라 그 단계의 상대적 기여도를 평가할 수 있을 것으로 기대된다.

방 법

실험 참가자

부산대학교 학부생 50명이 실험에 참가하였다.

이 중 남자는 38명, 그리고 여자는 12이었으며, 이들의 평균 연령은 만 23.3세였다. 실험 참가자 전원은 유효한 운전 면허증을 소지하였다. 이들 중 40명은 면허 취득 후 운전 경험이 없었고, 10명은 실제로 운전한 경험이 있었다. 실험 참가자 50명 중 2명은 이전에 시뮬레이터를 이용한 실험에 참가한 경험이 있었다. 전체 50명의 실험 참가자 중 각각 25씩 통제 조건과 경고 조건으로 무선 할당하였고, 이들을 다시 세 수준의 차간거리 조건에 대해 무선적으로 할당하였다. 따라서 이 두 변인들은 모두 피험자간 변인이었다. 그리고 분석 결과 통제 조건과 실험 조건에서 각각 1명씩의 자료가 배제되어(이들의 자료는 시뮬레이터로부터 전송되는 데이터-저장 인터페이스 오류에 의해 분석이 불가능하였기 때문이었다), 결과적으로 모두 가능한 조건별 조합에 대해 각각 8명씩의 실험 참가자들이 할당되었다.

시뮬레이터 및 기구

실험에 사용된 시뮬레이터는 고정형 시뮬레이터로 차체는 90년식 엑셀이었다. 운전 프로그램은 MS Visual C++로 구현되었고, 운전 장면에 대한 그래픽은 50×40도 크기의 화면을 지원하는 프로젝터(EIKI, KD 7000)에 의해 운전자 전방 1.5m에 있는 스크린(4×3m)에 투사되었다. 운전자의 차량(시뮬레이터) 제어 행동에 따라 즉각적으로 운전 환경을 변화시킴으로써 실제 운전상황과 유사한 환경을 제공하였으며, 엔진 소음과 추돌 경고 시스템에서 사용한 청각적 정보들은 차량의 앞쪽 좌우에 설치된 스피커 두 대를 통해 제시되었다.

운전 프로그램을 지원하고 데이터를 저장하는 주통제 컴퓨터는 Pentium Ⅲ-500MHz 급으로 그래픽 가속기(Voodoo 2)와 2분할 화면을 지원하는 Matrox G 450 chip set이 부착된 것을 사용하였다. 운전자의 행동은 실시간(1/25초 단위)으로 측정되어 데이터 베이스(Smart server 825X)에 저장되었다.

실시간으로 저장되는 데이터와 비교하기 위해 폐쇄회로 카메라에서 입력받은 네 개의 화면 즉, 운전자의 안구 움직임, 발의 움직임, 전체 스크린, 그리고 통제 모니터가 4화면 분할 모니터(Panasonic, WJ-420)를 통해 확인되었다. 안구 움직임과 발의 움직임은 보다 정밀한 초소형 폐쇄회로 카메라인 Panasonic GP-LM7TA를 이용하였고, 전체 스크린에 제시되는 운전 장면은 Commax CCM-43LN, 그리고 통제 모니터는 Commax CCM-53N을 통해 기록되었다.

독립 변인

실험 I에서는 두 가지의 독립 변인들이 조작되었다. 먼저 선행 차량과의 차간거리가 세 수준(즉, 2.0초, 2.5초 및 3.0초)으로 구분된 후 서로 다른 운전자들에게 제시되었다. 많은 연구들이 대게 한 가지의 차간거리 조건(예를 들어, 이재식, 2002) 혹은 많아야 두 가지의 차간거리 수준을 채택하였다(예를 들어, 이재식, 2000; Lee et al., 1998). 그러나 본 연구에서 차간거리를 세 가지 수준들로 조작한 이유는 다양한 차간거리 조건에서 운전자들이 추돌 가능 상황에 휘말리는 것이 더 현실적이라고 할 수 있을 뿐만 아니라, 서로 다른 차간거리 조건에서 운전자들이 보이는 추돌 회피 행동에 차이가 관찰되는지도 흥미있는 관심사이기 때문이다.

본 연구에서 차간 거리는 운전자의 차량과 상대 차량의 물리적 거리를 시간 단위로 정의한 것이다. 즉, 운전자의 차량이 상대 차량과 얼마나 떨어져 있었는가에 대한 지표이다. 상대 차량

과의 거리는 일반적으로 절대 거리를 기준으로 표기되기도 하지만, 차량 사이의 거리를 단순한 절대적 거리로만 표현할 경우, 두 차량의 상대적 속도 차이에 대한 정보를 얻기 어렵다는 단점이 있다. 다시 말해, 차량의 속도가 빠를수록 특정 지점에 도달하는 시간은 감소하지만 그 지점과 차량 사이의 물리적 절대 거리는 증가한다. 따라서 본 실험에서는 두 차량간의 상대적 거리를 시간 단위로 측정한 후 분석하였다.

일반적으로 기대하지 못했던 대상에 대해 반응하기까지 소요되는 시간은 지각-반응 시간 대략 2-4초 정도(평균 2.5초)이기 때문에(이에 대해서는 실험 II를 보라) 2.5초의 차간거리 조건을 채택하였고, 이보다 상대적으로 추돌할 가능성이 더 높은 차간거리 조건(2.0초)과 추돌할 가능성이 더 낮은 차간거리 조건(3.0초)들을 각각 채택하였다.

실험 I에서 조작된 또 다른 독립 변인은 추돌 경고 시스템의 제공 여부였다. 즉, 추돌 가능 상황에 대해 그 위험성에 대한 정보를 전혀 경고해주지 않는 조건(통제 조건)과 이와는 대조적으로 추돌 경고 시스템을 통하여 추돌 위험을 운전자에게 경고해 주는 조건(실험 조건)에서 운전자들의 추돌 회피 행동에 차이가 있는지 살펴보았다.

본 실험에 사용된 추돌 경고 시스템의 형태는 음성만으로 추돌의 위험성을 제공해 주는 청각적 추돌 경고 시스템이었다. 본 실험에서 음성 경고 시스템을 채택한 이유는 이재식(2002)의 연구에서 음성 경고 시스템이 다른 유형의 시스템들에 비해 여러 가지 측면에서 추돌 회피 행동을 도와줄 수 있을 뿐만 아니라, 일반적으로 청각 정보들이 더 빠른 반응을 유도할 수 있는 장점이 있기 때문이다. 본 실험에서는 차간거리 조건에 상관없이 선행차량이 정지하기 시작하면 즉시 "정지"라는 메시지가 초당 2회의 속도로 제시되도록 하였다.

운전 시나리오 및 절차

본 실험 이전에 모든 실험 참가자들은 시뮬레이터의 조작에 익숙해지기 위한 연습 시행을 10분 정도 실시한 후 본 시행을 수행하였고, 실험 후에는 간단한 인구학적 질문지를 작성하였다. 실험 참가자들이 주행한 도로는 번화하지 않은 왕복 2차선의 고속 도로였으며, 운전 환경은 시야가 좋은 맑은 날씨였다. 실험 참가자는 운전 시뮬레이터에 탑승하여 운전에 대한 설명을 들었고, 경고 조건인 경우에는 추돌 경고 시스템에 익숙할 수 있도록 추가적인 설명이 제공되었다.

본 실험이 시작되기 전 실험 참가자들은 직선 도로를 주행 속도 100Km/h로 유지하면서 달리고 중앙선을 침범하여 다른 차선으로 넘어가지 않도록 지시 받았다. 또 실험 참가자들에게 운전을 시작하면 잠시 후 실험 참가자의 왼쪽에서 차량이 출현하여 실험 참가자의 속도보다 20Km/h 빠른 속도로 추월해서 실험 참가자의 전방에 위치하게 될 것이라는 것도 알려주었다.

본 실험에서 운전자가 운전을 시작한 이후에 실험 참가자의 차량을 선행 차량이 추월하여 일정한 거리를 유지하게 되면(이 때의 차간 거리는 실험 조건에 따라 대략 2.0초, 2.5초 그리고 3.0초였으며, 이 조건들은 실험 참가자들에 대해 무선적으로 주어졌다. 그리고 이러한 차간거리 유지는 운전 시나리오를 통해 운전자의 운전 속도에 맞추어 선행 차량이 속도를 조절하도록 미리 프로그램되었다), "스위치를 누르세요"라는 메시지가 차량내 스피커를 통해 제시되는데, 이 때 운전자들은 지시한 대로 차량의 실내등(차량의 중앙에 부착되어 있음)에 장착된 스위치로 시선

을 돌려 스위치를 누르게 된다. 운전자들이 스위치를 누르면 실험 참가자의 차량과 정해진 차간 거리를 유지하던 선행 차량이 -0.85g의 속도(즉 중력 가속도 단위인 g에 대하여)로 갑자기 정지하게 됨으로써 추돌 가능 상황이 발생한다. 실험 시작 전 운전자들에게 가능하면 선행 차량과 충돌하지 않도록 차량을 제어할 것과, 경고 조건인 경우에는 음성 추돌 경고 시스템이 선행 차량과의 추돌 위험 정도를 단계적으로 알려주기 때문에 추돌이 일어나지 않도록 제공된 시스템을 최대한 활용하라고 지시하였다.

