

다중작업에의 적용을 위한 Fitts' Law 확장 : 운전 중 IVIS 조작 작업을 대상으로

이민규¹ · 김희진¹ · 정민근^{2*}

¹포항공과대학교 산업경영공학과 / ²한국연구재단

Extended Fitts' Law for Dual Task : Pointing on IVIS during Simulated Driving

Mingyu Lee · Heejin Kim · Min K. Chung

¹Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH

²National Research Foundation of Korea

The purpose of this study is to identify a relationship between the time taken and the characteristics of touch key for touch-screen-based in-vehicle information system (IVIS) and to suggest a new Fitts' law formula that is added a driving speed parameter. Many studies already have shown that Fitts' law is well fitted in various devices for primary tasks, but there is no study of Fitts' law for secondary task in dual-task situation. Fitts' law may not be applied to the secondary task as it is, because the secondary task performance can be affected by the amount of attention for the primary task. To verify this, we carried out an experiment that showed whether pointing task to touch-screen-based IVIS during driving is affected by driving speeds or not. In the experiment, 30 people were volunteered for participants and the participants carried out driving task and pointing task on the screen of IVIS simultaneously. We measured the time to point a touch key on IVIS for every condition (3 driving speeds×5 touch key sizes×7 distances between steering wheel and touch key). As a result, there was an effect of driving speed on the pointing time. As we extended the index of difficulty of the conventional Fitts' law formula by incorporating driving speed, we established an extended Fitts' law formula for pointing on IVIS, which showed better accordance with dual task situation. This study can be evidence that secondary task performance is affected by degree of concentration on primary task, and the extended Fitts' law formula can be useful to design interfaces of IVIS.

Keywords: Fitts' Law, In-Vehicle Information System (IVIS), Dual Task, Simulated Driving Environment

1. Introduction

최근 들어, 소비자들은 자동차의 성능뿐만 아니라 운전자의 안전과 편의성을 중요시 하고 있다(Kim and Jeong, 2013). 이러한 소비자의 요구에 맞게 자동차의 발전이 이루어지고 생산되어 오면서, 자동차의 역할 또한 단순히 운송수단의 개념을 넘어

운전자의 생활 공간으로의 의미까지 확대되었다(Byun, 2011). 이에 따라 운전자의 편의를 위한 다양한 기능들이 자동차에 적용되었으며, 이와 같은 다양한 기능들을 조작하고 자동차의 전반적인 상태를 파악하는 등의 역할을 운전자가 직접 수행하게 되면서, 이들을 통합적으로 조작/제어 할 수 있는 시스템이 개발되어왔다. 운전자 정보시스템(IVIS : In-vehicle Information

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MEST)(No.2011-0015523).

* 연락처 : 정민근 교수, 305-754 대전광역시 유성구 가정로 201 한국연구재단, Tel : 042-869-6000, Fax : 042-869-6999,

E-mail : deermin@nrf.re.kr

2013년 12월 29일 접수; 2014년 2월 7일 수정본 접수; 2014년 3월 12일 게재 확정.

System)은 차량의 상태 진단, 네비게이션, 공조 설비 제어 등의 기능을 수행하는 장치로, 다양한 기능 및 장비들의 작동 상태를 표시하는 모니터와 직접적인 차량 제어를 위한 조작 장치로 구성된다(Chun *et al.*, 2008; Flyte, 1995; Oh *et al.*, 2009; Park *et al.*, 2009). 최근 출시되고 있는 차량의 대부분은 운전자 정보 시스템을 탑재하고 있거나 사용자가 직접 차량에 장착하고 있으며, 운전자 정보시스템은 차량의 센터페시아(center fascia) 중상단과 대시보드(dashboard) 상단에 위치하여 정보를 표시하고 컨트롤 하는 형태가 주를 이루고 있다(Hong *et al.*, 2010).

운전자 정보시스템의 조작 방식은 터치스크린, 크로스패드(crosspad), 노브(knob), 핑거 스틱(finger stick) 등 다양한 방식으로 제작되고 있다(Lim *et al.*, 2007). 이들 가운데 터치스크린은 조작에 있어서 직관적일 뿐만 아니라, 사용자들에게 익숙한 데스크탑 UI(desktop UI)에서 사용하는 대부분의 조작에 대응할 수 있다는 장점 때문에 이를 기반으로 한 운전자 정보시스템이 주를 이루고 있다(Byun, 2011). 그러나 터치스크린을 통한 운전자 정보시스템의 조작은 크로스패드나 노브 등의 물리적 버튼을 가진 방식과는 달리, 편평한 화면에 손가락의 포인팅을 이용해 시스템을 제어하기 때문에(Greenstein, 1997; Scott and Conzola, 1997), 화면으로부터 버튼을 구분하기 위한 촉각적 피드백을 제공할 수 없다(Kim *et al.*, 2014). 그러므로 운전자는 터치스크린 기반의 운전자 정보시스템 조작 시 더 높은 시각적 주의를 기울여야 하며(Byun, 2011; Kristoffersen and Ljungberg, 1999), 이는 사고 발생의 원인이 될 수 있다. 따라서 운전자 정보시스템은 사용자의 시각적 주의 감소를 위해 조작의 난이도를 낮춰주는 방향으로 디자인되어야 한다.

터치스크린 기반의 운전자 정보시스템에서는 인터페이스상의 터치키의 크기를 키움으로써 작업 난이도를 낮추어 조작하는데 걸리는 시간을 단축시킬 수 있다. 터치키의 크기가 작을 경우 사용자의 세밀한 조작을 요구하여 운전자 정보시스템 조작에 대한 더 높은 주의를 요구하게 되는 반면, 터치키 크기가 클 경우 운전자 정보시스템으로의 시각적 분산을 줄여 빠른 조작을 가능하게 한다. 그러나 한편으로 크기가 큰 터치키를 바탕으로 구성된 인터페이스는 제한적 크기를 갖는 운전자 정보시스템의 정보 제공량을 감소시켜 사용성을 저하한다(Kim *et al.*, 2011). 따라서 사용성 저하를 야기하지 않는 수준에서의 적절한 운전자 정보시스템 터치키 크기를 도출할 필요가 있다.

