Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 29, No. 3 pp.365-373, June 2010 DOI:10.5143/JESK.2010.29.3.365

돌발 상황 하의 사용자 반응을 고려한 자동차 중앙 계기판 버튼의 최적 배치 방안 연구

최준영 · 김영수 · 반상우 · 윤명환 · 이면우

서울대학교 산업공학과

A Study on Optimal Layout of Control Buttons on Center Fascia Considering Human Performance under Emergency Situations

Jun Young Choi, Young Su Kim, Sang Woo Bahn, Myung Hwan Yun, Myun Woo Lee

Department of Industrial Engineering, Seoul National University, Seoul, 151-744

ABSTRACT

Many studies on safety issues of human-machine interaction are being conducted, especially taking emergency situations into consideration. In light of this view, the importance of objective and reliable measurement of users' reactions under emergency situations is becoming more important than ever in reflecting such issues in the design of everyday things. However, despite the need to consider the human-machine interactions and human performances at the design stage, there were few studies which considered human performances and behaviors under emergency situations. This study is about an evaluation method and design guide to include such human performances under emergency situations during human-machine interactions. This is achieved through an experiment where operators are instructed to press the emergency button at an experimentally designed location under a random emergency situation. By analyzing the results in a human factors perspective, the response time and the accuracy of the operators' behaviors are explained. Analysis revealed that in designing the center fascia for automobiles, there is a tradeoff between response time and accuracy, and the optimal size of buttons differ in each part of the center fascia. This method is expected to be applicable to industrial situations to derive optimal position for emergency buttons.

Keyword: Button layout, Human performance, Emergency situation, Response time, Response accuracy

1. 서 론

인간이 기계를 사용한 이래로 인간-기계 상호작용(Man-Machine Interface)을 이용해 비상 상황을 포함한 안전 문제를 해결하고자 하는 노력은 계속되어 왔으며, 비상 상황에 대한 사용자의 반응을 객관적이고 신뢰성 있게 측정하여 설계에 반영하는 작업의 중요성은 시간이 갈수록 그 의미가 커지고 있다(Radix et al., 1999). 일반적으로 비상 상황이란, 사용자가 예측하지 못한 상황에 처하는 것을 의미하며(Klann et al., 2008) 이러한 예측하지 못하는 상황이 발생할 가능성이 높은 경우, 사용자의 반응과 행동 패턴을 예측하고 사용자의 비상 상황 대처에 영향을 주는 요인을 인지하여, 이를 설계에 적절히 반영하는 것은 인간공학

교신저자: 윤명환
주 소: 151-744 서울시 관악구 대학동 서울대학교 공과대학 산업공학과, 전화: 02-880-1403, E-mail: mhy@snu.ac.kr

의 주요 이슈 중 특히 안전의 측면에서 매우 중요하다.

인간공학적 디자인을 위해서는 주어진 정보가 간결하고 명확한 지시가 필요하며, 모호하지 않아야 하며, 관찰 또는 측정과 같은 과학적 프로세스를 통해 검증되어야 하며, 또한 인간의 인지적, 육체적 특성을 충분히 고려하여야 한다(Campbell et al., 1990; Campbell, 1996). 지금까지 인간공학적 디자인을 위한 일반적인 가이드라인은 자동차 디스플레이 및 제어 디자인, 원자력 발전 관리 프로세스와 같은 다양한 분야에서 성공적으로 개발되고 발전되어 왔다(Campbell, 1996; Spiker et al., 1993; Spiker et al., 1994).