종속 측정치

앞에서도 언급되었듯이 실험 I은 추돌 상황에서 운전자의 추돌 회피 행동과 관련된 두 가지의 질문들, 즉 (1) 운전자들이 위험물을 발견하고 그것을 피하기 위한 행동은 구체적으로 어떻게 표출되는지와 (2) 추돌 경고 시스템이 제공되었을 때와 그렇지 않을 때 이러한 운전자의 추돌 회피 반응에 차이가 있는지 살펴볼 목적으로 수행되었다.

이를 위해 본 실험에서는 추돌의 여부를 결정짓는 중요한 요인들이 될 수 있는 최초 추돌 회피 반응 개시 시간(즉, 선행 차량이 정지하고 있어 추돌 가능성의 위험을 알아차리고 브레이크를 밟기 위하여 언제 가속기로부터 발을 떼는지)과 최대 반응 실행 시간(즉, 추돌을 회피하기 위하여 최대의 노력을 발휘하는 시점은 언제인지)을 분석하였다. 특히 이러한 종속 변인들이 추돌 경고 시스템이 제공되었을 때와 그렇지 않을 때 차이가 있는지도 살펴보기 위하여 통제 조건과 경고 조건을 모두 고려하여 위에서 언급한 두 가지의 종속변인들을 분석하였다. 운전자의 추돌 회피 행동과 관련하여 최초로 발산되는 추돌 회피 행동의 시점과 추돌 회피를 위한 최대의 노력이 발휘되는 시점의 구체적 정의 및 중요성은 다음과 같다.

최초 추돌 회피 반응 개시 시간

최초 추돌 회피 반응 개시 시간은 추돌 가능 상황을 운전자들이 인지한 후 추돌을 회피하기 위해 수행한 반응이 최초로 언제 개시되었는지를 분석한 것으로, 추돌 회피 행동으로서는 최초 반응의 개시 시간이 짧을수록 더 우수한 것으로 평가된다. 본 연구에서 최초 추돌 회피 반응 시간은 운전자들이 추돌 상황을 인지하고 브레이크를 밟기 위해 액셀러레이터로부터 발을 떼기 시작할 때까지의 시간(accelerator release time)으로 정의되었다. 물론, 추돌 회피의 노력으로서 핸들을 순간적으로 돌리는 상황도 가정해 볼 수 있으나, 본 연구에서는 운전자들에게 가능한 차선을 넘지 말도록 지시하였기 때문에 핸들에 의한 추돌 회피 노력은 분석에서 제외되었다. 추돌 가능 상황에서 추돌을 회피하기 위해 보인 운전자들의 다양한 행동 특성(예를 들어 브레이크 입력과 핸들의 조작 특성)에 대해서는 이재식(2000)을 참조하기 바란다.

추돌 회피를 위한 최대 반응까지의 시간

추돌 가능한 상황이 발생하였을 때 운전자들이 보이는 최초의 반응과 더불어 운전자들이 추돌 회피 여부를 결정짓는 중요한 종속치 중의 하나는 운전자가 추돌을 회피하기 위해 보인 노력의 정도가 최대로 발휘되는 시점이다. 다시 말해, 회피 반응이 최대값에 이르는 시점(예를 들어, 추돌을 회피하기 위해 브레이크를 가장 강하게 밟은 시점)은 운전자들의 회피 노력이 최대로

발휘된 시점이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 운전자들이 추돌을 회피하기 위해 브레이크에 발을 올려놓은 순간부터 최대 브레이크의 입력에 소요된 시간을 측정하였는데, 최대 브레이크 입력값은 브레이크를 완전히 밟았을 때를 100%로 했을 때 브레이크 입력값이 85% 이상으로 정의하였다.

결 과

본 실험 I의 자료 분석을 위해 두 개의 독립변인들(즉 통제 조건과 경고 조건의 구분한 실험조건과 2.0초, 2.5초 및 3.0초로 구분한 세 수준의 차간거리 조건)과 두 개의 종속 변인들(즉, 최초 추돌 회피 반응과 최대 회피 반응)을 포함한 다변량분석(MAMOVA) 및 사후 검증(Tukey 검증)을 실시하였으며, 통계적 임계치는 5%로 정하였다. 그러나 필요하다고 판단될 경우 이 임계치를 초과하지는 못하였지만 임계치에 근접하였던 결과(10%의 임계치 이내)나 본 연구의 관점에서 중요하다고 생각되어지는 발견들에 대해서는 통계적 기준과는 별개로 부분적으로 보고하고자 한다. 또한 실험 I의 자료 분석에서는 추돌의 여부를 가리지 않고 모든 운전자들이 보인 행동 양상을 분석에 포함하였다. 그리고 운전자의 시각적 주의 분산 유도가 제대로 되었는지 확인하기 위하여 사용한 4 화면 분할기의 자료는 그 분석 결과 모든 피험자들의 안구가 실험자가 지정한 곳을 응시한 것으로 관찰되었기 때문에 이에 대한 분석은 제외하였다(이것은 실험 II에서도 마찬가지이다).

통제 조건과 경고 조건에서의 반응 비교

그림 1은 두 개의 실험 조건들에 대해 최초 추돌 회피 반응의 개시 시간과 최대 회피 반응의 개시 시간을 보여주고 있다. 분석에 앞서 각 독립변인 조건에 따른 종속변인들의 변량이 동질적인지의 여부를 알아보기 위하여 Levene 검증을 실시한 결과, 최초 반응시간과 최대 반응시간 모두에서 변량의 동질성이 확인되었다[각각 $F(5,$

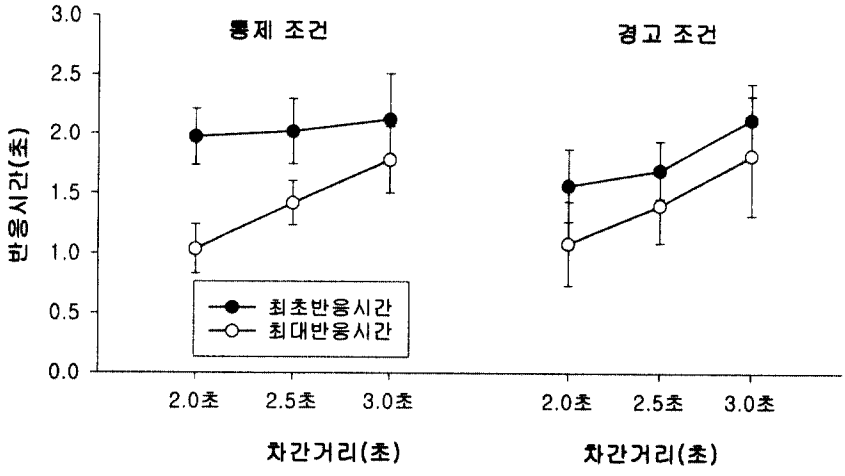


그림 1. 통제조건과 경고 조건에 따른 최초 추돌 회피 반응과 최대 추돌 회피 반응

42) = 0.791, p = .562; F(5, 42) = 0.990, p = .490]. 이에 따라 Wilks의 Lambda값을 이용하여 다변량 분석을 실시하였다. 그 결과 실험 조건[F(2, 41) = 4.208, p = .022]과 차간거리 조건[F(4, 82) = 10.822, p < .001]에서 통계적으로 각각 유의미하였으나 이 두 조건 사이의 상호작용 효과는 유의미하지 않았다. 표 1은 이 자료에 대한 다변량 분석 결과를 각 종속변인별로 정리하여 요약한 표이며, 이 표를 이용해 결과를 좀더 자세히 기술하고자 한다.

먼저 표 1에서 보이듯이 두 개의 종속 변인들(최초 회피 반응과 최대 회피 반응)에 대한 차간거리 조건과 실험 조건 사이의 상호작용은 통계적으로 유의미하지 않았는데[각각 F(2, 42) = 2.16, p = .132; F(2, 42) = 0.045, p = .956], 이러한 결과는 최초 회피 반응이나 최대 회피 반응이 차간거리 조건과 실험 조건들이 모두 고려된 분석에서는 크게 다르지 않고 대신 대체적으로 유사한 패턴을 보인다는 것을 시사한다.

