Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 25, No. 3 pp.67-75, August 2006

청각 주변 자극의 효과를 고려한 효율적 차량-운전자 상호 연동 모델 구현 방법론

나 종 관 · 박 민 용

한양대학교 산업공학과

Implementation of the Perception Process in Human-Vehicle Interactive Models(HVIMs) Considering the Effects of Auditory Peripheral Cues

Chongkwan Rah, Minyong Park

Department of Industrial Engineering, Hanyang University, Seoul, 133-791

ABSTRACT

HVIMs consists of simulated driver models implemented with series of mathematical functions and computerized vehicle dynamic models. To effectively model the perception process, as a part of driver models, psychophysical nonlinearity should be considered not only for the single-modal stimulus but for the stimulus of multiple modalities and interactions among them. A series of human factors experiments were conducted using the primary sensory of visual and auditory modalities to find out the effects of auditory cues in visual velocity estimation tasks. The variations of auditory cues were found to enhance/reduce the perceived intensity of velocity as the level changed. These results indicate that the conventional psychophysical power functions could not applied for the perception process of the HVIMs with multi-modal stimuli. 'Ruled surfaces' in a 3-D coordinate system(with the intensities of both kinds of stimuli and the ratio of enhancement, respectively for each coordinate) were suggested to model the realistic perception process of multi-modal HVIMs.

Keyword: Human-Vehicle interactive models, Cross-modal enhancement effect, Perception process

1. 서 론

적극적 의미의 차량용 첨단 안전 시스템 개발이란 주행 중인 차량의 동역학적 특성을 기반으로 운전자의 시각으로 바라 본 다양한 환경적 관찰 변수의 극적 변화에 대하여 특별한 심적 동요나 고차원적인 차량 조작 없이 차량의 운동 안정성을 유지할 수 있는 시스템의 개발이라 할 수 있다. 차량의 동적 안정성을 유지하여 안전한 주행을 유도하기 위한 시스템 (예, Electronic Stability Program: ESP 등)과 탑승자의 편안함을 위한 시스템(예, Adaptive Cruise Control: ACC 등)으로 나누어 볼 수 있으며, 운전자의 정신적이고 육체적인 작업 부하를 줄이고자 하는 목적으로 점차 지능화 및 자동화되어 가고 있는 추세이다(민석기와 이경수, 2002; Labiale, 1997).

그러나 이처럼 지능화된 차량용 첨단 안전 시스템은 대부분 차량의 물리적 운동 특성 정보만을 기반으로 자동적으로 동작하도록 설계되었으므로 기존의 일반적인 차량에 익숙한

교신저자: 박민용
주 소: 133-791 서울시 성동구 행당동 17, 전화: 02-2220-0477, E-mail: mypark@hanyang.ac.kr

운전자가 이해하고 있는 차량에 대한 동적 반응 특성이나 기대 속성을 벗어나는 경우가 발생할 수 있다. 이는 운전자로 하여금 예상할 수 없는 반응을 유도하거나 차량 운행에 대한 정보 흐름을 이해하는 것을 방해하게 되어 위험을 초래할 가능성이 있다. 따라서 개발 단계부터 이러한 시스템이 탑재된 차량을 제어하는 인간 운전자의 감각수용 특성 및 반응 특성이 차량이나 안전장치가 가지는 물리적 요인과 더불어 반드시 결정적 시스템 제어 변수로서 평가되어야 한다(Middleton and Westwood, 2001).

인간 요인을 결정적 제어 변수로 포함하여 개발 중인 시스템의 타당성을 검증하기 위한 과정에 사용될 수 있는 방법으로는 다음과 같이 크게 세 가지로 나누어 볼 수 있다. 첫 번째로, 실제 도로나 모의 도로에서 개발 중인 시스템을 장착한 차량을 여러 가지 도로 조건이나 환경에 따라 다양한 인간공학 요인을 가지는 실험 참가자가 직접 운행하도록 하는 '실차 실험 방법'이 있으며, 두 번째로 차량의 구현 가능한 모든 물리적 속성을 컴퓨터 환경에서 시각적 장치와 몇 가지 물리적 인터페이스를 마련하여 가상의 운전 환경을 구현하는 '차량 운전 시뮬레이터'를 이용하는 방법이 있다. 마지막으로, 본 연구의 대상인 '차량−운전자 상호 연동 모델'이 있다. 이는 차량 및 첨단 안전 시스템이 가지는 동적 특성을 역학적 상태 방정식 등의 정의를 통해 수리적으로 구현하는 컴퓨터 기반의 차량 동역학 모델(vehicle dynamic models; 예로써 MSC. Software 사의 ADAMS/Car®)과 그림 1에 나타난 바와 같이 인간의 감각수용 및 지각 과정, 인지 및 정보화 과정, 반응 선택 과정 그리고 실행 및 피드백 과정에 이르는 모든 정보처리 단계를 확률적으로 정의된 일련의 수학적 함수로 구현한 가상 운전자 모델의 연동을 통해 도로 상황이나 제약 조건 등의 운전 환경을 나타내는 미리 정해진 시나리오에 적절히 대응하여 반복적이고 확률적 모의실험이 가능하게 구성한 복합체를 의미 한다(Prokop, 2000; Delorme and Song, 2001; Prokop, 2001).

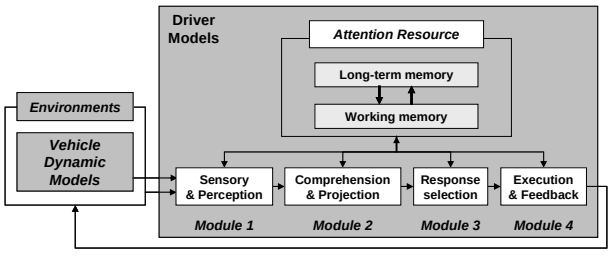

그림 1. 차량−운전자 상호 연동 모델

'실차 실험 방법'의 경우 차량과 안전 보조 시스템이 가지는 물리적 특성이나 한계 등의 평가에 가장 적합한 방법이며 인간의 생리적 그리고 생체 기능적 요인들과 개발 중인 시스템의 상호작용 실험에 가장 적합하나 실제 차량과 개발 중인 첨단 안전장치 시제품을 포함한 모든 시스템이 갖추어져야 하며 실험 목적에 맞는 실험 참가자 집단이 실험수준 조합별로 유의한 수준 이상 모집되어야 하는 등의 현실적 어려움이 있다.

