한국심리학회지 : 산업 및 조직
Korean Journal of Industrial and Organizational Psychology
2000. Vol. 13, No. 1, 23-40.

# 운전상황에 따른 자동차내 항법장치의 정보제공 양상이 운전수행과 작업부하에 미치는 효과

김 비 아 · 이 재 식

부산대학교 심리학과

운전상황(항행상황, 추돌위험 상황)에 따라 자동차 내 항법장치의 정보제공 양상(시각, 청각, 시청각)이 운전수행과 작업부하에 미치는 영향이 어떻게 다른지를 검토하기 위하여 두 개의 실험이 수행되었다. 운전수행은 종적통제(액셀러레이터와 브레이크, 그리고 속도 변산성)와 횡적통제(차선 내 차량위치 변산성과 스티어링 휠 입력 변산성) 측면에서 측정되었고 작업부하는 NASA-TLX로 측정하였으며, 주관적 측정치로 시스템 사용성도 측정되었다. 일반적인 항행상황을 모사한 실험 1의 결과는 다음과 같다. (1) 항법장치의 정보제공 양상이 청각이나 시청각 조건에서보다 시각조건일 때, 차선 내 차량 위치 변산성이 더 컸다. 그러나 (2) 다른 운전수행 측정치들은 차이가 없었으며, 정보제공 양상에 따른 작업부하의 차이도 없었다. 마지막으로 (3) 시각조건보다 청각과 시청각 조건의 사용성 평가가 더 우수하였다. 보다 신속한 반응을 요구하는 추돌위험 상황을 모사한 실험 2의 결과는 다음과 같다. (1) 시각조건보다 청각 혹은 시청각 조건에서 더 신속한 브레이크 반응을 하였다. (2) 작업부하는 청각조건에서 가장 낮았으나, (3) 주관적 사용성 평가는 조건 간 차이가 없었다. 마지막으로 본 연구의 함의와 향후 연구방향에 대해서 논의하였다.

지속적인 도로망 확충에도 불구하고 자동차로 인한 정체현상은 날로 심각해져 가고 있다. 이에 따른 우리나라 연간 교통혼잡비용은 1996년 기준 15조 9천억원으로 GNP 대비 4.1%에 달했다(통계청, 1996). 또한 교통사고로 인한 사상자도 매년 1만 여명을 넘어서는 등 교통문제는 사회의 주요한 문제가 된지 오래이다. 날

* 유익한 조언을 해 주신 심사위원들과 실험에 도움을 준 노진아, 최시환, 김은영에게 감사드린다.

로 심화되는 교통문제를 해결하기 위해서는 이제 제3의 새로운 해결방법이 절실히 요구되고 있다. 이러한 상황에서 지능형 교통체계(Intelligent Transportation System; ITS)라는 새로운 시스템이 등장하게 되었다.

지능형 교통체계는 도로, 차량, 신호 등 교통체계의 기본적인 구성요소에 정보 · 통신 · 전자 · 제어 등 첨단기술을 접목시켜, 기존의 교통시설을 효율적으로 이용하고 교통사고율을 감소시키려는 차세대 교통체계이다. 우리 나라에서도 1990년부터 지능형 교통체계를 개발하는 것이 추진되어 왔으며(건설교통부, 1999), 지능형 교통체계 중 가장 먼저 상용화 단계에 있는 것은 차량 내 항법장치(in-vehicle navigation system)이다. 이 시스템은 차량 내 단말기를 통해 전자지도 상에 운전자의 현재 위치를 표시해 주고, 필요한 경우 최단경로, 최적경로로 목적지까지 안내해 줄 수도 있다. 뿐만 아니라, 실시간 교통정보를 이용하여 쾌적한 운전환경을 제공하는 것은 물론 더 나아가 도로를 효율적으로 이용할 수 있게 해 준다. 이른바 자동차 선진국이라 일컬어지는 미국, 일본, 그리고 유럽에서는 자동차 내 항법장치 개발이 상당히 진전된 상태로 이미 제품이 상용화된 단계이고, 국내에서도 몇몇 승용차에 한정적으로 이러한 시스템이 부착되어 시판되고 있다.

그러나 이러한 항법장치의 사용은 운전자에게 부가적인 정보처리를 요구한다. 그러므로, 항법장치 자체가 위험요인으로 작용할 수 있다는 우려가 있어왔으며, 시뮬레이션 실험을 통해 항법장치의 위험성을 보여준 Zwahlen과 DeBald(1986)는 항법장치 개발을 중단할 것을 강력히 제안하였다. 이 연구가 조잡한 형태로 항법장치를 모사하였기에 그 결과의 타당성은 논란의 여지가 있지만, 항법장치를 설계할 때에는 반드시 인간공학적인 요인을 고려해야 한다는 점만은 분명히 하였다. 또한, 항법장치 설계에는 환경적인 측면들(예컨대, 광선의 번쩍거림, 주변소음 등), 사용자 집단의 특성들(예컨대, 노령 운전자, 다양한 교육수준 등), 시스템 제약들(예컨대, 비용 등)도 아울러 고려되어야 한다(Dingus, Hulse, Fleischman, McGehee, & Manakkal, 1997). 이러한 요인들을 감안해 보았을 때, 안전운전과 효율성 측면에서 항법장치의 개발에는 인간공학적인 고려가 필수적이며, 인간공학적 접근은 기본적으로 인간요인과 기계요인의 조화를 지향한다(이재식, 1997).

운전은 복합적인 과제로 운전자는 기본적으로 차창 너머로 보이는 여러 교통상황들을 주시하면서, 이에 적절한 반응을 해야한다. 또한 차량 내에 항법장치가 제시하는 여러 정보들을 취하고 이를 운전수행에 반영해야 한다. 그러므로, 항법장치에서 제공되는 정보는 여러 과제를 동시에 수행해야 하는 운전자에게 부하를 주지 않고 가장 적절하게 반응할 수 있는 상태로 제시되어야 한다. 이와 관련하여, 우선적으로 제기된 인간공학적인 관심거리는 크게 두 가지로, 정보량과 정보제공 양상(modality)이었다. 이것은 운전자에게 부하를 주지 않고 운전수행을 저하시키지 않는 수준에서 운전자에게 제시될 수 있는 정보량이 어느 정도인지, 그리고 운전자에게 적합한 정보제공 양상이 시각 혹은 청각인지에 관한 문제이다(Mollenhauer, Lee, Cho, Hulse, & Dingus, 1994).

운전이 시각 주도적인 과제임을 감안할 때, 청각적으로 정보를 제시하는 것이 운전수행을 덜 간섭할 것이라고 생각할 수 있다. 운전자의 정보처리와 관련하여 정보제공 양상을 비교한

연구들은 대체로 시각정보에 비해 청각정보의 우세성을 보고하고 있다. Streeter, Vitello, 그리고 Wonsiewicz(1985)는 목적지까지 도달한 시간, 거리, 그리고 에러 회수를 비교해 보았을 때 정보를 시청각적으로 제시한 조건에서 더 수행이 우수하였음을 보고하였다. Walker, Alicandri, Sedrey, 그리고 Roberts(1990)는 도로의 복잡도 수준을 세 가지로 나누어 운전수행 측정치와 심리생리적인 측정치를 살펴 보았는데 모든 복잡도 수준에서 청각 시스템을 사용할 때의 항행 에러가 가장 적은 결과를 얻었으며, 교통상황이 복잡해질수록 시각 시스템에 대한 청각 시스템의 우수성이 더 두드러졌다. Labiale (1990)의 연구에서도 정보가 시각적으로 제시된 조건보다 청각적으로 제시된 조건의 실험참가자들이 더 빨리 주행을 완료하였고, 교차로에서의 실수가 적었으며, 보다 안정적으로 차량을 통제하였다. 또한 청각조건의 작업부하가 더 낮았으며, 실험참가자들은 청각 시스템을 더 안전한 것으로 평가하였다.

