

보행자 충돌 청각경고 시스템의 자극-반응 부합성, 경고제시시점, 주의분산 조건에 따른 운전자의 보행자 회피 반응 차이*

강 현 민 한 광 회 이 재 식[†]

연세대학교

부산대학교

본 연구에서는 보행자 충돌 청각경고 시스템의 자극-반응 부합성(stimulus-response compatibility: 부합 vs. 비부합), 경고 제시시점(time to contact, TTC: 2초 vs. 4초)과 운전자의 주의분산 유형(type of driver distraction: 통제조건 vs. 청각 주의분산 vs. 시각 주의분산)에 따른 운전자의 보행자 충돌 회피반응에서의 차이를 비교하였다. 종속변인은 최초 회피반응시간, 조향장치 회전각, 보행자와의 거리, 보행자와의 충돌비율, 그리고 도로이탈 비율이었다. 운전 시뮬레이션을 사용하여 실험한 결과는 다음과 같다. 첫째, 자극-반응 부합성의 효과는 경고 제시시점과 주의분산 유형의 조건에 따라 상이하게 나타났다. 이에 따라, 자극-반응 비부합 조건이 자극-반응 부합조건보다 보행자 충돌 청각경고 시스템에 더 적합한 것으로 보인다. 둘째, 경고 제시시점이 4초인 조건에 비해 경고 제시시점이 2초인 조건에서 조향장치 회전각이 더 크고, 보행자와의 충돌비율, 도로이탈 비율 모두 높은 것으로 관찰되었다. 셋째, 주의분산 유형을 분석한 결과 시각 주의분산 조건은 운전자의 보행자 회피반응에 더 부정적인 영향을 준 것으로 보인다. 종합해 보면, 자극-반응 비부합 조건으로 TTC가 4초인 조건에서 경고신호를 제시하는 것이 더 적합하고 유용한 것으로 보인다.

주요어 : 자극-반응 부합성, 경고 제시시점, 주의분산, 청각 경고, 보행자 회피 반응, 운전 시뮬레이션

* 이 논문은 2013년 교육부의 재원으로 연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임
(NRF-2013S1AOA2A03045179).

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

운전자의 안전운전에 도움을 줄 수 있는 운전자-보조 시스템의 유형중 가장 흔한 종류는 운전자가 여행을 계획하거나 원하는 목적지까지 효율적으로 항행할 수 있도록 안내해 주는 내비게이션 시스템이다. 특히 내비게이션 시스템은 운전자가 안전하지 못한 지역을 운전하거나(사고 다발 지역) 주의를 기울여 운전해야 하는 지역(학교 앞)에 대한 경고의 기능도 수행한다. 그러나 내비게이션 시스템이 제공하는 경고는 물리적으로 고정된 특정 지점에 대한 경고가 대부분이다. 다시 말해 내비게이션 시스템은 상황에 따라 역동적으로 변하는 다른 차량이나 보행자와 같은 위험요소에 대한 경고는 제공하지 못한다. 하지만 운전자의 안전운전을 돕기 위해서는 물리적으로 고정된 특정 지점에 대한 정보보다 역동적으로 변하는 특정 대상에 대한 정보가 더욱 필요하다. 이러한 역동적인 상황에서 운전자에게 도움을 주기 위해 개발된 시스템은 보행자 충돌 경고 시스템, 차량 추돌 경고 시스템 그리고 차량 충돌 경고 시스템 등이 있으며 현재 이들 시스템의 대부분은 전체 사고의 많은 비율을 차지하는 차 대 차의 사고를 방지하기 위해 연구되고 있다(Dingus, Jahns, Horowitz, & Knipling, 1998; Lee, McGehee, Dingus, & Wilson, 1997). 그러나 도로교통공단에서 발표한 통계 분석에 따르면 전체 사망사고 중 차 대 사람의 사고비율(45.0%)이 차 대 차의 사고비율(37.7%)보다 높고 이는 사고 유형 중 가장 높은 비율을 차지한다. 또한 선진외국과 비교하여 우리나라 교통사고 특성 중 가장 심각한 것은 차 대 사람의 사고비율이 월등히 높은 것임을 제시하고 있다(도로교통공단, 2015). 따라서 차 대 차의 사고 방지를 위한 시스템의 개발뿐만 아니라 차 대 사람의 사고를 줄이기

위한 차량 내 경고 시스템에 대한 연구, 나아가 이를 실제로 운전자들이 사용할 수 있도록 실용화하는 노력 또한 요구된다.

본 연구에서는 이러한 차 대 사람의 사고 방지를 위해 개발된 보행자 충돌 경고 시스템에 초점을 맞추어 연구하고자 하였다. 보행자 충돌 경고 시스템이란 갑작스럽게 출현하는 보행자에 대한 정보를 운전자에게 미리 제공함으로써 운전자들이 보행자와의 충돌을 회피하는데 도움을 줄 수 있는 시스템이다. 여기서 본 연구가 중점적으로 살펴보고자 하는 것은 운전자가 충돌 가능성이 있는 보행자의 갑작스러운 출현에 직면하였을 때, 시스템은 어떠한 방식으로 경고를 제공하는 것이 가장 적합한 방식인가 하는 것이다. 보행자의 출현에 대한 경고는 시각이나 청각, 촉각 등의 다양한 감각경로를 통해 제공될 수 있지만 본 연구에서는 청각 경고 시스템을 중점으로 다루고자 한다.

보행자 충돌 경고 시스템은 현재 상용화 단계에 이르고 있다. 볼보는 시티세이프티(City Safety) 시스템을 통해 차량 주변에 위치한 보행자에 대한 정보를 제공하고 근접시에는 시각, 청각 정보를 통해 경고를 제시하도록 하였고 Mobile Eye는 여러 차종에 사용 가능한 충돌 경고 시스템을 개발하였다(김양호, 김광수, 곽수영, 2015). 현재까지 이러한 보행자 충돌 경고 시스템은 차량의 정지거리 등을 계산하여 알고리즘 개발을 중심으로 시스템 요인을 중점으로 한 연구가 국, 내외적으로 이루어지고 있으나(김양호 등, 2015; Bandyopadhyay et al., 2013; Karasev, Ayyaci, Heisele, & Soatto, 2016), 운전자의 인지적 요소를 함께 고려한 운전자 요인 연구는 거의 이루어지지 않은 실정이다. 이에 본 연구는 시스템 요인 중 경고

제시시점과 더불어 운전자 요인, 다시 말해 자극-반응 부합성과 운전자의 주의분산을 중심으로 하여 보행자 충돌 경고 시스템이 경고 신호를 어떠한 방식으로 제시해야 하는가에 대한 구체적인 논의를 하고자 한다.

자극-반응 부합성

자극-반응 부합성은 제어장치의 위치 및 제어 반응의 동작, 그리고 제어와 관련된 자극이나 디스플레이의 위치 및 동작 사이의 관련성을 설명하는 개념으로 크게 위치부합성, 정신모형부합성, 그리고 동작부합성으로 나누어진다(Fitts & Seeger, 1953). 위치부합성은 디스플레이와 제어장치가 근접한 공간에 위치하는 정도를 말한다. 정신모형부합성은 시스템의 디스플레이 요소의 형태와 배열이 인간이 가진 정신모형에 부합하는 정도를 말한다. 동작부합성은 디스플레이 반응과 제어간의 움직임이 부합하는 정도를 말한다. 일반적으로 자극과 반응 사이의 부합성이 높을수록 사용자의 수행 효율성이 증가하며 본 연구에서 탐구하고자 하는 자극-반응 부합성은 동작부합성과 관련된다. 즉, 반응을 해야 하는 방향으로 경고를 제시하는 것은 자극-반응 부합 조건인 반면, 반응을 해야 하는 방향과 반대 방향으로 경고를 제시하는 것은 자극-반응 비부합 조건이 된다.

Stins와 Michaels(1997)은 자극-반응 부합성을 신호제시와 조향장치 제어의 관점에서 살펴보았는데, 그 결과 좌측에서 제시되는 경고신호에 대해서는 조향장치를 반시계 방향으로, 반면 우측에서 제시되는 경고신호에 대해서는 시계 방향으로 조향장치를 회전하는 것이 반응시간이 빠르다는 것을 발견하였다. 또한

Wang과 Proctor(2003)의 연구 결과에 따르면 충돌 방지 시스템의 경우 좌측 혹은 우측방향에서 경고신호를 제시할 때 운전자가 피해야 하는 방향으로 경고신호를 제시하는 것이 경고신호와 조향장치 사이의 자극-반응 부합성 원리에 따르는 것이고 실험을 통해 반응시간이 더 빨랐고 에러 역시 적은 것을 보여주었다. 다시 말해, 위험한 대상이 존재하는 위치의 반대 방향, 즉 운전자들이 피해야 하는 방향으로 경고신호를 제시하여야 경고신호의 위치와 조향장치 반응 방향 사이의 부합성이 이루어지고 수행에서의 효율성이 증가한다는 것이다.