'차량 운전 시뮬레이터'를 활용한 실험 및 검증 과정에서는 실험 참가자들에게 실제 차량을 운전하는 효과를 주기 위해 대체 자극(전진하는 차량의 묘사를 위해 뒤로 흐르는 배경을 제공하는 등)을 제시하게 되며 이때 구현된 제한적 상황인식 요인들은 운전자가 일반적인 도로 환경에서 자연스럽게 인지하고 있는 다양한 감각요소(시각, 청각, 촉각 등) 요인들의 변화와 괴리가 발생하게 된다. 이는 시뮬레이터의 자유도가 커질수록 더 많은 요인에 대한 왜곡 현상이 인지될 가능성이 높아질 수 있으며(Stanney, et al., 2003) 사용자의 생리적 부작용(Penhallegon, 2003)이 초래되어 실제 시스템 환경에서와 상이한 반응 패턴을 나타내는 행동주의적 문제 또한 존재 한다(Min, et al., 2004). 또한 운전 이라는 동적 직무를 수행함에 있어 가장 중요한 정보 흐름에 대한 이해(Rogers, et al., 1995)를 대체 자극을 통해 유도하는 과정에서 실제 환경과는 상이한 상황인식 요인 수집 과정이 나타나게 되고 게다가 인위적인 주의자원 분배 과정(Wickens and Hollands, 2000)을 통해 관심 독립변수 수준 변화와 상관없는 실험 외적 요인에 의한 실험 결과 왜곡이 발생할 수 있다.

'차량−운전자 상호 연동 모델'의 경우는 컴퓨터를 기반으로 하는 가상의 운전자 모델이 포함된 차량 주행 시스템 전반에 대한 시뮬레이션 과정으로 설명할 수 있다. 그 중 주행과 관련된 차량의 물리적 제어 과정과 제어에 의해 도출되는 차량의 물리적 상태 속성의 변화 등을 산출 하는 기계적 수치 해석 과정은 상용화된 소프트웨어(e.g. Adams/Car®, CarSim®, etc.)가 출시되는 등 매우 높은 완성도를 보이고 있으나 차량의 물리적 속성 값을 수용하여 가까운 미래를 예측하고 반응을 선택하며 실행에 옮기는 가상의 운전자에 대한 모델링 과정은 아직 초기 단계라 할 수 있다. 즉, 완벽하게 모든 물리적 변수 값을 수용하고 이해함을 가정하여 동일한 감각수용 민감도와 반응 선택 정책 그리고 동일한 수행도를 가지는 실행 과정을 적용한 고정된 형태의 제어 모델이 활용되고 있다. 완성도 높은 시스템 구축을 위해 차량 주행과 관련된 동역학적 지식과 제어 요소에서 활용되고 있는 결정적 제어 변수 등을 이해해야 하는 등의 전문 지식이 요구되며 가상 운전자 모델과의 인터페이스를 결정해야 하는 선결 과제가 있으나 차량 동역학 모델로부터 운전자 모델로의 신호 입력 부에 해당하는 인간의 감각수용 및 지각 과정으로부터 차량 동역학 모델로의 출력 부에 해당하는 반응

실행 과정에 이르는 각 단계별 정보처리 과정을 객체화하여 독립적으로 구성할 수 있는 특성이 있다. 이는 각 단계 별 특성에 맞는 비선형 함수의 호출, 신호 왜곡 정도를 나타내는 가중치 부여, 또는 퍼지 추론 과정 등을 통한 반응 선택 과정 구현 등 유연하고 체계적으로 구현할 수 있고 궁극적으로는 다양한 인간공학 요인(Park and Rah, 2005)에 따른 인간의 특성을 특정 정보처리 단계 별 발현 시점에 따라 적절히 분배하여 합리적인 방법으로 구현할 수 있다는 큰 장점이 되므로 개발 대상 시스템의 특성 변화에 대한 인간의 감각수용 및 반응 특성 추이를 설명하기 위한 가장 적절한 모델로 판단된다.

2. 연구 대상

기존의 상용화된 차량 동역학 모델과 연동하여 운용될 수 있는 가상의 인간 운전자 모델에 관한 연구는 크게 직선 도로 환경에서 선행 차량과의 거리나 상대속도 등의 요인을 관심 변수로 활용하는 '선행 차량 추적 모델'과 같은 종적 운전자 모델(longitudinal driver models) 구축 연구(Hoffmann and Mortimer, 1996; Marsden, et al., 2001)와 차선 변경이나 곡선 도로 주행과 같은 횡적 주행 제어를 설명하기 위한 연구(Neusser, et al., 1993; 성원석, 등, 2002)로 나누어 볼 수 있다. 기존의 이와 같은 형태의 모델은 대부분 차량 동역학 모델로부터 출력되는 다양한 형태의 차량 거동 특성을 설명하는 물리적 수치 변화를 입력 신호로써 사용하는 하나 또는 수 개의 전달 함수로 표현된다. 주행하는 차량의 여러 가지 물리적 특성치 변화에 대한 함수 값이 미리 정해진 판별 기준 상의 어느 영역에 포함되는가를 동적으로 추적하여 가·감속 또는 조향 등의 반응 종류를 결정하고 그 실행 수준을 출력하는 모델이라 할 수 있다. 즉, 인간의 의사결정 및 제어 과정과 표면적으로 유사하며 일부 생리적 반응 지연시간 등을 포함하는 제어 모델이라는 점에서의 소극적 의미의 운전자 모델이며 인간의 심물리학적 감각수용 특성이나 모호한 반응 선택과 실행 과정을 설명하기에 한계가 있는 모델이라 할 수 있다. 특히, 다양한 감각요소 자극이 동시다발적으로 존재하여 인간의 감각수용 과정 등에 서로 영향을 미치는 참여형 멀티미디어 시스템(나종관과 박민용, 2004)으로서의 차량 운행 과정을 설명할 수 없는 시각정보 중심의 단일 감각요소 모델이다.