보다 최근의 연구(Srinivasan & Jovanis, 1997)에서는 정보제시 방법을 다섯 가지로 나누었다. 즉 전자경로 지도를 head-down[1]으로 제시한 조건, 전통적인 종이지도를 참조하는 조건, 회전지점별(turn-by-turn)로 디스플레이 된 정보를 head-up으로 제시한 조건과 head-down으로 제시한 조건, 그리고 청각 메시지를 제시하는 조건으로 나누어, 운전 중 제시된 주사과제(scanning task)에 대한 반응을 비교하였다. 주사과제를 측정한 것은 시스템이 요구하는 주의량을 비교하기 위한 것이었는데, 청각 시스템을 사용한 경우 주사과제에 대한 반응시간이 가장 짧았다. 이로써 청각 시스템이 부가적인 주의를 가장적게 요구하는 시스템이라는 것이 시사되었다. 그러나, 청각정보는 그 특성상 무시하지 못하기 때문에 청각 메시지가 운전자의 성가심을 유발한다는 사실을 보고하는 연구도 있었다(Stokes, Wickens, & Kite, 1990). 또한, 청각 메시지는 그 특성상 길고 복잡한 경우 많은 항행 에러를 범하므로(Walker 등, 1990), 청각정보는 가장 기본적인 수준(회전지점이 있는 거리명과 블록 수, 회전방향)에만 제한되어야 한다(Means, Carpenter, Szcublewski, Fleischman, Dingus, & Krage, 1993).

몇몇 제한점은 있으나 여러 연구들이 보여준 청각 시스템의 많은 이점들에도 불구하고, 자극-반응 부합성은 항법장치에서 시각정보가 가질 수 있는 중요성을 제기한다(이재식, 1997). 자극-반응 부합성의 원리에 따르면, 시각자극에 대해서는 신체 운동반응이 가장 빠르고 정확하다(Brainard, Irby, Fitts, & Alluisi, 1962; Williges, Williegs, & Elkerton, 1987; Robinson & Eberts, 1987). Techner와 Krebs(1974)는 선택반응시간에 영향을 주는 요인들을 자세히 개관하고, 시각자극과 청각자극 각각에 대해 손반응 또는 음성반응을 하는 4가지 자극-반응 조합을 만들었다. 그 결과 시각자극에 대한 구두반응이 가장 느렸으며, 그 다음으로 청각자극에 대한 손반응, 그리고 시각자극에 대한 손반응과 청각자극에 대한 구두반응이 가장 빨랐다. 따라서 운전이 손과 발을 사용하는 신체반응임을

1) 디스플레이가 제시되는 위치는 크게 head-down과 head-up으로 나뉜다. head-down은 현재 일반적으로 사용되는 방식으로 운전자 오른편 대쉬보드 상에 장착된 모니터에 정보를 제시하는 것이다. 반면에 head-up은 주로 항공기에서 사용되는 방식을 자동차에 적용한 것으로, 운전자 정면 차창 상에 정보를 제시하는 방법이다.

감안할 때, 우수한 수행을 유도할 수 있는 시각 자극의 가치를 간과할 수 없다. 또한 Dingus와 Hulse(1990)는 항법장치의 시각정보가 가질 수 있는 이점에 대해 언급했다. 즉 메시지의 단순성이나 명료함이 감소함에 따라 청각 메시지를 처리하는데 요구되는 부하가 증가하는 반면, 상징 등의 간단한 시각적인 형태로 정보를 제시했을 때 투자되는 인지적 노력이 감소할 수 있음을 제안했다. 이재식(1997)은 다양한 운전수행 측정치들을 비교한 연구 결과, 운전속도 변산성, 차선유지 변산성, 핸들 입력 변산성, 도로와 차량의 진로(heading) 각도 등의 운전수행에서 청각정보보다 시각정보로 제시한 경우 그 수행이 더 우수하다는 결과를 얻었다.

본 연구는 지능형 교통체계의 일환으로 곧 널리 보급되어질 것으로 예상되어 지는 자동차 내 항법장치의 효율적인 정보제공 방식을 알아보려는 것이다. 이 때까지의 선행연구를 통해 이를 밝혀보려는 시도가 많이 이루어졌으나, 앞서 언급했듯이 그 결과는 일관적이지 못하였다. 이 연구들을 살펴보면, 운전상황 자체가 항행 혹은 추돌상황으로 한정되어 있었다. 항행상황은 일반적으로 운전자가 출발지에서 목적지까지의 최단 경로를 안내해 주는 기본적인 길안내 조건(Srinivasan & Jovanis, 1997; Dingus 등, 1997)인 반면, 추돌상황은 선행차량과의 차간거리가 가까와짐에 따라 경고를 해주는 상황이다(Dingus, McGehee, Manakkal, Jahns, Carney, & Hankey, 1997; Lee, McGehee, Dingus, & Wilson, 1998). 따라서, 운전상황에 따른 요인들을 비교하지 않고서는 일반적으로 어느 양상의 우세성을 주장하기 힘들며, 두 가지 상황을 직접 비교해서 상황에 따른 정보제공 양상의 상대적인 장단점을 알아 볼 필요가 있다.

본 연구에서는 자동차 내 항법장치를 사용하여 시각과 청각의 정보량을 동일한 수준으로 제시했을 때, 운전상황에 따라 항법장치의 정보제공 양상이 운전자의 운전수행과 작업부하에 어떠한 영향이 주는지 알아보고자 한다. 실험 1에서는 항법장치를 참고하며 목적지까지 도달하는 항행조건에서의 운전수행을 살펴 보았다. 전체 지형에 대한 정보가 주어지지 않는 청각조건과의 동질성을 보장하기 위해, 시각조건에서는 전체 지형을 미리 보여주지 않고 350m씩 스크롤하여 회전지점별(turn-by-turn)로 회전방향을 디스플레이 하였다. 이는 전체 경로를 미리 보여주는 경우, 계획이나 예상 등의 효과로 인해 청각조건과 직접 비교할 수 없고 12km의 지형을 한 디스플레이에 나타내는 것은 너무 복잡하기 때문이었다. 청각조건에서는 메시지의 내용이나 표현방법 등이 중요한 문제인데, 본 실험에서는 가장 간단한 형태인 회전해야 할 지점까지의 거리와 회전방향만을 조사나 경어를 생략한 채로 제시하였다.

실험 2에서는 항행상황 보다는 보다 신속한 반응을 요구하는 위험한 상황을 모사한 추돌상황을 구현하여 시각, 청각, 그리고 시청각으로 경고를 주었을 때의 반응을 살펴보았다. 시각조건은 위험한 정도에 따라서 화면에 제시된 사각형이 초당 깜빡거리는 회수로 조작하였고, 청각조건의 경우는 스피커를 통해 제시되는 경고음이 초당 울리는 회수로 조작하였다.

실험 1, 2 모두 시각, 청각, 시각과 청각이 혼합된 시청각의 세 가지 조건으로 나뉘어졌고, 전체 실험참가자는 61명으로 실험 1에 30명, 실험 2에 31명이 할당되었다. 실험 1에 할당된 30명은 피험자 간 설계로 운전경력을 토대로

시각, 청각, 시청각조건에 각각 10명씩 할당되었으며, 실험 2에 할당된 31명 역시 실험 1과 동일한 방법으로 각 조건에 10명, 10명, 11명씩 할당되었다. 운전경력을 토대로 실험참가자들을 할당한 이유는 운전면허를 소지하고 있어도 실제로 운전하지 않는 경우가 많으므로, 이로 인해 결과가 왜곡될 경우를 방지하고자 한 것이었다.