터치스크린을 포함한 포인팅 작업에서 타겟 크기와 포인팅 시간 사이의 관계에 대한 대표적인 모델로는 Fitts' law(Fitts, 1954)가 있다. Fitts' law는 인간의 지각, 인지, 운동 과정을 기반으로 하는 인간 정신과 운동 행동에 대한 모델로 정보처리이론에 바탕을 두고 있는 법칙이다(Mackenzie, 1989; Park and Myung, 2012). Fitts' law는 포인팅 작업에서 타겟을 포인팅하는데 까지 걸리는 시간과 타겟의 너비, 타겟까지의 거리 간의 관계를 식을 통해 나타내었다. 이후의 다양한 연구들은 Fitts' law가 상당히 정확한 모델이며, 다양한 환경에서도 적용 가능한 모델임을 입증하였다. 손가락 포인팅 작업(Fitts, 1954)뿐 아

니라, 마우스(Card *et al.*, 1978; Hong and Kim, 2005; Johnsgard, 1994), 글러브(Johnsgard, 1994), 조이스틱(Card *et al.*, 1978; Jagacinski and Monk, 1985), 터치스크린(Epps, 1986, Parhi *et al.*, 2006), 휴대전화 키패드(Hong, 2004) 등의 다양한 기기 환경에서의 포인팅 작업에서도 Fitts' law가 성립함을 보였으며, 2D 환경 뿐 아니라 3D 환경에서도 성립함을 보였다(Cha and Myung, 2010; Grossman and Balakrishnan, 2004; Murata and Iwase, 2001). 뿐만 아니라 발(Park and Myung, 2012), 혀(Yousefi *et al.*, 2010) 등 손이 아닌 다른 부위를 사용한 포인팅 조작에 대해서도 Fitts' law가 성립하였다.

그러나 이전의 Fitts' law와 관련된 연구들에서의 포인팅 작업이 단일작업이었던 것과 달리, 운전 중 운전자 정보시스템을 조작하는 작업은 두 가지 작업을 동시에 수행하는 다중작업이다. 다중작업 환경에서 운전자는 두 작업 모두에 주의를 기울이기 힘들며, 한 가지 작업으로 인해 다른 작업의 수행 능력이 감소하게 된다(Chaparro *et al.*, 2005; Horrey and Wickens, 2002; Levy *et al.*, 2006; Wester *et al.*, 2008). 또한, 다중작업에서의 작업은 각 작업의 중요도에 따라 일차작업과 이차작업의 주의 정도가 달라진다(Iani and Wickens, 2007). 즉, 일차작업의 중요도에 따라 이차작업에 대한 주의 정도가 변화할 수 있다. 이러한 다중작업에서의 두 작업의 간섭은 운전 중 운전자 정보시스템을 조작하는 것과 같이 두 작업이 신체의 동일한 기능을 사용할 경우 더욱 심해지게 된다(Tsimhoni *et al.*, 2004). 따라서, 운전 중 운전자 정보시스템을 조작하는데 걸리는 시간은 운전자 정보시스템 내의 요소에 의한 영향뿐 아니라 운전 속도나 도로 상황, 날씨 상황 등의 운전 작업 상황에 따라 크게 달라질 수 있다.

본 연구에서는 모의 주행 환경에서의 운전자 정보시스템 조작 실험을 통해 운전 작업에서의 이차작업인 터치스크린 기반 운전자 정보시스템의 조작에 대하여 Fitts' law의 성립 여부를 확인한다. 또한, 이차작업이 일차작업의 난이도에 따라 영향을 받는지 확인하기 위해, 주행 속도에 따라 포인팅 시간과 운전자 정보시스템의 터치키 크기 및 거리에 대한 관계를 파악해 본다. 주행 속도에 따라 운전자 정보시스템의 조작 시간이 다른 양상을 보인다면, 주행 속도 변수를 추가한 형태의 Fitts' law 식을 도출하는 것을 본 연구의 목적으로 한다.

2. Method

2.1 Participants

총 30명(남 23명, 여 7명)의 실험참여자가 실험에 참여하였다. 운전 경험 및 운전자 정보시스템 사용 경험이 있는 운전자를 대상으로 실험을 진행하기 위해 6개월 이상의 운전 경력이 있는 자를 실험참여자로 모집하였다.

본 실험의 실험참여자 연령은 평균 27.8세(표준편차 3.3세)이었다. 실험참여자들의 운전 경력은 평균 4.7년(표준편차 3.7

년)이었고, 연간 주행 거리는 평균 10583km(표준편차 4814km)이었으며, 주당 평균 차량 운행일은 5.1일(표준편차 1.8일)로, 대부분의 실험참여자들이 운전을 자주 수행하고 있었다. 전체 30명의 실험참여자들 가운데 83.3%(25명)는 운전자 정보시스템을 소유하고 있었으며, 이들의 운전자 정보시스템은 모두 터치스크린 인터페이스를 기반으로 제작된 제품이었다. 또한, 운전자 정보시스템을 소유한 실험참여자 중 64%(16명)는 주행 중에도 이를 조작하였으며, 그 조작 횟수는 주당 평균 2.6회(표준편차 2.2회)이었다. 전체 실험참여자 중 20%(6명)은 본 실험 이전에 모의 주행 환경에 대한 경험이 있었으며, 그 횟수는 평균 3.8회(표준편차 3.1회)이었다.

