JESK J Ergon Soc Korea 2021; 40(6): 453-465
https://dx.doi.org/10.5143/JESK.2021.40.6.453
https://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

Generation of Errorless Response Curves for the Touch Operation on a Touch Screen during Driving

Jin Kyeong Sung, Eui Seung Jung

Korea University, Department of Industrial and Management Engineering, Seoul, 02841

주행 중 차량 터치 스크린 사용 시의 운전자 무오류 반응 곡선 도출

성진경, 정의승

고려대학교 산업경영공학과

Corresponding Author
Eui Seung Jung
Korea University, Department of Industrial and Management Engineering, Seoul, 02841
Email : ejung@korea.ac.kr

Received : November 11, 2021
Revised : November 24, 2021
Accepted : December 01, 2021

Copyright@2021 by Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

Objective: The purpose of this study is to derive errorless response curves according to the driver's body dimensions when the driver uses a touch screen in a manual driving situation.

Background: Drivers are exposed to the risk of safety accidents due to the trend that vehicle systems introduce more auxiliary functions during on road driving. Research on the design of touch screen is needed to minimize arriver's movement required for the touch operation on a touch screen and to ensure safe operations based on driver's anthropometric capabilities.

Method: 25, 50, 75, and 95 percentiles of subjects were recruited based on Korean anthropometric distribution of males and females, and experiments were conducted through a driving simulator with a touch screen. Subjects are asked to touch buttons on a touch screen as an auxiliary task while operating the primary driving task. The location of the touch screen is designated based on the posture and position in which each driver can drive comfortably. The distances were then measured with respect to the shoulder joint, and the angle is designated based on the center point between the hip joints. As an objective indicator, the error rate (%) was measured from the touch screen operations. After each set of touch screen tasks was performed, a discomfort survey, as a subjective indicator, was conducted. Design of experiment was completely randomized. with all three levels of combinations for three independent variables: button size, distance, and angle. As a result, safe or errorless response curves were generated according to subjects' gender and anthropometry.

Results: The button size, distance, and angle appeared to affect the error rate. The interactions of Distance × Button size and Distance × Angle were found to have significant effects between variables. As a result of statistical analysis on discomfort, it was confirmed that there were significant differences in button size, distance, and angle, but there was no interaction between independent variables. A trigonometric equation was used to replace the combination of the distance and angle variables with zero error rates (%) in X and Y coordinates. The substituted x and y coordinates are expressed to generate reaction curves over the X and Y coordinates where the center point between the hip joints is zero (0, 0). The errorless response curve at different locations for each human body dimension distribution was confirmed.

Conclusion: This experiment is expected to serve as a guidance for the design of

touch screens via errorless reaction curves for using the touch screen in a posture and position where the driver can comfortably drive manually. To minimize the movement of the driver and to safely perform the task of using the touch screen, which is an auxiliary task, the position of the touch screen was tested at the height of the steering wheel. As a result of the experiment, an errorless reaction curve at the height level of the steering wheel was derived when using the touch screen according to the driver's human body dimension distribution.

Application: This study can be applied to ensure safety by minimizing the driver movement when using any in-vehicle infortainment systems with a touch screen, where more auxiliary functions are being introduced. It also suggests an errorless or safe location of a touch screen at the height level of the steering wheel.

Keywords: Anthropometry, Driving, Touch screen, Errorless response curve

1. Introduction

운전 상황에서 운전을 주 과업(primary task)으로 수행하면서 추가 작업(secondary task)으로서 요구되는 여러 서비스가 증가하고 있다(Jung et al., 2021). 대표적인 시스템은 차량 Infortainment system으로 Information(정보)와 Entertainment(엔터테인먼트)의 합성어인 Infortainment(인포테인먼트) 기술이 차량 내 터치 스크린(touch screen) 기반의 기기를 통해 소비자에게 제공되고 있으며, 네비게이션, 미디어, 공조 조작 등을 포함한 인포테인먼트 서비스의 보급이 늘어나고 있다(Choi et al., 2019; Horrey et al., 2006). 인포테인먼트 시스템은 조작하기 위해서 직접적으로 물리적인 제어가 필요하다는 점에서 클러스터 및 HUD와 다른 특성을 가지고 있으며(Mathur et al., 2017), 차량 인포테인먼트는 hard key(물리적 버튼) 대신 touch screen 기반의 soft key로 변화하는 추세를 보이고 있다(Suh and Ferris, 2019). 하지만, Touch screen 기반의 Soft-key의 경우 물리적 버튼에 비해 운전자의 주의와 작업량을 더 필요로 하면서 운전자의 안전 확보가 필요하다(Fitch et al., 2013). 인포테인먼트 시스템의 조작은 운전자의 주의 분산을 야기하는 시각적, 인지적, 물리적 요구 사항을 동반하며, 이런 주의 분산은 운전자의 도로 주행 상황에서 교통사고의 원인이 되기도 한다. 이러한 제약조건 속에서 사용자는 차량 운전과 동시에 차량 인포테인먼트와 상호작용을 할 수 있어야 한다(Large et al., 2018). 특히 자동차 인테리어와 같이 한정된 공간에서는 인간의 자세와 움직임을 통한 상호작용의 모델이 핵심적이며(Wang et al., 2006), 과업 안에서 사용자와 시스템의 상호작용에 대한 철저하고 상세한 이해가 동반되어야 한다(Harvey et al., 2011). 기존의 상호작용 모델들은 주요 과업을 수행하면서 보조 작업을 행하는 상황에서 사용자들의 욕구 및 개별 능력에 대한 차이를 간과한 측면이 있다(Large et al., 2018). 따라서, 전통적인 주행 시 운전 자세 연구와 유사하게 사용자의 움직임을 최소화하는 동시에 안전한 작업 수행을 위해 어깨 관절을 기준으로 한 운전자의 자세에서 안전성과 정확도를 보장할 수 있는 설계에 대한 연구가 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 사용자의 개별 차이를 인체 치수의 관점에서 이해하며, 그 차이에 따라 터치 스크린 위치에 대한 결과가 도출될 것을 기대한다. 결과적으로 운전자의 인체공학적 치수를 기반으로 수동 주행(manual driving) 상황에서 터치 스크린 조작을 secondary task로 수행할 때의 안전한 사용을 보장하는 반응 곡선(response curve)을 도출하여 사용자의 수행도를 예측하는 것을 목표로 한다.