그림 1. 실험에 사용된 고정형 시뮬레이터

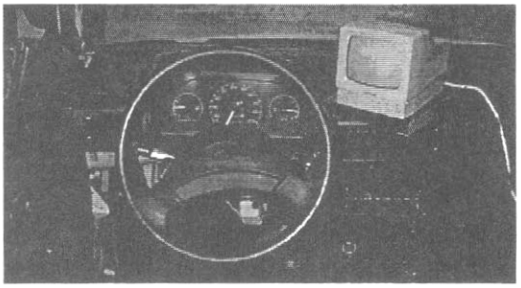


그림 2. CRT가 장착된 시뮬레이터 내부

## 실 험 1

### 방 법

실험참가자. 부산대학교 학부생 30명이 실험참가비 5000원씩을 받고 실험에 참가하였다. 평균연령은 만 22.8세로 남자 21명, 여자 9명이었다. 실험참가자 전원은 유효한 운전면허증을 소지하였으며, 시각조건, 청각조건, 그리고 시청각조건에 각각 10명씩 사전조사를 통한 운전경력을 토대로 할당되었다.

기구. 그림 1에서 보듯이 고정형 시뮬레이터(fixed-based simulator)가 사용되었으며, 차체는 90년식 현대 엑셀이었다. 운전 프로그램은 50×40도 크기의 화면을 지원하는 프로젝터(EIKI, LC-7000U)로 운전자 전방 1.5m에 있는 스크린(4×3m)에 투사되었다. 운전 프로그램은 watcom C로 구현되었고, 운전자의 행동에 따라 즉각적으로 운전환경을 변화시킴으로써 실제 운전상황과 유사한 환경을 제공하였으며, 엔진소음은 스피커(Inkel, DJ-81, 100W급) 두 대로 운전자에게 제시되었다. 운전 프로그램을 지원하고 실시간으로 데이터를 저장하는 주 통제 컴퓨터는 Pentium II-450MHz 급으로 그래픽 가속기(Voodoo 2)가 부착된 것을 사용하였다. 운전환경은 스크린에 투사됨과 동시에 화면 분배기(PMS 301-VD)를 통하여 모니터(삼성, SyncMaster 500s)로 확인되었으며, 운전자의 운전행동은 실시간(1/100초 단위)으로 측정되어 데이터 베이스에 저장되었다. 시각정보는 운전자 시야의 오른편 대쉬보드 상에 부착된 CRT(코맥스, CCM-052N, 흑백 5.2인치)에 제시되었고, 청각정보는 스피커를 통해 제시되었다. CRT가 부착된 고정형 시뮬레이터 내부는 그림 2에 제시되어 있다.

운전 시나리오 및 절차. 실험참가자는 운전면허소지 여부와 운전경력, 그리고 간단한 인구학적인 특성에 대한 질문지에 응답하고, 연습시행

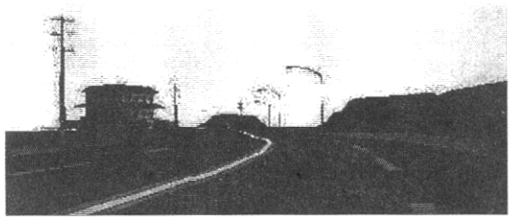
후 본시행을 수행하였다. 그리고 본시행 후 주관적 작업부하와 사용성에 관한 질문지에 응답하였다.

그림 3에서 보듯이, 운전 상황은 2차선의 직선(a), 곡선(b), 교차로(c)가 혼합된 형태의 변화하지 않은 도심지역으로 총 12km였다. 다른 차량이 실험차량을 추월하거나 보행자가 갑자기 나타나는 등의 돌발적인 상황은 없었고, 운전환경은 시야가 좋은 맑은 날씨였다. 실험참가자는 운전 시뮬레이터에 탑승하여 핸들, 브레이크, 액셀러레이터 조작에 관한 간단한 설명을 들은 후, 조작해 보는 기회를 가졌다.

운전자들에게 되도록 70km/h를 유지하면서 운전하도록 하였는데, 이것은 제한속도가 있는 실제 운전상황과 보다 가깝게 하기 위한 것이었다. 우선 7km 정도 운전하는 연습시행을 수행하였다. 연습시행 동안 교차로는 총 3회로 좌회전, 우회전, 직진 교차로가 1회씩 제시되었다. 연습시행을 통하여 시뮬레이터 조작과 시각 혹은 청각 디스플레이에 익숙해진 후, 본시행을 수행하였다. 본시행은 총 주행거리 12km로 운전할 동안 총 7회의 교차로가 제시되었다. 교차로는 좌회전 교차로 3회, 우회전 교차로 3회, 그리고 직진 교차로가 1회 제시되었으며, 교차로는 처음 1km의 직선도로 주행 후부터 제시되었다.



(a) 직선도로의 한 예

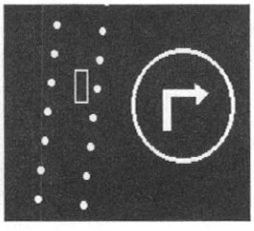


(b) 곡선도로의 한 예

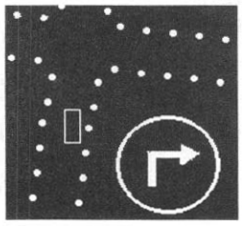


그림 3. 실험에 사용된 도로의 실례

시각정보는 CRT 상에 회전지점별(turn-by-turn)로 디스플레이 되었다. 전체 12km의 주행거리는 350m씩 스크롤되어 제시되었고, 회전할 방향을 표시하는 신호는 교차로 당 2회씩 제시되었다. 첫 번째 신호는 교차로 350m 전에, 두 번째 신호는 50m 전에 제시되었다. CRT 상에는 운전자가 운전해야 할 경로와 자차의 움직



(a) 우회전 350m 전



(b) 우회전 50m 전

그림 4. 시각적으로 제시되는 신호의 예(우회전)

임이 계속 디스플레이 되었고, 교차로마다 2회씩(350m 전, 50m 전) 회전해야 할 방향으로 화살표가 깜박거렸다. 우회전의 경우 항법장치의 예가 그림 4에 제시되어 있다.

청각조건에서는 회전해야 할 지점이 다가옴에 따라 미리 녹음된 여성 목소리로 회전해야 할 방향을 제시하였다. 시각조건과 대응되도록 2개의 메시지가 제시되었는데, Srinivasan과 Jovanis (1997)의 실험에서처럼 첫 번째 메시지는 회전지점 350m 전에, 두 번째 메시지는 회전지점 50m 전에 제시되었다. 메시지의 내용은 경어나 조사 등을 생략한 채로, 교차로 지점까지의 거리와 회전방향만을 가장 간단한 형태로 제시하였다. 예컨대, 청각조건의 첫 번째 메시지는 "350m 우회전"과 같은 형태였고, 두 번째 메시지는 "50m 우회전"과 같은 형태였다.

마지막으로 시청각 조건에서는 CRT 상에 시각정보가 제시되면서, 동시에 스피커로도 청각정보가 제시되었다. 본 시행을 마친 후 작업부하와 주관적 선호도를 측정하였고, 실험참가비를 지급했으며, 실험목적 등에 대한 자세한 사후설명을 하였다.

종속변인 및 분석. 종속변인은 크게 운전수행 측정치, 주관적인 작업부하, 그리고 사용성을 측정하였다. 또한 교차로에서 항법장치로 안내한 것과는 다른 방향으로 운전한 항행 에러 빈도도 측정하였으나, 본시행에서 에러를 범한 경우는 없었다. 변량분석으로 각 측정치들을 분석하였고, 통계적 유의도 수준은 10%로 정하였다.

우선 실시간으로 컴퓨터에 저장된 운전수행 측정치들을 종적통제와 횡적통제로 나누어 보면 다음과 같다.