이에 본 연구에서는 인간의 특성을 잘 설명할 수 있는 적극적 의미의 종적 운전자 모델 구축을 목적으로 그 첫 단계인 비선형 감각수용 및 지각 과정 구현 방법론을 제안하고자 한다(그림 2).

그림 2 행렬의 각 행은 차량 동역학 모델의 다양한 감각요소를 가지는 여러 가지 변수를 의미하며 차량 동역학 모델이 구현할 수 없는 소음 수준 등의 변수는 기타 관련된 물리적 속성을 바탕으로 추정하여 근사할 수 있다. 또한 각 열은 시간 흐름에 따라 나타나는 특정 시점에서의 차량 동역학 모델 출력 값을 의미한다.

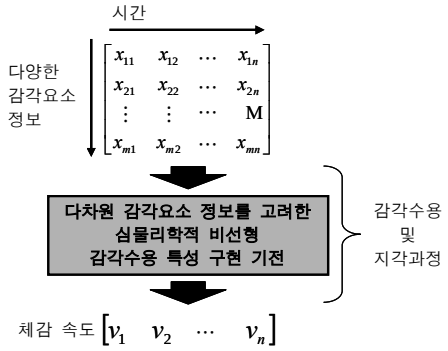

그림 2. 감각수용 및 지각 과정 개념도(체감 속도 구현 과정의 예)

3. 연구 방법

종적 인간 운전자 모델 구현 과정에서는 차량 운행과 관련된 다차원 정보에 대한 운전자의 주의자원 활용 전략에 대한 이해가 우선되어야 한다. 기본적으로 작업 기억 활용에 대한 의존도가 높으며(Guerrier, et al., 1999), 동시에 장기 기억 정보인 운전 경력 등으로 발생하는 운전자의 지식을 인출하게 된다. 또한 패턴 인식 과정과 유사한 가까운 미래에 대한 예측 능력이 운전 중 감각기관을 통해 수집되는 정보와 함께 종합적으로 분석되고 그에 따라 반응해야 하는 전형적인 분산 주의 환경으로 설명할 수 있다. 그러나 현실적으로는 운전이라는 직무의 특성상 불연속적으로 끊임없이 발생하는 돌발적인 상황(Strayer and Drews, 2004; Trick, et al., 2004) 또는 경험의 차이에 의한 적절한 주의자원 분배의 실패 문제(Underwood et al., 2002)를 살펴볼 때 주행 중 나타나는 독립적인 상황들은 선택 주의 조건으로 설명하는 것이 합당하다. 그리고 운전자의 주의자원이 중심 자극인 시각적 개체들의 변화에 중점적으로 분배되어 있는 경우 동시에 나타나는 청각적 자극은 동등한 우선순위를 가지기 어려우며 운전자의 선택에 의한 중심 자극 주변에 존재하는 주변 자극의 역할을 가지게 될 것이다(Driver and Spence, 1998).

따라서 운전 중 나타날 수 있는 대표적인 크기측정 과제인 속도 추정 과제를 대상으로 시각적 질점의 속도 변화를

중심 자극으로 선정하였으며 백색잡음의 크기 변화를 주변 자극으로 추가하여 실험 참가자들로 하여금 시각적 개체의 속도를 추정하도록 함으로써 자연스럽게 선택 주의 조건이 형성되도록 유도하였다.

3.1 예비실험

실험의 효율성과 정밀한 분석을 위하여 소규모의 예비실험을 진행하였다. 예비실험을 통해 나타나는 결과는 적은 실험 수준으로 진행하므로 독립변수 수준 변화에 대한 전체적인 추세나 교호작용 출현 경향 등을 보다 뚜렷하게 해석할 수 있고 향후 감각수용 및 지각 과정 모델링을 위한 본 실험의 합리적 실험계획을 가능하게 할 수 있다.

크기 평가 과정에서는 차량 운전 과정이 연속적으로 진행되는 안정 상태의 주행과 불연속적으로 일어나는 여러 환경변수의 변화임을 고려하여 기준 자극(청각 주변 자극 없이 이동하는 1m/sec 질점; 100점에 해당)을 먼저 제시하고 실험 자극을 수준별로 제시하여 변화된 비율을 또 다른 감각요소인 선분의 길이 등으로 표현할 수 있도록 하는 비율 추정 및 표현 과정(ratio production; Stevens, 1974) 방법을 사용하였다. 데이터 수집은 나종관과 박민용(2004)의 연구에서 제안한 심물리학적 척도 체계인 MMES(Multiple modality Magnitude Estimation scaling System)가 사용되었다.

3.1.1 실험 참가자

실험을 위해 청력 및 시력검사를 통해 정상으로 판단되는 23세 이상 34세 이하의 자발적 남녀 대학원생 18명이 참가하였다. 참가자들에 대해 MMES 사용법에 대한 교육을 실시하고 유사한 과제를 부여하는 예비실험을 통해 본 실험을 위한 충분한 훈련을 쌓도록 하였다. 또한 실험 예정일 일주일 전부터 큰 소음이 발생하는 레저 활동이나 작업장 출입을 자제하도록 하여 실험 외적 요인에 의한 생리적 영향을 최소화 하였다.

3.1.2 실험 장비 및 시설

시각 자극으로는 100×140cm 검은 스크린 상에서 실험 수준에 따라 다른 속도로 1m 만큼 이동하는 직경 5cm의 노란색 원을 사용하였으며, 동시에 청각적 자극으로는 백색잡음을 수준 별 원의 이동시간과 동일한 시간 동안 수준 별로 각각 다른 수준으로 제시하였다. 이때 백색잡음은 B&K type 3560 Sound Generator를 이용하여 생성한 후 실험 수준 조절용 컴퓨터에 저장하고 각 실험 조건 별로 파워 앰프를 통해 증폭시켜 사용하였다. 청각 자극의 실험 수준 설정에는 B&K type 2236 소음 측정기를 사용하여 보정 하였다. 기준 자극은 주변 자극 없이 1m/sec로 1m의 거리를 가로 방향으로 이동하는 원을 사용했으며, 실험 시작과 동시에 실험 참가자의 요청에 따라 여러 번 제시하여 평가에 응용할 수 있도록 하였다. 본 실험을 위해 외부 소음 및 조명이 차단된 전용 실험 환경(나종관과 박민용, 2004)을 구축하였으며, 배경 소음 수준은 40dBA 이하로 측정되었다.