그리고 추돌 경고 시스템이 주어지지 않은 조건(통제 조건)과 주어진 조건(경고 조건)을 구분하지 않고 분석한 결과, 차간 조건에 따른 최초의 회피 반응이 표출되는 시간이나 추돌을 회피하기 위한 최대의 노력이 발휘되는 시간의 분석은 차간 거리가 짧을수록 유의미하게 더 빠른 반응이 나타남을 보여 주었다, [각각 F(2, 42) = 6.295, p = .004; F(2, 42) = 21.008, p < .001]. 이러한 결과는 선행 차량이 더 근접해 있는 상황에서 급정거할 경우 운전자들은 더 빨리 회피하고자 하는 반응을 보일 것이라는 직관에 비추어 이해가능한 결과라고 할 수 있다.

이와는 대조적으로, 차간거리를 구분하지 않는

표 1. 추돌 경고 제시 여부 조건(통제 조건과 경고 조건)과 차간거리에 따른 운전자 회피 행동의 차이 검증

변량원	종속변인	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*p*
실험조건(A)	최초반응시간	0.7425	1	0.743	8.591	0.005
(통제 vs. 경고)	최대반응시간	0.0048	1	0.005	0.046	0.831
차간거리(B)	최초반응시간	1.0881	2	0.544	6.295	0.004
(2.0, 2.5, 3.0초)	최대반응시간	4.3921	2	2.196	21.008	<0.001
A x B	최초반응시간	0.3673	2	0.184	2.125	0.132
	최대반응시간	0.0094	2	0.005	0.045	0.956
Error	최초반응시간	3.6300	42	0.086		
	최대반응시간	4.3904	42	0.105		
전체	최초반응시간	182.1229	48			
	최대반응시간	106.0388	48			

대신 추돌 경고 시스템이 주어지지 않은 조건(통제 조건)과 주어진 조건(경고 조건)을 구분하여 분석한 결과, 통제 조건에 비해 경고 시스템이 제공된 경우에 더 빠른 최초 회피 반응이 관찰된 반면(2.04초 vs. 1.41초), $F(1, 42) = 8.591$, $p = .005$, 추돌을 회피하기 위한 최대의 노력이 발휘되는 시간은 두 실험 조건들에 따라 유의미하게 다르지 않았다. 이러한 결과를 보다 면밀하게 분석하기 위해서는 각각의 실험 조건별로 최초 추돌 회피 반응과 최대 추돌 회피 반응을 분석해 보아야 할 것이다.

실험 조건별 추돌 회피 반응 비교

통제 조건

통제 조건만 고려한 상태에서 최초 추돌 회피 반응과 최대 회피 반응을 분석한 결과, 최초의 추돌 회피 개시 시간은 차간거리에 따라 유의미한 차이를 보이지 않았던 반면, $F(2, 21) = 0.517$, $p = .604$, 최대의 추돌 회피 노력은 차간거리가 짧을수록 더 빨랐다, $F(2, 21) = 21.414$, $p < .131$. 또한 0.5%의 기각역 수준으로 Tukey 검증을 이용하여 최대 회피 반응 시간을 차간거리에 따라 사후 검증하였을 때 모든 수준에서 유의미한 차이가 관찰되었다.

경고 조건

그림 1에서도 보이듯이, 경고 시스템이 제공된 조건에서 운전자들이 보인 회피 반응(특히 최초 회피 반응)의 양상은 통제 조건과 비교하여 몇 가지 차이를 보이고 있다. 무엇보다도 가장 두드러진 차이는 통제 조건과 비교하여 차간거리가 짧을수록 최초 회피 반응이 유의미하게 빨랐다는 점이다, $F(2, 21) = 8.513$, $p = .002$. 그리고 또한 0.5%의 기각역 수준으로 Tukey 검증을 이용하여 최초 회피 반응 시간을 차간거리에 따라 사후 검증하여 보았을 때 3.0초의 차간거리 조건에서의 반응 시간이 2.0초나 2.5초의 차간거리 조건들에 비해 유의미하게 느렸던 반면, 2.0초와 2.5초의 차간거리 조건 사이는 유의미한 차이가 없었다.

그러나 통제 조건과 마찬가지로 최대 회피 반응은 차간거리가 짧을수록 유의미하게 빨랐으며, $F(2, 21) = 6.904$, $p = .005$, Tukey 검증 결과 역시 최초 반응 시간과 유사하였다(즉, 3.0초의 차간거리 조건에서의 반응 시간이 2.0초나 2.5초의 차간거리 조건들에 비해 유의미하게 느렸던 반면, 2.0초와 2.5초의 차간거리 조건 사이는 유의미한 차이가 없었다).

운전자의 추돌 회피 행동을 통제 조건과 경고 조건별로 구분하여 분석한 결과를 통해 주목되는 한 가지 특징은 추돌 경고 시스템을 제공해 줄 경우 최대 추돌 회피 반응보다는 최초의 추돌 회피 반응이 더 많은 이점을 볼 수 있다는 점이다. 특히 이러한 이점은 그림 1에서도 보이듯이, 차간 거리가 짧을수록 더 컸음을 알 수 있다. 반면 최대의 노력을 표출하여 추돌을 회피하고자 하는데까지 소요되는 시간은 경고 시스템의 제공과 비교적 독립적인 반면, 차간거리와는 밀접하게 연관되는 것으로 보인다.

실험 II: 추돌 경고 시스템의 유형에 따른 운전자의 추돌 회피 행동

본 실험은 운전자들이 운전 도중 도로상에서 경험하는 추돌 가능 상황을 운전 시뮬레이션 기법을 이용하여 현실감 있게 재현한 후에, 운전자의 추돌 회피에 가장 도움을 많이 줄 수 있는 추돌 경고 시스템의 설계 형태가 어떠한 것인지

를 검토하는 것을 목적으로 수행되었다. 이를 위해 운전자들이 실험 I과 마찬가지로 고속도로 상에서 흔히 경험할 수 있는 추돌 가능 상황(즉, 운전자의 주의가 도로에서 벗어나도록 유도한 후, 이때 운전자의 선행 차량이 갑자기 급정거함으로써, 운전자가 적절하게 반응하지 않을 경우 추돌이 발생하도록 조작한 상황)을 시뮬레이션을 통해 인위적으로 재현하였다.

그리고 이러한 추돌 가능 상황에서 두 가지 유형의 추돌 경고 시스템 조건들(시각적 경고가 연속적으로 제시되면서 음성 경고가 동시에 제시되는 조건과, 시각 경고가 불연속적으로 제시되면서 음성 경고가 동시에 제시되는 조건; 이들에 대한 좀더 자세한 기술은 아래에 제시되어 있다)이 각각 제시되는 실험 조건과, 추돌 가능 상황에 대해 아무런 경고가 주어지지 않은 통제 조건에서 관찰한 운전자의 추돌 회피 행동의 효율성을 비교/분석함으로써, 운전자의 추돌 회피를 보조해 주는데 가장 효과적인 추돌 경고 시스템의 설계 형태가 무엇인지를 모색하였다. 구체적인 실험 방법은 아래와 같다.

방 법

실험 참가자

부산대학교 학부생 72명이 실험에 참가하였다. 이 중 남자는 58명, 그리고 여자는 14명이었으며, 이들의 평균 연령은 만 22.5세였다. 실험 참가자 전원은 유효한 운전 면허증을 소지하였다. 이들 중 59명은 면허 취득 후 운전 경험이 없었고, 13명은 실제로 운전한 경험이 있었다. 실험 참가자 72명 중 8명은 이전에 시뮬레이터를 이용한 실험에 참가한 경험이 있었다. 또한 실험 참가자 중 3명은 실제 교통 사고 경험이 있는 것으로 조사되었다. 전체 72명의 실험 참가자 중 각각 24씩 통제 조건과 두 가지의 경고 조건(즉, 연속적 시각 추돌 경고 조건과 불연속적 시각 경고 조건)에 무선 할당하였다.

시뮬레이터 및 기구

실험 II에서 사용된 운전 시뮬레이터, 엔진 소음과 추돌 경고 시스템에서 사용되는 청각 정보들의 제공을 위한 음향 시스템, 주통제 컴퓨터, 운전자의 안구 움직임, 발의 움직임, 전체 스크린 및 통제 모니터에 제시되는 자료 기록을 위한 4화면 분할 모니터, 운전자의 안구 움직임과 발의 움직임을 기록하기 위한 초소형 폐쇄회로 카메라 등은 실험 1과 동일하였다.