*차량의 종적통제(longitudinal control).* 차량의 종적통제 측면으로 액셀러레이터 입력 변산성(accelerator input variability), 속도 변산성(speed variability), 브레이크 입력 변산성(brake input variability)을 측정하였는데, 이들 각각은 다음과 같다: (1) 액셀러레이터 입력 변산성이 클수록 운전자가 급가속이나 급감속을 하였다는 것을 나타내며, 일반적으로 이 값이 작을수록 안정적인 차량 통제를 나타낸다. (2) 속도 변산성은 운전자가 얼마나 일정한 속도를 유지하였는가를 나타내는 지표로 일반적으로 속도 변산성이 적을수록 안정적인 차량 통제를 나타낸다. (3) 브레이크 입력 변산성이 클수록 운전자가 브레이크를 이용하여 급감속을 하는 경향을 나타내며, 일반적으로 이 값이 작을수록 안정적인 차량 통제를 나타낸다.

*차량의 횡적통제(lateral control).* 차량의 횡적통제 측면은 차선내 차량위치 변산성(variability in lane position)과 스티어링 휠 입력 변산성(variability in steering wheel rate)을 측정하였다. 이들 각각은 다음과 같다: (1) 차선 내 차량위치 변산성은 차량이 주행선 안에서 얼마나 많이 좌우로 흔들렸는가를 나타내는 지표로, 변산성이 적은 것이 일반적으로 우수한 수행이다. (2) 스티어링 휠 입력 변산성은 운전자들이 스티어링 휠을 갑작스럽게 조작한 정도를 나타내는 것으로, 변산성이 클수록 운전자가 차선을 유지하기 위해 급작스런 핸들 조작을 하였다는 것을 보여준다.

또 다른 변인으로 작업부하가 측정되었다. 본 연구에서는 현재 가장 일반적으로 사용되고 있는 다차원 평가기법인 NASA-TLX(Task Load Index)를 이용하였다. NASA에서 개발한(Hart,

Childress, & Bortolussi, 1981; Hart & Staveland, 1988) TLX는 심적 요구(mental demand), 신체적 요구(physical demand), 시간적 요구(temporal demand), 수행(performance), 노력(effort), 그리고 좌절(frustration)의 여섯 가지 차원에서 작업부하를 측정하는 것이다. 이것을 기준으로 본 실험상황과 맞는 질문지를 구성하여 9점 척도 상에서 작업부하를 측정하였다. 점수가 클수록 부하 수준이 큰 것을 나타내었다.

마지막으로 사용성(usability)을 측정하였는데, 이는 작업부하 이외의 주관적인 측정치로 시스템을 사용하는 것이 얼마나 쉽고 편리했느냐에 관한 것이었다. 사용성은 실험자가 제작한 7점 척도 질문지로 측정되었으며, 점수가 클수록 사용하기 쉽고 편리한 것을 나타내었다.

## 결과 및 논의

**운전수행.** 운전자들의 운전수행은 크게 횡적통제와 종적통제로 나뉘어 분석되었다. 앞서 언급하였듯이 횡적통제에는 차선 내 차량위치 변산성, 스티어링 휠 변산성, 그리고 브레이크 입력 변산성이 포함되었고, 종적통제에는 액셀러레이터 입력 변산성과, 속도 변산성, 브레이크 입력 변산성이 포함되었다. 항법 시스템의 정보제공 양상이 운전수행에 직접적으로 반영되기 시작하는 부분은 첫 번째 교차로가 나오기 350m 지점부터이므로 첫 번째 교차로 350m 이전의 데이터는 일단 분석에서 제외하였다. 또한 교차로와 교차로 사이의 직선도로와 곡선도로에서는 아무런 정보도 제시되지 않았고, 다른 차량의 통행이나 위험상황 발생 등의 돌발상황 없이 자차의 주행만이 이루어지도록 운전시나리오가 짜여졌으므로, 이 구간도 분석에서 제외하였다. 그러므로 실제로 분석에 포함된 데이터는 교차로 350m이전에서 교차로 직전까지의 구간이었다.

횡적통제 측면에서 차선 내 차량위치의 변산성은 통계적으로 차이가 있었는데, $F(2,27)=3.844$, $p<.05$, 청각과 시청각조건에 비하여 시각조건에서의 변산성이 더 컸다(그림 5 참조). 이것은 시각적으로만 정보가 주어졌을 때, 차선 내에서 좌우로 흔들리는 정도가 더 큰 것으로 시각 디스플레이에 주의가 분산되어 운전수행이 저하된 것으로 생각된다. 횡적통제의 또 다른 측면인 스티어링 휠 입력 변산성은 조건 간 차이가 없었는데, $F(2,27)=.484$, $p>.10$, 일반적으로 스티어링 휠 입력 변산성과 차선 내 차량위치 변산성이 상관있다는 것으로는 설명하기 힘든 결과이다. 하지만, 시뮬레이터의 스티어링 휠이 매우 민감하였고, 연습시행을 통해 이를 경험한 운전자들이 본시행에서는 작지만 빈번한 스티어링 조작 책략을 사용했을 가능성을 보여준다.

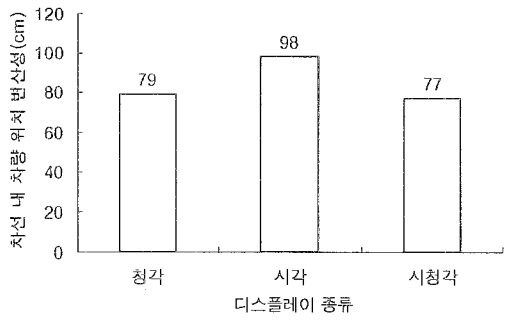



그림 5. 항법장치의 정보제공 양상에 따른 차선 내 차량위치 변산성

운전수행의 종적통제인 액셀러레이터 입력 변산성, $F(2,27)=.461$, $p>.10$, 속도 변산성, $F(2,27)=.484$, $p>.10$, 그리고 브레이크 입력 변산성 $F(2,27)=.133$, $p>.10$은 조건 간 아무런 차이도 없었다. 본 연구는 최소한의 수준에서 시각정보와 청각정보의 정보량을 동일하게 조작하였다. 따라서 운전 시나리오는 회전방향에 대한 정보에 따라 좌/우회전, 혹은 직진을 정확히 수행하는지 알아보도록 구성되었다. 종적통제 측면을 반영하는 운전행동은 없었으므로, 세 조건에서 종적통제 측정치는 같았다.

**작업부하**. NASA-TLX의 여섯 차원을 토대로 각 조건 간 차이를 검증해 본 결과 작업부하 면에서는 차이가 없었다. 즉 심적 요구, $F(2,27)=.553$, $p>.10$, 신체적 요구, $F(2,27)=1.208$, $p>.10$, 시간적 요구, $F(2,27)=1.110$, $p>.10$, 노력, $F(2,27)=1.673$, $p>.10$, 수행, $F(2,27)=.080$, $p>.10$, 또한 좌절, $F(2,27)=.1316$, $p=>.10$ 차원에서 어떠한 차이도 없었다. 이러한 결과는 운전자들이 항법 시스템 자체에 대한 경험이 전혀 없었으므로, 항법장치 자체가 주는 생소함으로 인해 올바른 평가가 제대로 이루어지지 않았을 가능성을 시사한다. 이러한 가능성은 각 차원별 평균 척도값이 모두 9점 척도 상 '보통'에 해당하는 5점 안팎(심적 요구 평균 4.73, 신체적 요구 평균 4.93, 시간적 요구 평균 5.40, 노력 평균 5.30, 수행 평균 5.03, 좌절 평균 4.69)이라는 점을 보면 추측해 볼 수 있다.