특히, 특성상 다양한 비상 상황이 많이 일어나게 되는 자동차 설계의 경우, 운전 상황에서 운전자의 안전을 위해 인간의 특성 및 인간-기계 상호작용을 고려해야 하며, 이러한 필요성에 따라 이와 관련한 연구가 많이 진행되고 있다(Charlton et al., 2002). 그러나 이와 같은 필요성에도 불구하고 실제 자동차 설계에서는 이러한 연구 결과들이 제대로 반영되지 않고 있으며, 그 결과 운전 중 차량 내 기기 조작으로 인한 사고가 지속적으로 발생하고 있다. 기존 연구에 의하면 실제로 이러한 차량 내 기기 조작은 차량 사고의 주요 원인이다(Eby et al., 2003; Stutts et al., 2001; Wang et al., 1996; Glaze et al., 2003; Stevens et al., 2001). 이는 운전 중 차량 내 기기 조작이 인지적 부하를 일으키는 것으로 해석할 수 있으며, 비상 상황에서의 기기 조작 역시 인지적 부하를 발생시킬 것으로 유추할 수 있다. 또한, 美 NHTSA(National Highway Traffic Safety Administration)의 조사 결과에 따르면, 주요 사고 원인 중 휴대폰 사용, 라디오 및 CD Player 버튼 조작, 다른 사물 응시 등과 같은 주의 분산(Driver Distraction)이 높은 비중을 차지하였음을 알 수 있는데(Thomas A. Ranney et al., 2008), 이는 설계에서 운전자의 능력이나 운전 행태에 대한 고려가 부족함을 의미한다. 또한, 운전 상황에서 발생 가능한 비상 상황에 대한 기존 연구는 경고 표지판에 대한 운전자의 반응을 중심으로 한 연구가 대부분을 이루고 있다(Summala and Hietamäki, 1984; Parker et al., 1995; Charlton et al., 2002; Donald, 1998; Fischer, 1992.). 英 TRL(Transport Research Lab)이 2002년 차량 내부 설계에 대해 제시한 가이드라인은 운전자 주의 분산 요소에 대한 직접적 가이드라인이 아니라 '지시사항은 정확하고, 단순하고 분명해야 하며 명확히 정의되어 있어야 한다.'와 같이 적용 가능한 원칙만 제시하고 있어 이를 실제 디자인에 활용할 수 있을 정도로 구체적이지 못하다(Stevens, A. et al., 2002).

따라서 본 연구에서는 인간기계 상호작용 중 인간성능 요소와 돌발 상황이 높은 상관관계를 가지고 있다는 가정 하에 운전 상황에서 발생 가능한 비상 상황에 대처하는 운전자의 반응을 실험을 통해 알아보았다. 그리고 이를 인간공학적 관점에서 분석하여 운전 상황에서 운전자의 인간공학적 특성과 자동차 중앙 계기판(Center Fascia)의 설계 요소를 감안하여 버튼조작반응을 확인하였다. 이를 통해 중앙 계기판 상 버튼의 최적 위치를 도출하였으며, 비상 상황 시 운전자의 조작 오차를 고려한 비상 버튼의 설계 가이드라인을 제시하였다. 본 연구에서 고려한 인간-기계 상호작용의 구성 요소는 크게 계기판 요소와 인간성능 요소며, 계기판 요소는 각도, 거리, 크기(스티어링 휠의 3시 방향 가장자리를 원점으로, 3시 방향을 0도로, 반시계 방향을 +로 설정)를, 인간성능 요소는 운전자의 성별, 팔 길이, 반응시간, 정확도를 고려하였다.

2. 실험 설계

2.1 가설 및 변수

본 실험에서 사용된 독립변수는 크게 돌발 상황 관련 변수, 계기판 관련 변수, 피실험자 관련 변수로 나누어 설정하였으며(표 1 참조), 서로 다른 위치 9지점 표적의 반응 오차를 일관되게 측정하기 위하여 반응시간과 정확도로 나누어 종속변수를 설정하였다(표 2 참조).

표 1. 독립변수

독립변수		수준 및 설명
돌발 상황 관련 변수	자극	• 시각 자극(장애물 출현: 반투명 polyethylene을 사용 프로젝터 렌즈 가림) • 청각 자극(조수석 청각 자극: 예상치 못한 상황에 "멈춰!" 라고 외침)
계기판 관련 변수	거리	20cm, 30cm, 40cm
	각도	45°, 0°, -45°
피실험자 관련 변수	성별	남, 여
	팔 길이	어깨가쪽점에서 손끝점까지의 길이, 연속형 변수

표 2. 종속변수

종속변수		설명
정확도	$\lvert x_{ij} \rvert$ $\lvert y_{ij} \rvert$	각 실행의 표적을 원점으로, 그 표적이 속한 각도(-45°, 0° 혹은 $+45^{\circ}$)와 일치하는 축을 y좌표(cm), 이 축과 직교하는 축을 x좌표(cm)로 설정 (i: i번째 위치, j: j번째 시도)
반응시간	t_{ij}	자극이 주어진 시점부터 손가락이 표적에 도달까지의 시간(sec)