2. Experiment

본 실험은 피실험자가 최적 운전 자제(Comfortable Posture)로 취한 상태에서 어깨 관절을 기준으로 피실험자의 상체 움직임이 제약된 조건하에서 과업(터치 스크린 상의 버튼 터치)을 수행함에 따른 오류율(Error rate (%))을 정량적 지표로 측정하였고, 남, 여 인체 퍼센타일 별로 오류를 발생하지 않는 위치를 Response curve(반응 곡선)로 도출하는 것을 목표로 하였다. 피실험자는 20~39세(평균=28.125, 표준편차=2.787)의 24명(남성=12명, 여성=12명)을 대상으로 선정하였고, 3가지의 독립변수를 3단계의 수준으로 선정하여 실험을 진행하였다. 인체공학적 치수에 따른 남, 여 25%, 50%, 75%, 95% 범주 별로 도로 주행 상황(주행 시뮬레이터)에서 차량 터치 스크린을 사용한 보조 작업을 수행하여 무오류 반응 곡선(Errorless response curve)을 도출하는 것이다.

2.1 Participants

본 실험에 참여한 피실험자들은 5차~7차 SizeKorea(남=1,757명, 여=1,573명)에서 제공하는 백분위 별 6가지의 인체공학적 치수(Table 1)를 기반으로 선별하였다. 앉은어깨높이, 어깨사이길이, 위팔수직길이, 아래팔수평길이는 7차 데이터를, 손목중심점-둘째손가락첫째마디길이는 6차 데이터를, 검지길이는 5차 데이터를 기준으로 25% (5~25), 50% (25~50), 75% (50~75), 95% (75~95)의 범주 별로 남, 여 24명(4(인체 치수 수준) × 3(집단 별 피실험자 수) × 2(성별))을 모집하였다(Table 2). 각 백분위 별 3명씩 총 8(4인체 치수 수준 × 2성별)개의 집단으로 피실험자를 구성하였다. 수동 운전 주행 상황을 고려하여 1년 이상의 운전 경력(평균=4.5, 표준편차=2.502)을 가지고 있으며, 시각 장애가 없는 피실험자로 모집하였다(Jung et al., 2021).

Table 1. Body dimensions of 25, 50, 75, 95 percentile males and females from size Korea anthropometric data (units in mm)

Male						
	5%ile	25%ile	50%ile	75%ile	95%ile	99%ile
Shoulder height, sitting	564.5	589.5	606.5	624.5	651	670
Biacromion length	399	420.5	434.5	450	474.5	491.5
Shoulder-Elbow length	320.5	336.5	347	357.5	373	384.5
Elbow-Wrist length	247	262.5	273.5	284.5	297.5	308
Center of the wrist-index finger first knuckle length	104.02	109.16	113.28	116.78	120.97	127.55
Index finger length	68.5	73.5	77.85	81.25	88.5	102
Female						
	5%ile	25%ile	50%ile	75%ile	95%ile	99%ile
Shoulder height, sitting	531	554.5	569.5	585.5	609.5	629
Biacromion length	359.5	378.5	390.5	404.5	424.5	438.5
Shoulder-Elbow length	293	307.5	317.5	327.5	343	353
Elbow-Wrist length	230.5	242.5	250.5	258.5	273.5	282
Center of the wrist-index finger first knuckle length	95.97	101.49	104.95	108.3	113.58	119.03
Index finger length	62.5	67.5	71.5	73.5	79.5	82.5

Table 2. Body dimensions of 25, 50, 75, 95 percentile male and female subjects (units in mm)

Male								
	25%ile		50%ile		75%ile		95%ile	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
Shoulder height, sitting	584	5.57	600	8.66	617.67	2.52	649.33	1.15
Biacromion length	418.33	2.89	431.33	2.31	446.33	2.31	472	2.00
Shoulder-Elbow length	331	6.08	340.67	3.06	351.67	2.89	371	1.73
Elbow-Wrist length	259	3.61	270.33	2.52	278.67	2.31	294	3.61

Table 2. Body dimensions of 25, 50, 75, 95 percentile male and female subjects (units in mm) (Continued)

Male								
	25%ile		50%ile		75%ile		95%ile	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
Center of the wrist-index finger first knuckle length	106	1.73	111	1.73	115	1.00	119	1.00
Index finger length	70.73	1.17	75.83	1.04	80.17	1.04	84.17	3.33
Female								
	25%ile		50%ile		75%ile		95%ile	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
Shoulder height, sitting	544.33	8.14	564.33	4.04	582.67	2.52	598.67	8.08
Biacromion length	372.67	2.52	383.33	5.77	398.33	2.89	423.33	10.41
Shoulder-Elbow length	297.33	2.52	313.33	2.89	326.33	1.15	333.33	5.77
Elbow-Wrist length	239	3.61	249.33	1.15	255	5.00	266.67	5.77
Center of the wrist-index finger first knuckle length	98	2.65	102.67	1.15	106	1.73	109.76	0.58
Index finger length	63.83	1.61	69.67	1.53	72.27	0.75	75.67	2.08