**사용성**. 사용성은 시각조건에서 질문에 답하지 않은 1명의 데이터를 제외한 29명의 데이터가 분석되었는데, 조건 간 차이가 있는 것으로 나타났다, $F(2,27)=3.836$, $p<.05$. 그림 6에서 보듯이 시각과 시청각조건에 비해 시각조건에서

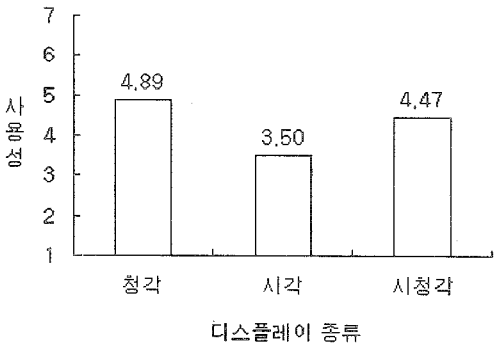



그림 6. 항법장치의 정보 제공 양상에 따른 사용성

사용성이 더 낮게 나왔는데, 이는 청각적으로 정보를 제시한 경우보다 시각적으로 정보를 제시한 것이 사용하기 더 어렵고 불편했음을 나타낸다. 그러나 본 연구에서 사용된 과제가 매우 간단하였고, 운전자에게 제공된 정보도 회전할 교차로까지의 거리와 회전방향만으로 그 내용이 최소의 수준임을 감안할 때, 보다 많은 정보를 제공하는 시스템에서는 이 같은 결과가 유지되지 않을 가능성도 있다.

## 실 험 2

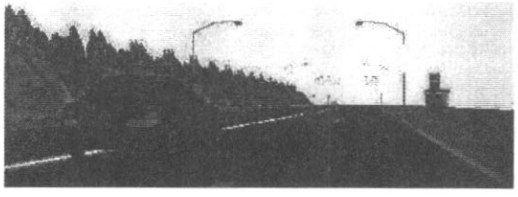
### 방 법

**실험참가자**. 부산대학교 학부생 31명이 실험참가비 5000원을 받고 실험에 참가하였으며, 평균 연령은 만 23.8세로 남자 26명, 여자 5명이었다. 실험참가자 전원은 유효한 운전면허증을 소지한 자들로 시각조건에 10명, 청각조건에 10명, 그리고 시청각조건에 11명이 사전조사를 통한 운전경력을 토대로 할당되었다.

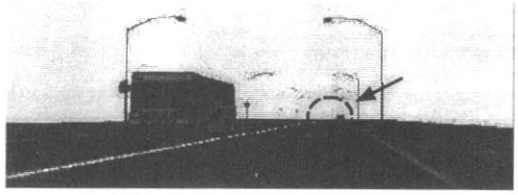
기구. 실험 1과 동일하였다.

운전 시나리오 및 절차. 실험참가자는 운전면허소지 여부와 운전 경력, 그리고 간단한 인구학적인 특성을 알아보는 설문지에 답하였으며, 연습시행 후 본시행을 수행하였다. 운전상황은 변화하지 않은 도심지역의 왕복 4차선 직선도로로 총 10km를 주행하였다. 운전자는 주행선으로 운전하고 추월선에서는 실제 교통상황과 유사하도록 다른 차량들이 주행하고 반대편 차선에서도 다른 차량들이 주행하였으며, 운전환경은 시야가 좋은 맑은 날씨였다. 실험참가자는 운전 시뮬레이터에 탑승하여, 핸들, 브레이크, 엑셀러레이터 조작에 관한 간단한 설명을 들은 후, 간단히 조작해 보는 기회를 가졌다. 운전하기 전 실험참가자는 실험자로부터 되도록 70km/h를 유지하면서 운전하라는 지시를 받았으며, 우선 약 5km정도의 연습시행을 한 후 본시행이 이루어졌다. 연습시행 동안 추돌상황은 2회 제시되었다.

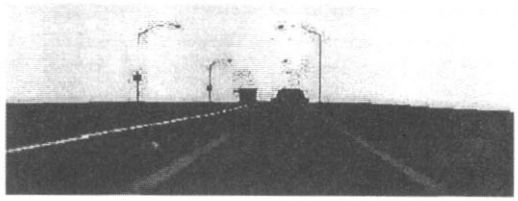
본시행은 총 10km의 거리를 주행하는 동안 4회의 추돌상황이 발생하는 경우로, 운전을 시작한 후 1km 지난 지점에서 뒤에서 주행 중이던 차량이 자차를 추월하여 차간거리가 200m 되는 지점까지 주행한다. 자차와의 차간거리가 200m가 되면 이 때부터 선행차량은 감속하여 차간거리를 좁힘으로써 추돌상황을 유도하였다. 감속정도는 자차와의 속도차이가 10km/h,



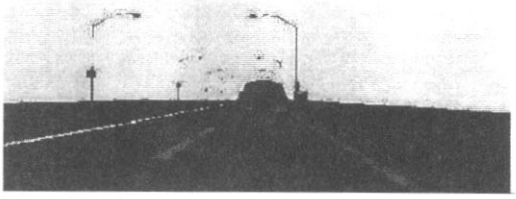
(a) 운전 시작 1km 후, 후행 차량의 자차 추월



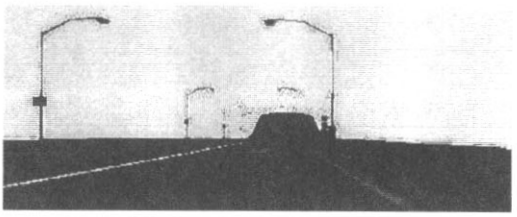
(b) 차간거리 1.6초 이상 (경고 제시되지 않음), 화살표로 표시된 부분이 선행차량을 나타냄



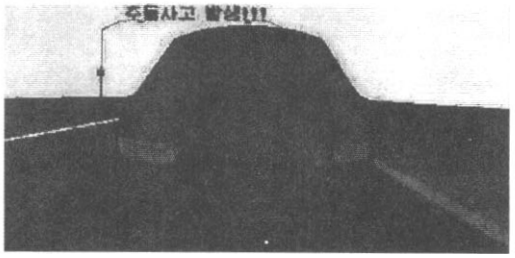
(c) 차간거리 1.6-1.1초 (1Hz 간격의 경고발생)



(d) 차간거리 1.1-0.9초 (2Hz 간격의 경고발생)



(e) 차간거리 0.9초 이하(4Hz 간격의 경고발생)




(f) 추돌사고 발생

그림 7. 추돌사고까지의 과정

20km/h, 30km/h의 세 가지 경우였다. 총 4회의 추돌상황 중 중간 수준에 해당하는 20km/h차이의 감속이 2회 제시되었고 나머지 조건은 각각 1회씩 제시되었다. 만일 실험참가자가 차선을 변경하면 선행 차량도 자차를 따라서 차선을 변경하도록 프로그램이 구현되었으므로 추돌상황이 발생하지 않는 경우는 없었다. 적절한 브레이크 반응에 실패하여 추돌사고가 발생하면 '추돌사고 발생'이라는 붉은색 문자열이 화면에 제시되었으며, 추돌 500ms 후 선행차량이 가속하여 자차와의 차간거리를 200m 확보한 상태로 주행한 후 다시 감속하여 다음 추돌사고를 유도하는 것으로 운전 시나리오는 구성되었다.

항법장치의 정보제공 양상은 시각, 청각, 그리고 시청각조건으로 세 가지 조건이었다. 시각 디스플레이는 Dingus 등(1997)이 사용한 형태 중 하나를 이용하였다. 차간거리에 따라서 모니터 중앙에 제시된 사각형이 초당 깜박거리는 회수로 위험한 정도를 나타내었다. 차간거리가 1.6초[2] 이상의 안전할 때에는 모니터에 아무런 변화가 없었으며, 차간거리 1.6초-1.1초 구간에서는 모니터 중앙에 제시된 흰색 사각형이 1Hz 간격으로, 차간거리 1.1초-0.9초에서는 2Hz 간격으로, 그리고 가장 위험한 단계인 차간거리 0.9초 이하에서는 4Hz 간격으로 깜박거렸다. 청각조건에서는 시각조건과 대응되도록 경고가 주어졌는데, 차간거리가 1.6초 이상으로 안전할 때에는 아무런 경고도 제시되지 않았으며, 차간거리 1.6초-1.1초에서는 스피커를 통하여 '삐'하는 경고음이 1Hz 간격으로, 차간거리 1.1초-0.9초에서는 2Hz 간격으로, 그리고 가장 위험한 단계인 차간거리 0.9초 이하에서는 4Hz 간격으로 제시되었다. 마지막으로 시청각조건에서는 두 가지 정보가 동시에 제시되었다.