이와는 대조적으로 대부분의 경우 사람들은 다른 차량이나 보행자로부터 회피하는 반응을 운전 경험을 통해 학습하였기 때문에, 자극-반응 조합에서 비부합하는 경고신호(회피 대상이 위치한 지점에서 경고신호를 제시하는 것)가 더 적합하다는 연구 결과도 제시되었다(Campbell et al., 1996). 이러한 효과는 반응의 자동적 위치-기반 활성화라 부르는데, 운전과 같은 특수한 상황에서 운전자는 자신에게 청각적으로 제시되는 소리나 혹은 시각적으로 제시되는 물체에 대해 방어적이거나 이들을 회피하는 방향으로 움직이는 것이 학습되어 있다는 것이다. 이 때문에 위험한 대상이 존재하는 방향에서 경고신호를 제시하여야 운전자가 본능적으로 이를 회피한다는 것이다. 이러한 가정에 기초하여 수행된 한 운전 시뮬레이션 연구(Müsseler, Aschersleben, Arning, & Proctor, 2009)에서는 젊은 운전자와 노인 운전자 집단 모두 자극-반응에 부합 조건에 비해 자극-반응에 비부합 조건에서 조향장치 조작 속도와 정확도가 상대적으로 더 높다는 것이 밝혀졌다.

충돌 경고 시스템에 대한 자극-반응 부합성의 효과는 경고 제시시점과 관련지어 연구되기도 하였다. Straughn과 Gray(2009)는 차량과 보행자가 충돌하기 까지 걸리는 시간인 TTC (time to contact)를 2초와 4초 조건으로 나누어 각각의 TTC 조건에 따른 경고신호와 조향장치 반응간의 자극-반응 부합성 효과를 비교하였다. 그 결과, TTC가 2초인 조건에서 운전자는 경고신호가 조향장치 반응방향과 일치하지 않는 조건(자극-반응 비부합 조건)보다 일치하는 조건(자극-반응 부합 조건)에서 보행자 충돌 회피 반응이 더 우수하다는 것을 관찰하였다. 이외는 대조적으로 TTC가 4초인 조건에서는 이와는 반대의 결과가 얻어졌는데, 운전자는 경고신호가 조향장치 반응방향과 일치하는 조건(자극-반응 부합 조건)보다 일치하지 않는 조건(자극-반응 비부합 조건)에서 상대적으로 더 우수한 보행자 충돌 회피 반응이 나타났다. 이러한 결과는 경고에 따른 운전자의 보행자 충돌회피 수행에 대해 충돌 경고 시스템의 경고 제시시점과 자극-반응 부합성이 서로 상호 작용하는 효과를 가질 수 있음을 시사한다.

경고 제시 시점

운전자에게 언제 경고를 제시할 것인가는 보행자 충돌 경고 시스템 설계에서 매우 중요한 문제이다. 일반적인 의미에서 경고 제시시점은 단순히 시스템이 보행자를 탐지한 이후 이를 운전자에게 제공하는 시점으로 정의될 수도 있지만 운전자를 위한 보행자 충돌 경고 시스템 연구에서는 경고 제시시점과 TTC가 같은 의미로 사용된다. 즉, 경고 제시시점은 경고 제시 후 특정 시간이 경과하면 보행자와의 충돌이 발생할 것이라는 것을 알려주는 것

으로 정의된다. 예를 들어 경고 제시시점이 3초라면 경고 제시 후 운전자가 조향장치나 브레이크를 통한 적절한 반응을 취하지 않을 경우 3초 후에 보행자와의 충돌이 발생한다는 것을 의미한다.

일반적으로 사람이 기대하지 못했던 대상에 대해 반응하기까지 소요되는 시간은 2초에서 4초 사이라는 것이 밝혀졌는데(Lee et al., 1997), 이 시간은 정보처리적 관점에서 보면 사람이 대상을 지각한 후 반응을 실행하는 단계까지의 소요시간을 의미하는 것이다. 이러한 결과에 기초하여 차량 내 충돌 경고 시스템 연구에서는 경고를 주로 충돌 2초 전에서 4초 전 사이의 시점으로 제시한다(이재식, 2003; Jenkins, Stanton, Walker, & Young, 2007). 그러나 앞에 있는 차량을 지각하는 것과 주변 시 영역인 좌우에서 등장하는 보행자를 지각하는 시간에는 분명 차이가 있을 것으로 보인다. 위에서 언급한 Straughn 등(2009)의 연구에서는 좌우에서 등장하는 보행자와의 TTC 조건을 2초와 4초로 구분하여 실험을 진행하였다. 실험 결과, 2초 조건과 4초 조건에서 보행자와의 충돌비율에 유의한 차이를 보이지 않았고 모든 시행의 충돌비율은 8% 미만이었다. 그러나 이러한 결과는 운전자에게 매 시행마다 항상 보행자가 출현할 것이라고 기대하도록 유도한 실험 상황으로부터 나온 것이다. 이 때문에 운전자는 보행자에게 주의를 기울일 필요없이 단순히 청각신호에 따라 조향장치를 조작하는 과제만 수행하였을 것이고, 이에 따라 보행자와의 충돌이 적게 관찰되었던 것으로 보인다. 따라서 본 연구에서는 경고가 제시되었지만 실제로는 보행자가 출현하지 않는 헛경보 상황을 추가하고자 한다. 많은 경우에 시스템 센서들이 완전하지 않고 이에 따

라 헛경보가 제시될 수 있다는 점을 감안하면 이러한 실험처치는 현실적으로도 어느 정도 타당하다고 할 수 있을 것이다. 본 실험에서는 전체 시행 중 10%에 해당하는 시행은 경고가 제시된 상황에서 보행자가 출현하지 않도록 조작하였다.

이러한 헛경보 시행의 추가를 통해 얻을 수 있는 더 중요한 이점은 이러한 조작을 통해 제시시간에 따른 보행자 충돌 시스템의 효과를 좀 더 민감하게 관찰할 수 있을 것이라는 점이다. 운전자들은 보행자가 실제로 출현하였는지 여부를 분명하게 확인하는 과정을 거친 후 조향장치 반응을 해야 하기 때문에 도로의 좌우 방향 모두를 탐색해야 할 것이다. 그리고 보행자에 대한 시각적 탐색 과정 없이 반응하는 경우에 비해 도로의 좌우를 모두 탐

색한 후 반응하는 경우에는 더 많은 시간이 소요될 것이다. 이러한 가정이 타당하다면 운전자가 보행자를 탐지/제인하여 반응실행을 완료하기까지 요구되는 시간에 비해 TTC 2초는 매우 짧은 시간이 될 수 있다. 따라서 선행연구 결과와는 달리 본 연구에서는 TTC 2초와 TTC 4초의 경고 제시시점 조건에 따른 운전자의 충돌회피 비율에서 차이가 있을 것으로 보인다.

운전자 주의분산

운전자가 수행해야 하는 일차 제어 과제는 그림 1에서 볼 수 있듯이 차선을 유지하는 것과 도로상에 존재하는 위험요소를 감시하는 것이고, 이런 과제들은 일차 시각 주의 영역(primary visual attention lobe, PVAL)의 영향을 받는다(Mourant & Rockwell, 1972). 이 때, 안전의 측면에서 가장 중요한 것은 PVAL로부터 운전자의 시각적 주의를 빼앗아가는 다른 과제들과의 경쟁이라 할 수 있다. 바로 운전자의 주의분산 과제(운전 중 내비게이션 조작, DMB 시청 등)와 일차 제어 과제간의 경쟁인 것이다(Dingus, Antin, Hulse, & Wierwille, 1988).

이런 운전 중 주의분산의 종류는 음식물 섭취, 라디오 사용, 승객과의 잡담, 휴대전화 사용, 차량 내 장치 조작 등이 있다(이세원, 이재식, 2009). 최근에는 내비게이션 시스템과 스마트폰, 블랙박스과 같은 장비들도 운전자의 주의분산에 영향을 준다. 이러한 주의분산은 전체 교통사고 중 대략 10% ~ 30%의 원인을 차지하며 이는 도로 안전을 위협하는 중요한 요인이 된다(Wallace, 2003).