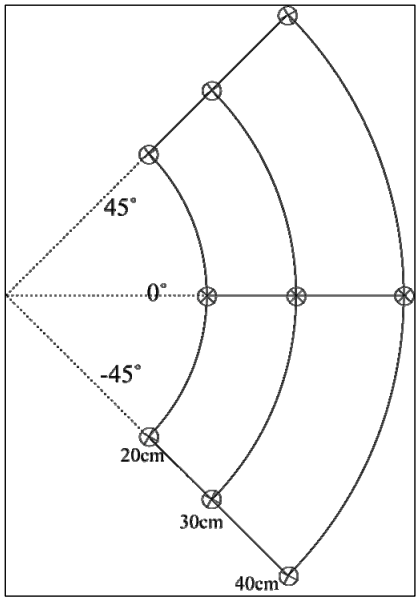

그림 1. 중앙 계기판의 표적 영역

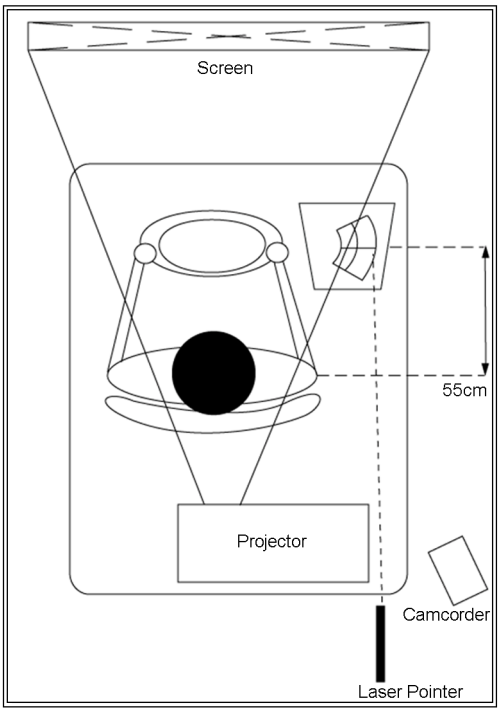

그림 2. 실험 장비 배치

2.2 실험 환경

실험실의 조도는 평상 시 24.5Lux, Car Simulator 작동 시 28.6Lux이며 소음은 평상 시 38.6dB SPL equivalent, A-weighted이고 Car Simulator 작동 시 운전석 기준 62.9dB SPL equivalent, A-weighted로서 차내 환경 수준으로 유지하여 피실험자가 실험에 사용되는 청각 자극을 듣는데 지장이 없도록 하였다. 실험에 사용된 측정 장비는 Car Simulator, Projector(Sony VPL-CX63), Camcorder (Sony HDR-SR11)이며, Simulator Program으로 사용한 것은 Sony Playstation2와 Gran Turismo4이다. 이와 같은 실험 장비들은 그림 2와 같이 배치하였다. 피실험자는 시력과 청력에 문제가 없고 운전 경력이 있는 만24~26세의 남녀 운전면허소지자 각 4명씩 총 8명을 피실험자로 선정하였다.

2.3 실험 방법

각 자극 X 위치 조합을 2회 반복 실험하여 피실험자 마다 총 28회의 반응을 측정하였으며, 자극 및 버튼 위치 지정의 순서는 랜덤화하여 순서 효과를 제거하였다. 스티어링 휠은 양 끝(3시, 9시 방향)을 잡고 있도록 하였으며, 검지에 스탬프를 찍은 채로 운전을 하고 있는 피험자에게 예고 없이 랜덤하게 자극을 주어 반응을 기록하였다. 각 표적의 원점은 레이저 포인터를 통해 표시하여 표적을 알아볼 수 있도록 하였다. 예비실험 결과 위치를 전혀 인지하지 못한 상태에서는 탐색시간이 랜덤하게 발생하였기 때문에 레이저 포인터를 통해 바뀌는 표적의 위치를 피험자가 인지한 상태에서 실험을 진행하였다.

2.4 측정 및 분석 방법

손가락 이동속도는 Sony HDR-SR7으로 촬영한 동영상을 프레임 분석을 통해 시간을 측정하였다. 프레임 사이의 시간 간격은 1/30초이며, 동영상 재생프로그램을 이용하여 자극이 주어진 시점부터 손가락이 중앙 계기판의 목표지점에 도달할 때까지의 프레임 수를 분석하여 초 단위로 환산하였다.

본 실험의 자료는 종속변수를 2개 이상 포함하므로 다변량 분산분석(MANOVA)을 통해 독립변수와 종속변수 간의 통계적 관계를 규명하였다. 이를 통해 추출된 유의한 변수들의 이차 효과를 검정하기 위해 회귀분석을 통해 각 변수들의 이차 효과와 교호작용을 검출하였다. 또한 표적 영역에서 피실험자의 반응이 어떻게 나타났는지 보기 위해 반응시간 및 정확도에 대해 LOESS(Local Weighted Surface Smoothing) 모형을 적용하여 반응시간과 정확도에 따른 버튼의 최적 위치를 구하였다.