마지막으로, 실험참여자의 교정 시력은 좌측 0.99(표준편차 0.19), 우측 0.98(표준편차 0.22)으로 실험을 진행하는데 지장이 없었으며, 모든 실험참여자에는 운전작업에 지장이 있는 근골격계 질환을 앓은 적이 없었다.

2.2 Apparatus

실험은 Window XP Professional 기반의 컴퓨터와 해상도가 1280×1024pixel인 17인치 터치스크린 모니터를 통해 구현된 운전자 정보시스템, 빔 프로젝터(SONY beam projector), 1.9m×1.4m 크기의 스크린, 운전 핸들 및 페달(<Figure 1>; Logitech Wingman Formula Force GP)을 통해 구현된 모의 주행 환경을 이용하여 진행되었다. 또한, 이를 위한 모의 주행 화면과 운전자 정보시스템 화면을 Visual Studio 2005를 이용하여 제작하였다.



Figure 1. Steering wheel(Logitech Wingman Formula Force GP)

모의 주행 화면<Figure 2>은 빔 프로젝터와 대형 스크린을 이용하여 제시되도록 하였다. 모의 주행 화면의 도로는 실제 고속도로의 폭을 참고하여, 한 차선의 폭이 5m인 3차선의 직선도로로 제작하였으며, 차량의 크기는 양산되고 있는 차량인 BMW M5 모델을 참조하여, 전폭 2146mm, 전장 4856mm가 되도록 구현하였다. 또한, 화면의 좌측 상단의 빈 칸을 통해 실험참여자가 실험 시 수행해야 하는 작업의 정보, 즉 입력해야 할 숫자를 제시하도록 하였으며, 우측 상단에는 현재 실험참여자가 수행하고 있는 작업의 상태를 표시하였다. 작업의 상태는 D(Driving : 주행 중), T(Task : 숫자 입력 작업 수행 중)의 두 가지 상태로 나뉘었으며, 스티어링 휠 위의 Task/Driving 변환 버튼을 통해 작업의 상태가 전환되도록 하였다. 또한, 화면의 하단에 현재의 주행 속도를 표시하여 실험참여자가 주행 속도를 확인할 수 있도록 하였다.



Figure 2. Simulated driving environment

운전자 정보시스템 화면은 17인치 터치스크린 모니터를 통해 제시되도록 하였다. 운전자 정보시스템 화면의 크기와 위치는 현재 생산되고 있는 실제 차량들의 운전자 정보시스템의 화면 크기와 장착 위치를 참고하여, 모니터의 중앙이 핸들의 중앙에서 오른쪽으로 350mm, 앞쪽으로 260mm 떨어진 곳에 오도록 설치하였으며, 화면 크기는 가로 153.1mm, 세로 92.0mm (7인치)로 구성하였다. 운전자 정보시스템 화면에는 서로 위치가 다른 9개의 터치키가 제시되었다<Figure 3>.

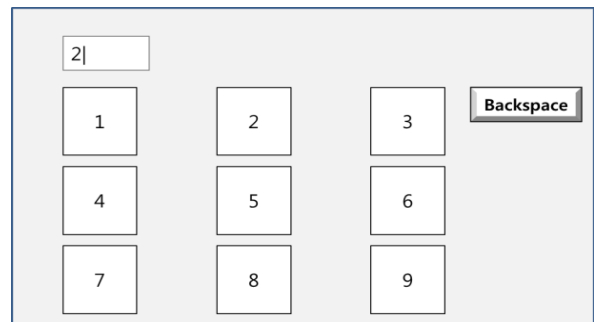


Figure 3. Display of the in-vehicle information system prototype

2.3 Experimental Design

본 실험은 3 factors(주행 속도×터치키 크기×터치키 거리) within-subject factorial design을 사용하였다. 실험 조건은 주행 속도와 터치키 크기에 대해 balanced Latin-square presentation order에 따라 제시하여 순서에 의한 학습효과 및 피로 효과를 최소화하였다.

독립 변수로는 주행 속도(3수준; 0km/h, 50km/h, 100km/h), 터치키 크기(5수준; 7.5mm, 12.5mm, 17.5mm, 22.5mm, 27.5mm), 그리고 터치키 거리(7수준; 374mm, 394mm, 418mm, 424mm, 446mm, 451mm, 459mm)를 고려하였다. 본 실험에서는 정사각형 모양의 터치키를 사용하였다. 최소 터치키 크기는 기존의 운전자 정보시스템에서 사용하는 최소 터치키 크기를 포함하는 수준인 7.5mm로 정하였다. 최대 터치키 크기는 가장 빠른 속도인 100km/h로 주행하며 숫자 입력 작업을 수행한 예비 실험 결과를 바탕으로 작업 수행도가 증가하지 않는 터치키 크기에 여유를 더하여 27.5mm로 정하였다. 터치키 크기의 수준은 최소 터치키 크기와 최대 터치키 크기를 4개의 등간격으로 나누어 5개의 수준으로 정하였다. 주행 속도의 경우, 정지 상태인 0km/h와 고속도로 제한 최고 속도인 100km/h, 두 속도의 중간 값인 50km/h의 3개의 수준을 정하였다. 마지막으로, 스티어링 휠의 Task/Driving 변환 버튼에서부터 터치스크린 상에 나타난 각 터치키의 중앙까지를 터치키 거리로 사용하였다. 종속변수는 주행 속도, 터치키 크기 및 거리에 따른 포인팅 시간을 측정하였다.