주의분산을 일으키는 대상의 자극양상은 주로 청각, 시각, 혹은 촉각자극 등으로 이루어

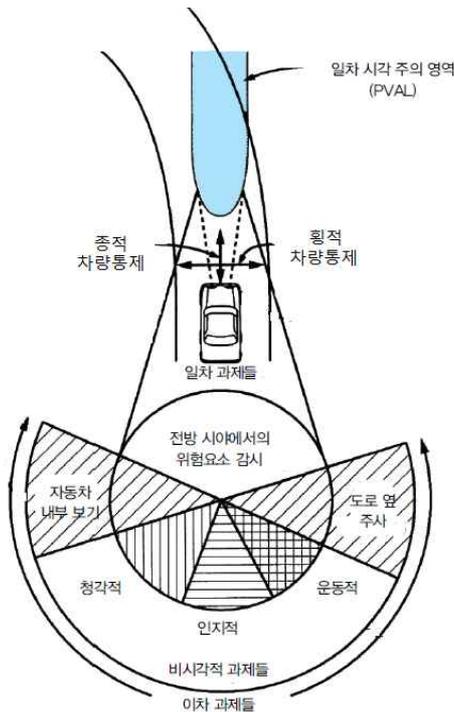


그림 1. 운전 과제 분석(Wickens, Lee, Lui, & Gorden-Becker, 2004)

져있다. Wickens(1984)의 중다자원 이론에 따르면 두 가지의 과제가 감각 혹은 반응 차원에서 서로 유사하면 이들 사이에 간섭이 일어나게 되고 수행이 저하된다고 한다. 다시 말해, 두 개의 청각신호는 하나의 시각신호, 하나의 청각신호보다 운전자에게 더 많은 간섭을 일으킨다는 것이다. 곧 시각적 입력과 공간적 부호, 그리고 수동반응으로 이루어진 운전 과제는 청각적 입력과 언어적 부호, 그리고 구두반응으로 이루어진 휴대전화 사용과 같은 과제로부터 크게 간섭을 받지 않는다는 것이다. 이러한 이론적 설명에 대해 많은 실험 연구가 진행되었고, 그 결과 휴대전화로 일상적인 대화를 하는 것은 운전자의 운전 수행에 크게 영향을 미치지 않는다고 보고하였다(Brown, Simmonds, & Tickner, 1967; Reed & Green, 1999; Brookhuis, de Vries, & de Waard, 1991). 하지만 도로의 복잡성이나 운전과제의 유형(선행 차량과의 차간거리 유지)과 같은 다른 변인들을 조작하였을 경우, 휴대전화사용이 운전자의 운전 수행의 질을 저하시킨다는 연구 결과가 제시되었다(Strayer, Drews, & Johnston, 2003; Lamble, Kauranen, Laakse, & Summala, 1999). 즉, 자극 양상이 다른 하나의 주의분산 과제는 운전 수행에 크게 영향을 미치지 못하지만 다른 변인이 추가적으로 제공되거나 과제가 단순히 도로를 주행하는 항행 과제보다 좀 더 주의를 요구하는 경우 운전 수행에 크게 영향을 미치는 것이다.

그렇다면 경고 시스템의 경고신호를 듣고 반응하는 과제 또한 운전자의 주의분산에 의해 영향을 받을 수 있을 것이다. 이러한 의문에 대한 연구로 경고 시스템과 주의분산 간의 관련성을 살펴본 실험을 살펴보면, 운전자가 경고신호를 듣고 선행 차량과의 충돌상황에

대처하는 반응을 할 때, 경고신호의 자극 양상과 주의분산 과제의 자극 양상에 따라 운전자의 운전 수행이 달라진다고 보고되었다(이세원, 이재식, 2009). 운전자에게 다른 유형의 경고를 제시한 후 전방의 급정거하는 차량에 대한 브레이크 반응을 보았는데 청각 경고를 제시한 경우, 운전자가 DMB를 시청하거나 휴대전화를 사용할 때에는 경고를 제시하지 않은 통제조건과 비교하여 전방차량과의 충돌 비율에서 유의한 차이가 없었다. 그러나 시각 경고를 제시할 경우에는 휴대전화를 사용하거나 주변을 검색(내비게이션 사용)하는 주의분산 과제가 운전자의 전방차량 충돌비율을 더 높인다는 결과를 제시하였다.

본 연구에서의 주된 과제는 청각 경고를 제시하여 운전자에게 접근하는 보행자에 대한 적절한 회피반응을 하도록 하는 것이다. 실제로 운전 상황에서 운전자의 주의분산을 완전히 통제하는 것은 불가능하기 때문에, 주의분산 과제가 주어졌을 때 운전자가 보행자 충돌 경고 시스템의 경고 신호를 듣고 어떤 회피반응을 보이는지 알아보는 것은 중요하다. 또한 청각신호가 제시되므로 주의분산의 유형(시각 혹은 청각)에 따라 차이가 날 수도 있을 것이다. 그러므로 본 연구에서는 주의분산 상황을 조작적으로 구현 가능한 시뮬레이션 실험을 통해 운전자가 보행자를 회피하는 일차 과제와 더불어, 운전자에게 주의분산 과제를 이차과제로 수행할 경우 일차과제의 수행이 어떠한 차이를 보이는가를 관찰하고자 하였다.

연구목적

본 연구는 차량 내 보행자 충돌 경고 시스템이 자극-반응 부합성 조건(일치 vs. 불일치)

과 경고 제시시점(TTC: 2초 vs. 4초) 및 주의분산 조건(통제조건 vs. 시각 주의분산 vs. 청각 주의분산)의 조합 조건에 따라 운전자의 보행자 회피반응에 어떠한 차별적 효과를 갖는지 운전 시뮬레이션을 이용하여 살펴보고자 한다. 본 연구의 구체적인 연구문제를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 자극-반응 부합성, 경고 제시시점, 주의분산 유형은 운전자의 보행자 회피반응에서 어떠한 차이를 보이는가?

둘째, 모든 독립변인을 통합적으로 고려하였을 때 운전자에 대한 보행자 충돌 경고는 어떤 방식으로 제시하는 것이 바람직한가?

먼저, 자극-반응 부합성과 경고 제시시점을 다룬 Straughn 등(2009)의 연구에서 다루지 않았던 주의분산 조건과 헛경보 조건을 추가하여 이러한 조건에서 이전의 연구와 어떤 차이가 있는지 반복 검증을 해보고자 한다. 기존 연구에서 경고 제시시점이 2초인 조건에서는 자극-반응 부합 조건이 더 우수하였고 4초인 조건에서는 자극-반응 비부합 조건이 더 우수하였다고 보고하였는데, 모든 시스템의 설계에서 가장 우선적으로 준수되어야 하는 원리 중 하나는 바로 일관성이다. 즉, 시스템은 오퍼레이터에게 일관된 방식으로 정보를 제공하고 반응할 수 있도록 설계되어야 한다. 기존 연구에서는 연구자들에 따라 경고 제시시점과 자극-반응 부합성 조건 모두에서 일관적인 결론을 내고 있지 않다. 따라서 본 연구에서 탐구하고자 하는 핵심적인 부분은 운전자의 주의분산 조건과 헛경보 조건이 추가된 환경에서 얻어진 다양한 종속측정치들의 차이를 종합적으로 고려해 볼 때 보행자 충돌 청각 경고 시스템이 어떠한 일관된 방식으로 정보를 제공하는 것이 바람직한가에 대한 것이다.

방 법

실험 참가자

OO광역시의 P대학교에서 심리학 수업을 수강하는 대학생 중 운전면허를 소지한 55명의 학생이 가산점을 받는 조건으로 실험에 참가하였다. 실험참가자의 평균 연령은 21.85세(SD = 2.03)였으며, 남학생 35명과 여학생 20명이었다. 실험참가자의 평균 운전경력은 4.29개월(SD = 7.83)이었다.

실험 장치 및 도구

운전 시뮬레이터

운전 시뮬레이션 제작 및 실험은 Forum8의 UC-win/Road 7.1.2 Driving Sim 프로그램을 통해 구현되었다. 실험 진행 및 데이터 저장을 위한 주통제 컴퓨터는 Intel(R) Core(TM) i7 CPU 870 2.93GHz 사양의 데스크톱이 사용되었고, 실험에 사용된 시뮬레이션은 운전자 전방 1.3m에 위치한 74인치(가로 : 세로 = 5 : 3) 스크린 위에 프로젝터(Sharp XV-Z17000)을 통해 제시되었다. 운전 시뮬레이션의 조작은 Logitech Driving Force GT 조이스틱이 사용되었고, 경고신호, 엔진 소음, 주변 소음 및 청각 주의분산 과제는 Britz의 BR 5100T 5.1채널 스피커를 통해 제시되었다. 구체적으로, 총 4개의 스피커 중 운전자 전방 두개의 스피커를 통해 엔진 소음, 주변 소음 및 청각 주의분산 과제를 제시하였고 운전자의 좌측과 우측의 100cm지점에 위치한 각각의 스피커를 통하여 경고신호를 제시하였다. 경고신호는 UC-win/Road 7.1.2 Driving Sim의 내비게이션 알람신호 효과음(notice.wav)을 선행연구(이재식, 이세원,

2009) 와 동일한 크기인 100dB로 제시하였다. 경고신호의 제시방법에 대해서는 운전시나리오 부분에 설명하였다.

운전 시나리오

운전 시나리오에 사용된 도로는 일직선 6000m의 3차선 도로였으며 운전자가 주행하는 방향의 도로만 존재하는 일방통행 도로로 제작하였다. 날씨는 운전자가 보행자를 경고 신호가 제시되는 시점보다 빠르게 탐지하는 것을 통제하기 위하여 안개가 있는 흐린 날씨로 제작하였으며 운전자의 차량 외에 다른 차량은 존재하지 않았다.

실험자의 지시에 따라 운전자는 3차선으로 구성된 도로의 2차선을 주행하였고 경고신호와 함께 보행자가 등장하면 브레이크 반응을 하지 않고 보행자가 등장하는 방향의 반대 차선으로 차량을 조작하여 보행자를 추월하는 방식으로 회피반응을 하도록 하였다. 보행자를 추월한 이후에는 다시 2차선으로 이동하여 직선 도로를 주행하며 다음 경고신호가 제시되기 전에는 차선을 이동하지 않도록 지시받았다.