추돌 경보 시스템

본 실험에서는 추돌 가능 상황이 발생하였을 때 운전자들에게 시각 정보와 청각 정보를 모두 제시해 주었다(추돌 경고를 청각 양상으로만 제공할 것인지, 시각 양상으로만 제공할 것인지 혹은 본 실험에서처럼 두 가지 양상을 모두 사용하여 제공할 것인지의 여부에 따라서 다양한 유형의 추돌 경고 시스템이 설계가 가능하다. 이러한 여러 유형의 추돌 경고 시스템들이 운전자의 추돌 회피 행동에 각각 어떠한 영향을 미치는지에 대해서는 이재식, 2002를 참조하기 바란다).

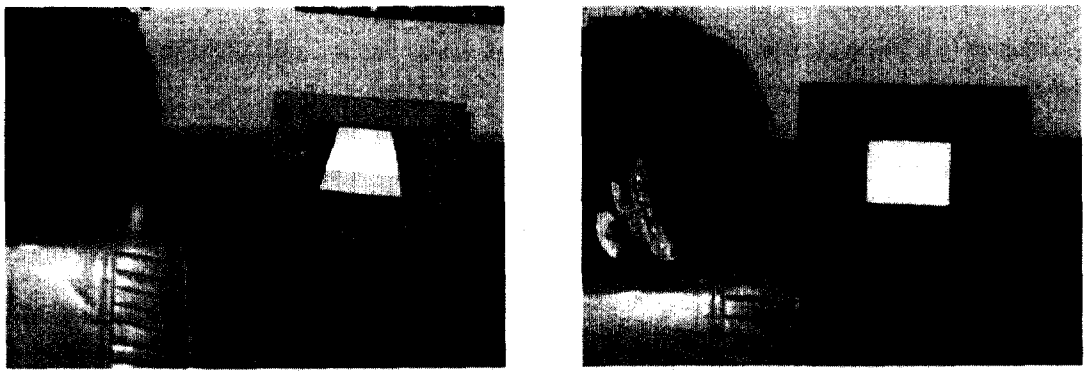
먼저 본 실험에서 사용된 시각적 추돌 경고는 실험 I과 마찬가지로 차량 대쉬보드 중앙 상단(운전자의 우측 상단)에 설치된 7인치 Pen Mount LCD 모니터를 통해 제공되었다. 시각 정보의 경우는 그 정보가 연속적인 형태로 제시되는지[즉, 모두 8개의 막대들(bars)을 이용하여 추돌 위험

정도가 높아질수록 더 많은 막대들이 누진적으로 진행되어(progressive) 제시되도록 설계되었다. 본 실험에서는 이 조건을 "progressive bar 조건"이라고 명명하고자 한다, 그림 3a]와 비교적 불연속적인 형태로 제시되는지(즉, 동일한 모양과 크기의 사각형을 이용하여 추돌 위험의 정도에 사각형의 색이 변화되도록 설계되었다. 본 실험에서는 이 조건을 "rectangle 조건"이라고 명명하고자 한다, 그림 3b).

그리고 두 가지 시각 정보와 더불어 추돌의 위험성을 경고하는 음성 정보도 추가적으로 제공되었는데, 특히 음성 정보의 경우 시각 정보의 형태와 상관없이 동일한 내용의 정보가 제공되었다. 또한 서로 다른 유형의 추돌 경고 시스템이 운전자의 추돌 회피 행동에 미치는 상대적 영향에 대한 분석뿐만 아니라, 추돌 경고 시스템을 제공한 경우와 그렇지 않은 경우 사이의 비교를 위해 추돌 경고 시스템을 제공해 주지 않은 조건도 본 실험에 추가되었다. 따라서 본 실험 II에서는 모두 세 가지의 조건들, 즉 두 가지 형태의 추돌 경고 시스템 조건("progressive bar + 음성 조건" 및 "rectangle + 음성 조건")들과 통제 조건이 사용되었다. 그리고 각각의 조건들은 서로 다른 운전자들이 할당된 피험자간 조건이었다.

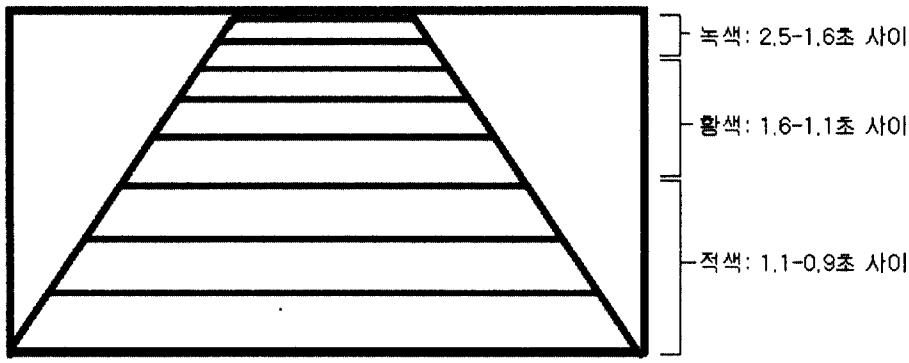
그림 2는 실제 운전 상황에서 차량내 추돌 경고 시스템의 화면을 통해 운전자에게 시각적 정보가 제시되고 있는 상황을 나타내 주고 있고, 그림 3은 LCD 디스플레이의 내용을 보다 자세히 보여주고 있다. 먼저 "progressive bar + 음성 조건"의 경우, 선행 차량과의 거리가 2.5초 이상이면 디스플레이 맨 위의 녹색 막대만 제시되다가, 차간 거리가 2.5-1.6초 사이가 되면 위에서부터 두 개의 녹색 막대가 제시되고, 1.6-1.1초 사이가 되면 황색 막대까지 제시되는데, 2.5-1.1초 사이의 차간 거리에서는 1Hz 빠르기의 "전방 주시"라는 음성이 첨가되었다. 1.1-0.9초 사이의 차간거리에서는 적색 막대들까지 모두 제시되었고, 0.9초 이하인 경우에는 모든 막대들이 4Hz의 속도로 깜박이도록 하였다. 그리고 차간 거리가 1.1초 이하인 경우에는 시각 정보(progressive bar)와 동시에 "정지"라는 메시지가 4Hz의 속도로 제시되었다.

"Rectangle + 음성 조건"의 경우는 "progressive

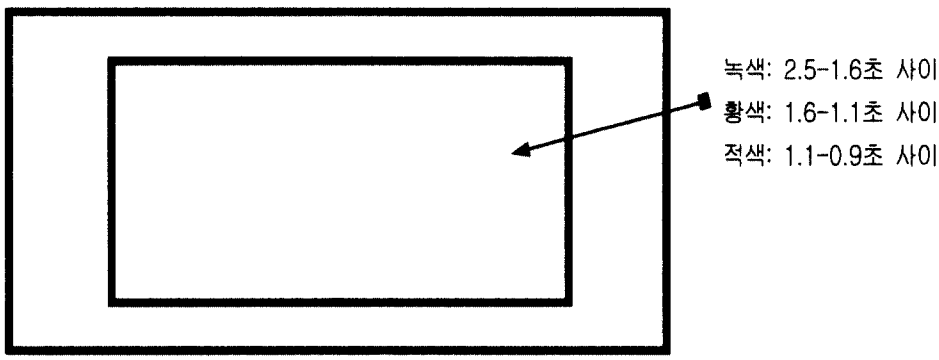


(a) Progressive Bar+음성 경고 시스템 (b) Rectangle+음성 경고 시스템

그림 2. 실제 운전 시뮬레이션 상황에서의 차량내 추돌 경보 시스템 사용의 예시



(a) Progressive Bar+음성 경고 시스템



(b) Rectangle+음성 경고 시스템

그림 3. 본 실험에 사용된 추돌 경고 시스템

bar + 음성 정보"가 비교적 연속적인 정보를 제시해주는 것과는 달리 단순한 시각 정보가 불연속적으로 제시된다. 다시 말해 2.5초부터 1.6초까지의 차간거리인 경우에는 녹색의 사각형 모양이 나타나고, 차간거리가 1.6-0.9초 사이에서는 황색의 사각형이 나타나며, 0.9초 이하에서는 빨간색 사각형이 제시되었다. "rectangle + 음성 조건"인 경우 "progressive bar + 음성 조건"과는 달리 차간거리가 변화되어도 시각 정보는 색상만 변화되고 깜박이지는 않았다. 그리고 "rectangle + 음성 조건"에서 음성의 제시는 위에서 기술한 "progressive bar + 음성 조건"과 같은 방식으로 제시되었다.