마지막으로 중앙 계기판의 각 위치에서 피실험자들의 반응 정확도를 통해 최적 버튼 크기를 구하기 위하여 각 위치

에서의 반응에 대한 $(1-\alpha)\%$ joint confidence region을 구하였다.

3. 연구 결과

그림 3과 같이, neutral posture를 유지한 운전자가 자동차의 스티어링 휠을 잡았을 때 오른손을 기준으로 중앙 계기판에서 가장 가까운 지점을 원점으로 설정하였다. 이로부터 세 개의 각도($\pi/2$, 0, $-\pi/2$)에서 세 지점(20cm, 30cm, 40cm)에 레이저 포인터를 비추어 비상등의 임의적인 위치를 지정하여 운전자로 하여금 누르게 하였을 때, 그림 4와 같은 결과를 보였다. 이를 통해 거리가 멀어질수록, 밑으로 내려갈수록 정확도가 떨어진다는 것을 알 수 있다.

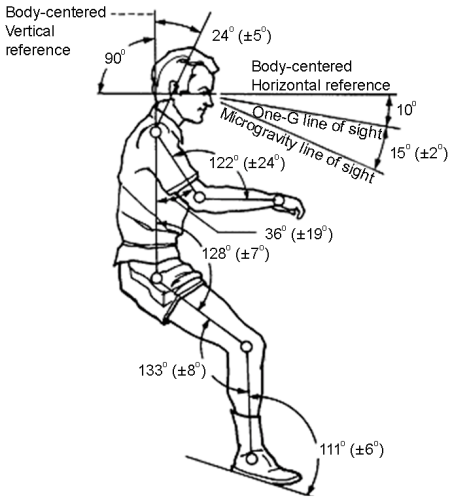

그림 3. MSIS Neutral Body Posture
(Frances E.Mount et al., 2003)

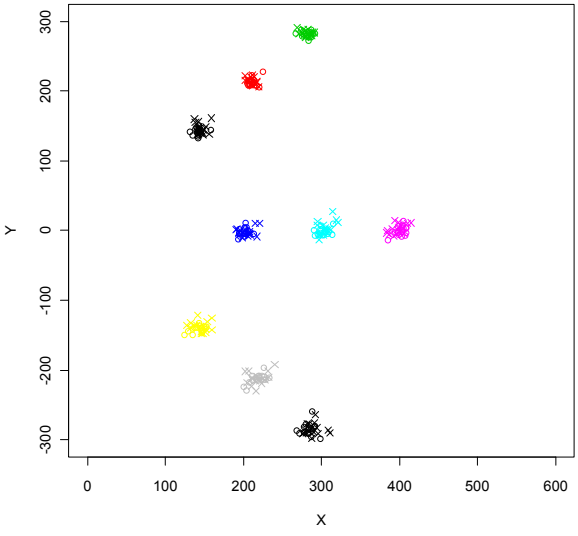

그림 4. 중앙 계기판의 각 위치에 따른 손의 반응
(O: 시각 자극, X: 청각 자극, 단위: mm)

3.1 성별, 자극, 각도 및 거리의 통계적 유의성 검정

독립변수에 성별, 자극의 종류, 각도 그리고 거리를 주고 종속변수에(손의 이동방향 기준으로) X 방향과 Y 방향 그리고 반응시간을 주어 다변량 분산분석을 수행한 결과, 각도와 거리 그리고 자극의 종류가 종속변수들에 유의한 영향을 끼친다는 것을 알 수 있었다(표 3 참조). 각각의 독립변수들이 종속변수의 각 성분에 어떻게 영향을 주는지 알아보기 위해 개별적인 ANOVA 분석을 실시하였다. 표 4에서 볼 수 있듯이 자극은 팔의 횡적 운동(Y)에, 각도는 횡적 운동과 반응시간에, 그리고 거리는 반응시간에 통계적으로 유의한 영향을 주는 것으로 나타났다.

하지만 반응시간에 대한 ANOVA 모형의 적합도는 0.43인 반면, 정확도의 X 성분과 Y 성분에 대한 ANOVA 모형의 적합도는 각각 0.032와 0.059이기 때문에 이 두 ANOVA 모형의 독립변수들은 정확도를 잘 설명한다고 할 수 없다. 따라서 돌발 상황이 발생할 때 신속한 반응을 유발하는 데에 있어서 중요한 것은 운전자가 스티어링 휠을 잡은 위치로부터의 각도와 거리라고 말할 수 있다.