운전 시나리오는 경고 제시시점, 자극-반응 부합성, 주의분산 유형의 독립변인 조합에 따라 총 12개로 제작되었으며 각각의 독립변인 조건에 따라 시나리오들은 다음과 같은 차이가 있었다. 첫째, 경고 제시시점에 따라 TTC가 4초인 조건에서는 경고신호 제시 후 보행자가 4km/h의 속도로 좌측 또는 우측 방향에서 도로 안으로 걸어 들어오고, TTC가 2초인 조건에서는 경고신호 제시 후 보행자가 9km/h의 속도로 좌측 또는 우측 방향에서 도로 안으로 뛰어 들어왔다. TTC의 두 조건 모두 경고신호가 제시된 후 운전자의 시야각에 등장

하는 보행자의 위치는 보행로 주변에 위치한 나무의 후방이었고, 등장한 위치로부터 TTC조건에 맞추어 차량에 접근하였다. 실험 참가자가 경고 신호와 관계없이 미리 보행자를 발견하고 반응을 준비하는 상황을 방지하고 보행자의 출발 위치를 동일하게 통제하기 위하여 TTC조건에 따라 보행자의 속도를 조절하였고 이에 따라 실험 참가자의 시야각에 등장하는 보행자의 위치를 동일하게 제시하였다.

둘째, 자극-반응 부합성에 따라 자극-반응 부합 조건은 경고신호가 보행자가 등장하는 방향과 반대방향에서 제시되었다. 예를 들어, 보행자가 오른쪽에서 등장하는 경우, 경고신호는 왼쪽에서 제시되었다. 이는 운전자가 오른쪽에서 등장하는 보행자를 회피하기 위해 좌측 차선으로 이동하여야 하고, 조향장치를 시계 반대방향으로 조작해야 되기 때문에 경고신호의 위치와 조향장치 반응이 부합되는 조건이다. 이와는 반대로 자극-반응 비부합 조건에서는 경고신호가 보행자가 등장하는 방향에서 제시되었다. 예를 들어, 보행자가 오른쪽에서 등장하는 경우, 경고신호는 오른쪽에서 제시되었다. 경고신호의 위치는 오른쪽에서 제시되었지만 운전자는 좌측 차선으로 이동하기 위해 조향장치를 시계 반대 방향으로 조작해야 되기 때문에 경고신호의 위치와 조향장치 반응이 비부합되는 조건이 된다.

셋째, 주의분산 유형 조건에 따라 통제조건에서는 운전자가 보행자를 회피하는 일차과제만을 수행하였다. 시각 혹은 청각 주의분산 조건에서는 운전자가 일차과제와 함께 시각 자극 또는 청각자극에 대해 요구되는 추가적 이차과제를 수행하였다. 본 연구에서는 이러한 이차과제의 수행이 운전자들의 주의를 분산시키는 효과를 가져 올 것으로 가정한다. 본 실



그림 2. 실험의 한 예시

험에서의 실험장면의 한 예시는 그림 2에, 그리고 전반적인 운전 시나리오는 그림 3에 각각 제시하였다.

주의분산 과제

본 실험에서는 시각적 주의분산 과제와 청각적 주의분산 과제가 사용되었다. 첫째, 시각적 주의분산 과제는 실험 참가자에게 화면 중앙으로부터 15° 상단에 동물 혹은 식물 명칭을 나타내는 단어들 2초 간격으로 하나씩 제시되었다. 또한 실험 참가자에게 운전과제를 수행하면서 동시에 식물을 나타내는 단어가 제시될 경우 그것을 큰 소리로 읽도록 지시하였다. 일반적으로 시각 영역의 유효 시야 범위는 운전자의 응시점을 기준으로 상하좌우 각각 8°, 15°, 15°, 15°다(전용욱, 안성용, 박봄, 김상규, 최정필, 2011). 본 실험의 운전 과제가 화면의 중앙을 응시해야 하는 과제이기 때문에 15° 상단에 제시되는 자극은 중심 시야의

바깥 영역에 위치하게 되고 따라서 운전자는 안구를 이동하여 단어를 응시해야 해당 단어가 어떤 단어인지 판단할 수 있다. 둘째, 청각적 주의분산 과제는 중앙의 스피커를 통해 시각적 주의분산 과제와 마찬가지로 동물 혹은 식물 명칭 단어를 2초 간격으로 1개씩 65dB의 크기로 들려주었고 실험참가자에게는 제시되는 단어를 듣고 식물을 나타내는 단어가 제시될 경우 따라 그 단어를 따라 말하도록 지시하였다. 주의분산 과제에서 실험참가자의 모든 응답은 Windows 녹음기 프로그램을 사용하여 녹음되었다.

동물과 식물 명칭 단어는 한국어 문법어휘 빈도(김현수, 이재식, 신현정, 이창환, 2007)를 참고하여 고빈도 순으로 2음절 단어 40개(동물 20개, 식물 20개)를 추출하였으며 각각의 단어는 무선할당되어 제시되었다.

중속변인

운전자의 보행자 회피반응을 알아보기 위해 다음의 다섯 가지 중속변인들을 측정하였다.

첫째, 최초 회피반응시간은 경고신호가 제시된 시점부터 운전자가 보행자와의 충돌을 회피하기 위해 조향장치를 최초로 조작하기까지의 경과시간이다. 최초 회피반응시간이 짧을수록 회피반응이 더 우수하다고 평가된다.

둘째, 조향장치 회전각이다. 운전자가 회피 반응을 하면서 최대 회전한 조향장치 회전



그림 3. 실험 절차

각을 최초 회피반응시간부터 조향장치를 최대로 회전할 때까지 걸린 시간으로 나누어 정의하였다. 조향장치 회전각도가 클수록 시간 당 조작된 조향장치의 회전각도가 큰 것이고, 이는 운전자들이 조향장치를 급하게 조작하였다는 것을 시사한다. 운전자가 경고 시스템의 도움을 제대로 받지 못했다면 보행자를 피하기 위해 더 급하고 빠르게 차량의 방향을 움직이기 때문에 조향장치 회전각도가 클수록 운전자의 수행이 저조한 것으로 평가된다.

셋째, 보행자와의 거리는 운전자의 보행자 충돌 회피반응이 완료되어 운전자 차량이 보행자를 추월하는 시점에서 측정된 차량과 보행자 사이의 거리로 정의하였다. 차량과 보행자와 사이의 거리가 멀수록 회피반응이 더 우수하다고 평가된다.

넷째, 보행자와의 충돌비율이다. 전체 시행 중 보행자와 차량이 충돌한 횟수를 백분율로 변환하여 측정하였다. 보행자 충돌비율이 높을수록 회피반응이 더 저조하다고 평가된다.

다섯째, 도로이탈 비율이다. 전체 시행 중 운전자가 보행자와의 충돌을 회피하기 위한 반응을 보이는 과정에서 차선을 넘어 도로의 바깥으로 넘어간 횟수를 백분율로 변환하여 사용하였다. 이 측정치는 운전자가 보행자와의 충돌을 회피하기 위해 너무 과도하게 조향장치를 조작함으로써 차량에 대한 횡적통제를 상실하였다는 것을 반영한다. 도로이탈 비율이 낮을수록 회피반응이 더 우수하다고 평가된다.

본 연구에는 운전자의 브레이크 반응과 관련된 변인은 측정하지 않았다. 이는 기존 연구들의 실험 방법과 일관성을 유지하여 선행 연구에서 밝혀진 결과와 비교하는 것이 중요한 목적 중 하나였기 때문이며 이에 따라 운

전자들에게 종적통제, 즉 브레이크 반응은 측정하지 않고, 횡적통제만으로 보행자와의 충돌을 회피하도록 지시하였다.

실험 절차

실험을 실시하기 전에 실험참가자는 먼저 실험참가에 대한 동의서와 인구 통계학적 질문지를 작성하였다. 이후 조향장치와 가속 및 감속 페달이 장착된 좌석에 착석하여 운전하기 편하도록 좌석을 조절하였다. 실험자는 운전자가 수행해야 할 과제와 유의사항이 적혀 있는 실험 설명서를 구두로 전달하였다. 그 후, 실험참가자는 차선을 여러 번 변경하는 과제와 좌측 혹은 우측에서 출현하는 보행자를 회피하는 과제가 포함된 연습주행을 5분 동안 실시하였다. 이 때, 연습시행에 사용된 도로환경은 본시행의 환경과 동일하게 제작되었다.

본시행은 독립변인의 조합에 따라 총 12개의 시나리오로 구성되어 있으며, 각각의 시나리오는 총 10회의 경고신호(좌측 4회, 우측 4회, 헛경보 2회)가 무선적으로 제시되었다(총 120시행). 하나의 시나리오에서 실시하는 10회의 경고신호 중, 실제로 보행자가 등장하는 것은 8회였고, 나머지 2회는 합정시행으로 헛경보를 제시하여 실험참가자가 경고신호에 맞춰 무조건적으로 반응하지 않도록 통제하였다. 12개의 시나리오는 참가자마다 무선적으로 배치되었으며 각각의 시나리오에서 제시되는 10번의 경고신호의 위치(좌, 우)역시 무선적으로 배치되었다. 실험참가자가 한 시나리오를 수행하는데 걸리는 시간은 약 4분 정도 소요되었으며, 여섯번째 시나리오가 끝난 후 5분간의 휴식을 가지고 이후 나머지 시나리오를 실

시하였다. 실험을 진행하는 총 시간은 약 60 분 정도 소요되었다.