2.2 Apparatus

본 실험은 주행 시뮬레이터 장치와 Touch screen 장치(세로: 250.6mm 가로: 174.1mm 크기의 아이패드 에어 3세대)를 사용하였다 (Figure 1). 피실험자는 주 과업으로 시뮬레이터 장치와 연결된 도로 주행 영상을 통해 주행 과업를 수행한다. 주 과업을 수행하는 도중 실험 진행자의 지시에 따라 Secondary task로 Touch screen 조작 작업을 수행한다. Touch screen 높이는 최근 차량의 Touch screen 위치를 반영하여 Steering wheel의 가운데 지점을 기준으로 고정하였다. 시뮬레이터의 시트 위치와 Steering wheel 사이의 거리는 550mm로 고정된다.

Figure 1. Experimental setup

2.3 Procedure

본 실험을 진행하기 전 모든 피실험자들의 인체 치수(SizeKorea 표준 측정 기준: 앉은어깨높이, 어깨사이길이, 위팔수직길이, 아래팔수평길이, 손목중심점-둘째손가락첫째마디길이, 검지길이)를 측정 한 후 실험을 진행하였다. 운전자는 수동 주행 상황에서 가장 편하게 운전을 수행할 수 있는 자세에서 실험을 시작하였으며, 사전에 피실험자에게 실험이 진행되는 동안 터치 스크린을 통한 보조 작업을 수행하기 위해서 상체 및 어깨 관절의 물리적인 이동성과 움직임의 제약을 가진 상태에서 진행되는 실험임을 안내하였다. 실험 도중 피실험자가 움직임이나 이동성을 갖지 않도록 주기적으로 인식시키며 실험을 진행하였다. 실험의 주 과업은 주행 상황이며, 보조 과업으로 실험 진행자가 명시하는 버튼을 터치 스크린을 통해 조작하는 방법으로 진행하였다(Figure 2). 피실험자들은 5분간 시뮬레이터에서의 주행 상황을 연습한 후, 본 실험을 진행하였다. 실험은 피실험자가 시뮬레이터를 통해 도로 작업을 수행하는 동안 세팅 된 터치 스크린을 통해 실험 진행자가 지시하는 버튼을 터치하면 화면이 전환되는 방식으로 총 3번의 화면 전환으로 하나의 실험이 완료된다. 피실험자 별 실험은 총 27회로 진행되며, 매회 실험 종료 시 객관적 지표로서 Error rate({측정 터치 작업 수(T1) - 오류 없는 이상적인 터치 작업 수(3)}/ 오류 없는 이상적인 터치 작업 수(3) × 100)를 사용하였으며(Abramowitz and Stegun, 1972), 주관적 지표로 5점 척도의 불편도(Discomfort in 5-point Likert scale)를 측정하였다. 본 실험에서 오류 없는 이상적인 터치 작업 수(3)는 3번의 터치 스크린의 버튼을 터치해야 완료되는 실험의 구성에 따라 한번의 과업을 수행하기 위해서는 3번의 터치가 오류가 없는 이상적인 터치 작업 수이다.

Figure 2. Subject performance of the touch operation as a secondary task

2.4 Experimental design

인체 치수 별 작업 Error rate (%)을 기반으로 한 반응 곡선을 도출하기 위해 피실험자의 엉덩이 관절 사이 중앙점을 기반으로 2가지 위치 독립변수과 터치 스크린의 버튼 크기 독립변수를 각각 3가지 수준으로 설계했다. 위치 요인은 엉덩이 관절 사이 중앙점을 기준으로 각도 변수(15°, 30°, 45°)로 등간격의 수준으로 제공하였고, 위치 변수는 피실험자의 어깨 관절을 기준으로 각각의 각도 변수(15°, 30°, 45°)에서 최대로 수용할 수 있는 위치를 최대값으로 선정하여, 그 위치로부터 10mm씩 등간격으로 거리를 줄여 3수준으로 결정하였다(Figure 3). 터치 스크린의 버튼 크기는 정사각형으로 디자인된 7.5mm, 12.5mm, 17.5mm 3수준으로 제공하며, 버튼 간 간격은 6mm, 폰트 크기는 8mm로 고정하였다(Kim et al., 2914). 피실험자는 실험 진행자의 지시(숫자, 알파벳, 한글 자음)에 따라 3 × 3배열의 같은 크기의 터치 스크린 버튼 중 지정된 버튼을 Touch하여 총 3 Depth의 작업을 수행한다(Figure 4). 피실험자의 학습효과를 제거하기 위해 매 작업마다 다른 UI(숫자, 알파벳, 한글)를 설계하였다. 피실험자의 실험 순서에 대한 학습 오류를 상쇄시키기 위해 피실험자 집단 내 실험 순서를 Counter balancing하여 변수 별로 각기 다르게 구성하였다. 총 3개의 독립변수 수준 조합(각도(3) × 거리(3) × 버튼 크기(3)에 따라 총 27회(Table 3) 실시하며 학습효과 및 피로도 제거를 위해 9회차 마다 10분씩 휴식시간을 지정했다. 작업 정확도의 객관적 측정 지표로는 Error rate (%)로 산출하였으며, 주관적 지표로는 피실험자의 불편도를 리커트 5점 척도로 설문하였다.