3.1.3 실험 계획

3×3 within-subjects design이 적용 되었으며 독립변수는 중심 자극인 원의 이동 속도(1/4, 2/4, 3/4 m/sec)와 주변 자극인 백색잡음의 크기(1, 2, 3 sones)가 사용되었다. 종속 변수는 실험 참가자가 주관적으로 평가하는 기준 자극의 원의 이동 속도에 대한 비율을 MMES를 통해 입력한 값을 사용하였다. 본 실험의 특성상 실험 순서에 의한 학습효과가 나타날 수 있으므로, 9가지 조건에 대해 18명의 실험 참가자들을 완전히 랜덤 하게 배치하기 위한 counter-balancing을 실시하였다(Keppel and Wickens, 2004a).

3.1.4 실험 결과

분산분석 결과 중심 자극으로 제시한 원의 이동 속도에서는 표 1과 같이 수준별로 1% 수준에서 유의한 차이를 볼 수 있었으나 주변 자극으로 제시한 백색잡음의 크기 변화에 따른 실험 참가자들의 체감 속도 변화는 관찰되지 않았다. 유의 효과에 대한 추후분석(Bonferroni t-test) 결과 원의 이동 속도에 대한 유의성은 세 개의 수준을 모두 다른 그룹으로 나눌 수 있음을 알 수 있었다(α=0.05). 또한, 통계적으로 유의한 수준으로 교호작용이 있음이 나타났다(그림 3).

표 1. 예비실험의 분산분석 결과

Source	*df*	*F*	Pr > *F*
Velocity	2	97.62	<0.0001**
Loudness	2	0.01	0.9870
Velocity × Loudness	4	∞	<0.0001**

(*: α=0.05, **: α=0.01 수준에서 각각 유의함)

3.1.5 예비실험 결과에 대한 토의

실험 결과 가장 괄목할 만한 결과는 청각적 주변 자극에 의해 실험 참가자의 속도 추정치가 통계적으로 유의한 수준으로 영향을 받는다는 것이다. 이 결과를 기존의 다중 감각요소 자극을 대상으로 한 심물리학적 연구에 비추어 본다면 다음과 같은 몇 가지 추론이 가능하다. 서로 다른 감각요소를 가지는 자극이 동시에 주어진 경우에 대한 연구는 판별 및 식별 과제의 경우와 본 연구와 같이 크기 추정 과제를 수행한 경우로 나누어 생각할 수 있다. 판별 및 식별 과제에

서는 중심 자극으로 주어진 자극과 주변 자극으로 주어진 상이한 감각요소 자극이 동일한 정보를 포함하는 경우 중심 자극에 대한 신호 탐지 과정이 보다 효율적으로 이루어진다는 것이다(Cross-modality congruity effect; Duncan et al., 1997; Larsen, et al., 2003). 크기 추정 연구의 경우에는 중심 자극과 상이한 감각요소 자극이 동시에 주어질 때 그 세기 비율이 중심 자극과 유사한 변화 추세를 보일 때 중심 자극을 더 큰 자극으로 인지하는 경향을 설명하였다(cross-modality enhancement effect; Stein, et al., 1996; Odgaard, et al., 2003). 그러나 본 연구의 결과를 살펴보면 실험 수준 별로 서로 다른 경향이 있음을 알 수 있었다. 즉, 중심 자극의 1수준에서는 주변 자극의 크기가 증가할수록 실제 자극의 크기보다 오히려 낮은 수준으로 지각하는 경향이 있으며(상승 비율 위상 역전 구간), 중간 수준에서는 청각적 주변 자극의 크기 증가에 따라 더욱 강한 자극으로 이해하는 전형적인 다중 감각요소 상호 상승효과를 나타냄을 알 수 있었다(상승 비율 단조 증가 구간). 3수준의 경우는 그 상승효과 비율이 감쇠되어 일정 수준으로 수렴함을 볼 수 있다(상승 비율 수렴 구간). 이는 Patton과 Anastasio (2003)의 perceptron model을 이용한 상승효과 비율 계산 방법 또는 자극 세기에 대한 상승효과 비율 분포에 대한 연구에서 나타난 결과인 상승효과가 주변 자극의 크기에 의해 가장 두드러지게 나타나는 구간이 존재하며 상대적으로 약한 세기의 자극들이 중첩되어 나타날 경우 오히려 다중 감각요소 상호 상승효과 비율을 상승시키는 효과가 있다는 결과와 일치한다(그림 3).

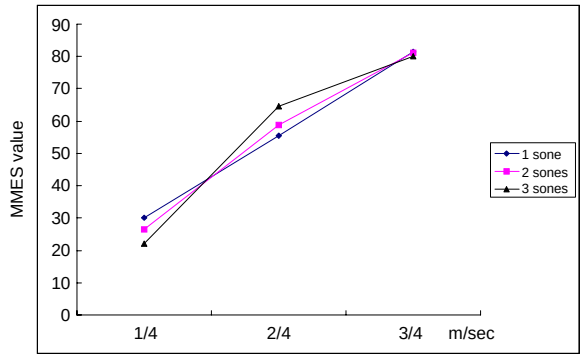

그림 3. 각 수준 별 교호작용(속도×소음 수준)

이상 결과를 종합하면 속도 추정이라는 과제에 청각적 주변 자극이 포함된 경우, 즉 차량의 속도 변화에 따라 청각적 소음 수준이 변화하는 상황을 설명하기 위한 차량-운전자 상호 연동 모델의 감각수용 및 지각 과정 구현을 위해서는 기존 심물리학적 멱 법칙에 의한 지수 함수($\psi = k \cdot \phi^{\beta}$; Stevens, 1971) 만으로는 설명할 수 없음을 알 수 있다.