분석 방법

본 연구는 한명의 실험참가자가 경고 제시 시점(TTC: 2초 vs. 4초), 자극-반응 부합성(부합 vs. 비부합) 및 주의분산 유형(통제조건 vs. 청각 주의분산 vs. 시각 주의분산)의 조합조건들에 모두 참여하는 2 x 2 x 3 반복측정 요인설계로 구성되었다.

분석방법은 IBM SPSS Statistics 21을 사용하여 앞서 기술한 다섯 가지 종속변인을 삼원 반복측정 변량분석을 사용하여 각각 분석하였고 실험에 참가한 전체 55명 중 운전 수행 데이터 값이 저장오류로 기록되지 못한 5명의 데이터를 제외하고, 최종적으로 50명의 자료가 분석에 사용되었다.

본 실험의 분석과정에서 통계적 임계치는 5%로 정하였다. 그러나 필요하다고 판단되는 경우에는 이 임계치를 초과하더라도 임계치에 근접한 결과(10% 이내의 임계치)도 분석에 추가하여 설명하였다.

또한 분석 과정에서 변인들 사이의 상호작용 효과가 있을 경우 각 변인이 갖는 주효과에 대한 해석은 상대적으로 중요하게 다루어지지 않는 것이 일반적이다. 그러나 본 연구에서는 운전자의 주의분산 조건을 추가함으로써 좀 더 현실적인 운전 조건을 통해 운전자의 보행자 충돌회피 반응을 살펴보고자 하였기 때문에 각각의 독립변인들 자체가 갖는 효과도 의미가 클 것으로 판단하고 필요한 경우 독립변인 자체가 갖는 주효과에 대해서도 해석하고자 한다.

결 과

총 다섯 가지 종속변인에 대한 모든 기술 통계값은 표 1에서 볼 수 있다. 아래에는 각각의 종속변인에 대한 결과를 순서대로 요약해 놓았다.

최초 회피반응시간

최초 회피반응시간에서의 TTC와 주의분산 유형 사이의 이원 상호작용이 유의하였다($R^2, 98) = 14.46, p < .001, \eta^2 = .23$). 이러한 상호작용 효과는 TTC가 2초인 조건에서는 주의분산 유형에 따른 운전자의 최초 회피반응시간에서 차이가 유의하지 않았던 반면, TTC가 4초인 조건에서는 주의분산 유형 중 시각 주의분산 조건에서 최초 회피반응시간이 유의하게 길었기 때문이다(그림 4). 시각 주의분산 조건의 경우, 운전자가 보행자와 동일한 유형인 시각자극으로 제시되는 단어에 주의를 기울이게 되기 때문에 경고신호가 제시된 후에도 시각 주의분산 과제를 계속해서 수행하다가 뒤늦게 보행자를 회피하는 것으로 보인다. TTC가 2초인 조건에서는 보행자가 급하게 뛰어나오기 때문에 운전자는 경고신호에 맞춰 보행자를 회피하는 일차과제를 우선적으로 수행할 수 밖에 없지만 TTC가 4초인 경우에는 경고신호가 제시된 후, 보행자가 천천히 걸어서 등장하기 때문에 상대적으로 단어를 판별하는 일차과제에 주의를 기울이다가 보행자와의 거리가 충분히 좁혀졌을 때, 보행자를 회피하는 일차과제를 수행한 것으로 보인다.

표 1. 독립변인에 따른 종속변인의 평균(M)과 표준편차(SD)

변인	TTC		부합			비부합		
			통제조건	청각 주의분산	시각 주의분산	통제조건	청각 주의분산	시각 주의분산
최초 회피반응 시간 (초)	2초	M (SD)	.68 (.07)	.71 (.07)	.72 (.07)	.67 (.06)	.70 (.07)	.70 (.07)
	4초	M (SD)	1.12 (.20)	1.11 (.22)	1.21 (.24)	1.08 (.23)	1.12 (.23)	1.23 (.23)
조향장치 회전각 (도)	2초	M (SD)	145.97 (105.16)	131.94 (79.40)	137.53 (74.37)	117.34 (57.03)	121.44 (59.94)	139.70 (63.74)
	4초	M (SD)	28.63 (14.10)	35.00 (19.24)	39.42 (21.36)	30.67 (25.18)	31.82 (15.95)	42.60 (49.33)
보행자와의 거리 (m)	2초	M (SD)	2.21 (.66)	2.06 (.63)	2.18 (.53)	2.04 (.49)	2.06 (.59)	2.17 (.56)
	4초	M (SD)	2.59 (.39)	2.55 (.39)	2.56 (.46)	2.53 (.41)	2.58 (.47)	2.61 (.42)
보행자와의 충동비율 (%)	2초	M (SD)	27.59 (24.64)	35.17 (28.23)	24.26 (22.68)	29.48 (23.74)	26.84 (25.38)	24.02 (23.96)
	4초	M (SD)	5.54 (10.79)	8.01 (13.05)	3.80 (8.35)	7.50 (15.32)	8.01 (12.82)	2.26 (7.68)
도로이탈 비율 (%)	2초	M (SD)	22.68 (17.61)	25.49 (23.85)	32.44 (26.08)	22.18 (21.00)	25.55 (23.16)	34.19 (25.92)
	4초	M (SD)	20.94 (18.04)	22.48 (21.23)	25.13 (22.75)	22.59 (17.18)	20.05 (20.11)	24.86 (20.31)

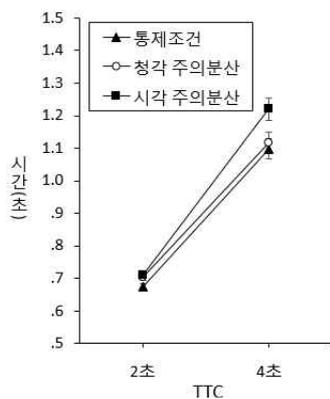


그림 4. 최초 회피반응시간에서 TTC와 주의분산간의 상호작용

조향장치 회전각

조향장치 회전각에서 TTC와 자극-반응 부합성간의 이원상호작용은 유의수준에 근접하는 결과를 보였다($F(1, 49) = 3.96, p = .052, \eta^2 = .08$). 이러한 상호작용 결과는 TTC가 4초인 조건에서의 자극-반응 부합조건과 자극-반응 비부합조건 사이의 조향장치 회전각 차이보다, TTC 2초인 조건에서의 차이가 더 크기 때문에 나타난 것으로 보인다(그림 5). 단순 주효과 분석 결과, TTC 2초 조건에서 자극

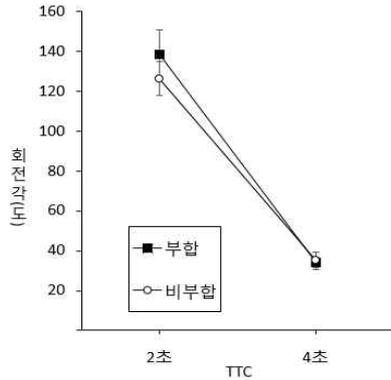


그림 5. 조향장치 회전각에서 자극-반응 부합성과 TTC간의 상호작용

-반응 부합조건이 자극-반응 비부합 조건보다 조향장치 회전각이 큰 것으로 나타났다($R(1, 49) = 229.61, p < .001$).

각각 독립변인들의 주효과 분석결과, TTC의 주효과($R(1, 49) = 173.17, p < .001, \eta^2 = .78$)와 자극-반응 부합성의 주효과($R(1, 49) = 5.80, p < .05, \eta^2 = .11$), 그리고 주의분산 유형의 주효과($R(1, 98) = 4.46, p < .05, \eta^2 = .08$) 모두 유의하였다. TTC가 2초인 조건에서는 TTC가 4초인 조건보다 조향장치 회전각도가 컸으며, 자극-반응 부합 조건이 자극-반응 비부합 조건보다 조향장치 회전각이 컸다. 또한 주의분산 유형에서는 시각 주의분산 조건이 통제 조건에 비해 조향장치 회전각이 유의하게 큰 것을 알 수 있었다($R(2,48) = 6.44, p = .003, \eta^2 = .21$).

정리하면 첫째, 운전자와 보행자간의 TTC가 2초일 때 경고신호가 제시되면 TTC가 4초일 때 비해 조향장치를 급하게 조작하였다. 둘째, 경고신호가 운전자에게 보행자를 회피해야 하는 방향으로 제시될 때, 보행자가 등장하는 방향으로 경고신호가 제시될 때보다 더 조향장치를 급하게 조작하였다. 셋째, 운전자에게

시각 주의분산 상황이 발생할 때에는 청각 주의분산 상황이나 주의분산이 없는 상황에 비해 더 급하게 조향장치를 조작하였다.