실험 II에서 시각적 추돌 경고를 두 가지의 형태로 구분한 이유는 "progressive bar" 형태의 추돌 경고에 대해 운전자들의 주관적 평가가 비교적 부정적이기 때문에(이재식, 2002), 이러한 형태의 추돌 경고 시스템과는 다른 또 다른 형태의 대안적 형태의 시스템 설계가 요구되었기 때문이다. 예를 들어, "progressive bar" 형태의 시각 경고 시스템이 제공되었을 경우, 추돌 가능 상황에서 시스템의 스크린에 제시되어 있는 막대들

이 차간거리에 따라 연속적으로 변화하기 때문에 운전자들은 시스템으로부터 제공되는 정보를 처리하기 위하는데 많은 주의가 분산될 가능성이 있다. 따라서 본 실험에서는 단순한 형태의 사각형이 차간 거리에 따라 그 색만 불연속적으로 변화되는 추돌 경고 방식을 채택하여, 이 시스템이 추돌 가능 상황에서 운전자의 추돌 회피 행동에 어떠한 효과를 갖는지 "progressive bar" 형태의 추돌 경고 시스템과 서로 비교하였다.

운전 시나리오 및 절차

본 실험 이전의 연습 시행, 실험 후의 인구학적 질문지 작성, 대체적인 운전 시나리오, 추돌 상황 및 운전 환경 등은 실험 I과 동일하였다. 다만 세 수준의 차간거리가 검토된 실험 I과는 달리 실험 참가자들이 직선 도로를 주행 속도 100Km/h로 유지하면서 달리고 있을 때 "스위치를 누르세요"라는 메시지가 차량내 스피커를 통해 제시되는 시점은 선행 차량과의 차간거리가 2.5초인 경우만으로 한정하였다.

본 실험에서 경고가 제시되기 시작하는 최소 차간 거리를 2.5초로 한 이유는, 기존의 연구 결과가 2.5초를 운전자가 제시되는 특정 대상에 적절히 반응할 수 있는 최소한의 시간으로 정의하였기 때문이다. 예를 들어, 기대하지 못했던 대상에 대해 반응하기까지 소요되는 시간은 지각-반응 시간(perception-reaction time) 이라고도 불리는데, 실제 운전 상황에서 측정한 결과에 의하면, 일반적인 운전자들이 보이는 지각-반응 시간은 대략 2-4초 정도(평균 2.5초)이다(AAHSTO, 1990; Dewar, 1993; Henderson, 1987; Summala, 1981; Triggs & Harris, 1982).

종속 측정치

본 연구에서 운전자들에게 제공된 추돌 경고 시스템의 유형에 따라 운전자들이 보인 반응을 분석하기 위해 (1) 실제적인 추돌과 회피의 상대적 비율, (2) 최초 추돌 회피 반응 개시 시간, (3) 추돌 회피를 위한 최대 반응 시간, 그리고 (4) 추돌을 했을 경우 앞 차와의 충돌 속도 등이 분석되었다.

결 과

본 실험의 결과는 실험 I과 동일한 기준으로 분석되었다. 특히 본 실험의 중요한 목적 중의 하나가 추돌 가능한 상황에서 어떤 유형의 추돌 경고 시스템이 운전자들의 추돌 회피에 가장 효과적인지 살펴보는 것이기 때문에, 여러 추돌 경고 시스템 조건에서 측정된 종속치들 사이에 차이가 있는지의 여부에 대한 전반적 통계 분석뿐만 아니라, 시스템 유형 사이의 상대적 비교를 통해 좀더 우월한 추돌 경고 시스템 유형이 무엇인지도 살펴보고자 하였다.

추돌과 회피의 상대적 비율

실제적인 추돌과 회피의 상대적 비율은 추돌 경고 시스템의 효과를 검증하는데 있어 가장 기본적이며 직접적인 측정치라 할 수 있다. 다시 말해, 추돌 경고 시스템의 궁극적 효과는 운전자들로 하여금 실제로 추돌을 회피할 수 있도록 해야 하며, 따라서 추돌 경고 시스템이 유용한 것일수록 동일한 추돌 가능 상황에서 회피의 빈도는 더 커질 것이다. 각각의 추돌 경보 시스템의 유형에 따른 추돌과 회피의 상대적 비율을

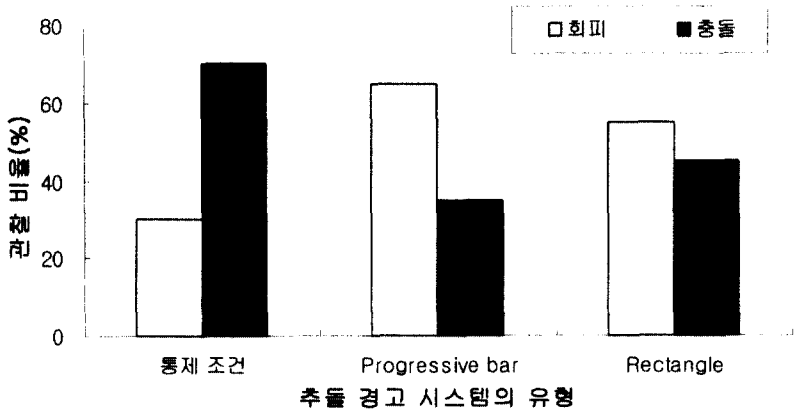


그림 4. 통제 조건 및 추돌 경보 시스템의 유형에 따른 추돌과 회피의 상대적 비율

분석하는데, 추돌과 회피 여부를 판단하기 곤란한 경우의 몇 가지 사례들은 분석에서 제외하였다.

예를 들면, 운전자들이 차선을 변경하지 말라는 실험자의 지시와는 달리 추돌 상황에서 급격하게 핸들을 돌려 반대편 차선으로 차량을 이동시킨 경우는 비록 선행 차량과의 직접적 추돌은 없었다 할지라도 진정한 의미의 추돌 회피라고 보기 어렵기 때문에(즉, 반대편 차선으로 갑자기 넘어갈 경우 반대편 차량과 정면 충돌할 가능성도 있다) 결과의 분석에서는 제외하였다. 그 결과 각각의 실험 조건에 따라 20명씩의 자료만이 분석하였다.

각각의 추돌 경보 시스템의 유형에 따른 추돌과 회피의 상대적 비율은 그림 4에 제시되어 있다. 그림을 통해 알 수 있듯이, 대체적으로 추돌 가능성에 대한 경고가 주어지지 않았던 통제 집단에서는 추돌의 비율이 회피의 비율보다 상대적으로 더 높은 경향을, 반면 "rectangle + 음성 조건"에서는 서로 비슷한 수준의 추돌과 회피 비율을, 그리고 "progressive bar + 음성 조건에서는 회피의 비율이 추돌의 비율보다 더 높은 경향을 보임을 알 수 있다(그러나 통제 조건과 각각의 추돌 경고 시스템 조건을 서로 통계적으로 검증하여 보았을 때, 본 연구에서 설정한 기각역 수준에는 미치지 못했지만 10%의 기각역 수준에서는 유의미한 결과를 얻었다, $x^2 = 5.20$, $N = 60$, $p = 0.072$).

이러한 결과는 추돌 위험성에 대해 음성이나 시각적 자극을 통해 운전자들에게 경고를 제시해 줄 경우 추돌 회피의 가능성은 아무런 경고가 주어지지 않은 조건에 비해 대략 25-35% 정도 증가한다는 것을 시사하며, 특히 시각적인 추돌 정보가 불연속적으로 제시된 조건에서는 추돌과 회피의 비율이 서로 유사한 반면 시각적인 추돌 정보가 연속적으로 제시된 경우는 가장 높은 추돌 회피의 비율이 관찰된다는 것이 흥미로운 결과라 할 수 있다.

최초 추돌 회피 반응 개시 시간

그림 5는 각각의 실험 조건에 따른 최초의 추돌 회피 개시 시간을 보여주고 있다. 먼저 각각의 실험 조건에 따라 추돌 회피를 위한 최초의

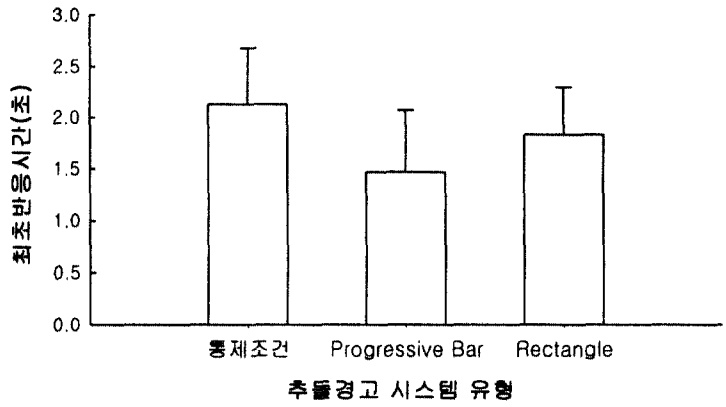


그림 5. 통제 조건 및 추돌 경보 시스템의 유형에 따른 최초 추돌 회피 반응 시간

반응 시간에 차이가 있는지 변량 분석한 결과, 기각역 범위에서 주효과가 유의미하였다, [$F(2,57) = 7.400$, $p = 0.001$]. 그림 5에서도 관찰할 수 있듯이 추돌 경고 시스템이 주어질 경우, 통제 조건에 비해 운전자들은 대략 300msec에서 700msec 정도 더 빠르게 추돌을 회피하기 위한 최초의 노력을 개시하기 시작하였음을 알 수 있다. 특히 통제 조건과 두 유형의 추돌 경고 시스템에 대해 Tukey 사후 검증을 실시한 결과, 연속적인 시각적 경고가 제시되는 경우와 통제 조건 사이에 5% 기각역 수준에서 유의미한 차이를 보였다.