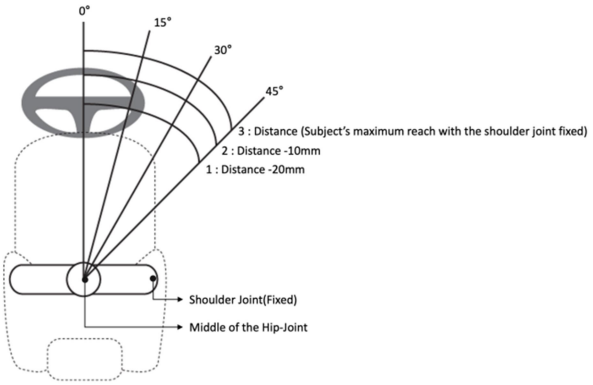

Figure 3. Levels of angle and distance as independent variables

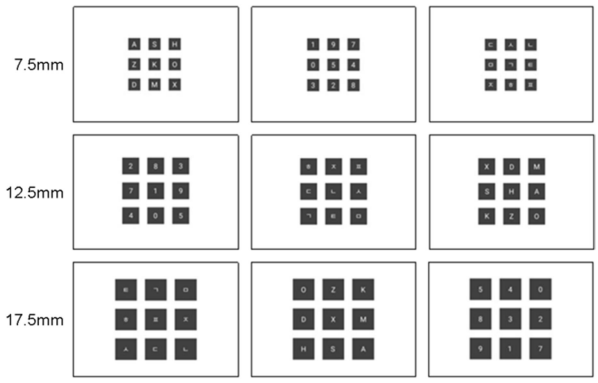

Figure 4. Examples of 3-depth buttons used for the task

Table 3. Independent variables for each experiment

Independent variables	Level of the variables
Distance (Distance from the shoulder joint to the center of display)	1: Maximum reach distance from shoulder joint -20mm 2: Maximum reach distance from shoulder joint -10mm 3: Maximum reach distance from shoulder joint
Angle (Distal angle from the body center)	15°, 30°, 45°
Button size	7.5mm, 12.5mm, 17.5mm

3. Results

3.1 Error rate (%)

실험 결과 객관적 측정 지표인 Error rate (%)의 결과를 바탕으로 성별, 인체 치수, 버튼 크기, 거리, 각도 별에 따른 통계적 차이를 보이는지 알아보기 위한 분산분석(ANOVA)을 수행하였으며, 그 결과는 Table 4에 나타나 있다. 유의수준 α=0.05에서 버튼 크기, 거리, 각

Table 4. ANOVA result on the error rate

Source	DF	*F*	*p*-value
Anthropometry	3	3.514	0.015*
Button size	2	66.570	0.000**
Distance	2	83.522	0.000**
Angle	2	8.457	0.000**
Button size * Distance	4	6.699	0.000**
Button size * Angle	4	0.694	0.596
Distance * Angle	4	7.120	0.000**
Button size * Distance * Angle	8	0.474	0.875

*p<0.05, **p<0.01

도는 에러율(%)에 대해 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다. 또한, 인체 치수는 에러율(%)에 대해 유의한 차이가 있었으나, 나머지 변수와의 상호작용은 유의하지 않았으며, 성별은 유의하지 않았다. 변수 별 상호작용은 버튼 크기 × 거리, 거리 × 각도 간의 상호작용을 볼 수 있으며, 버튼 크기 × 각도, 버튼 크기 × 거리 × 각도에서는 변수 간 상호작용이 없었다.

3.1.1 Button Size

버튼 크기와 Error rate (%)의 분산분석(ANOVA) 결과, 유의수준 α=0.05로 독립변수 버튼 크기가 Error rate (%) 차이에 영향을 미친다. a는 7.5mm, b는 12.5mm, c는 17.5mm의 버튼 크기를 나타낸다. 사후분석 결과 7.5mm를 제외한 나머지 두 수준인 12.5, 17.5mm는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다(Table 5). 버튼 크기 7.5mm가 가장 높은 에러율을 보였으며, 버튼 크기 증가에 따라 7.5mm 버튼 크기에서 Error rate (%)이 크게 증가함을 보였다(Figure 5). 버튼 크기가 증가함에 따라 Error rate (%)가 감소하는 역비례의 상관관계를 보였으며, 거리 변수와 유의한 상호작용이 존재하였다. 특히, 거리가 멀어질수록 버튼 크기가 감소함에에 따라 에러율(%)이 급격히 증가하는 상호작용을 보였다(Figure 6).

Table 5. Post-hoc analysis results of the error rate with respect to the button size

Button size	Error rate (%)	Tukey HSD
7.5 (a)	M=47.685, SD=48.169	a<b, c b=c
12.5 (b)	M=21.2961, SD=29.973	
17.5 (c)	M=14.9833, SD=26.844	