다른 차량이 자차를 안전하게 추월하여(a) 차간거리 1.6초 이상의 차간거리를 유지한 후(b), 점차 각 단계별(차간거리 1.6초-1.1초(c), 1.1초-0.9초(d), 0.9초 이하(e))로 차간거리가 줄어들어 시각이나, 청각, 혹은 시청각으로 추돌경고가 제시되고(f) 발생하는 일련의 과정이 그림 7에 제시되어 있다.

종속변인. 여러가지 운전수행 측정치들 중에 브레이크 반응에 관한 것만 측정하였다. 이는 운전 시나리오 상 차선을 변경할 필요가 없었고 추월한 차량을 피하려고 차선을 변경한다 하더라도 선행차량이 따라서 차선을 변경함을 연습시행을 통해서 경험했으므로 본시행에서 스티어링 휠을 조작할 필요가 없었기 때문이다. 또한 추돌상황에서의 브레이크 반응 이외에 액셀러레이터 반응을 요구하는 상황도 없었다. 실험 1과는 달리 평균 차간거리(headway)가 측정되었으며, 실험 1과 동일한 주관적인 작업부하와 사용성이 측정되었다.

브레이크 입력과 관련하여 측정되고 분석된 운전수행 측정치는 세 가지로, 경고 후 최초 브레이크 입력까지의 시간, 경고 후 최대 브레이크 입력까지의 시간, 그리고 최초 브레이크 입력에서 최대 브레이크 입력까지의 시간이었다. 세 가지 정보제공 양상(시각, 청각, 시청각)에 따라 변량분석을 하였으며, 주관적인 작업부하와 사용성 분석은 실험 1과 동일하였다.

2) 시간으로 나타내어진 차간거리는 현재의 속도로 달릴 때, 선행차량의 위치에 도달할 때까지의 시간을 의미하는 것이다.

## 결과 및 논의

운전수행. 그림 8에서 보듯이 추돌사고는 시각조건에서 가장 많이 발생하였는데, $F(2,28)$= 2.66, $p$<.05, 청각조건과 시청각조건에 비해 약 2.5배나 발생하였다. 시각조건에서는 전방을 주시하면서 지속적으로 모니터에서 제시되는 경고에도 주의를 기울여야 하므로, 추돌상황과 같이 신속한 반응이 요구되는 상황에서는 모니터를 보는 것 자체가 주의를 분산시켜서 하나의 위험요인이 될 수 있다. 반면 청각조건과 시청각조건은 전방향적인(omnidirectional) 청각정보의 속성 상 전방을 주시하며 운전하면서 자극원으로 고개를 돌릴 필요가 없으므로, 긴급한 상황에서 보다 신속한 반응을 하여 추돌사고를 줄일 수 있었다.

추돌사고와 직접적인 관련이 있는 것이 경고가 주어졌을 때의 신속한 브레이크 반응이므로, 앞서 언급했듯이 이를 세 가지 요소로 나누어 분석하였다. 그림 9에서 보듯이 운전자들은 경고를 청각, 시청각으로 제시한 경우보다, 시각으로 제시한 경우에 최초 브레이크를 입력하기까지의 시간이 오래 걸렸다. $F(2,28)$=4.93, $p$<.05. 시각조건에서는 청각조건에서보다 약

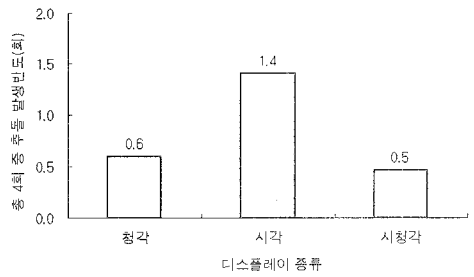



그림 8. 항법장치의 정보제공 양상에 따른 추돌사고 회수

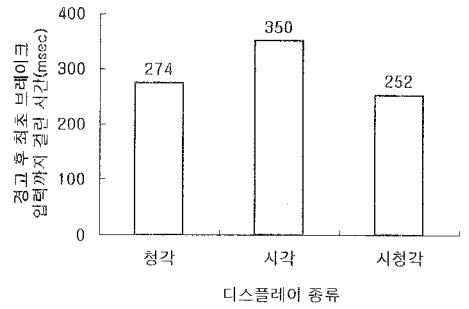



그림 9. 경고 후 최초 브레이크 입력까지 걸린 시간

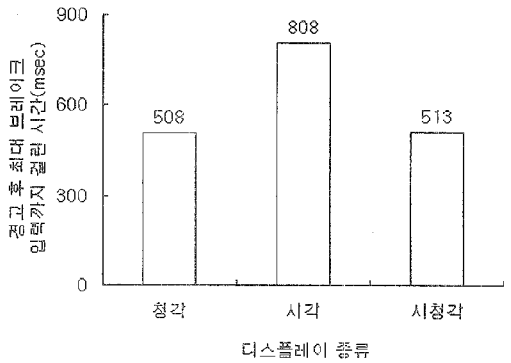



그림 10. 경고 후 최대 브레이크 입력까지 걸린 시간

80ms, 시청각조건에서보다 약 100ms 느리게 반응하였다. 이러한 결과는 경고로서의 청각자극의 우수성을 보여주는 것으로, 청각정보는 항상 모니터링 하지 않아도 되므로 그만큼 신속한 반응을 요구하는 긴급한 상황에서 경고로서 우수하다.

최초 입력이 빠르더라도 실제 자동차를 정지시키는 것은 브레이크를 최대로 밟는 시점과 보다 밀접한 관련이 있다. 이러한 사실을 알아보기 위하여 경고 후 최대 브레이크 입력까지의 시간을 분석하였는데, 그림 10에서 보듯이 최초 브레이크 입력까지의 시간과 마찬가지로

운전자들은 시각조건에서 가장 느린 반응을 보였다, $F(2,28)=14.56$, $p<.01$. 이 결과는 정보제공 양상에 따른 최초 브레이크 입력까지의 시간보다 그 차이가 더 커서, 시각조건에서는 경고가 주어진 후 최대로 브레이크를 밟은 시간이 약 800ms 소요된 것에 반해서 청각조건과 시청각조건에서는 이보다 300ms정도 더 빨리 반응하였다.

이러한 결과는 그림 11에 제시되어 있듯이 최초 브레이크 입력에서 최대 브레이크 입력까지의 시간을 분석한 결과 확인되었다, $F(2,28)=6.89$, $p<.01$. 시각조건은 실제 경고를 보고 브레이크를 밟기 시작한 후에도 계속적으로 모니터 경고를 확인하면서 반응을 계속하는 반면, 청각조건에서는 최초 브레이크 반응에서부터 최대 브레이크 입력까지 과외의 확인과정 없이 신속하게 반응하는 것으로 생각된다.

총 4회의 추돌상황에서 추돌사고가 발생하지 않은 경우, 운전자들이 유지한 최소 차간거리를 분석해 보았다. 이 측정치는 실제 사고는 일어나지 않더라도 차간거리가 가까울수록 위험한 상황이므로, 잠재적인 사고위험 정도를 알아보기 위한 것이었다. 시각조건의 최소 차간거리는 평균 약 2m로 다른 두 조건에 비해 약 40cm 정도 더 짧은 경향을 보였으나, 통계적으로 의미있는 차이는 없었다, $F(2,28)=2.10$, $p>.10$.