추돌 회피를 위한 최대 반응까지의 시간

추돌 회피를 위한 최초의 반응 시간에 대한 분석 결과와는 대조적으로, 본 실험에서 추돌의 회피하기 위한 최대의 노력이 발휘되기까지의 실험 조건에 따라 통계적으로 유의미한 차이를 보이지 않았다.

이러한 경향은 최대 반응이 발휘되기까지의 시간이 갖는 특성과 추돌 정보 제공 시스템이 갖는 특성을 동시에 고려해 본다면 어느 정도 해석 가능할 것이다. 최대의 회피 노력이 발휘되는 시간은 운전자들이 얼마나 급하게 차량을 제어하고자 했는지의 정도를 반영한다. 따라서 비록 청각적 정보(구체적으로는 음성 정보)가 시각적 정보와 중복적으로 제시된다 하여도 추돌 경고 시스템이 제시하는 정보를 처리하고자 하는 운전자의 노력은 이들이 선행 차량의 거동을 감시하는 것을 오히려 방해할 가능성이 있기 때문에, 운전자들은 시각적으로 제시되는 경고를 눈으로 확인하는 대신 선행 차량이 자신들의 차량에 더 근접하는 막기 위해 최대의 노력을 발휘하고자 했을 것이다. 이 때문에 추돌 회피를 위해 최대의 노력이 발휘되기까지의 시간은 차량 제어에 어느 정도 시간적인 여유가 있는 최초의 추돌 회피 반응 시간과는 대조적으로 추돌 경고 시스템의 도움(혹은 이점) 별로 받지 못했을 가능성이 있다.

선행 차량과의 추돌 속도

추돌 상황에서 추돌 경고 시스템의 유용성을 평가해 볼 수 있는 또 다른 측정치는 실제로 추

돌이 발생했을 때 운전자의 차량이 선행 차량과 얼마나 빠른 속도로 추돌하였는지의 정도이다. 즉, 비록 추돌이 발생했다 하더라도 추돌 당시의 추돌 속도가 크지 않다면 운전자는 어느 정도 적절한 추돌 회피 반응을 보였다고 평가될 수 있기 때문이다. 특히 본 실험에서는 추돌 상황의 재현을 극대화하기 위해 운전자들이 적절하게 반응하지 않을 경우 추돌이 발생하도록 시나리오를 구성하였기 때문에(예를 들어, 본 실험에서 사용된 차간 거리 2.5초 조건은 운전자가 추돌을 회피하기 위한 최소한의 지각-반응 시간으로 간주되고 있다: 이순철, 1997; Lee, McGehee, Dingus, & Wilson, 1998), 추돌 당시의 추돌 속도는 추돌 경고 시스템의 유용성을 평가하는 중요한 측정치가 될 수 있다.

선행 차량과 추돌한 사례의 수들은 각각 20명의 실험 참가자들 중 통제 조건이 14명, "progressive bar + 음성 조건"이 7명, 그리고 "rectangle + 음성 조건"이 9명이었다. 선행 차량과의 추돌 속도를 각각의 실험 조건별로 정리한 것이 그림 6이다. 실험 조건들에 따라 추돌시에 선행 차량과의 충돌 속도에 차이가 있는지 변량분석해 본 결과 통계적으로 유의미한 차이가 관찰되었다, [$F(2, 27) = 5.231$, $p = 0.012$]. 그리고 이러한 전반적인 차이의 소재를 밝히기 위해 Tukey 검증을 해 본 결과 5%의 기각역 수준에서 유의미한 차이는 통제 조건과 "progressive bar + 음성 조건" 사이의 비교에서만 관찰되었다. 이러한 결과는 추돌 위험에 대한 아무런 정보가 주어지지 않는 통제 조건에 비해 추돌 가능 정보가 연속적인 형태로(음성 정보와 중복적으로) 제시될 경우 비록 선행 차량과 충돌은 하였지만 그 속도는 유의미하게 감소시킬 수 있다는 것을 시사한다. 이에 비해 추돌 가능 정보가 불연속적인 형태로(음성 정보와 중복적으로) 제시될 경우에는 이러한 측면에 대한 이점은 그렇게 크지 않다는 것을 시사한다.

논 의

본 연구는 운전자들이 운전 도중 도로상에서 경험하는 추돌 가능 상황을 운전 시뮬레이션 기법을 이용하여 재현한 후에, (1) 추돌 가능 상황에서 운전자들이 특징적으로 보이는 행동 패턴이 무엇인지를 밝혀 추돌 사고의 근본적인 행동

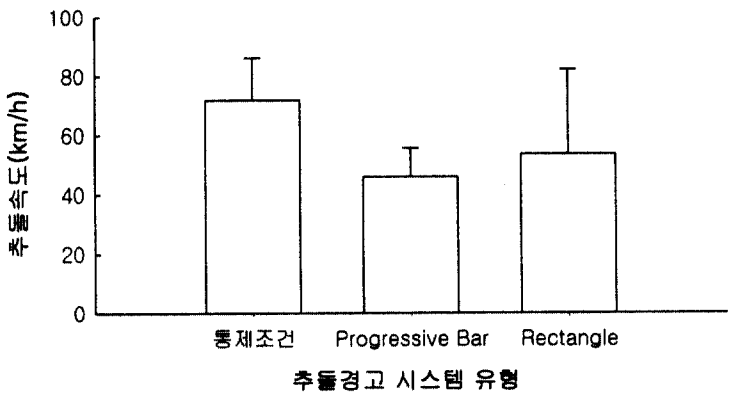


그림 6. 통제 조건 및 추돌 경보 시스템의 유형에 따른 추돌시 충돌 속도

요소를 탐색하고, (2) 운전자의 추돌 회피에 도움을 가장 많이 줄 수 있는 추돌 경고 시스템의 설계 형태가 어떠한 것인지를 검토할 목적으로 수행되었다. 이를 위해 운전자들이 도로상에서 흔히 경험할 수 있는 추돌 가능 상황(즉, 운전자의 주의가 도로에서 벗어나도록 유도한 후, 운전자의 선행 차량을 갑자기 급정거하도록 함으로써, 운전자가 적절하게 반응하지 않을 경우 추돌이 발생할 수 있는 상황)을 시뮬레이션을 통해 인위적으로 재현하였다.

그리고 이러한 추돌 가능 상황에서 운전자들이 위험을 발견하고 최초로 추돌 회피 행동을 보이기 시작하는 시점과 추돌의 피하기 위해 최대의 노력이 실행되기까지의 시간을 추돌 경고 시스템이 주어진 조건과 그렇지 않은 조건을 구분하여 비교하였다(실험 I). 또한 두 가지 유형의 추돌 경고 시스템 조건들 즉, 음성 경고의 중복적 제공과 시각적 정보가 연속적으로 제시되는 조건(progressive bar + 음성 조건)과 시각적 정보가 불연속적으로 제시되는 조건(rectangle + 음성 조건) 및 아무런 추돌 경고 시스템이 주어지지 않은 통제 조건에서 관찰한 운전자의 추돌 회피 효율성을 다양한 종속 측정치들을 통해 비교/분석함으로써, 운전자의 추돌 회피를 보조해 주는 데 가장 효과적인 추돌 경고 시스템의 설계 형태가 무엇인지를 모색하였다(실험 II).