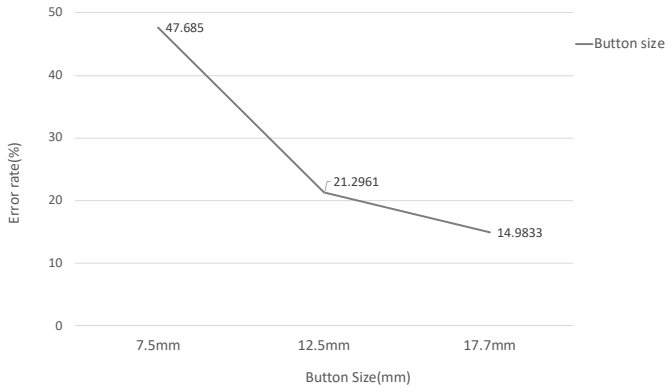

Figure 5. Main effect of button size in error rate

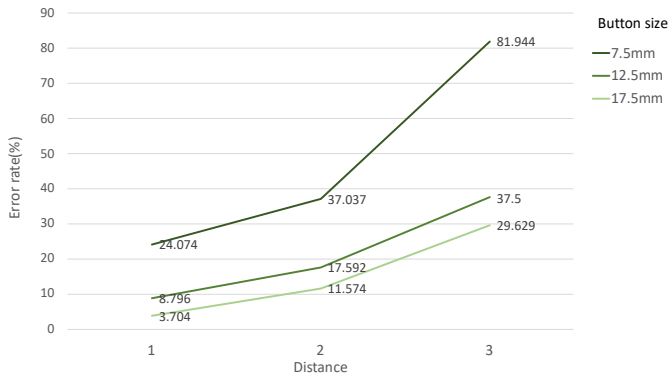

Figure 6. Interaction effects of button size × distance in error rate

3.1.2 Distance and angle

거리와 각도 모두 증가함에 따라 Error rate (%)이 유의하게 증가하는 경향을 확인하였다(Figure 7, 8). 또한, 거리와 각도 사이의 상호작용이 존재하였으며, 특히 각도가 증가하고 거리가 Max reach에 이름에 따라 Error rate이 급격히 증가하였다(Figure 9).

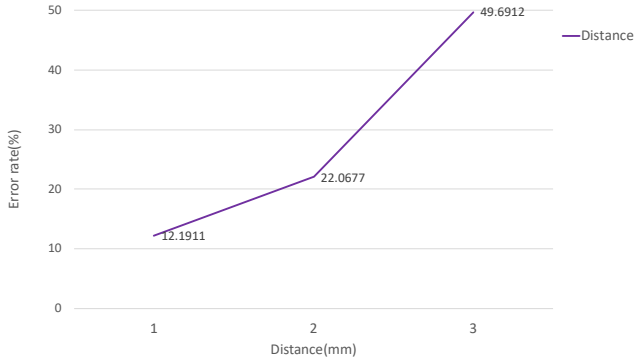

Figure 7. Main effect of distance in error rate

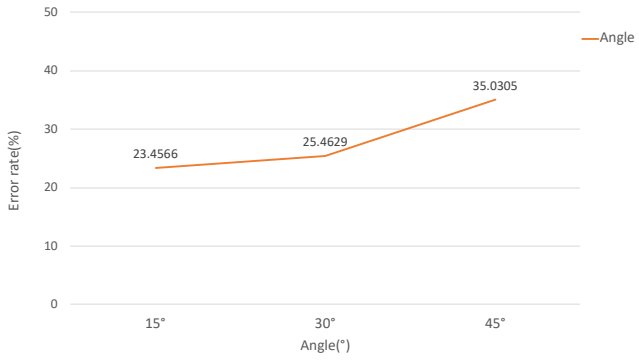

Figure 8. Main effect of angle in error rate

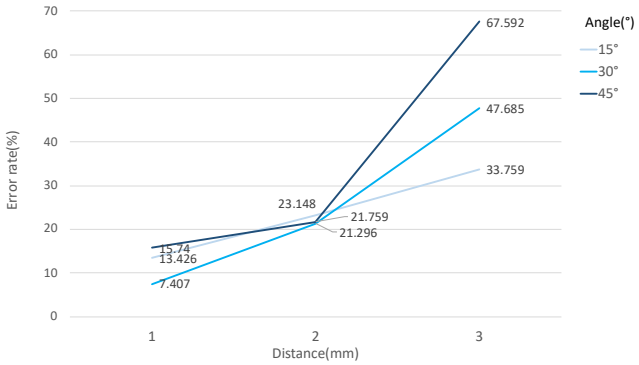

Figure 9. Interaction effects of distance angle in error rate

3.1.3 Errorless response curve

과업 수행 Error rate (%)에 따른 무오류 반응 곡선을 도출하기 위해 3가지 독립변수(거리, 각도, 버튼 크기) 별로 3가지 수준으로 총 27회 실험을 실시하였다. 즉, 터치 스크린 사용 시 무오류 반응 곡선을 도출하기 위해 피실험자 백분위 범위 별 오류가 발생하지 않

았던 터치 스크린 위치 데이터를 X, Y의 좌표 형태로 치환하여 반응 곡선을 도출하였다. Distance와 각도 Angle의 위치를 엉덩이 관절 사이 중앙점을 기준점(0, 0)으로 X, Y의 좌표를 삼각함수 공식에 대입하여(Distance (D1) × tan (Angle (A1)), Distance (D1))으로 치환하였다(Figure 10).

$(x, y) = (D_1 \times \tan(A_1), D_1)$

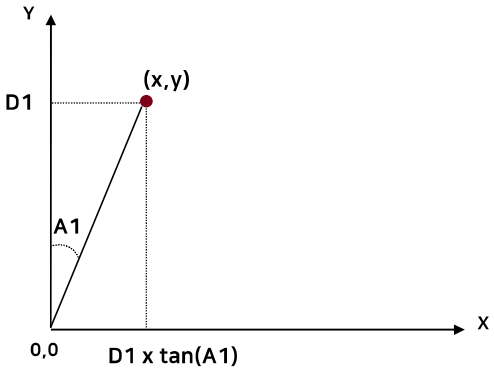

Figure 10. Explain about the (x, y) from trigonometric identity

Errorless response curves for female

치환된 좌표를 통해 피실험자 별로 오류를 발생하지 않은 위치의 평균을 여자 인체 치수 분포 25, 50, 75, 95% 별 무오류 반응 곡선으로 도출한 결과 각각 R^2 값이 0.787 (25 percentile), 0.678 (50 percentile), 0.797 (75 percentile), 0.895 (95 percentile)의 설명력을 가졌으며, 모두 유의수준 0.05 내에서 유의한 결과를 보였다(Table 6). 무오류 반응 곡선은 Figure 10을 통해 좌표 상으로 확인한 결과 인체 분포 별로 Figure 11과 같은 선형 모형을 보였다.