3.2 팔 길이를 고려한 각도 및 거리의 영향

팔 길이에 따라 결과가 다르게 분석되므로, 팔 길이를 고려한 각도와 거리의 영향을 파악하였다. 팔 길이를 공변량으로 취급하기 위해서는 회귀분석이 필요하며, 반응시간과 정확도를 최적화 해주는 지점을 찾기 위해서 이차 회귀모형을 다음과 같이 세웠다(식 1, 식 2 참조). 자료를 모형에 적합시킨 결과, 표 5와 표 6에서 볼 수 있듯이 반응시간에 대해서는 팔 길이와 손의 이동 각도 및 스티어링 휠로부터의 거리가 유의한 변화를 나타내지만, 정확도에 대해서는 유의한 변화가 나타나지 않았다.

$$\text{반응시간} = \beta_0 + \beta_1 \text{팔길이} + \beta_2 \text{각도} + \beta_3 \text{거리} + \beta_4 \text{팔길이} \cdot \text{각도} + \beta_5 \text{팔길이} \cdot \text{거리} + \beta_6 \text{각도} \cdot \text{거리} + \beta_7 \text{팔길이}^2 + \beta_8 \text{각도}^2 + \beta_9 \text{거리}^2 \quad (1)$$

$$\text{정 확 도} = \beta_0 + \beta_1 \text{팔길이} + \beta_2 \text{각도} + \beta_3 \text{거리} + \beta_4 \text{팔길이} \cdot \text{각도} + \beta_5 \text{팔길이} \cdot \text{거리} + \beta_6 \text{각도} \cdot \text{거리} + \beta_7 \text{팔길이}^2 + \beta_8 \text{각도}^2 + \beta_9 \text{거리}^2 \quad (2)$$

(β_{0i} = 임의의 상수)

표 3. 거리, 각도, 성별 그리고 자극의 종류에 따른 정확도와 반응시간에 대한 MANOVA 분석

Effect	Test statistic	Value	F	Hypothesis df	Error df	Sig.
Intercept	Pillai's Trace	.974	3440.690(a)	3.000	279.000	.000
	Wilks' Lambda	.026	3440.690(a)	3.000	279.000	.000
	Hotelling's Trace	36.997	3440.690(a)	3.000	279.000	.000
	Roy's Largest Root	36.997	3440.690(a)	3.000	279.000	.000
Gender	Pillai's Trace	.013	1.185(a)	3.000	279.000	.316
	Wilks' Lambda	.987	1.185(a)	3.000	279.000	.316
	Hotelling's Trace	.013	1.185(a)	3.000	279.000	.316
	Roy's Largest Root	.013	1.185(a)	3.000	279.000	.316
Stimulus	**Pillai's Trace**	**.029**	**2.792(a)**	**3.000**	**279.000**	**.041**
	Wilks' Lambda	**.971**	**2.792(a)**	**3.000**	**279.000**	**.041**
	Hotelling's Trace	**.030**	**2.792(a)**	**3.000**	**279.000**	**.041**
	Roy's Largest Root	**.030**	**2.792(a)**	**3.000**	**279.000**	**.041**
Angle	**Pillai's Trace**	**.439**	**26.255**	**6.000**	**560.000**	**.000**
	Wilks' Lambda	**.565**	**30.761(a)**	**6.000**	**558.000**	**.000**
	Hotelling's Trace	**.764**	**35.411**	**6.000**	**556.000**	**.000**
	Roy's Largest Root	**.755**	**70.508(b)**	**3.000**	**280.000**	**.000**
Distance	**Pillai's Trace**	**.070**	**3.386**	**6.000**	**560.000**	**.003**
	Wilks' Lambda	**.931**	**3.408(a)**	**6.000**	**558.000**	**.003**
	Hotelling's Trace	**.074**	**3.431**	**6.000**	**556.000**	**.002**
	Roy's Largest Root	**.065**	**6.040(b)**	**3.000**	**280.000**	**.001**