실험 I의 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 통제 조건과 경고 조건을 구분하지 않고 살펴보았을 때, 일반적으로 추돌을 회피하기 위한 최초의 회피 반응이나 최대의 추돌 회피 노력은 차간거리가 짧을수록 더 빠르게 나타나는 경향이 관찰되었다. 둘째, 추돌 경고 시스템의 제공 여부와 최초 추돌 회피 반응 및 최대 추돌 회피 반응의 비교 결과, 최대 추돌 회피 반응은 추돌 경고 시스템의 제공 여부와 관계없이 비교적 일관적인 형태를 보이는 반면(즉, 차간거리가 짧을수록 반응시간이 빨랐다), 최초 추돌 회피 반응의 경우는 경고 시스템이 주어진 경우에만 이러한 결과가 관찰되었고, 통제 조건에서는 차간거리와 관계없이 비교적 비슷한 추돌 회피 반응 시간을 보였다. 셋째, 위의 두 가지 결과를 종합해 보면, 추돌 경고 시스템을 제공해 줄 경우 최대 추돌 회피 반응보다는 최초의 추돌 회피 반응이 더 많은 이점이 있었으며, 특히 이러한 이점은 차간 거리가 짧을수록 더 컸다.

실험 II의 결과를 하면 다음과 같다. 첫째 추돌에 대한 정보가 주어지지 않은 통제 조건에 비해 추돌 경고 시스템이 주어진 경우 대체적으로 추돌 상황을 회피하는 비율이 높았다. 둘째, 통제 조건에 비해 연속적인 시각 경고가 제시되는 경우에 운전자들은 더 빠르게 추돌을 회피하기 위한 최초의 노력을 개시하기 시작하였다. 셋째, 추돌 회피를 위한 최초의 반응 시간에 대한 분석 결과와는 대조적으로, 본 실험에서 추돌의 회피하기 위한 최대의 노력이 발휘되기까지의 실험 조건에 따라 통계적으로 유의미한 차이를 보이지 않았다. 넷째, 추돌시에 선행 차량과의 충돌 속도에 차이가 있는지 분석해 본 결과, 추돌 위험에 대한 아무런 정보가 주어지지 않는 통제 조건에 비해 추돌 가능 정보가 연속적인 형태로 제시될 경우 충돌 속도가 유의미하게 감소시킬 수 있었던 반면, 추돌 가능 정보가 불연속적인 형태로 제시될 경우에는 선행 차량과의 충돌 속도에 대한 이점은 그렇게 크지 않았다.

실험 I과 II를 종합하면 다음과 같은 시사점을 얻을 수 있다. 무엇보다도 선행 차량의 갑작스런 정차에 의한 추돌 가능 상황에서 추돌을 회피하기 위해서는 최초의 회피 반응이 신속하게 표출되어야 한다는 점이다. 다시 말해, 추돌을 회피하기 위해 최대의 노력이 발휘되는 시간은 차간

거리에 따라 달라지지만(즉, 추돌 경고 시스템의 제공과 관계없이 차간거리가 짧을수록 최대 회피 반응 시간을 빨랐다), 최초로 나타나는 추돌 회피 반응은 운전자들에게 경고가 주어지지 않을 경우 차간 거리와 상관없이 비교적 유사하게 나타난다는 것은 추돌 경고 시스템이 주로 최초의 추돌 회피 반응에 영향을(즉, 이점을) 미친다는 것을 시사한다.

둘째, 본 연구의 실험 II에서는 추돌 회피 행동에 대한 두 가지 추돌 경고 시스템의 효과를 검증하였는데, 분석의 결과는 연속적인 시각 추돌 경고 시스템이 불연속적인 시각 추돌 시스템보다 상대적으로 추돌 회피 반응에 더 많은 이점을 준다는 것을 보여 주었다. 앞에서도 언급하였듯이, 이재식의 연구(2002)에서 연속적으로 제시되는 시각 경고 시스템에 대해 사용자들의 주관적 평가가 비교적 우호적이지 못했다는 점을 감안하면, 이러한 결과는 운전자가 연속적 시각 추돌 경고 시스템을 통해 실제로 얻는 행동상의 이점과 주관적 평정 사이에 괴리가 있음을 시사한다. 시스템에 대한 사용자의 감성적 요인이 시스템 설계에 중요한 요소로 대두되고 있는 현실에 비추어 이 문제에 대해서는 추가적인 연구가 있어야 할 것으로 생각된다.

본 연구가 갖는 몇 가지 한계 중 하나는 분 연구의 실험들에 참가한 운전자들이 모두 유효한 운전 면허를 갖고 있었지만, 현재 운전을 하지 않는 사람들도 포함되었다는 점이다. 따라서, 운전의 경험 정도가 추돌 회피와 관련된 다양한 행동 측면에도 차이를 보이는지 분석해 볼 필요가 있을 것이다. 또한 추돌 회피 기술이 다양한 운전 경험을 통해 습득되어질 수 있다는 점을 감안하면, 본 연구에 포함된 결과들이 실제로 운전을 빈번하게 수행하는 모든 운전자들에게 일반화되어 적용하는 것에는 다소의 문제가 있을 가능성도 있다. 예를 들어, 운전에 매우 익숙한 운전자들은 그렇지 않은 운전자들에 비해 시각적으로 제공되는 추돌 경고를 그렇게 어렵지 않게 파악할 수 있을 것이며, 이러한 측면을 고려해 볼 때 추후에는 운전 경험의 정도가 중요한 변인으로 측정되어야 할 것이다.

또한 실험 I의 경우, 각각의 가능한 실험 조건에 8명씩의 실험 참가자들이 할당되었는데 (비록 통계적으로는 몇 가지의 차이 검증에서 유의미한 결과가 도출되었다고는 하지만) 이러한 조작은 본 연구에서 관찰된 결과의 검증력(power) 및 일반화가능성에 제한점을 줄 수 있을 가능성이 있다. 추후의 연구를 통해 더 많은 표본을 이용한 결과의 관찰이 바람직할 것으로 보인다. 그리고 비록 운전자들을 각 조건별로 무선적으로 할당하기는 했으나 각 조건에 따라 할당된 운전자들의 수가 비교적 적었기 때문에 운전자가 갖고 있는 특징(예를 들어, 현재 운전을 활발히 하고 있는지의 여부나 운전 경력의 정도 등)이 실험 결과에 영향을 미칠 가능성도 있다. 그러나 추후 분석을 통해 이를 확인해 본 결과 두 개의 실험 모두에서 실험 조건별로 운전자가 갖는 특징에 큰 차이가 없었으며 따라서 이러한 가능성은 어느 정도 배제할 수 있다고 판단된다.

그리고 본 연구에서 운전자의 주의를 순간적으로 분산시키기 위하여 제시한 "스위치를 누르세요"라는 지시가 운전자로 하여금 선행 차량의 갑작스런 정지를 예상하게 하는 효과를 가져올 수 있다는 가능성도 고려해야 할 것이다. 즉, 이러한 인위적인 조작은 일상적인 운전 상황에서는 매우 한정적으로 발생할 수 있으며, 그 결과 지시 자체가 일종의 경고로 작용하였을 수 있다. 그러나 본 연구에 참가한 사람들은 이러한 효과를 배제하기 위해 단 한번의 실험에 참가하였고, 연습 시행 동안에는 이러한 지시를 받지 않았기

때문에 주의 분산을 위한 지시 자체가 경고의 효과도 가져올 가능성은 어느 정도 배제되었다고 할 수 있다. 추후의 연구에서는 사후 설문과 같은 방법을 통해 이러한 가능성에 대한 확인 절차가 요구된다고 할 수 있다.

본 연구의 실험 I에서는 본 연구와 관련된 선행 연구들의 결과를 따라 차간 거리 조건을 2.0, 2.5 및 3.0초로 조작하였으나 실제 운전 상황에서는 더 짧은 차간 거리 상황에서 운전자들이 운전할 수 있다는 점을 고려하면 좀더 다양한 범위의 차간 거리 조건별로(특히 매우 짧은 차간 거리 조건을 중심으로) 운전자의 추돌 회피 반응 및 추돌 경고 시스템의 효과를 검증할 필요가 있을 것으로 생각된다.

또한 실험 II에서 운전자에게 제공한 경고 시스템은 시각 정보가 연속적으로 혹은 불연속적으로 제공된 것 외에 초당 깜박임의 빈도에도 차이가 있었다(즉, "progressive bar 조건"인 경우는 1초에 최대 4회 깜박였으나 "rectangle 조건"은 이러한 조작이 이루어지지 않았다). 이렇게 조작한 이유는 경고 시스템이 갖는 연속적 혹은 비연속적 속성의 대비를 극대화하기 위한 것이었다. 다시 말해, 불연속적인 "rectangle 조건"의 경우라도 운전자들은 깜박임의 상대적 빈도를 통해 추돌 위험의 정도를 연속적으로 지각할 수 있을 가능성이 있으며, 본 연구에서는 이를 배제하고자 하였다. 그러나 깜박임이 갖는 특징이 다른 특징에 비해 운전자의 주의를 끌 가능성이 더 높다는 점을 고려한다면 깜박임의 빈도를 동일하게 통제한 후에 경고 시스템의 연속적/불연속적 시각 정보 제공 효과를 확인할 필요가 있을 것으로 생각된다.