Table 6. Results of linear regression with respect to female anthropometry in percentiles

Percentile of human body dimension	R^2	DF	*F*	*p*-value
25% (5~25)	0.787	41	151.610	0.000**
50% (25~50)	0.678	45	94.852	0.000**
75% (50~75)	0.797	41	166.063	0.000**
95% (75~95)	0.895	45	382.100	0.000**

**$p<0.01$

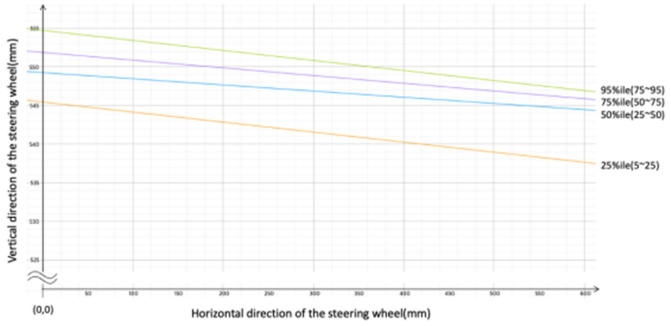

Figure 11. Errorless response curves obtained from linear regression of female percentiles

Errorless response curves for male

치환된 좌표를 통해 피실험자 별로 오류를 발생하지 않은 위치의 평균을 남자 인체 치수 분포 25, 50, 75, 95% 별 무오류 반응 곡선으로 도출한 결과 각각 R^2 값 0.787 (25 percentile), 0.678 (50 percentile), 0.797 (75 percentile), 0.895 (95 percentile)의 설명력을 가졌으며 모두 유의수준 0.05 내에서 유의한 결과를 보였다(Table 7). 무오류 반응 곡선은 Figure 11을 통해 좌표 상으로 확인한 결과 인체 분포로 Figure 12과 같은 별 각각 다른 선형 모형을 보였다.

Table 7. Results of linear regression with respect to male anthropometry in percentiles

Percentile of human body dimension	R^2	DF	*F*	*p*-value
25% (5~25)	0.839	33	172.432	0.000**
50% (25~50)	0.833	48	239.225	0.000**
75% (50~75)	0.850	37	216.912	0.000**
95% (75~95)	0.662	50	55.024	0.000**

**$p<0.01$

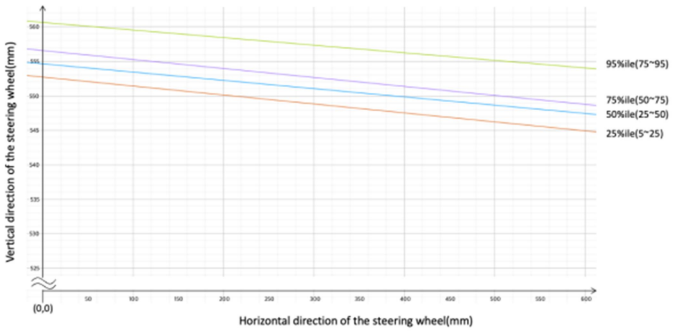

Figure 12. Errorless response curves obtained from linear regression of male percentiles

3.2 Discomfort

각 터치 스크린 위치에서의 작업 수행에 대한 불편도를 리커트 5점 척도로 측정하였다. 불편도에 따른 ANOVA 분석 결과 버튼 크기, 거리, 각도에서 각각 유의한 차이(α=0.01)가 있는 것으로 나타났으며, 변수 간의 교호작용은 유의하지 않은 것으로 나타났다(Table 8). 사후분석 결과 남/여 모두 버튼 버튼 크기가 7.5mm일 때의 평균 불편도가 가장 높은 것으로 나타나며, 12,5mm 이상에서 버튼 크기에 따른 불편도가 줄어들며, 버튼 크기의 수준 별로 유의미한 차이를 보였다(Figure 13). 또한, 거리 관점에서의 불편도 변화는 남/여 모두 거리가 증가함에 따라 불편도가 증가하는 것으로 나타나며, 모든 거리 수준 별로 유의미한 차이를 가졌다(Figure 14). 마지막으로 각도는 15°와 30° 사이의 유의미한 차이를 발견하지 못했으며, 45° 수준에서 가장 높은 불편도를 보였다(Figure 14).

Table 8. ANOVA result on discomfort

Source	DF	*F*	*p*-value
Button size	2	54.617	0.000**
Distance	2	350.983	0.000**
Angle	2	13.400	0.000**

Table 8. ANOVA result on discomfort (Continued)

Source	DF	*F*	*p*-value
Button size × Distance	4	0.671	0.721
Button size × Angle	4	1.705	0.260
Distance × Angle	4	1.196	0.447
Button size × Distance × Angle	8	0.710	0.815