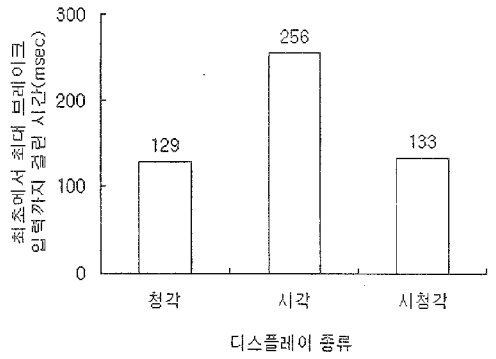



그림 11. 최초 브레이크에서 최대 브레이크 입력까지 걸린 시간

작업부하. 작업부하 측정은 실험 1과 동일하게 이루어졌다. 분석 결과 각 차원에 따라서 정보제공 양상에 따른 작업부하가 다르게 나타났다. 그림 12에서 보듯이 6개의 차원들 중 심적 요구, $F(2,28)=4.726$, $p<.05$, 신체적 요구, $F(2,28)=2.950$, $p<.10$, 시간적 요구, $F(2,28)=3.552$, $p<.05$, 노력, $F(2,28)=6.645$, $p<.05$, 그리고 수행, $F(2,28)=2.901$, $p<.10$ 의 다섯 차원에서는 통계적으로 의의있는 차이가 났다. 그러나 좌절, $F(2,28)=1.435$, $p>.10$, 에서는 조건에 따른 차이가 없었다.

사후분석 결과 차원마다 조금씩 다른 양상을 보였는데, 심적부하와 수행의 경우 시각과 청각의 차이는 없었고($p>.10$) 청각과 시청각의 차이만 있었다($p<.10$). 이것은 운전수행에서 시청각조건이 보여준 우수한 수행과는 대조를 이룬다. 특히 시스템을 사용하는 것 자체가 심리적인 부담을 주고, 스스로 평가하기에 이 시스템을 이용하여 수행한 결과가 만족스러웠는지를 나타내는 수행 측면에서 이러한 결과를 보인다는 것은 고려할 만하다.

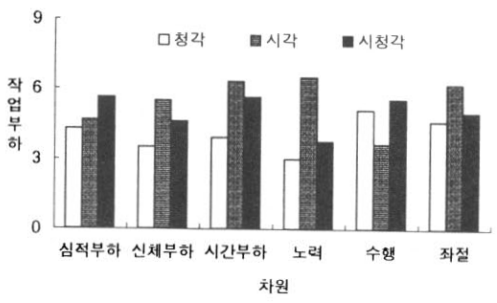



그림 12. 항법장치의 정보제공 양상에 따른 작업부하

디스플레이가 시청각으로 제시되는 것이 운전자가 주의를 기울여야 할 정보 수를 늘림으로써 운전자의 심적부담을 증가시켰다. 그 결과 운전자는 시스템을 복잡하게 생각하고, 운전수행도 실제로는 우수했으나 스스로 평가하기에는 나쁘게 평가하였음을 시사한다. 또한 현행 판매되고 있는 항법 시스템들이 모두 청각적인 정보를 주고 있는 점과 본시행의 10km 주행 거리가 비교적 짧았음을 생각해 볼 때, 장거리를 운전하면서 이러한 추돌경고 시스템을 이용하는 경우는 청각 디스플레이 만으로도 충분할 가능성이 있다.

신체부하와 시간부하의 사후분석 결과는 심적부하와 수행과는다른 결과를 보였다. 즉 시각과 시청각의 차이는 없었고($p>.10$) 청각과 시청각 간에서만 차이 있었다($p<.10$). 즉 시각 디스플레이로 눈을 돌려 모니터링 하면서 운전하는 것이 시각과 시청각조건 모두 운전자에게 부담이 되었고, 그만큼 주의가 분산되므로 시간적으로도 급하고 허둥거리는 생각이 들었음을 시사한다. 운전수행에서는 시청각조건이 우수했으나, 작업부하까지 고려해 본다면 추돌상황에서는 시청각으로 정보를 제시는 것이 잉여효과를 가진다고 보기 어렵다. 그러므로 경고자극은 청각만으로도 충분함을 시사한다.

**사용성.** 각 조건에 따른 시스템의 사용성을 분석한 결과, 정보제공 양상에 따른 차이가 없었다, $F(2,27)=1.646$, $p>.10$. 이러한 결과는 추돌방지 시스템이 아직 보편화되지 않았기 때문에 생소하고 시스템에 적응할 충분한 시간이 없었기 때문이라고 생각할 수 있다. 이러한 점들은 디스플레이 종류에 상관없이 추돌 방지 시스템이라는 것 자체가 사용하기 힘들다고 느끼게끔 할 수 있는 요인이다.

## 종 합 논 의

본 연구에서는 시뮬레이션 실험을 통해 운전상황(항행상황과 추돌위험 상황)에 따라 항법장치의 정보제공 양상이 운전수행과 작업부하에 어떠한 영향을 미치는지를 검토하고자 하였다. 실험 1은 가장 기본적이고 일반적인 항법장치를 이용하여, 정보제시 방법을 시각, 청각, 그리고 시청각조건으로 나누어 교차로 별로 목적지까지의 길을 안내해 주는 안전한 상황을 모사한 것이었다. 실험 1의 결과를 요약하면 다음과 같다. (1) 시각조건에서 차선 내 차량 변산성이 가장 컸다. (2) 항법장치의 정보제공 양상이 작업부하에 미치는 영향은 없었으며, (3) 사용성 분석 결과 시각조건의 사용성이 청각조건과 시청각조건에 비해 낮았다.

실험 1은 되도록 70km/h를 유지하면서 시각, 청각, 혹은 시청각 디스플레이를 통해 교차로의 진행방향 정보를 주고, 이 정보에 맞게 스티어링 휠을 조작하여 회전하거나 직진하는 과제였다. 그러므로 실제로 액셀러레이터나 브레이크 입력을 통하여 수행할 과제요소는 없었다. 따라서 운전수행의 종적통제 측정치는 모든 조건에서 같았다. 이것은 시각조건과 청각조건의 정보량을 최대한 동일하게 만들어 운전수행과 작업부하의 효과를 살펴보기 위한 것이었다. 차선 내 차량위치 변산성에서 시각조건의 운전수행이 청각이나 시청각조건보다 나빴던 것은 시각적으로 제공되는 정보를 지속적으로 모니터링 해야 하는 것이 운전수행을 간섭했음을 시사한다.

실험 1이 비교적 안전한 운전상황이었던 반면, 실험 2는 보다 위험한 추돌상황이었다. 항법장치는 단순한 길안내 기능을 넘어서 추돌상황 시 경고를 주는 기능까지 겸비한 추돌방지 시스템으로서의 역할도 수행할 수 있으므로, 시뮬레이션을 통해 추돌상황에서의 운전수행과 작업부하를 살펴 보았다. 운전자가 비교적 시간적 여유를 갖는 길안내 조건에 비해, 보다 긴급하고 신속한 반응을 요구하는 추돌상황에서 정보제공 양상에 따른 차이들을 검토한 결과, (1) 시각조건이 청각조건과 시청각조건보다 경고가 주어진 후 최초/최대 브레이크 입력까지의 시간이 더 길었으며, 추돌사고 발생빈도도 가장 높았다. (2) 위험한 추돌상황에서는 청각조건의 작업부하가 가장 적었다. (3) 항법 장치의 정보제공 양상에 따른 사용성의 차이는 없었다. 이러한 결과를 통해 위험한 상황에서는 청각정보가 경고로서 우수하다는 것을 한 번 더 확인할 수 있었다. 운전은 시각 주도적인 과제이므로 신속한 반응을 요구하는 상황에서는 같은 시각 경로를 통해 정보를 제시하는 것이 반응의 지연을 초래할 수 있다. 이러한 사실은 최초 브레이크 입력에서부터 최대 브레이크 입력까지의 시간 분석에서 드러나는데, 시각조건에서 그 시간이 가장 길었다. 이런 결과는 청각정보가 초기 반응(최초 브레이크 입력)의 유발뿐만 아니라 최종 반응(최대 브레이크 입력)까지의 시간도 단축시킨다는 것을 제시한다. 즉, 시각정보는 지속적으로 그 정보의 내용을 모니터링 하면서 재빨리 반응해야 하므로, 최초로 유발된 반응으로부터 최종 반응까지 계속 확인 과정을 거치는 것으로 생각할 수 있다.