2.4 Procedure

실험은 <Figure 4>와 같은 순서로 진행되었다. 먼저, 실험 참여자들로부터 설문을 통해 운전 경력, 운전자 정보시스템 사용 여부, 시력, 색맹 여부 등 본 실험과 관련된 정보를 수집하였다. 또한, 실험 참여자에게 실험의 목적과 실험 과정에 대해 상세히 설명하였으며, 다음으로 실험 중 주의사항 및 실험 참여자가 우선적으로 지켜야 할 요건에 대해 설명하였다. 본 실험에서는 실험참여자에게 차량 조작 중 차량이 차선 밖으로 이탈하지 않도록 할 것을 최우선적으로 요구하였으며, 또한 최대한 빠르고 정확한 숫자 입력 작업을 수행하도록 요구하였다. 이후, 실험 참여자들은 모의 주행 환경에 적응하기 위해 충분한 운전 연습 및 운전자 정보시스템 조작 연습을 수행하였다.

본 실험에서는 먼저, 실험 참여자가 각 실험 조건에 제시된 속도로 주행하도록 하였으며, 동시에 모의 주행 화면 좌측 상단에 입력해야 할 숫자를 제시하였다. 실험 참여자는 제시되는 숫자를 운전자 정보시스템에 포인팅을 통해 입력하도록 하였다. 이 때, 실험 참여자가 스티어링 휠의 Task/Driving 변환 버튼을 누른 후 오른손 검지 손가락을 이용하여 가능한 한 빠르고 정확하게 숫자를 입력하도록 하였다. 종속변수인 포인팅 시간으로는 실험참여자가 제시된 숫자를 입력하기 위해 스티어링 휠의 Task/Driving 변환 버튼을 누르는 순간부터 제시된 숫자를 입력하는 순간까지의 시간을 측정하여 사용하였다. 실험

참여자는 각 실험 조건당 9개의 숫자를 입력하였으며, 사용된 9개의 숫자는 모두 동일하였고, 각 실험 조건 내에서 임의의 순서로 제시되었다.

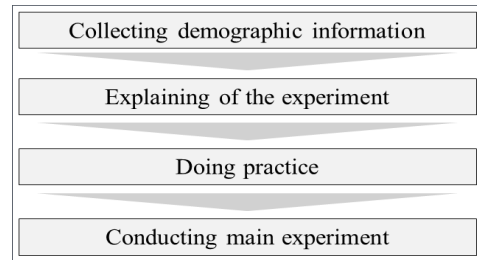


Figure 4. Experimental process

3. Fitts' Law Analysis

실험 데이터로는 주행 속도와 터치키 크기, 터치키 거리에 대한 포인팅 시간이 수집되었다. 실험 데이터로는 실험 참여자 1명 당 135개의 데이터를 수집할 수 있었으며, 30명의 데이터인 총 4,050개의 데이터를 수집하였다. 이 중 실험 참여자의 실수로 버튼을 잘못 누른 경우인 132개의 데이터를 에러로 판단하여 분석에서 제외하였다.

3.1 Fitting Fitts' Law for Each Driving Speed

운전 중 터치스크린 기반 운전자 정보시스템을 조작할 때의 포인팅 작업이 Fitts' law를 따르는지의 여부를 확인하기 위해, 실험을 통해 얻는 데이터를 Fitts' law 식에 적용해보았다. 본 연구에서 사용한 Fitts' law 식은 기존의 Fitts' law 식을 개선한 MacKenzi(1989)의 식으로, 식 (1)과 같다. 식에서의 MT (Movement Time)는 포인팅 작업을 수행하는데 걸리는 시간을 의미한다. 또한, ID (Index of Difficulty)는 포인팅 작업의 난이도를 나타내며 식 (2)와 같이 타겟까지의 거리인 A 와 타겟의 너비인 W 로 나타낸다.

$$MT = a + b ID \quad (1)$$

$$ID = \log_2 \left(\frac{A}{W} + 1 \right) \quad (2)$$

본 연구에서는 실험 참여자들은 운전자 정보시스템 조작을 위해 손가락을 사용하였다. 사용자 손의 실험터치점은 터치키의 너비에 대하여 가변성을 가질 수 있다. 즉, 터치키의 너비에 따라 사용자의 터치점은 분포를 갖게 되므로, 사용자가 터치키를 조작하는 영역은 실제 터치키의 영역과는 다를 수 있으며, 터치키의 너비에 따라 결정되는 종속 변수이라고 할 수 있다 (Bi et al., 2013). 터치점의 분포는 인간 운동 시스템(human motor system) 내의 속도-정확도 교환 법칙(speed-accuracy tradeoff rule)에 의해 결정된다. 따라서 본 실험에서는 터치점의 분포로

사용자의 실터치점의 너비를 나타내는 effective target width (W_e , 식 (3))를 사용하였다.

$$W_e = \sqrt{2\pi e} \sigma, \tag{3}$$

where σ is a whole variability in the touch points

이에 대해, ID_e 는 식 (4)와 같으며, 따라서 이를 반영한 Fitts' law 식은 식 (5)이다.

$$ID_e = \log_2 \left(\frac{A}{W_e} + 1 \right) \tag{4}$$

$$MT = a + b ID_e \tag{5}$$

아래의 표와 그래프(<Table 1>, <Figure 5>~<Figure 7>)는 각 각의 주행 속도에 대한 Fitts' law 식의 도출 결과를 보여준다. 각 주행 속도에 따른 Fitts' law 식의 R^2 (결정계수)는 기존의 다양한 장치에 대한 Fitts' law 연구의 R^2 에 비하여 다소 낮았다. 기존의 손에 대한 Fitts' law 연구에서는 0.96(Fitts, 1954), 마우스를 이용한 연구에서는 0.83(Card *et al.*, 1978)와 0.74(Hong and Kim, 2005), 조이스틱을 이용한 연구에서는 0.88(Card *et al.*, 1978), 트랙볼(trackball)을 이용한 연구에서는 0.86(Epps, 1986)의 R^2 를 보였다. 그러나 터치패드(touchpad)를 사용한 연구에서의 R^2 는 0.49와 0.55(Epps, 1986)로, 본 연구에서 보다 다소 낮은 R^2 를 보였다.