*p<0.05, **p<0.01

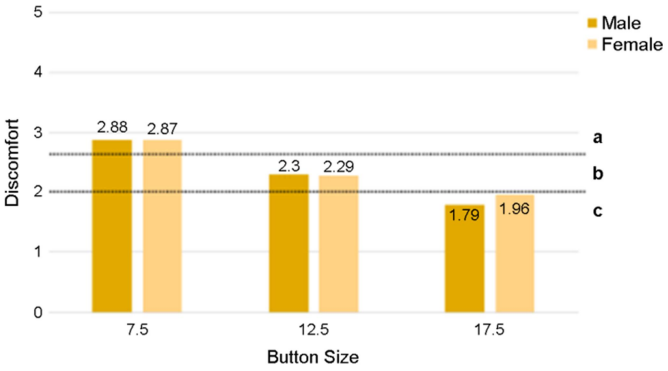

Figure 13. Perceived discomfort with respect to button size

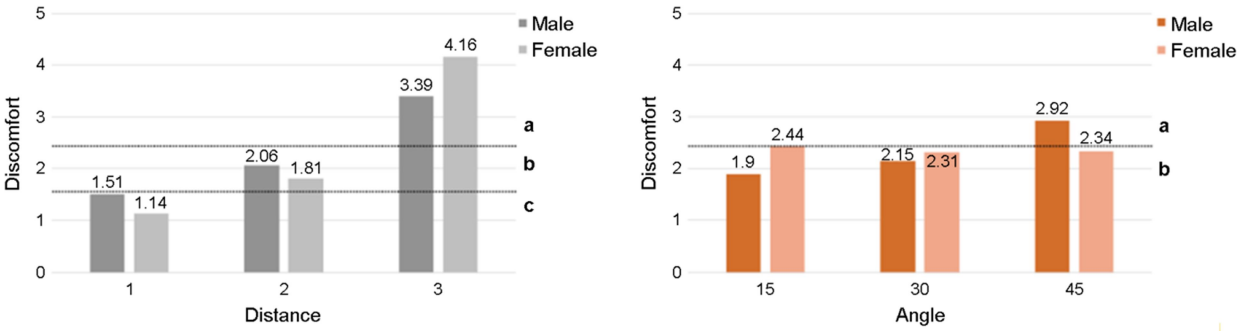

Figure 14. Perceived discomfort with respect to distance and angle

4. Discussion and Conclusion

차량 작업 도달 범위에 대한 선행 연구인 SAE의 J287 경우, 운전자의 인체측정학적 특성을 반영한 결과를 알 수 없으며, 도달 범위 내에서 작업의 난이도 분포 등에 대한 정보를 확인하기 어려운 문제가 있었다. 히자만, 본 연구에서는 인체 치수 별 도달 범위 내에서 작업 무오류의 반응 곡선을 도출했다는 점에서 연구의 의의가 있다.

본 연구를 통해 수동 주행 시 핸들 높이의 터치 스크린을 사용할 때, 운전자의 인체 치수 분포 별(남, 여 각각 25%, 50%, 75%, 95%) 무오류 반응 곡선을 도출하기 위하였으며, 피실험자가 가장 편안하게 주행 조작을 할 수 있는 자세 및 상태에서 운전(primary task)을 수행하며 실험 진행자의 지시에 따라 터치 스크린 조작(secondary task)을 할 때의 무오류 수행도에 대한 반응 곡선을 도출하였다. 총 3가지 독립변수(버튼 크기, 거리, 각도)와 작업 수행에 따른 Error rate(%)을 종속변수로 실험이 설계하였고, 피실험자는 총 27번의 실

험을 실시하였고, 객관적 지표(에러율)과 주관적 지표(불편도)를 측정하였다.

객관적 측정 지표인 에러율(%) 측면의 실험 결과는 거리, 각도, 버튼 크기의 변수 모두 유의한 차이를 가지고 있으며, 거리 × 버튼 크기, 거리 × 각도에서 변수 간 상호작용을 발견하였다. 거리와 각도는 증가함에 따라 에러율(%)은 증가하는 추세를 보였으며, 터치 스크린이 가장 멀리 위치해 있을 때, 급격하게 증가하는 모습을 보였다. 버튼 크기는 7.5mm에서 가장 높은 에러율(%)을 측정하였고, 12.5, 17.5mm에서 급격하게 감소하는 모습을 보였다. 버튼 크기의 수준 별 사후 분석 결과 12.5mm와 17.5mm 사이의 유의한 차이를 확인하기 어려웠다. 또한, 거리 × 버튼 크기, 거리 × 각도 사이의 상호작용이 존재하기 때문에 거리는 각도와 버튼 크기가 증가함에 따라 에러율(%)가 증가하였다.

이와 같은 결과로 보아 에러율(%) 관점에서 버튼 사이즈는 최소 12.5mm 이상을 권장하며(선행 연구 결과와 동일, Kim et al., 2014), 터치 스크린을 사용하는데 있어서 운전자는 최대 거리 위치에서 10mm 정도만 떨어져도 에러율(%)이 급격하게 떨어지 결과로 보아, 운전자는 도달 최대 거리와 가까워 질수록 정확한 사용에 대한 보장이 어렵다. 각도 측면에서도 최소 30° 수준 내에서 사용하는 것을 권장한다.

피실험자의 에러율(%)을 기준으로 무오류 결과와 대응되는 위치를 삼각함수 방정식을 활용하여 운전자 엉덩이 관절 사이 중앙점을 영점(0, 0) 기준으로 하여 삼각함수 (x, y) (Distance × tan (Angle), Distance) 좌표로 치환하였다. 도출된 인체 분포 별 무오류의 위치 좌표를 통해 선형 회귀 분석으로 무오류 반응 곡선을 도출하였으며, 그 결과 남/여 인체 분포 별 선형, 이차방정식 반응 곡선 모두 R^2 값 0.65 이상의 설명력을 가졌으며, 유의수준 α=0.05 내에서 유의한 결과를 보였다. 도출된 곡선으로 보아, 여자 25, 50%ile은 운전대보다 가까이에 터치 스크린이 위치해야 하며, 모든 인체 분포에서 운전대를 기준으로 수평 방향으로 범위가 증가할 수록 수직 방향으로 범위가 감소한다는 관계를 보였다.