즉, 다양한 감각요소 자극이 존재하는 운전 환경에서의 가상 운전자 모델링을 위해서는 여러 가지 자극이 동시에 발생하는 환경을 고려한 심물리학적 크기추정과정의 특성을 알아보기 위한 실험과 분석이 요구되며, 이러한 복합적 상호작용을 설명할 수 있는 두 개 이상의 변수를 포함하는 수리모델 또는 감각 수용과정의 비선형 특성을 표현하는 기하학적 방법 등을 응용한 '심물리학적 비선형 감각수용 특성 구현 기전'이 요구됨을 알 수 있다(그림 2).

소규모 예비실험을 통해 수준 별로 그 특성을 달리하는 다중 감각요소 상승효과가 있음을 알 수 있었으며 실험 수준으로 결정된 3수준 속도와 소음 수준을 제외한 나머지 영역의 상승효과 비율을 근사 하는 방법이 필요하다. 실험 수준을 더욱 세밀하게 나누어 정의하여 통계적 신뢰 수준을 얻을 수 있는 방법이 최선일 수 있으나 현실적으로 많은 시간과 대규모 인간공학 실험이 요구되며 적정 수준을 결정할 수 있는 근거가 없다. 이에 본 연구에서는 그림 4와 같이 5수준의 실험이 미지의 수준 조합에 대한 상승효과 비율을 효과적으로 근사할 수 있는 최소 실험 수준임을 제안한다. 이는 상승효과가 두드러지게 나타나는 구간이 중간 수준에 위치하며 나머지 구간의 변화 추세는 일반적인 심물리학적 크기추정 이론(Marks and Gescheider, 2002)에서 밝힌 바와 같이 인간의 감각수용 특성이 자극 변화에 대하여 단조 증가하거나 단조 감소함을 고려할 때 각 구간의 오목 또는 볼록한 2차 곡선 혹은 선형으로 설명될 수 있음을 추론할 수 있으며 이러한 추세 정보를 얻을 수 있는 최소 실험 수준으로 판단된다.

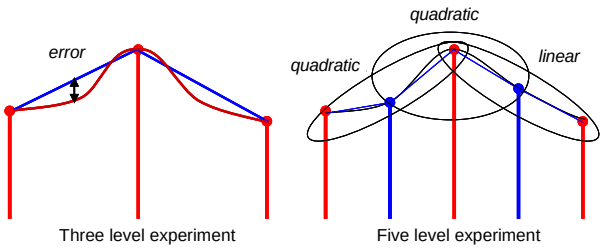

그림 4. 추세 정보를 알 수 있는 5수준 실험의 예

3.2 추세정보 근사를 위한 실험

예비실험에서 사용된 동일한 실험 환경에서 동일한 절차로 추세 정보 근사를 위한 실험을 진행하였다.

3.2.1 실험 참가자

학습효과를 배제하기 위해 예비실험에 참가하지 않은 자를 대상으로 청력 및 시력검사를 통해 정상으로 판단되는

23세 이상 34세 이하의 자발적 남녀 대학원생이 참가하였으며 완전한 랜덤화를 위해 50명(25가지 실험 수준 조합에 대한 counter-balancing 과정 결과)을 모집하여 실험을 진행하였다. 전반적인 실험 과정을 설명하고 유사한 과제를 부여하여 훈련할 수 있도록 하였다.

3.2.2 실험 계획

5×5 within-subjects design이 적용 되었으며 독립변수는 중심 자극인 스크린 상의 원의 이동 속도(1/5, 2/5, 3/5, 4/5, 5/5 m/sec)와 주변 자극인 백색잡음의 크기(1, 2, 3, 4, 5 sone (s))가 사용되었다. 기준 자극으로는 청각 주변 자극이 배제된 4/3 m/sec의 이동하는 질점을 제시하였다. 데이터 수집 방법은 예비실험과 동일하다.

3.2.3 실험 결과

분산분석 결과 질점의 속도 변화에 대하여 1% 유의수준에서 통계적으로 차이가 나타남을 알 수 있었으며, Bonferroni *t*-test 결과 모든 수준을 다른 그룹으로 나눌 수 있음을 확인할 수 있었다. 청각 주변 자극의 수준 변화에 대해서도 유의 수준 5%에서 유의한 차이가 발견되었으나 추후분석 결과 2, 3, 4 수준 간에는 유의한 차이가 발견되지 않았으며, 1수준과 5수준 간에 존재하는 유의성으로 나타났다(표 2). 또한, 예비실험 결과와 유사한 형태의 교호작용이 나타남을 알 수 있었다(그림 5). 즉, 다중 감각요소 상호 상승효과가 두드러지게 나타나는 구간이 존재하며 제시된 자극이 가지는 기준 자극에 대한 비율 보다 오히려 감쇠되는 구간과 상승효과가 일정 수준으로 수렴하는 구간을 발견할 수 있었다. 또한, 자극의 크기가 선형으로 증가할 때 전체적인 체감 자극의 크기 변화는 기존의 고전적 멱 법칙에 해당하는 지수 함수 형태의 비선형 추세를 유지하고 있음을 알 수 있었다. 이는 소음 수준의 변화에 의한 빛의 밝기 추정 과제에서 전반적인 체감 자극 크기가 증가 했으나 전체적 체감 자극 크기 변화 추세가 고전적 멱 법칙에 의한 비선형성을 유지함을 설명한 Stein 등의 연구(1996)의 결과와 유사한 현상으로 설명할 수 있다.