또한 ID 의 계수의 역수인 성능지수(index of performance; IP)는 속도가 증가함에 따라 작아지는 경향을 보였다. 이는 속도가 증가함에 따라 운전자 정보시스템의 포인팅 작업에 대한 성능이 감소함을 의미한다.

Table 1. Regression models and coefficients for each driving speed level

Driving Speeds	Model(times in s.)	R^2	Adjusted R^2
0km/h	$MT = -0.697 + 0.323 ID_e$	0.738	0.730
50km/h	$MT = -1.334 + 0.499 ID_e$	0.603	0.590
100km/h	$MT = -1.770 + 0.609 ID_e$	0.523	0.509

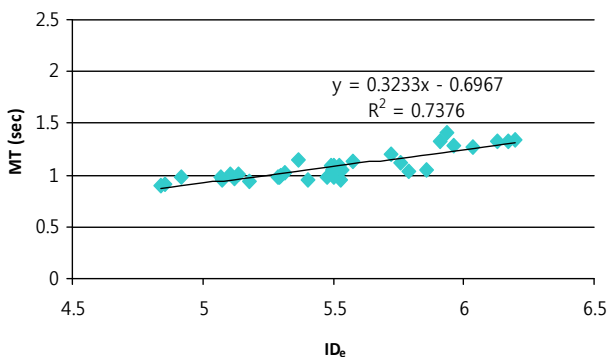


Figure 5. Regression result for 0km/h

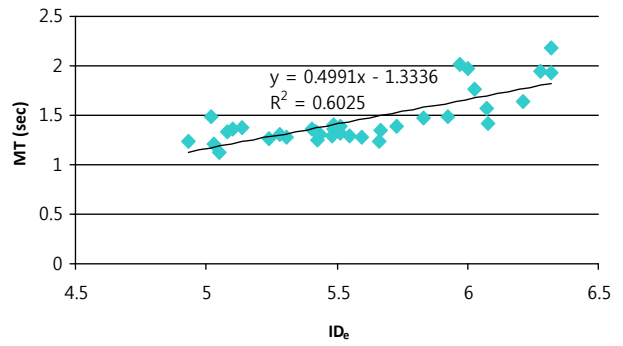


Figure 6. Regression result for 50km/h

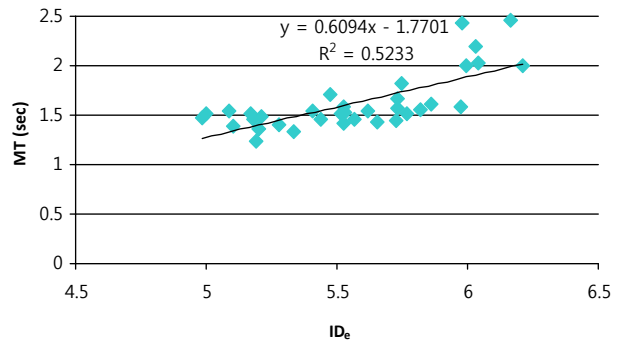


Figure 7. Regression result for 100km/h

3.2 Fitting Fitts' Law for All Driving Speeds

본 연구에서는 속도에 관계없이 운전 중의 운전자 정보시스템에 대한 포인팅 작업이 Fitts' law를 따르는지의 여부를 확인하기 위해 모든 데이터를 적용시켜보았다. <Figure 8>는 속도에 관계 없이 모든 속도의 데이터를 적용했을 때의 ID 와 포인팅 시간과의 관계를 보여준다. R^2 는 0.353으로 관계가 거의 무의미하였다.

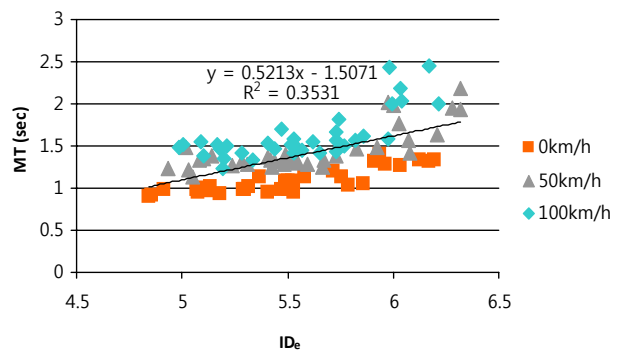


Figure 8. Regression result for all driving speed

4. Extending Fitts' Law Model

운전 중 운전자 정보시스템 조작에 대해 Fitts' law 적용 결

과, 같은 속도 수준에서의 데이터에 대해서만 Fitts' law가 성립함을 확인하였다. 본 연구는 다중작업 상황에서 기존 모델이 이차작업에 대한 일차작업의 영향을 반영하지 못하는 한계점을 개선시키기 위해, 운전자 정보시스템의 조작에 주행 속도의 영향을 반영한 새로운 식을 도출하고자 하였다.

실험을 통해 얻은 포인팅 시간이 주행 속도에 영향을 받는지의 여부를 확인하기 위해 분산분석(ANOVA)을 수행하였다. 그 결과, 주행 속도는 매우 유의한 영향을 미치고 있음을 확인하였다($F(2, 58) = 22.21, p < .0001$). 또한, 주행 속도에 따른 포인팅 시간의 경향 및 주행 속도에 대한 SNK(Students' Newman-Keul) 테스트 결과는 <Figure 9>와 같다. 통계적으로 유의한 차이가 있을 경우 서로 다른 알파벳으로 표시하였다. 그 결과, 유의수준($\alpha = 0.05$) 내에서 모든 속도가 차이가 있었으며, 포인팅 시간은 주행 속도가 증가함에 따라 선형적으로 증가하는 경향을 보였다. 이러한 경향은 본 연구에서뿐 아니라, 기존의 관련된 연구에서도 주행 속도가 증가함에 따라 이차작업을 수행하는 시간이 증가하는 양상을 보였거나(Son *et al.*, 2002), 같은 맥락으로 일차작업의 작업의 로드가 증가함에 따라 이차작업의 수행도가 감소하는 양상을 보였다(Tsimhoni *et al.*, 2004).