주관적 지표인 불편도 분석 결과 거리, 각도, 버튼 크기에서 유의한 결과를 보였지만, 변수 간 상호작용은 보이지 않았다. 거리는 최대 위치에서 가장 불편도가 크게 증가하는 경향을 보였으며, 버튼 크기는 7.5mm에서 가장 불편도가 크게 나타났다. 사후분석 결과 버튼 크기 수준 별로 모두 유의한 차이를 보였으며, 사용성 측면에서 권장할 수 있는 크기는 불편도가 최소가 되는 17.5mm이다(선행 연구 결과와 동일, Kim et al., 2014). 거리 변수는 모든 수준에서 유의미한 차이를 보였다. 이를 통해, 에러율(%)과 불편도 모두 거리 수준에 대해 민감하게 반응을 하며, 운전자는 최대 도달 거리에 가까워 질수록 큰 불편도를 느끼며, 이는 낮은 에러율은 동반한다. 마지막으로 각도 관점에서는 15°와 30° 간의 유의한 차이를 볼 수 없으며, 45° 수준에서만 통계적으로 유의한 차이를 확인하였다. 각도가 멀어질 수록 터치 스크린을 조작하기 위해서 팔을 크게 움직여야 하고, 이는 운전자의 전방 주시 시야에서 멀어지기 때문에 불편도가 높아졌다. 결론적으로, 운전자는 운전대의 높이 수준에서 터치 스크린을 조작할 때, 최대 도달 범위보다는 가까워야 하며, 각도 측면에서도 시야를 많이 움직이지 않는 위치에서 조작해야 한다.

본 연구를 통해 운전자가 가장 편안하게 있는 위치 및 자세에서 수동 주행을 하는 상황에서 주 과업인 운전 외에 터치 스크린 사용이라는 보조 작업을 수행하는 경우, 운전자의 움직임을 최소화 하며 작업할 수 있는 터치 스크린 위치를 도출하였다. 이를 통해 차량 공간에서 터치스크린의 위치 설계 시 참고할 수 있는 연구 자료로 활용될 수 있다고 기대할 수 있다. 설계자는 인체 치수 분포 별 반응 곡선을 고려하여, 수용할 수 있는 운전자의 범위를 고려한 설계에 도움일 될 수 있다는 것에 본 연구의 의이를 가진다. 운전대 높이 기준에서 터치 스크린의 위치를 제안할 수 있다는 연구의 의의를 가진다. 하지만, 본 연구는 운전대 높이로 제한되어 실험을 진행하였기에 후속 연구에서는 높이를 고려하여 무오류 반응 면을 도출할 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

References

Abramowitz, M. and Stegun, I.A. (Eds.)., *Handbook of mathematical functions with formulas, graphs, and mathematical tables* (Vol. 55). US Government printing office, 1972.

Choi, D.K., Jung, J.H., Kim, J.I., Gohar, M. and Koh, S.J., IoT-Based Resource Control for In-Vehicle Infotainment Services: Design and Experimentation. *Sensors*, 19(3), 620, 2019.

Fitch, G.M., Soccolich, S.A., Guo, F., McClafferty, J., Fang, Y., Olson, R.L., Perez, M.A., Hanowski, R.J., Hankey, J. M. and Dingus, T.A., *The impact of hand-held and hands-free cell phone use on driving performance and safety-critical event risk.* NHTSA, 2013.

Harvey, C., Stanton, N.A., Pickering, C.A., McDonald, M. and Zheng, P., In-vehicle information systems to meet the needs of drivers. *Intl. Journal of Human-Computer Interaction*, 27(6), 505-522, 2011.

Horrey, W.J., Wickens, C.D. and Consalus, K.P., Modeling drivers' visual attention allocation while interacting with in-vehicle technologies. *Journal of Experimental Psychology: Applied, 12*(2), 67, 2006. https://doi.org/10.1037/1076-898X.12.2.67

Jung, S., Park, J., Park, J., Choe, M., Kim, T., Choi, M. and Lee, S., Effect of Touch Button Interface on In-Vehicle Information Systems Usability. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 1-19, 2021.

Kim, H., Kwon, S., Heo, J., Lee, H. and Chung, M.K., 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, 2014.

Large, D.R., Burnett, G., Crundall, E., van Loon, E., Eren, A.L. and Skrypchuk, L., Developing predictive equations to model the visual demand of in-vehicle touchscreen HMIs. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 34(1), 1-14, 2018.

Mathur, B., Gellatly, A.W., Hansen, C.R., Weiss, J.P., Highstrom, M.M. and Sims, R.D. (2017). *U.S. Patent No. 9,598,070*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Suh, Y. and Ferris, T.K., On-road evaluation of in-vehicle interface characteristics and their effects on performance of visual detection on the road and manual entry. *Human Factors, 61*(1), 105-118, 2019. https://doi.org/10.1177/0018720818790841

Wang, X., Chevalot, N., Monnier, G. and Trasbot, J., From motion capture to motion simulation: an in-vehicle reach motion database for car design. *SAE Transactions*, 1124-1130, 2006.

Author listings

Jin Kyeong Sung: jinkyeong@korea.ac.kr
Highest degree: Undergrad, School of Industrial Engineering, Kumoh National Institute of Technology
Position title: Researcher, Department of Industrial and Management Engineering, Korea University
Areas of interest: Ergonomics, Human-computer Interaction, Usability Evaluation, Interaction Design

Eui Seung Jung: ejung@korea.ac.kr
Highest degree: PhD, School of Industrial and Manufacturing Engineering, Penn State University
Position title: Professor, Department of Industrial and Management Engineering, Korea University
Areas of interest: Ergonomics, Human-computer Interaction, Usability Evaluation, Interaction Design