표 2. 추세정보 근사를 위한 실험의 분산분석 결과

Source	*df*	*F*	Pr > *F*
Velocity	4	744.37	<0.0001**
Loudness	4	3.40	0.0100*
Velocity × Loudness	16	7.91	<0.0001**

(*: α=0.05, **: α=0.01 수준에서 각각 유의함)

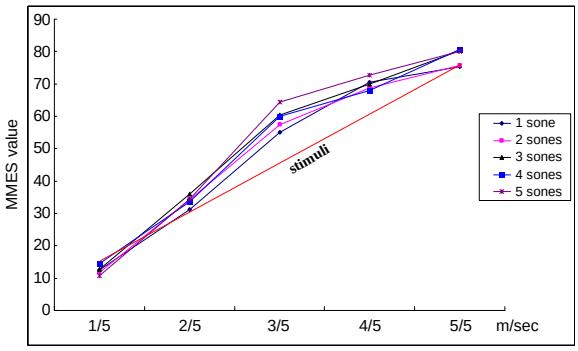

그림 5. 각 수준 별 교호작용(속도×소음 수준)

3.2.4 다중 감각요소 상호 상승효과 비율 평면 구현

속도와 소음 수준으로 구성된 25개 수준 조합 점에서 표 3과 같은 다중 감각요소 상호 상승효과 비율을 얻을 수 있었다. 괄호 안에 있는 백분율은 기준 자극에 대한 실험 참가자의 실험 수준 별 평가치가 실제 비율과 일치할 경우를 '1'로 표현한 것이며 1보다 큰 값을 가지는 조합은 청각 주변 자극에 의해 중심 자극의 크기를 실제 보다 더 크게 느끼는 경우를 의미한다. 실험 수준 이외의 영역에 대한 근사 과정은

표 3. 다중 감각요소 상호 상승효과 비율

	1/5(15%)	2/5(30%)	3/5(45%)	4/5(60%)	5/5(75%)
1	0.8366	1.0424	1.2235	1.1752	1.0039
2	0.7817	1.1378	1.2739	1.1450	1.0082
3	0.8523	1.2016	1.3412	1.1654	1.0709
4	0.9673	1.1224	1.3337	1.1331	1.0766
5	0.7545	1.1467	1.4325	1.2122	1.0769

(각 열은 속도 변화(m/sec)를, 각 행은 소음 수준 변화(sones)를 나타내며 괄호 안의 숫자는 기준 자극에 대한 자극의 크기 비율을 의미함)

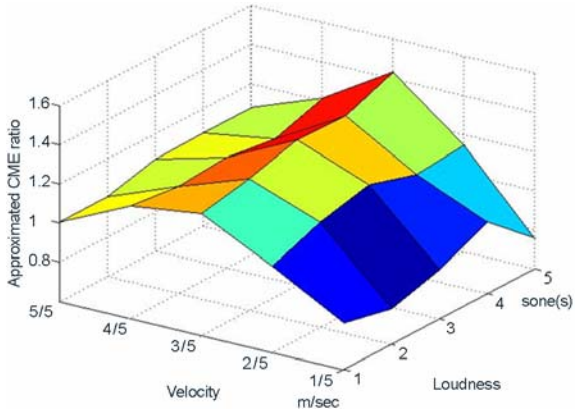

그림 6. 다중 감각요소 상호 상승효과 비율 선직면 집합

실험을 통해 정의된 점들 중 인접한 2개의 점이 이루는 직선이 인접해 있는 다음 수준의 속도와 소음 수준 지점에 만들어진 해당 직선을 향하여 연속적으로 이동할 때 형성되는 자취를 의미하는 25개의 근사 선직면(線織面; approximated ruled surfaces) 상의 점이 가지는 높이 정보를 의미하며 MathWorks사의 MATLAB® 7.0을 통해 구할 수 있었다 (그림 6).

4. 토 의

인간의 인지 정보처리 과정을 모델링 하고자 하는 최근의 연구는 하나 또는 수 개의 함수를 활용하여 설명하는 방법으로부터 각 단계별로 특성화된 방법으로 구현하려는 노력이 이어지고 있으며, 시스템으로부터의 신호를 가공하지 않은 채 입력 단계 자체를 감각수용 및 지각 과정으로 설명하던 기존의 선형 시스템(Marsden, et al., 2001)을 탈피하여 입력 신호가 가지는 감각요소 별로 인간의 심물리학적 특성을 규명하고 동적 시스템에 적용하는 비선형 시스템 개발이 이루어지고 있다. 또한 시간 요인을 포함하여 연속적으로 입력되는 신호를 처리할 수 있는 동적 시스템의 개발이 활발하게 이루어지고 있으며 이러한 종합적 과정을 컴퓨터를 기반으로 시뮬레이션 할 수 있는 통합 시뮬레이션 시스템 개발로 노력이 집중되고 있다(Luce, 1999).

이러한 시스템 개발의 기초 연구로서 본 연구에서 제시한 인간의 감각수용 및 지각 과정 구현 방법론은 동적으로 신호를 발생시키는 차량 동역학 모델과 연동되어 차량이 발생시키는 신호 또는 자극을 인간이 느끼는 체감 자극 수준으로 변환할 수 있는 기초적 방법으로서의 의미가 있으며 단일 감각요소 자극에 대한 비선형 특성을 설명한 기존 심물리학 법칙을 바탕으로 정보 흐름이 유사한 두 가지 감각요소 자극이 동시에 존재하는 경우로 확장시킬 수 있는 기반 기술에 해당한다.

특히 적은 수준(3수준)의 시각 및 청각 감각요소를 가지는 독립변수를 통해 모수효과(fixed effect)의 2 변수 요인 실험(two-factor within-subjects design; Keppel and Wickens, 2004b)을 계획하여 예비실험을 진행함으로써 중심 자극인 시각 자극과 주변 자극으로서의 청각 자극의 수준 변화에 따른 뚜렷한 교호작용 효과를 경제적으로 관찰할 수 있었다. 예비실험 결과를 바탕으로 중심 자극인 시각적 질점의 속도 변화에 따라 상이한 특성을 가지는 교호작용 효과를 설명할 수 있었으며 '다중 감각요소 상호 상승효과 비율'이라는 척도를 발견할 수 있었다. 관심 구간의 단조 증가 또는 감소 특성을 가지는 인간의 심물리학적 특성을 고려한 5수준 실험을 실시하였으며 이를 통해 관심 구간 내의 다중 감각요소 상호 상승효과 비율을 추정할 수 있는 25개의 선직면 집합을 도출할 수 있었다.