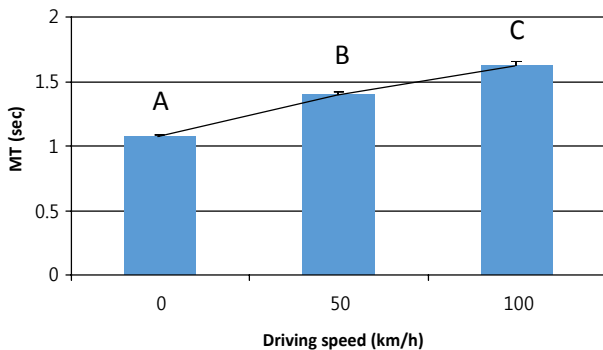


Figure 9. Mean pointing time at each driving speed level. The different alphabetic characters indicate significant difference with $\alpha = 0.05$

본 연구에서는 실험을 통해 도출한 분석 결과를 바탕으로 포인팅 시간과 주행 속도 사이에 선형 관계가 존재할 것으로 예상하였으며, 따라서 포인팅 시간(MT)과 주행 속도(v), ID_c 사이에 식 (6)과 같은 선형의 관계식이 성립할 것으로 추정하였다.

$$MT = a + b(ID_c + cv) \quad (6)$$

식 (6)을 바탕으로 ID 에 주행 속도 변수를 추가한 ID_v (식 (7))와 그에 따른 Fitts' law 식(식 (8))은 다음과 같다.

$$ID_v = \log_2\left(\frac{A}{W_c} + 1\right) + cv \quad (7)$$

$$MT = a + bID_v \quad (8)$$

위의 새로운 모델의 설명력을 기존의 식과 비교하기 위해

실험을 통해 수집된 데이터를 바탕으로 회귀분석을 실시하였다. 그 결과, 식 (9)와 같은 결과가 도출되었다.

$$MT = -1.5258 + 0.4789\left(\log_2\left(\frac{A}{W_c} + 1\right) + 0.0106v\right) \quad (9)$$

또한, <Figure 10>은 ID_v 와 포인팅 시간과의 관계를 나타내는 그래프이다. 도출된 새로운 Fitts' law 식은 0.751의 R^2 를 가졌다.

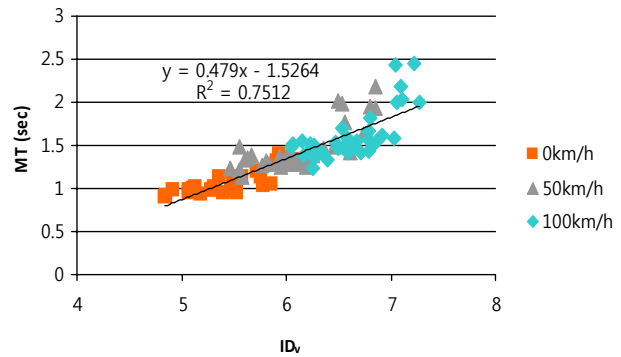


Figure 10. Regression result for new formula

본 연구에서는 ID_c 대신 속도 변수를 추가한 ID_v 를 사용함으로써 기존 모델을 더 향상시켰음을 보이기 위해, 속도 변수가 없는 Fitts' law 식과 새로운 식의 R^2 를 비교해 보았다<Table 2>. 본 연구에서는 변수의 추가로 인해 R^2 가 증가하는 것을 보정하기 위해 adjusted R^2 를 이용하여 비교하였다. 기존의 식을 사용하였을 때, 속도에 관계없이 선형회귀분석을 실시한 결과의 adjusted R^2 는 확장된 모델에서의 adjusted R^2 의 절반에 미치지 못하였다. 또한, 새로운 식의 adjusted R^2 는 각각의 속도에서의 adjusted R^2 보다도 높은 값을 가져, 식의 정확도가 향상되었음을 확인할 수 있다.

Table 2. Comparison of the regression results(New formula vs. Fitts' law formula)

Models	Driving Speeds	Model(times in s.)	Adjusted R^2
New formula	all	$MT = -1.5258 + 0.4789ID_v$	0.746
	all	$MT = -1.507 + 0.521ID$	0.347
Fitts' law formula	0km/h	$MT = -0.697 + 0.323ID$	0.730
	50km/h	$MT = -1.334 + 0.499ID$	0.590
	100km/h	$MT = -1.770 + 0.609ID$	0.509

5. Discussion

기존의 Fitts' law 연구에서는 일차작업으로써의 포인팅 작업에

대한 시간을 표적까지의 거리와 표적의 너비로 나타내었다. 그러나 본 연구를 통해 다중작업에서의 이차작업은 Fitts' law를 적용하기에 적합하지 않을 수 있음을 확인하였다. 이는 운전자가 일차작업으로 인해 이차작업에 온전한 주의를 기울이기 힘들며, 이차작업의 수행 능력이 일차작업에 대한 주의 정도에 따라 영향을 받을 수 있기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 실험을 통해 얻은 데이터를 바탕으로 기존의 Fitts' law를 이차작업 환경으로 확장하여 운전 중 운전자 정보시스템을 조작하는 상황에서 속도 변수를 추가한 새로운 모델을 제안하였다.

운전 중의 포인팅 작업에 대한 실험 분석 결과, 포인팅 시간은 주행 속도가 증가함에 따라 증가하는 것으로 나타났다. 이는 일차작업인 운전 작업에 대한 주의 정도가 증가함에 따라 이차작업의 포인팅 작업에 대한 주의 정도가 감소했기 때문으로, 일차작업의 로드가 증가함에 따라 이차작업의 수행도가 감소한다는 Tsimhoni *et al.*(2004)의 연구 결과와 일치한다.