본 연구의 결과는 운전자들이 추돌 가능한 상황에 대해 매우 취약하지만, 어떤 형태이든 추돌 경고가 제공되면 운전자들은 비교적 우수한 추돌 회피 수행을 보일 수 있다는 것을 시사해 주고 있다. 이러한 관점에서 운전 중 운전자에게 추돌의 위험을 알려주거나 선행 차량의 거동을 신속하고 정확하게 파악할 수 있는 보조 수단을 개발하고 제공해 주어야 할 것이다. 외국에서는 운전자의 주의를 유도하여 추돌 사고를 감소시키는 방법들이 제안되어져 왔는데, 예를 들어 1985년 이후 만들어진 모든 미국 자동차에는 뒷유리 중앙에 설치된 정지등(Center High Mounted Stop Lamps)을 부착하도록 하기도 하였다. 이것은 추돌 사고가 발생했을 때의 사망자 수를 감소시켰을 뿐만 아니라(Digges, Nicholson, & Rouse, 1985), 추돌 사고가 50~60%까지 감소될 수 있음을 보여주었다(Kahane, 1989). 이러한 노력뿐만 아니라 좀더 적극적으로 운전자의 추돌 회피 행동을 도울 수 있는 시스템이 있는데, 차량내 추돌 방지 시스템(Front To Rear End Collision Avoidance System)이나 추돌 경고 시스템(Front To Rear End Collision Warning System)등이 여기에 해당한다.

우리나라에서도 최근에 자동차의 주요 생산업체들이 차량의 디자인이나 연비의 효율성과 같은 기계적/물리적인 측면에 대한 연구뿐만 아니라 운전자에게 운전 상황에 대한 보다 많은 정보를 제공함으로써 운전자가 미리 운전 상황을 예측하여 운전할 수 있도록 하는 이른바 자동차내 항법 장치(In-Vehicle Navigation System)의 개발에 많은 투자를 하고 있다. 앞에서도 언급되었듯이, 이러한 항행 보조 시스템에는 추돌 경고 시스템도 함께 구현될 것이며, 그러한 시스템이 효율적으로 작동하기 위해서는 본 연구를 통해 제공된 시스템 설계 및 운전자 행동에 관한 정보들이 보다 나은 추돌 방지 시스템의 설계에 중요한 기초 데이터로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

이재식 (2000). 운전 시뮬레이션을 이용한 운전자의 추돌 회피 행동에 관한 연구, 한국심리학회지: 산업 및 조직, 13, p.53-73.

이재식 (2000). 추돌 경고시스템의 정보 제공방식에 따른 운전자의 추돌 회피 행동 및 주관적 평가에 관한 연구, 한국심리학회지: 산업 및 조직, 15, p.125-146.

이순철 (1997). 운전자 행동의 심리학적 연구. *심리과학*, 6, 11-26, 서울대학교 심리과학 연구소.

AAHSTO. (1990). *A policy on geometric design of highways and streets*. Washington DC: Author.

Brown, I. D. (1965). Effect of a car radio on driving in traffic. *Ergonomics*, *8*, 475-479.

Clarke, R. M., Goodman, M. J., Perel, M., & Knipling, R. R. (1992). Driver performance and IVHS collision avoidance systems: A search for design relevant measurement protocols. *Proceedings 7th annual meeting of IVHS America*, 241-248.

Dewar, R. (1993). Warning: Hazardous road sign ahead. *Ergonomics in Design*, July, 26-31.

Digges, K. Nicholson, R., & Rouse, E. (1985). *The technical base for center high mounted stop lamp*. Report 851240, SAE. Annapolis, MD.

Dingus, T. A., McGehee, D. V., Manakkal, N., Jahns, S. K. Carney, C., & Hankey, J. M. (1997). Human factors field evaluation of automotive headway maintenance/collision warning devices. *Human Factors*, *39*, 216-229.

Evans, L. (1991). *Traffic Safety and Driver*. New York: Van Norstrand Reinhold.

Henderson, R. L. (1987). *Driver performance data book*. Washington DC: National Highway Traffic Safety and Administration.

Hirst, S., & Graham, R. (1997). The format and presentation of collision warnings. In Y. I. Noy(Ed.), *Ergonomics and safety of intelligent driver interface*. NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.

Hughes, P. K., & Cole, B. L. (1986). What attracts attention when driving? *Ergonomics*, *29*, 377-391.

Janssen, W. H. (1989). *The impact of collision avoidance systems on driver behavior and traffic safety* (Tech. Rep. Drive Project 1041). Traffic Research Centre, University of Groningen, the Netherlands.

Kahneman, D., Ben-Ishai, R., & Lotan, M. (1973). Relation of a test of attention to road accidents. *Journal of Applied Psychology*, *58*, 113-115.

Kahane, C. J. (1989). *An evaluation of center high mounted stop lamps on 1987 data*(DOT HS 807 442). Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration.

Lee, J., McGehee, D. V., Dingus, T. A, & Wilson, T. (1998). Collision avoiding behavior of unalerted driver using a front-to-rear-end collision warning display on the Iowa driving simulator. *Transportation Research Record, 1573*, 1-7.

McKnight A. J., & Adams, B. (1970). *Driver education task analysis: Vol 1. Task description* (DOT Tech. Report HS 800-367). Washington, DC: U. S. Department of Transportation.

Mihal, W. L., & Barrett, G. V. (1976). Individual differences in perceptual information processing

and their relation to automobile accident involvement. *Journal of Applied Psychology, 61*, 222-233.

Mortimer, R. G. (1988). *Rear-end collision. Automotive engineering and litigation*. New York: Gerland Law Publishers.

Mortimer, R. G. (1990). Perceptual factors in rear-end crashes. In *Proceedings of the Human factors and Ergonomics Society 34th Annual Meeting*, Santa Monica, CA, 591-594.

National Highway Traffic Safety Administration. (1995). *Examination of target vehicular crashes and potential ITS counterparts. Synthesis report*: U. S. DOT. Springfield, Virginia.

Rockwell, T. (1972). Skills, judgment, and information acquisition in driving. In T .W. Forbes (Ed.). *Human Factors in Highway Traffic Safety Research*. New York: Wiley Interscience.

Shinar, D. (1978). *Psychology on the road: The human factors in traffic safety*. New York: John Wiley & Sons.

Summala, H. (1981). Driver/vehicle steering response latencies. *Human Factors, 23*, 683-692.

Treat, J. R., Tumbas, N. S., McDonald, S. T., Shinar, D., Hume, R. D., Mayer, R. E., Stansifer, R. L., & Castellan, N. J. (1977). Tri-level study of the causes of traffic accidents. Report No. DOT-HS-034-3-535-77 (TAC), Indiana University.

Triggs, T., & Harris, W. G. (1982). *Reaction time of drivers to road stimuli*(Human Factors Report HFR-12). Clayton, Australia: Monash University.

1 차원고접수 : 2003. 2. 27
수정원고접수 : 2003. 4. 18
최종게재결정 : 2003. 5. 21

한국심리학회지: 산업 및 조직
Korean Journal of Industrial and Organizational Psychology
2003. Vol. 16, No. 1, 33 - 56

© Korean Society of Industrial and Organizational Psychology 2003

Driving Simulation for Front-To-Rear-End Collision Situation and Testing Effectiveness of In-Vehicle Collision Warning Systems

Jaesik Lee

Department of Psychology, Pusan National University

The purposes of the present study were to explore behavioral patterns of the drivers in front-to-rear-end collision situation(Experiment I), and to determine the relative effectiveness of two types of front-to-rear-end collision warning systems(collision warnings were presented through the systems configured Continuous Visual + Voice Warnings or "On-Off" style Visual + Voice Warnings) based on drivers' driving performances(i.e., collision avoidance behavior, Experiment II). Driving simulation was employed to simulate front-to-rear-end collision situation and to measure the drivers' performance. The results of the two experiments can be summarized as followings. First, in front-to-rear-end collision situation, initiation of collision avoidance response(for example, releasing the accelerator) found to be more important than execution of maximum effort to avoid the collision. Second, any type of collision warning systems appeared to be more helpful than control condition to avoid collision. Third, the Continuous Visual + Voice Warning system induced better collision avoidance behavior than "On-Off" style Visual + Voice Warning system. Finally, implications of the study was discussed.

key words : Driving Simulation, In-Vehicle Collision Warning System, Collision Avoidance Behavior