비교적 시간적 여유가 있고 안전한 항행상황과 위험하고 신속한 반응을 요구하는 추돌상황을 비교해 보았을 때, 운전수행과 작업부하는 항법장치를 통해 제시되는 정보의 양상에 따라 차이가 있었다. 즉, 항행상황에서는 청각과 시청각정보가 청각에 비해 상대적인 이점을 가지는 반면, 추돌상황에서는 청각정보만으로도 추돌사고를 피하는 목표행동에 도달하기에 충분하였다.

본 연구에 사용된 운전 시나리오는 선행연구들의 운전 시나리오에 비하면, 항행의 복잡도가 매우 낮은 편으로 최소량의 정보만을 제시하는 간단한 조건이었다. 그러므로 상징 등을 사용하여 한 디스플레이 내에 많은 정보를 포함할 수 있는 시각조건과 전하려는 정보 수만큼 메시지의 내용이 복잡해지고 길어지는 청각조건의 차이 등은 살펴볼 수 없었다. 그러므로 추후 연구를 통하여 운전상황에 따라 정보량이 운전수행과 작업부하에 미치는 효과를 살펴보는 작업이 뒤따라야 할 것이다. 또한 본 연구는 실험상황을 항행과 추돌상황으로 나누어 항행 혹은 추돌 중 한 가지 상황만을 발생하도록 하였다. 이러한 운전상황은 인위적이고 실제 운전상황과는 다른 조작이었다. 또한 주행거리(항행 12 km, 추돌 10km)도 비교적 짧았다. 그러므로 추후 연구에서는 보다 장거리를 운전하는 동안 항행과 추돌이 혼합되어 발생하는 보다 자연스러운 운전상황을 구현하여 운전행동과 작업부하의 효과를 살펴볼 필요가 있다.

## 참 고 문 헌

건설교통부(1999). 지능형 교통시스템(ITS) 기본계획.

이재식(1990). 자동차내 항법 시스템의 정보 제

공 형태에 따른 운전자의 정보처리와 운전통제: 정보의 감각양상과 제시빈도의 효과. 한국심리학회지: 실험 및 인지, 9(2), 43-61.

통계청(1996). 한국 통계월보 12월호.

Brainard, R. W., Irby, T. S., Fitts, P. M., & Alluisi, E.(1962). Some variable influencing the rate of gain of information. *Journal of Experimental Psychology, 63,* 105-110.

Dingus, T. A., Hulse, M. C.(1990). *Preliminary human factors test and evaluation of the TravTek and highway driver's assistant conceptual design.* Submitted to General Motors, Moscow, ID: Human Factors Research Institute, University of Idaho.

Dingus, T. A., Hulse, M. C., Fleischman, R. A., McGehee, D. V., & Manakkal, N.(1997). Effects of age, system experience, and navigation technique ondriving with an advanced traveler information system. *Human Factors, 39*(2), 177-199.

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*(2), 216-229.

Hart, S. G., Childress, M. E., & Bortolussi, M.(1981). Defining the subjective experience of workload. *Human Factors Society 25th Annual Meeting.* Santa Monica, CA: Human Factors Society.

Hart, S. G., & Staveland, L. E.(1988). Development of NASA-TLX(Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In In P. A. Hancock & Meshkati (Eds.), *Human mental workload.* Amsterdam: North Holland.

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.

Labiale, G.(1990). In-car read information: Comparision of auditory and visual presentation. *Proceedings of the Human Factors Society 34th Annual Meeting,* 623-627.

McCormick, E. J., & Sanders, M. S.(1987). *Human Factors Engineering and Design.* New York: McGraw-Hill.

Means, L., Carpenter, J. T., Szcublewski, F. E., Fleischman, R. N., Dingus, T. A., & Krage, M. K.(1993). Design of TravTek auditory interface. *Transportation Research Record 1403,* Transportation Research Board, National Research Council, Washington DC.

Mollenhauer, M. A., Lee, J., Cho, K., Hulse, M. C., & Dingus, T. A.(1994). The

effects of sensory modality and information priority on in-vehicle signing and information systems. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 38th Annual Meeting*, 1072-1076.

Srinivasan, R., & Jovanis, P. P.(1997). Effects of selected in-vehicle route guidance systems on driver reaction times. *Human Factors, 39*(2), 200-215.

Stokes, A., Wickens, C., & Kite, K.(1990). *Display Technology: human factors concept*. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers.

Streeter, L. A., Vitello, D., & Wonsiewicz, W. (1985). How to tell people where to go: Comparing navigational aids. *International Journal of Man-Machine Studies, 22*, 549-562.

Techner, W., & Krebs, M.(1974). Laws of visual choice reaction time. *Psychological Review, 14*, 1-35.

Walker, J., Alicandri, E., Sedrey, C., & Roberts, K. (1990). *In-vehicle navigation devices: Effects on the safety of driving performance* (Tech. Rep. FHWA-RD-90-053). McLean, VA: Office of Safety & Traffic Operations, Federal Highway Administration.

Williges, R. C., Williges, B. H., & Elkerton, J. (1987). Software interface design. In G. Salvendy (Ed.). *Handbook of Human Factors*(pp. 1416-1448). New York: Wiley & Sons.

Zwahlen, H. T., & DeBald, D. P.(1986). Safety aspects of sophisticated in-vehicle inform- ation displays and controls. *Proceedings of the Human Factors Society 30th Annual Meeting*, 256-260.

1차 원고 접수: 2000. 2. 11.
최종 원고 접수: 2000. 4. 24.

한국심리학회지 : 산업 및 조직
Korean Journal of Industrial and Organizational Psychology
2000. Vol. 13, No. 1, 23-40.

# Driving Condition and Modality Effect of In-vehicle Navigation System on Driving Performance and Mental Workload

Bia Kim and Jaesik Lee

Pusan National University

The purpose of the present study was to compare driving performance, subjective mental workload levels, and usability evaluation when driving conditions(normal navigation vs. front-to-rear end collision situation) and the information modality of in-vehicle navigation system(visual, auditory, and audio-visual) were varied. Driving performances were measured both by longitudinal(variabilities in accelerator input, driving speed, and brake input) and lateral vehicle controls(variabilities in lane position and steering wheel rate). NASA-TLX, which was adopted to measure subjective mental workload, and the drivers' subjective evaluation for the system usability were also measured. The results of Experiment 1 where normal and navigational driving was required can be summarized as the followings: (1) The drivers showed smaller lane position variability when the navigational information was provided through auditory or audio-visual modality than through visual modality. But (2) the other driving performance measures and subjective workload ratings were not significantly different among the types of information. And (3) the auditory or the audio-visual navigation systems were evaluated to be more usable than the visual system. In Experiment 2, collision situation was simulated by manipulating the speed of the vehicle which the drivers were asked to follow. The results of the Experiment 2 showed the followings: (1) Time to initial and full brake application after the warnings were shorter when the information was presented auditory or audio-visually than visually. (2) Subjectively reported workload levels were lowest in the auditory condition, but (3) the usability evaluation did not differ among the three types of warning. Finally, implication and issues related to this study were discussed.