보행자와의 거리

보행자와의 거리에서 자극-반응 부합성과 주의분산 유형 사이의 상호작용 효과가 유의한 수준에 근접하였다($R(2, 98) = 2.95, p = 0.57, \eta^2 = .06$). 그림 6에 제시되어 있듯이 이러한 상호작용효과는 다른 주의분산 조건과는 달리 통제집단에서 자극-반응 부합성에서 따른 차이가 크기 때문인 것으로 보인다. 단순 주효과 분석 결과 통제조건에서는 자극-반응 비부합 조건에 비해 자극-반응 부합 조건에서 보행자와의 거리가 유의하게 멀었다($R(1,48) = 5.05, p < .05$). 즉, 주의분산 과제를 수행하지 않을 때에는 자극-반응 부합 조건이 보행자와의 거리가 크지만, 운전자가 주의분산 과제를 수행하는 조건에서는 자극-반응 부합성의 효과가 사라지는 것으로 보인다.

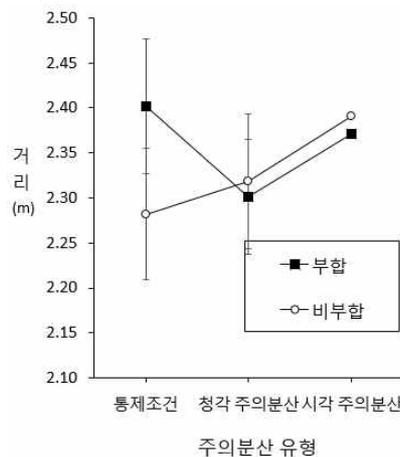


그림 6. 보행자와의 거리에서 주의분산과 자극-반응 부합성간의 상호작용

각각 독립변인에 대한 주효과 분석 결과, TTC의 주효과($R1, 49$) = 63.04, $p < .001$, $\eta^2 = .56$)가 유의하였다. 즉, TTC가 4초인 조건에서는 TTC가 2초인 조건보다 차량과 보행자 사이의 거리가 더 멀었는데, 이것은 TTC가 4초인 경우에 운전자가 좀 더 안전하게 보행자와 충돌을 회피했다는 것을 시사한다.

보행자 충돌비율

먼저 선행연구에서는 운전자가 보행자와 충돌하는 비율이 8% 정도로 매우 낮았다고 보고하였지만 본 실험에서는 전체 시행 중 보행자 충돌비율의 평균이 20%로 선행연구에 비해 높은 비율로 운전자가 보행자와 충돌하였음이 관찰되었다.

독립변인들 사이의 상호작용 효과에 대한 분석 결과, 자극-반응 부합성과 주의분산 유형 사이의 이원 상호작용은 유의하였다($R2, 98$) = 3.40, $p < .05$, $\eta^2 = .07$). 그림 7에서 볼 수 있듯이, 자극-반응 부합 조건에서 청각 주의분산을 실시한 경우 자극-반응 비부합 조건에 비해 보행자와의 충돌비율이 더 높았다.

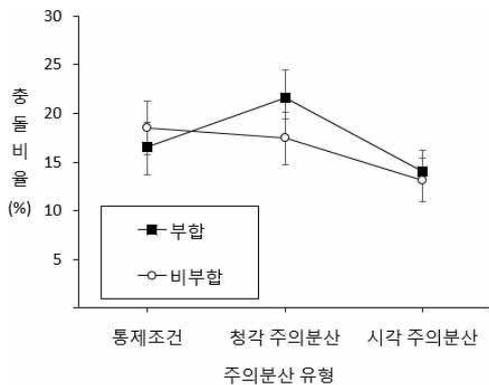


그림 7. 보행자 충돌비율에서 주의분산과 자극-반응 부합성간의 상호작용

각각의 독립변인에 대한 주효과 분석결과, TTC의 주효과($R1, 49$) = 69.85, $p < .001$, $\eta^2 = .59$)와 주의분산 유형의 주효과($R2, 98$) = 8.73, $p < .001$, $\eta^2 = .15$)가 각각 유의하였다. 즉, TTC가 4초인 조건에 비해 TTC가 2초인 조건에 보행자 충돌 비율이 더 높았는데, 특히 TTC가 2초인 조건에서 보행자와의 충돌비율은 27.9%로 선행연구(Straughn et al., 2009)에서 보고한 비율보다 3배 이상 더 높았다. TTC가 2초일 때 보행자와의 충돌 비율이 높아야 8% 정도라는 점을 감안하면 이러한 결과는 TTC가 2초일 때 경고신호를 제시하는 것은 보행자와 충돌 회피에 큰 도움이 되지 못할 수 있다는 것을 시사한다.

운전자의 주의가 분산된 경우와 그렇지 않은 경우에서 보행자 충돌 비율의 차이가 있는지 단순 주효과 분석을 통해 비교한 결과. 통제 조건과 청각 주의분산 조건간에 유의한 차이는 발견되지 않았지만 시각 주의분산 조건은 두 조건에 비해 보행자 충돌비율이 유의하게 더 적었다($R2, 48$) = 8.49, $p < .001$, $\eta^2 = .26$). 이는 일반적으로 운전자의 운전 수행이 시각 주의분산 과제의 영향을 많이 받아 수행이 더 저하될 수 있다는 기존 연구의 일반적 결과(Wickens, 1984)와 일치하지 않는다. 이에 대한 해석은 도로이탈 비율 부분을 함께 분석한 후 제시하였다.

도로이탈 비율

도로이탈 비율 분석결과, TTC와 주의분산 유형 사이의 이원 상호작용이 유의하였고($R2, 98$) = 3.92, $p < .05$, $\eta^2 = .07$). TTC 조건에 따라 주의분산 유형 중 시각 주의분산 조건과 통제조건 간에는 유의한 차이가 있었다($R1,$

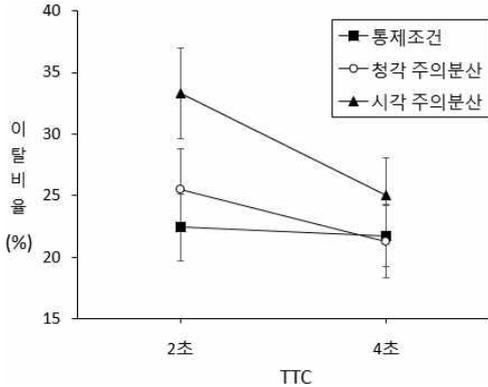


그림 8. 도로이탈 비율에서 TTC와 주의분산간의 상호작용

48) = 8.25, $p < .05$, $\eta^2 = .14$). 즉, TTC가 4초 일 때 보다 TTC가 2초인 조건일 때, 시각 주의분산 상황에서 운전자가 도로를 이탈할 비율이 더 커지는 것을 알 수 있다. 상대적으로 운전자가 보행자 회피반응을 수행할 시간이 부족한 TTC 2초의 경우에 운전 수행과 관련 있는 시각 주의분산의 간섭이 더욱 커지고 이는 곧 도로이탈 비율을 TTC가 4초인 조건에 비해 상대적으로 더욱 높이는 것으로 보인다 (그림 8).

앞서 분석하였던 조향장치 회전각 및 보행자 충돌비율과 함께 도로이탈 비율에서 관찰된 결과를 비교해 보면 운전자의 보행자 회피 반응의 특성에 대해 흥미 있는 시사점을 얻을 수 있다. 보행자와의 충돌비율은 시각 주의분산 조건이 통제조건에 비해 오히려 더 낮았는데, 이것은 운전자가 이 조건에서 더 안전한 수행하였기 때문이 아니라 운전자가 조향장치를 과도하게 조작하여 보행자와의 충돌을 회피했기 때문인 것으로 보인다. 시각 주의분산 과제의 간섭으로 인해 보행자와 대한 탐지가 어려워진 결과 운전자는 조향장치를 급하게

회전할 뿐만 아니라 도로를 이탈하는 수준까지 조향장치를 큰 각도로 조작하여 보행자와의 충돌을 회피했기 때문이라는 것이다. 조향장치 회전각도, 보행자 충돌비율 및 도로이탈 비율에서의 차이를 종합적으로 고려하면 시각 주의분산 조건에서 보행자 회피반응을 하는 것은 통제조건이나 청각 주의분산 조건에 비해 더 큰 수행의 저하를 가져 온다는 것을 시사한다.

논 의

본 연구에서는 경고 제시시점, 자극-반응 부합성, 그리고 운전자의 주의분산 유형에 따라 청각 경고로 제시되는 경고신호가 운전자의 보행자 충돌 회피반응에 어떤 영향을 주는지 비교하였다.