그러나 실험실 내에서 이루어진 본 연구의 실험 특성상 연구에 사용된 자극의 수준이 3수준 또는 5수준 등 불연속적으로 구성되어 근본적으로는 질적 변수의 통계적 유의성을 분석한 것과 크게 다르지 않다. 즉 질적 독립변수 수준별 통계적 유의성을 바탕으로 구축된 근사 선직면을 통해 양적 특성을 가지는 차량 동역학 모델과 직접적으로 연동하여 활용할 수 있는지에 대한 의문이 남는다. 또한 실험에 사용된 독립변수의 크기 범위가 실제 차량의 그것과는 상당한 차이가 있으므로 본 연구의 결과를 직접 응용할 수 없는 한계가 있다. 하지만 이러한 문제는 기준 자극에 대한 실험 수준별 자극의 크기 변화 비율을 또 다른 감각요소 자극으로 제시하도록 하는 '비율 추정 및 표현 과정'을 활용한 결과 이므로 연구의 결과를 실제 시스템에서 검증 및 보정하는 과정을 거친다면 전체 자극 범위에 대한 일반적인 상승효과 비율의 변화 추이를 실제 시스템 자극 범위로 확대 해석할 수 있을 것으로 기대된다.

또한, 기초 연구로서 2차원 평면에서 이동하는 질점의 이동 속도에 대한 감각수용 특성을 규명하려는 실험 및 분석을 진행하였으나 실질적으로 인간 운전자가 운전 과정에서 수집하는 대부분의 정보는 깊이 정보가 추가된 3차원 자극임을 고려할 때 향후 보다 효율적 운전자 모델을 개발하기 위해서는 3차원 정보를 이해하기 위한 상황인식 요인을 정의하고 각 요인에 대한 심물리학적 기초실험 및 실차를 이용한 실험 및 검증과정이 이루어져야 할 것이다.

마지막으로 본 연구의 다중 감각요소 상호 상승효과 비율 근사 과정에 사용된 기하학적 접근 방법은 실험 수준을 최소한 5수준 이상으로 정의하여 추세 정보가 포함된다면 매우 의미 있는 방법론임을 설명하였으나 내부적으로는 반복되는 상황에서 동일한 상승효과 비율을 출력하는 결정적 모델임을 알 수 있다. 또한 인간의 적응 과정 및 학습 과정이 배제된 모델임을 발견할 수 있다. 이에 동일한 입력에 대하여 특정 확률 분포를 가지며 변화되는 출력을 제공할 수 있는 확률적 통계 모형(예, 혼합모형, 시계열 모형 등)을 적용한 모델 구현 방법론이 개발된다면 인간의 정보처리 과정을 모델링 함에 있어 보다 설득력 있는 데이터를 도출할 수 있을 것이다.

5. 결 론

본 연구에서는 차량용 첨단 안전장치 개발 과정에서 다양

한 인간공학적 요인이 결정적 시스템 제어 변수로 포함되어야 함을 설명하고 이에 가장 적합한 방법론으로 컴퓨터 기반의 차량−운전자 상호 연동 모델을 제안하였다. 또한, 청각적 주변 자극이 존재하는 속도추정 과제를 통한 일련의 실험 및 분석으로 가상의 인간 운전자 모델 구축 시 인간의 심물리학적 감각수용특성을 적용할 수 있는 효율적 감각수용 및 지각과정 (그림 2의 'module 1') 구현 방법론을 제시하였다.

예비실험인 2변수 요인 실험을 통해 중심 자극의 구간별 상이한 교호작용 효과가 있음을 발견하였으며 이를 토대로 본 실험을 실시하였다. 중심 자극인 시각적 속도 변화에 대한 실험 참가자의 인지 속도는 청각적 주변 자극에 의해 종속적으로 영향을 받으며 상대적으로 속도의 낮은 구간에서는 청각적 주변 자극의 크기가 클수록 오히려 인지 속도가 떨어지는 현상(청각적 주변 자극의 세기가 가장 큰 경우 제시된 중심 자극 세기의 약 0.75배로 인지)을 관찰할 수 있었으며 청각적 주변 자극의 변화에 의해 다중 감각요소 상호 상승효과가 최대로 유지되는 구간이 존재(중심 자극의 3수준에서 제시된 자극 세기의 1.22~1.43배로 인지)함을 알 수 있었다. 이러한 결과를 바탕으로 구성된 25개의 선직면 집합은 관심 구간 내의 모든 상승효과 혹은 감쇠효과 비율을 근사할 수 있으며 궁극적으로 차량−운전자 인지반응 모델의 감각수용 및 지각과정 구축에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

향후 실제 시스템을 이용한 실험을 통해 본 연구의 효과를 검증할 수 있을 것이며 실험실 기반의 기초 심물리학 실험의 실험 환경과 실제 시스템의 단위가 상이한 문제를 해결하기 위한 추가 실험 및 보정 과정이 이루어져야 할 것이다. 더 나아가 인간의 나머지 정보처리 과정에 해당하는 '인지적 추론 과정' 및 '반응 선택' 그리고 '실행 과정'에 이르는 복합적 정보처리 과정에 대한 연구가 진행되어 차량 동역학 모델과 연동되는 통합 시스템이 완성된다면 새로운 첨단 안전 보조 시스템 개발 과정에서 기계적 한계와 특성 시험뿐만 아니라 인간 요인을 고려한 반복적이고 확률적인 검증 과정이 가능하게 될 것이며 보다 안전하고 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있는 검증 도구로 활용될 수 있을 것이다.

참고 문헌

나종관, 박민용, 참여형 멀티미디어 시스템 사용자 감성평가를 위한 다차원 심물리학적 척도 체계, *대한인간공학회지*, 23(3), 89-99, 2004.

민석기, 이경수, 운전자 운전특성 파라미터를 고려한 지능화 차량의 차간 거리 적응 제어, 한국자동차공학회 2002년도 전기/전자 부문, I.T.S. 부문 학술강연논문집, 103-108, 2002.

성원석, 황원걸, 임형은, 景山一郎, 차량의 조향 시뮬레이션을 위한 운전자 모델에 대한 연구, *한국자동차공학회 논문집*, 10(3), 245-253, 2002.

Delorme, D. and Song, B., Human driver model for SmartAHS. California PATH Research Report UCB-ITS-PRR-2001-12. Institute of transportation studies, University of California, Berkeley, 2001.