각 속도에서의 Fitts' law 회귀분석 결과 <Table 1>는 기존의 유사한 장치(터치패드)를 사용했던 연구와 비슷한 R^2 값을 가졌으나, 다른 기기를 사용했던 기존 연구에서보다는 낮은 R^2 을 가졌다. 또한, 속도가 증가함에 따라 모델의 R^2 는 낮아졌다. 이러한 결과는 본 실험에서의 포인팅 작업이 일차작업이 아닌 이차작업으로써 수행되었기 때문인 것으로 판단된다. 운전 작업으로 인해 운전자가 포인팅 작업보다는 운전 작업에 많은 주의를 기울였으며, 또한 속도가 증가함에 따라 포인팅 작업에 대한 주의 정도가 상대적으로 낮아져, 이차작업에 더욱 어려움을 주어 설명력이 더 낮아진 것으로 판단된다. 뿐만 아니라, 기존의 Fitts' law 연구에서는 9~12개의 점만으로 회귀분석을 실시한 것에 비하여, 본 연구에서는 3배 이상의 점을 사용하여 회귀분석을 실시하였기 때문에, 결과적으로 기존의 연구보다 낮은 R^2 를 가지게 된 것으로 추정된다(Hourcade and Bullock-Rest, 2012).

한편, 주행 속도와 관계없이 모든 데이터를 적용시켰을 경우, 회귀식의 R^2 는 보다 낮아졌다. 이는 주행 속도가 증가함에 따라 포인팅 작업의 난이도가 증가하는 것을 기존의 ID가 반영하지 못했기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 기존의 Fitts' law 식을 확장하여 속도 변수를 추가한 새로운 모델을 고안하였다. 확장된 모델의 설명력(adjusted $R^2 = 0.746$)은 주행 속도를 고려하지 않고 기존의 식에 적용하였을 때(adjusted $R^2 = 0.347$) 보다 두 배 이상 높았으며, 이는 각 속도에서의 Fitts' law 회귀 분석 결과보다도 높아, 운전 환경에서의 포인팅 조작에 있어 새로운 모델이 기존의 모델보다 더 적합하다는 것을 알 수 있다.

본 연구는 이차작업으로의 포인팅 작업에 Fitts' law를 적용할 수 있는지의 여부를 확인하였다는데 의의가 있다. 실험을 통해 운전 중 운전자 정보시스템을 조작하는데 걸리는 시간은 일차작업인 운전 작업의 주행 속도에 영향을 받을 수 있었다. 이를 통해, 일반적으로 이차작업을 수행하는데 걸리는 시간은 일차작업의 난이도에 따라 영향을 받는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 본 연구에서는 다양한 주행 속도에 적용할 수

있는 하나의 Fitts' law 식을 도출하였다. 확장시킨 모델은 효과적인 운전자 정보시스템 조작을 위한 인터페이스의 개발에 활용될 수 있을 것이다.

6. Conclusion

본 연구에서는 모의 주행 환경에서 운전자 정보시스템 조작을 위한 포인팅 작업에 대해 Fitts' law 적용 가능 여부를 확인하였다. 실험 결과, 포인팅 작업은 주행 속도에 영향을 받으므로, 본 연구에서는 주행 속도 변수를 추가한 확장된 형태의 Fitts' law 식을 도출하였다. 이를 통해, 본 연구는 이차작업에 대한 Fitts' law 적용 가능성에 대해 확인하였다는데 의의가 있다. 또한, 포인팅 시간에 영향을 주는 변수를 추가한 새로운 형태의 회귀 모델을 제시함으로써 속도와 포인팅 시간 사이의 관계를 도식화하였다는데 의의가 있다. 본 연구의 결과는 효과적인 운전자 정보시스템 조작을 위한 인터페이스 개발에 이용할 수 있을 것이다. 예를 들어, 적정 터치키 크기를 도출하는데 있어서 주행 중 운전자가 도로로부터 시선을 뺄 수 있는 최대 시간에 대한 터치키 크기의 최소값을 도출할 수 있다.

그러나 본 연구에서 확장한 식은 본 연구에서 고려하지 않은 주행 속도 환경에 대한 추가 실험을 통해 검증할 필요가 있다. 또한, 본 연구에서 사용한 주행 환경은 비교적 운전 작업이 쉬운 직선의 고속도로로, 실제의 주행 환경과는 차이가 존재하므로, 보다 정확한 결과를 얻기 위해서는 실제 주행 환경과 유사한 실험 환경에서의 추가적인 연구가 필요하다.

Reference

- Bi, X., Li, Y. and Zhai, S. (2013), FFitts Law : Modeling Finger Touch with Fitts' Law, *CHI Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1363-1372.
- Byun, J. H. (2011), Exploration of New Input Techniques for In-Vehicle Interaction Industrial Design, *Dong-A University*.
- Card, S. K., English, W. K., Burr, B. J. (1978), Evaluation of mouse, rate-controlled isometric joystick, step keys, and text keys for text selection on a CRT, *Ergonomics*, **21**, 601-613.
- Cha, Y. and Myung, R. (2010), Extended Fitts' Law for Three-Dimensional Environment, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, **29**(6), 861-868.
- Chaparro, A., Wood, J. M., and Carberry, T. (2005), Effects of age and auditory and visual dual tasks on closed-road driving performance, *Optometry Vision Sci.*, **82**(8), 747-754.
- Chun, J., Ryu, J., Park, G., Park, W., Han, S. H., and Choi, S. (2008), Evaluating a learning effect of mapping vibration feedbacks to DIS menu items, *Proceedings of Fall Conference of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 438-443.
- Epps, B. W. (1986), Comparison of six cursor control devices based on Fitts' law models, *In : Proceedings of the 30th Annual Meeting of the Human Factors Society*, Dayton, Ohio, USA, 3221-3331.