Straughn 등(2009)의 선행연구와 동일한 방법으로 TTC와 자극-반응 부합성에 따른 보행자와의 거리를 분석해보았을 때, TTC가 4초인 조건에서는 자극-반응 부합성에 따른 보행자와의 거리에서 차이가 발견되지 않았지만($t(49) = .83$), TTC가 2초인 조건에서는 선행연구와 동일하게 자극-반응 부합조건에서 경고신호를 제시할 때, 보행자와의 거리가 더 유의하게 크다는 결과를 알 수 있었다 ($t(49) = 2.52$, $p < .05$). TTC 4초 조건에서 본 실험의 결과가 선행 연구의 결과와 동일하지 않은 것에 대한 가능한 설명 중 하나는 바로 함정시행의 실시 여부에서 찾을 있을 것이다. 즉, 본 실험에서는 전체 시행 중 함정시행이 10% 포함되어 있기 때문에 주의분산 과제가 없는 TTC 4초의 조건에서는 경고신호의 제시에 따라 실제 보행자가 등장하는지 여부에 따른 시

각적 정보까지 충분히 확인한 후 반응하였을 것이고, 이에 따라 경고가 부합적 혹은 비부합적으로 제시되는지의 여부에 상관없이 보행자와의 충돌의 회피하는데 충분한 여유가 있었을 것이다. 이에 따라 자극-반응 부합 혹은 비부합 조건에 다른 차이가 약해진 것으로 보인다. 반면, TTC 2초의 경우에는 TTC 4초 조건에 비해 그러한 보행자 확인 과정에 대한 시간적 여유가 충분하지 않았기 때문에 단지 청각신호에만 의존하여 반응한 결과 선행 연구 결과와 동일하게 자극-반응 비부합조건에 비해 부합조건에서 추월시 보행자와의 거리에서 차이가 발생한 것으로 보인다.

이는 종속변인 중 하나인 조향장치 회전각을 통해서 다시 확인 할 수 있는데, TTC가 4초인 조건에서는 자극-반응 부합조건과 자극-반응 비부합 조건 사이의 조향장치 회전각에서 차이가 없었지만, TTC 2초인 조건에서는 자극-반응 부합조건이 자극-반응 비부합 조건보다 조향장치 회전 각도가 더 큰 것을 알 수 있다(그림 5). 즉, 경고신호가 운전자를 기준으로 보행자가 등장하는 방향에서 경고신호를 제시할 때 보다 보행자를 회피해야 하는 방향에서 제시되는 경우에 조향장치를 더 급하게 그리고 더 큰 각도로 회전시킨 것이다. 이러한 급작스러운 움직임으로 인해 TTC가 2초인 조건에서는 보행자와의 거리가 더 멀어진 것으로 보인다.

본 실험의 주요결과를 정리하면 다음과 같다. 첫째, 경고 제시시점인 TTC가 4초인 조건과 TTC가 2초인 조건에서 운전자의 보행자 회피 반응에서의 차이를 확인할 수 있었다. 그 결과, TTC가 2초인 조건에서 4초인 조건에 비해 운전자의 보행자 충돌 회피반응을 잘 하지 못하는 것으로 나타났다. 특히, 보행자 충

돌비율과 도로이탈 비율은 경고 시스템의 효율성 측면에서 매우 중요한 지표가 되는데, TTC 2초 조건에서 보행자 충돌비율이 27.89%, 그리고 도로이탈 비율이 27.09%였다. 그 이유는 본 연구에서 헛경보 조건과 주의분산 조건을 추가하였기 때문인 것으로 판단되고, 실제 사고 상황에서는 경고 시스템이 완전하지 못하다는 점과 운전자의 주의를 분산된 경우가 많다는 점을 고려하면 기존 연구에 비해 본 연구가 좀 더 현실을 반영한 것으로 생각된다. 따라서 보행자 청각 경고 시스템에서 TTC가 2초일 때 제공되는 청각경고는 운전자의 보행자 회피반응에 큰 도움이 되지 못할 것으로 보인다.

그러나 경고를 제시하는 시점은 상대 보행자의 움직임과 위치에 따라 TTC 2초에 주어질 수도 있는 것이 사실이다. 이러한 경우를 위한 대안적 방안으로 중복정보를 제시하는 방법을 제안할 수 있다. 두 가지 경고신호(청각 그리고 촉각)를 동시에 사용하되, 운전자에게 보행자의 위치정보를 제공하는 신호는 자극-반응 부합성에 따라 청각경고로 제시하고 이와 함께 조향장치 전체를 이용한 진동이나 스마트 페달을 이용한 진동을 사용하여 촉각 신호로 중복정보를 제시한다면 TTC가 2초인 조건에서도 보행자 회피반응에 도움이 될 수 있을 것으로 보인다.

둘째, 주의분산 유형 중 시각 주의분산 조건은 운전자가 보행자 회피반응을 수행하는데 직접적인 영향을 주는 것으로 보인다. 시각 주의분산 조건의 경우, 운전자의 조향장치 회전각이 높은 수치를 보였다. 그리고 보행자와의 충돌비율은 통제조건보다 낮았지만, 도로이탈 비율이 높은 비율을 차지하였다(그림 9). 즉, 운전자들은 시각 주의분산 조건에서 급하

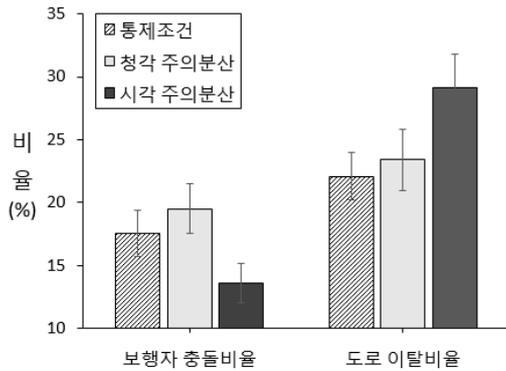


그림 9. 주의분산 유형에 따른 보행자 충돌비율과 도로이탈 비율간의 비교

게 조향장치를 조작하여 보행자를 피하지만 오히려 2차 사고를 유발할 수 있는 도로 이탈 가능성이 매우 높다는 것이다. 청각 주의분산의 경우, 자극-반응이 부합하는 조건에서 보행자 충돌비율이 높은 것으로 드러났다. 이는 주의분산 조건 하에서 자극-반응에 부합하는 청각 경고신호를 들려주면 운전자는 시각 정보보다 청각 경고신호에 의존하여 보행자 회피반응을 하게 되며 이 때, 주의분산 과제 역시 청각 자극일 경우에는 청각 경고신호와 간섭이 생겨 운전자의 보행자 회피반응에 영향을 주는 결과로 보인다.

셋째, 모든 변인들의 조합을 고려했을 때, 시스템은 자극-반응 부합성 조건 중 자극-반응에 비부합하는 신호를 제시하는 것이 적합한 것으로 보인다. 먼저 주의분산이 없는 통제 조건의 경우, 선행연구와 동일하게 신호제시시점이 TTC 2초인 경우 자극-반응 부합하는 신호를 제시했을 때 운전자가 보행자를 더 안전하게 피한다는 결과를 보였다. 그러나 운전자에게 청각 주의분산 과제가 주어진 상황에서는 자극-반응에 부합하는 신호를 제시하였을 때 보행자와의 충돌 비율이 높은 수치를

보였고, 또한 경고 제시시점이 TTC 2초인 경우 자극-반응에 부합하는 신호에서 조향장치 회전각이 많이 큰 것으로 관찰되었다.

연구목적에 제시하였듯이, 각각의 조건에 대해 다른 방식의 신호를 제시하는 것은 시스템 설계의 측면에 적합하지 않기 때문에 대다수에 적용할 수 있는 방식을 선택해야 한다. 만약 운전자의 주의분산을 완전히 통제할 수 있다면 자극-반응에 부합하는 신호를 제시하는 것이 적합할 것 같지만, 실제로 운전자의 주의분산을 완전히 규제하고 금지하기는 불가능할 것이다. 사고가 발생하는 상황의 대부분의 경우는 운전자의 주의분산으로 인한 부주의가 원인이 된다는 점을 생각할 때(이재식, 2003; Hughes & Cole, 1986), 보행자 경고 시스템에서도 운전자의 주의분산 상황을 가정하는 것이 바람직한 것으로 보인다. 결국 이러한 결과를 중심으로 살펴보면 자극-반응에 비부합하는 형태의 신호가 운전자에게 적절한 것으로 보인다.

본 연구가 기존의 연구들과 차별되는 점은 다음과 같다. 첫째, 운전 중 빈번히 발생하는 주의분산 상황을 구현하고 각각의 주의분산 유형에 따라 청각 경고가 운전자의 보행자 회피반응에 어떠한 영향을 미치는지 살펴보았다. 둘째, 헛경보 조건을 통해 실제 시스템에서 발생할 수 있는 시스템 오작동 상황을 구현함으로써 현실성을 높이고 운전자로 하여금 무조건 반사적인 반응을 하지 않도록 조작하였다. 셋째, 기존의 연구가 이론적 가설을 검증하는 단계에서 결과를 제시하였다면 본 연구에서는 시스템 설계의 측면을 고려하고자 하였다. 즉, 자극-반응 부합성 조건 중 어느 조건에 맞추어 경고신호를 제시하는 것이 여러가지 상황에서 더 나은 보행자 회피 반응을 유도할 수

있는지 종합하여 알아보고자 하였다.

본 연구의 한계점 및 이를 바탕으로 한 추 후 연구 문제들을 정리하면 다음과 같다. 첫째, 실험에 참가한 운전자들이 실제로 운전을 해본 경험이 적은 사람들이었고 20대 초반이 대다수였다는 점이다. 운전경험과 나이는 운전 수행능력과 밀접한 관련이 있다. 이에 따라 운전 경험과 연령을 통해 학습되어진 운전 수행능력이 보행자 회피 반응에 어떤 영향을 미치는가에 대해서 추후연구를 통해 살펴볼 필요가 있을 것이다.