Driver, J. and Spence, C., Crossmodal attention, *Current Opinion in Neurobiology*, 8(2), 245-253, 1998.

Duncan, J., Martens, S. and Ward, R., Restricted attentional capacity within but not between sensory modalities, *Nature*, 387(6635), 808-810, 1997.

Guerrier, J. H., Manivannan, P. and Nair, S. N., The role of working memory, field dependence, visual search, and reaction time in the left turn performance of older female drivers, *Applied Ergonomics*, 30(2), 109-119, 1999.

Hoffmann, R. E. and Mortimer, G. R., Scaling of relative velocity between vehicles, *Accident Analysis and Prevention*, 28(4), 415-421, 1996.

Keppel, G. and Wickens, D. C., Design and analysis: A researcher's handbook, 4th Ed., Prentice Hall, New Jersey, a: 380-393; b: 401-428, 2004.

Labiale, G., Cognitive ergonomics and intelligent systems in the automobile, In Ergonomics and Safety of Intelligent Driver Interfaces, edited by Noy, Y. I., Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 169-177, 1997.

Larsen, A., McIlhagga, W., Baert, J. and Bundesen, C., Seeing or hearing? Perceptual independence, modality confusions, and crossmodal congruity effects with focused and divided attention, *Perception & Psychophysics*, 65(4), 568-574, 2003.

Luce, D. R., Where is mathematical modeling in psychology headed?, *Theory and Psychology*, 9(6), 723-737, 1999.

Marks, E. L. and Gescheider, A. G., Psychophysical scaling, In Stevens' handbook of experimental psychology, 3rd. Ed., volume 4., John Wiley & Sons, Inc., New York, 91-101, 2002.

Marsden, G., Brackstone, M. and McDonald, M., Assessment of the stop and go function using real driving behavior, *Proceedings of the conference of Advanced Driver Assistance Systems* (IEE Conf. Publ. No. 483), 76-80, 2001.

Middleton, H. and Westwood, D., Human interaction with automotive technologies: Specification and measurement of driver abilities, *International Conference on Advanced Driver Assistance Systems, IEE*, 25-37, 2001.

Min, B. C., Chung, S. C., Min, Y. K. and Sakamoto, K., Psychophysiological evaluation of simulator sickness evoked by a graphic simulator. *Applied Ergonomics*, 35(6), 549-556, 2004.

Neusser, S., Nijhuis, J., Spaanenburg, Hoefflinger, B., Franke, U. and Fritz, H., Neurocontrol for lateral vehicle guidance, *IEEE Micro*, 13, 57-66, 1993.

Odgaard, C. E., Arieh, Y. and Marks, E. L., Crossmodal enhancement of perceived brightness: Sensory interaction versus response bias, *Perception & Psychophysics*, 65(1), 123-132, 2003.

Patton, E. P. and Anastasio, J. T., Modeling cross-modal enhancement and modality-specific suppression in multisensory neurons, *Neural Computation*, 15(4), 783-810, 2003.

Park, M. and Rah, C., Human factors considerations for human-vehicle interactive models to enhance safety of intelligent vehicles, *Pro-*

ceedings of the XIX Annual International Occupational Ergonomics and Safety Conference, Las Vegas, Nevada, USA, 27-29 June, 46-51, 2005.

Penhallegon, J. W., Effects of display type, age, and gender on driving performance and simulator-induced sickness in a medium-fidelity driving simulator. M.S. thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, 2003.

Prokop, G., Model of human vehicle driving - A predictive nonlinear opti mization approach. California-PATH Research Report UCB-ITS-RR-2000-19. Institute of transportation studies, University of California, Berkeley, 2000.

Prokop, G., A human model using continuous model predictive optimization, *Proceedings of the Conference of the Driver in the 21th Century*, Berlin, VDI report vol. 1613, 219-237, 2001.

Rogers, A. W., Lee, D. M. and Fisk, D. A., Contextual effects on general learning, feature learning, and attention strengthening in visual search, *Human Factors*, 37(1), 158-172, 1995.

Stanney, M. K., Hale, S. K., Nahmens, I. and Kennedy S. R., What to expect from immersive virtual environment exposure: Influences of gender, body mass index, and past experience, *Human Factors*, 45(3), 504-520, 2003.

Stein, E. B., London, N., Wilkinson, K. L. and Price, D. D., Enhancement of perceived visual intensity by auditory stimuli: A psychophysical analysis, *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8(6), 497-506, 1996.

Stevens, S. S., Issues in psychophysical measurement, *Psychological Review*, 78(5), 426-450, 1971.

Stevens, S. S., Perceptual magnitude and its measurement, In Carterette, E. C. and Friedman, M. P. (Eds.), Handbook of perception, Academic Press, London, 361-364, 1974.

Strayer, L. D. and Drews, A. F., Profiles in driver distraction: effects of cell phone conversations on younger and older drivers, *Human Factors*, 46(4), 640-649, 2004.

Trick, M. L., Enns, T. J., Mills, J. and Vavrik, J., Paying attention behind the wheel: a framework for studying the role of attention in driving, *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 5(5), 385- 424, 2004.

Underwood, G., Crundall, D. and Chapman, P., Selective searching while driving: the role of experience in hazard detection and general surveillance, *Ergonomics*, 45(1), 1-12, 2002.

Wickens, D. C. and Hollands, G. J., Engineering psychology and human performance 3rd Ed. Prentice-Hall, New Jersey, 260-261, 2000.

◐ 저자 소개 ◑

❖ 나 종 관 ❖ ckrah@hanyang.ac.kr
한양대학교 산업공학과 학사 및 석사
현 재: 한양대학교 산업공학과 박사 수료
관심분야: 인지심리, 인간-기계시스템 모델링, 산업안전

❖ 박 민 용 ❖ mypark@hanyang.ac.kr
미국 Virginia Tech(VPI&SU), 산업공학과(인간공학):
공학석사 및 박사(Ph.D.)
현 재: 한양대학교 산업공학과 교수
관심분야: 인간-기계시스템 설계, HCI, 청각 보호 및 소음관리

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2006년 03월 06일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2006년 05월 09일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2006년 05월 16일