- Fitts, P. M. (1954), The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement, *J. Exp. Psychol.*, **47**(6), 381-391.
- Flyte, M. G. (1995), Safe design of in-vehicle information and support systems : the human factors issues, *International journal of vehicle design*, **16**(2/3), 158-169.
- Greenstein, J. S. (1997), Pointing devices, In : M. Helander, T. K. Landauer and P. Prabhu (Eds.), *Handbook of Human-Computer Interaction*, 2nd ed., Elsevier Science B. V., Amsterdam.
- Grossman, T. and Balakrishnan, R. (2004), Pointing at trivariate targets in 3D environments, *CHI Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, NY, 447-454.
- Hong, S. K. (2004), Korean Text Entry Interface Evaluation by Fitts' Law, In Proceedings of Korean Institute of Information Technology Summer Conference, 26-30.
- Hong, S. K. and Kim, S. I. (2005), A Time Prediction Model of Cursor Movement with Path Constraint, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **31**(4), 334-340.
- Hong, S. P., Kim, S. M., Park, S., and Jung, E. S. (2010), A Study on Designing of a Menu Structure for the Instrument Cluster IVIS using Taguchi Method, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, **29**(1), 39-46.
- Horrey, W. J. and Wickens, C. D. (2002), Driving and side task performance : The effects of display clutter, separation, and modality(Tech. Report AHFD-02-13/GM-02-2), *Savoy, IL : University of Illinois, Aviation Human Factors Division*.
- Hourcade, J. P. and Bullock-Rest, N. E. (2012), How small can you go? Analyzing the effect of visual angle in pointing tasks. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 213-216.
- Iani, C. and Wickens, C. D. (2007), Factors affecting task management in aviation, *Human Factors*, **49**, 16-24.
- Jagacinski, R. J. and Monk, D. L. (1985), Fitts' law in two dimensions with hand and head movements. *J. Mot. Behav.*, **17**, 77-95.
- Johnsgard, T. (1994), Fitts' Law with a Virtual Reality Glove and a Mouse: Effects of Gain, *Proceedings of Graphics Interface-GI, Canadian Information Processing Society*, Toronto, 8-15.
- Kim, H., Kwon, S., Heo, J., and Chung, M. K. (2011), Effect of Touch-key Sizes on Usability of Driver Information Systems and Driving Safety, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **37**(1), 30-40.
- Kim, H., Kwon, S., Heo, J., Lee, H., and Chung, M. K. (2014), The effect of touch-key size on the usability of In-Vehicle Information Systems and driving safety during simulated driving, *Applied Ergonomics*, **45**(3), 379-388.
- Kim, I. Y. and Jeong, T. (2013), Educational Utilization Examples and Standard Analysis for Smart Car Application, *Proceedings of the Korea Association of Computer Education Summer Conference*, **17**(1), 155-158.
- Kristoffersen, S. and Ljungberg, F. (1999), Making Place to Make IT Work : Empirical Explorations of HCI for Mobile CSCW, In *GROUP : Proceedings of the international ACM SIGGROUP conference on supporting group work*, New York : ACM Press, 276-285.
- Levy, J., Pashler, H., and Boer, E. (2006), Central interference in driving : is there any stopping the psychological refractory period? *Psychol. Sci.*, **17**(3), 228-235.
- Lim, H. U., Jung, E. S., Park, S., and Jeong, S. W. (2007), Comparisons of Driver Performance with Control Types of the Driver Information System, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, **26**(1), 1-10.
- MacKenzie, I. S. (1989), A note on the information-theoretic basis for Fitts' law, *Journal of Motor Behavior*, **21**(3), 323-330.
- Murata, A. and Iwase, H. (2001), Extending Fitts' law to a three-dimensional pointing task, *Human Movement Science*, **20**(6), 791-805.
- Oh, S., Han, S. H., Cho, Y. and Chun, J. (2009), Intelligent Menu Interface Design for Driver Information Systems, *Proceedings of Fall Conference of the Ergonomics Society of Korea*, 434-437.
- Parhi, P., Karlson, A. K., and Bederson, B. B. (2006), Target Size Study for One-Handed Thumb Use on Small Touchscreen Devices, *Mobile HCI Proceedings of the 8th conference on Human-computer interaction with mobile devices and services*, NY, 203-210.
- Park, J. and Myung, R. (2012), Fitts' law for angular foot movement in the foot tapping task, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, **31**(5), 647-655.
- Park, Y. S., Han, S. H., Park, W., and Cho, Y. (2009), Developing User Interface Metaphors for Driver Information Systems, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, **28**(2), 57-67.
- Scott, B. and Conzola, V. (1997), Designing touch screen numeric keypads : effects of finger size, key size, and key spacing, In : *Proceedings of the Human Factors Society 41st Annual Meeting*, Santa Monica, CA, USA, 360-364.
- Son, J. S., Yu, S. D., Kim, J. H., and Park, P. (2002), A study on the relationship between the time for a driver implement driving secondary task and mental workload due to the speed changes in driving simulation, *Proceedings of the Korean Society for Emotion and Sensibility Conference*, 114-119.
- Tsimhoni, O., Smith, D., and Green, P. (2004), Address entry while driving: speech, recognition versus a touch-screen keyboard, *Human Factors*, **46**(4), 600-610.
- Wester, A. E., Böcker, K. B. E., Volkerts, E. R., Verster, J. C., and Kene-mans, J. L. (2008), Event-related potentials and secondary task performance during simulated driving, *Accident Analysis and Prevention*, **40**(1), 1-7.
- Yousefi, B., Huo, X., and Ghovanloo, M. (2010), Using Fitts' law for evaluating tongue drive system as a pointing device for computer access, In *Proc. IEEE 32nd Eng. Med. Biol. Conf.*, 4404-4406.