둘째, 주의분산 유형의 경우 단어를 판단하고 따라 말하기 과제를 수행하였는데 이는 실제 운전 수행에서는 수행할 가능성이 낮은 주의분산과제이므로, 현실성이 떨어진다고 할 수 있다. 운전자가 실제 운전 수행가운데 경험할 수 있는 각종 전자기기(내비게이션, 라디오)를 사용하는 과제, 동승자 또는 휴대전화를 이용한 말하기, 듣기 과제를 수행하면서 보행자 회피반응을 하였다면 더욱 현실성을 높일 수 있을 것이다. 추후에는 실제 운전환경과 더욱 유사하게 주의분산 과제를 조작하여 실험을 진행할 필요가 있을 것이다.

셋째, 실험에 사용된 도로는 일방통행의 직선도로로 좌측 혹은 우측에 보행자가 동일한 방식으로 출현한다. 하지만 실제 도로는 양방향 도로가 일반적이며, 직선도로와 함께 교차로와 곡선도로도 존재한다. 이에 따라 추후연구에서는 다양한 도로에 대해 각각의 실험이 진행되어야 할 것이고 더욱 일반화된 시스템 설계의 연구가 이루어져야 할 것이다.

현재 차량 내 보행자 경고 시스템은 이론적 검증이 많이 이루어지고 있으며 외국의 몇몇 차량에는 실제로 탑재하여 실용화 단계에 이르고 있다. 그러나 대부분의 연구들이 기술적

측면이나 인지적 측면, 공학적 측면 중 특정 측면만을 강조하여 연구되고 있다. 시스템 개발에서는 특정 측면을 강조하기 보다는 다양한 측면들이 통합되어 분석된 후 좀 더 현실을 충실하게 반영하는 결과물을 제시하는 것이 중요하다. 그러므로 여러 분야의 다양한 관점으로 진행한 연구들을 종합하여 기술적이면서도 인간공학적인, 즉 사람을 위한 경고 시스템 연구가 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

- 김양호, 김광수, 곽수영 (2015). 퍼지로직을 이용한 보행자 충돌 경고 시스템. *방송공학 회논문지*, 20, 440-448.
- 김현수, 이재식, 신현정, 이창환 (2007). *한국어 문법어휘의 빈도*, 부산: 부산대학교 출판부.
- 도로교통공단 (2015). 2015년판 *교통사고 요인 분석*. 서울: 도로교통공단 안전본부 교통사고종합분석센터.
- 이세원, 이재식 (2009). 운전중 전자기기 사용 유형에 따른 충돌경고 형태의 차별적 효과. *한국정보통신학회논문지*, 13, 1247-1254.
- 이재식 (2003). 운전 시뮬레이션을 이용한 충돌상황 재현 및 차량내 충돌 경고 시스템의 효과에 관한 연구. *한국심리학회지: 산업 및 조직*, 16, 33-56.
- 전용욱, 안성용, 박봄, 김상규, 최정필 (2011). 눈의 정보수용 특성에 따른 차량의 시계 평가에 관한 기초연구. *대한인간공학회 학술대회논문집*, 207-211.
- Bandyopadhyay, T., Jie, C. Z., Hsu, D., Ang Jr,

- M. H., Rus, D., & Frazzoli, E. (2013). Intention-aware pedestrian avoidance. *In Experimental Robotics* (pp. 963-977). Springer International Publishing.
- Brookhuis, K. A., de Vries, G., & de Waard, D. (1991). The effects of mobile telephoning on driving performance. *Accident Analysis & Prevention, 23*(4), 309-316.
- Brown, I., Simmonds, D., & Tickner, A. (1967). Measurement of control skills, vigilance, and performance on a subsidiary task during 12 hours of car driving. *Ergonomics, 10*, 665-673.
- Campbell, J. L., Hoey, B. L., Casey, C., Hanowski, R. J., Gore, B. F., Kantowitz, B. H., & Mitchell, E. (1996). *Investigation of alternative displays for side collision avoidance systems*(Rep. DOT HS 808 579). Washington, DC: National Transportation Safety Board.
- Dingus, T. A., Antin, J. F., Hulse, M. C., & Wierwille, W. (1988). Human factors issues associated with in-car navigation system usage. *Proceedings of the 32nd Annual Meeting of the Human Factors Society*(pp.1448-1453). Santa Monica, CA: Human Factors Society.
- Dingus, T. A., Jahns, S. K., Horowitz, A. D., & Knipling, R. (1998). Human factors design issues for crash avoidance systems. *Human Factors in Intelligent Transportation Systems, 55-93*.
- Fitts, P. M., & Seeger, C. M. (1953). SR compatibility: Spatial characteristics of stimulus and response codes. *Journal of Experimental Psychology, 46*, 199.
- Jenkins, D. P., Stanton, N. A., Walker, G. H., & Young, M. S. (2007). A new approach to designing lateral collision warning systems. *International Journal of Vehicle Design, 45*, 379-396.
- Karasev, V., Ayvaci, A., Heisele, B., & Soatto, S. (2016). Intent-aware long-term prediction of pedestrian motion. *In Proceedings of the International Conference on Robotics and Automation (ICRA)(May 2016)*.
- Lamble, D., Kauranen, T., Laakso, M., & Summala, H. (1999). Cognitive load and detection thresholds in car following situations: Safety implications for using mobile (cellular) telephones while driving. *Accident Analysis & Prevention, 31*, 617-623.
- Lee, J., McGehee, D. V., Dingus, T. A., & Wilson, T. (1997). Collision avoidance behavior of unalerted drivers using a front-to-rear-end collision warning display on the iowa driving simulator. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1573*, 1-7.
- Mourant, R. R., & Rockwell, T. H. (1972). Strategies of visual search by novice and experienced drivers. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, 14*, 325-335.
- Müsseler, J., Aschersleben, G., Arning, K., & Proctor, R. W. (2009). Reversed effects of spatial compatibility in natural scenes. *The American Journal of Psychology, 325-336*.
- Reed, M. P., & Green, P. A. (1999). Comparison of driving performance on-road and in a low-cost simulator using a concurrent telephone dialling task. *Ergonomics, 42*, 1015-1037.
- Stins, J. F., & Michaels, C. F. (1997). Stimulus -

- target compatibility for reaching movements. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23, 756.
- Straughn, S. M., Gray, R., & Tan, H. Z. (2009). To go or not to go: Stimulus-response compatibility for tactile and auditory pedestrian collision warnings. *IEEE Transactions on Haptics*, 2, 111-117.
- Strayer, D. L., Drews, F. A., & Johnson, W. A. (2003). Cell phone-induced failures of visual attention during simulated driving. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 9(1), 23.
- Wallace, B. (2003). Driver distraction. *Municipal Engineering*, 15(3), 185-190.
- Wang, D. D., Proctor, R. W., & Pick, D. F. (2003). Stimulus-response compatibility effects for warning signals and steering responses. *Proceedings of the 2nd International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*(pp. 226-240). Park City, UT: Driving Assessment.
- Wickens, C. D. (1984). Processing resources in attention. In R. Parasuraman, & D. R. Davies(Eds.), *Varieties of Attention*(pp. 63-102), New York: Academic Press.
- Wickens, C. D., Lee, J. D., Lui, Y., & Gordon-Becker, S. (2004). *An Introduction to Human Factors Engineering*(2nd Ed.), New York: Prentice Hall.

1차 원고접수 : 2016. 03. 24

2차 원고접수 : 2016. 05. 18

최종게재결정 : 2016. 05. 19

Differences in Drivers' Pedestrian Avoidance Response based on Warning Timing, Stimulus-Response Compatibility and Drivers' Distraction of Auditory Pedestrian Collision Warning System

Hyunmin Kang

Kwanghee Han

Jaesik Lee

Yonsei University

Busan National University

In this study, the effects of auditory pedestrian collision warning system's stimulus-response compatibility (compatible vs. incompatible) and warning timing(TTC: 2sec. vs. 4sec.) and type of driver distraction (control condition vs. auditory distraction vs. visual distraction) on pedestrian avoidance response were examined. The dependent measures were time to initial steering wheel maneuvering, steering wheel rotation angle, clearance distance to the pedestrian, ratio of pedestrian-collision and ratio of lane departure. The experiment used driving simulator and the results was as follows. First, the effects of stimulus-response compatibility appeared to differ as warning timing and types of driver distraction were varied. To be specific, stimulus-response incompatible condition was more suitable for auditory pedestrian collision warning system than stimulus-response compatible condition. Second, compare to 4sec, 2sec TTC condition yielded larger steering wheel rotation angle and higher ratios both in pedestrian-collision and lane departure. Third, among the types of driver distraction, the visual distraction impaired drivers' ability to avoid the pedestrian most seriously. In conclusion, stimulus-response incompatible warnings which provided 4sec TTC condition seemed to be more reliable and useful in providing pedestrian-collision warning to drivers.

Key words : stimulus-response compatibility, warning timing, driver distraction, auditory signal, pedestrian avoidance response, driving simulation