표 4. 개별 종속변수에 각 독립변수들이 영향을 끼치는 지에 대한 ANOVA 분석

Source	Dependent variable	Type III sum of squares	df	Mean square	F	Sig.
Corrected Model	X	482.866(a)	6	80.478	1.557	.160
	Y	987.385(b)	6	164.564	2.937	.009
	ResponseTime	9.640(C)	6	1.607	35.284	.000
Intercept	X	958.125	1	958.125	18.539	.000
	Y	387.347	1	387.347	6.912	.009
	ResponseTime	460.308	1	460.308	10108.988	.000
Gender	X	.077	1	.077	.001	.969
	Y	56.003	1	56.003	.999	.318
	ResponseTime	.095	1	.095	2.088	.150
Stimulus	X	87.010	1	87.010	1.684	.196
	Y	**346.722**	**1**	**346.722**	**6.187**	**.013**
	ResponseTime	.108	1	.108	2.363	.125
Angle	X	196.473	2	98.236	1.901	.151
	Y	**371.132**	**2**	**185.566**	**3.311**	**.038**
	ResponseTime	**8.770**	**2**	**4.385**	**96.304**	**.000**
Distance	X	199.307	2	99.653	1.928	.147
	Y	213.528	2	106.764	1.905	.151
	ResponseTime	**.667**	**2**	**.333**	**7.321**	**.001**
Error	X	14522.599	281	51.682		
	Y	15747.267	281	56.040		
	ResponseTime	12.795	281	.046		
Total	X	15963.590	288			
	Y	17122.000	288			
	ResponseTime	482.743	288			
Corrected Total	X	15005.465	287			
	Y	16734.653	287			
	ResponseTime	22.435	287			

a R^2 = .032(Adjusted R^2 = .012) (X), b R^2 = .059(Adjusted R^2 = .039) (**Y**), c R^2 = .430(Adjusted R^2 = .417) (**Response Time**)

표 5. 반응시간에 대한 이차 회귀분석
(p-value < 2.2e-16, R^2 = 0.4864)

Term	Estimate	Std. Error	T value	Pr(>|t|)
(Intercept)	16.99	4.36E+00	3.894	0.000123
Armlength^2	**0.002982**	**9.27E-04**	**3.217**	**0.001449**
Angle^2	**0.00005864**	**1.26E-05**	**4.666**	**4.78E-06**
Distance^2	**0.0008333**	**2.55E-04**	**3.274**	**0.001193**
Armlength	**-0.4273**	**1.27E-01**	**-3.376**	**0.00084**
Angle	-0.005732	6.76E-03	-0.848	0.397119
Distance	**-0.0782**	**3.36E-02**	**-2.327**	**0.02068**
Armlength:Angle	0.0000933	9.86E-05	0.946	0.344899
Armlength:Distance	0.000469	4.44E-04	1.057	0.291458
Angle:Distance	**-0.0001684**	**4.00E-05**	**-4.211**	**3.44E-05**

표 6. 정확도에 대한 이차 회귀분석
(p-value=2.795e-05, R^2 = 0.1227)

Term	Estimate	Std.Error	t value	Pr(>|t|)
(Intercept)	-216.8	1.16E+02	-1.864	0.0634
Armlength^2	-0.04725	2.47E-02	-1.912	0.0569
Angle^2	-7.499E-05	3.35E-04	-0.224	0.8231
Distance^2	-0.005645	6.79E-03	-0.832	0.4062
Armlength	6.479	3.37E+00	1.92	0.0559
Angle	0.1593	1.80E-01	0.884	0.3774
Distance	-0.1075	8.96E-01	-0.12	0.9045
Armlength:Angle	-0.00234	2.63E-03	-0.89	0.3742
Armlength:Distance	0.00653	1.18E-02	0.552	0.5814
Angle:Distance	-0.00148	1.07E-03	-1.388	0.1662

표 5와 표 6의 포화된 회귀모형에서 출발하여, AIC (Akaike Information Criteria)를 최소화하는 회귀모형을 구하였다. 반응시간에 대해서는 팔 길이와 각도 그리고 거리 모두 2차 효과를 보이는 식을 얻을 수 있었고, 거리에 대해서는 팔 길이에 대해서만 2차 효과를 보이는 식을 얻을 수 있었다(식 3, 식 4 참조).

$$\text{반응시간} = (\beta_1 \text{팔길이} + \beta_{01})^2 + (\beta_2 \text{각도} + \beta_3 \text{거리} + \beta_{02})^2 \quad (3)$$

$$\text{정 확 도} = (\beta_4 \text{팔길이} + \beta_{03})^2 + \beta_5 \text{각도} + \beta_{04} \quad (4)$$

(β_{0i} = 임의의 상수)

제안된 식들을 통해 반응시간은 팔 길이, 각도 그리고 거리에 따라 바뀌되, 각각의 변수에 있어서 최적 지점이 존재한다는 것을 알 수 있으며, 특히 2차 변수의 상수가 양수이기 때문에 반응시간을 최소화 시켜주는 위치가 존재한다는 것을 이를 통해 알 수 있다. 정확도에 대해서는 팔 길이와 각도가 최종 모형으로 선정되었으며, 각도가 작아질수록 정확도가 향상되기 때문에 비상등 버튼을 손의 위치에서 멀지 않게 설계하는 것이 정확도를 높이는 데에 중요하다.

표 7. 반응시간에 대한 이차 회귀분석
(p-value < 2.2e-16, R^2 = 0.4826, 초기 AIC 값: -906.95
선정된 모형의 AIC 값: -908.87)

Term	Estimate	Std. Error	T value	Pr(>|t|)
(Intercept)	1.61E+01	4.27E+00	3.757	0.000209
Armlength^2	2.98E-03	9.27E-04	3.217	0.001448
Angle^2	5.86E-05	1.26E-05	4.666	4.77E-06
Distance^2	8.33E-04	2.55E-04	3.274	0.001192
Armlength	-4.13E-01	1.26E-01	-3.283	0.001158
Angle	5.54E-04	1.24E-03	0.445	0.656476
Distance	-4.66E-02	1.53E-02	-3.037	0.002611
Angle:Distance	-1.68E-04	4.00E-05	-4.211	3.43E-05

표 8. 정확도에 대한 이차 회귀분석
(p-value=2.654e-07, R^2 = 0.1108, 초기 AIC 값: 984.17
선정된 모형의 AIC 값: 978.05)

Term	Estimate	Std.Error	t value	Pr(>|t|)
(Intercept)	-225.6	1.13E+02	-1.992	0.0474
Armlength^2	-4.73E-02	2.46E-02	-1.92	0.0559
Armlength	6.68E+00	3.34E+00	1.997	4.68E-02
Angle	-4.28E-02	8.67E-03	-4.93	1.40E-06

3.3 팔 길이, 각도, 거리에 따른 반응시간 및 정확도에 대한 반응표면

팔 길이와 스티어링 휠로부터의 각도 및 거리가 반응시간 및 정확도에 어떠한 영향을 주는지를 시각화하기 위해서는 LOESS 기법을 사용하였다. 전체 중앙 계기판 영역을 가로/세로 방향으로 100등분하고 전체 피실험자들의 팔 길이 분포를 4등분하였으며, 2차 항까지 적합시키도록 하였고, smoothing parameter는 0.75를 사용하였다.

각 반응표면은 무지개 색으로 나타내었으며, 빨강에서 보라로 갈수록 Z축의 높이가 높음을 의미한다. 모든 피실험자들에 대한 중앙 계기판 상의 반응시간과 정확도에 대한 반응표면은 그림 5와 같다. 그림 6를 통해 팔 길이의 등급에 대하여 각각 반응시간과 정확도의 반응표면을 볼 수 있고, 비상등의 위치가 중앙 계기판의 위쪽에 있을 때 반응시간도 짧고 정확도도 높다는 것을 알 수 있다. 반응표면 결과에서 보듯이 스티어링 휠을 잡은 손에서 가까운 곳의 반응시간이

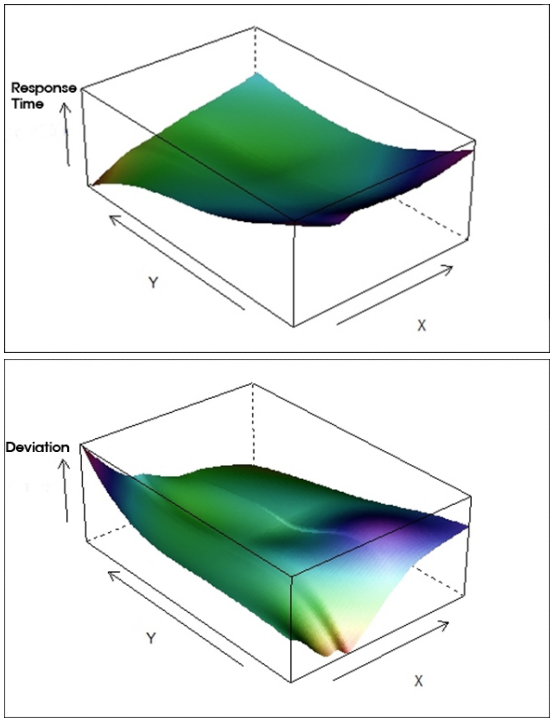

그림 5. 중앙 계기판의 위치에 대한 반응시간 및 정확도

가장 짧고 멀어질수록 느려진다. 하지만 정확도는 오히려 스티어링 휠을 잡은 손에서 가장 가까운 곳에서 감소하였다. 이는 반응시간과 정확도 사이에 trade-off 관계가 있음을 보여주는 결과이며, 이를 통해 비상등을 빠르고 또 정확하게 누를 수 있게 하기 위해서는 비상등의 크기를 위치 별로 다르게 해야 한다는 것을 알 수 있다.

3.4 정확도, 각도, 거리를 고려한 중앙 계기판 버튼의 최적 크기

중앙 계기판에서의 위치, 즉 스티어링 휠로부터의 각도 및 거리에 따른 정확도를 고려한 버튼의 크기를 결정하기 위하여, 각 위치 별 피실험자의 반응에 대한 $(1-\alpha)\%$ 신뢰 영역을 구하였다. 이는 다음 그림 7에 나타나 있다.

모든 위치에 대한 피실험자 반응 정확도의 $(1-\alpha)\%$ 신뢰 영역은 다음 그림 8와 같다. 운전자들의 50%를 위한 버튼을 설계하고자 한다면 가로가 약 18mm, 세로가 약 15mm가 되고, 운전자의 95%를 위한 버튼을 설계하고자 한다면 가로가 37mm, 세로가 29mm가 된다. 이와 같이 중앙 계기판의 위치에 따라 반응시간과 정확도가 달라지며, 이에 따라 운전자들의 정확하고 신속한 반응을 유도해내기 위해서는 각 위치에 맞게 버튼의 크기를 다르게 설계해야 함을 확인하였으며 각 위치 별로 얼마나 크게 설계해야 하

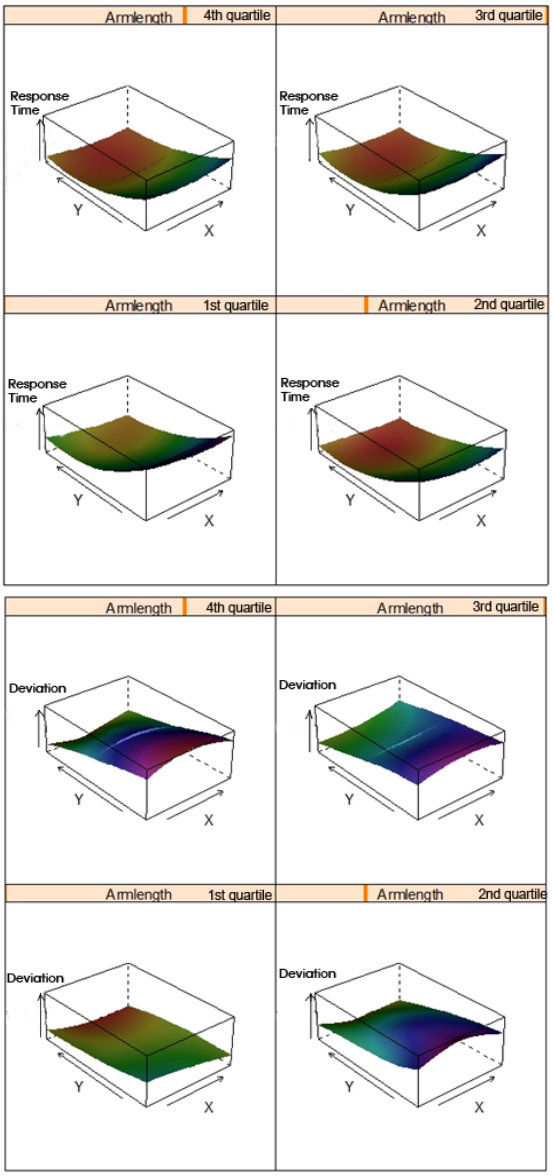

그림 6. 중앙 계기판 상의 각 지점에 도달하기까지의 반응시간과 정확도(팔 길이에 대한 quartile groups)

는지에 대한 구체적인 수치를 구할 수 있었다.

4. 토 의

본 연구에서는 돌발 상황에서 자극의 종류, 운전자의 성별, 팔 길이, 거리, 각도가 정확도와 반응시간에 어떠한 영향을 주는지에 대하여 살펴보았다. 실험 결과 거리와 각도가 통계적으로 유의한 변수임을 알 수 있었으며 운전자의 팔 길이를

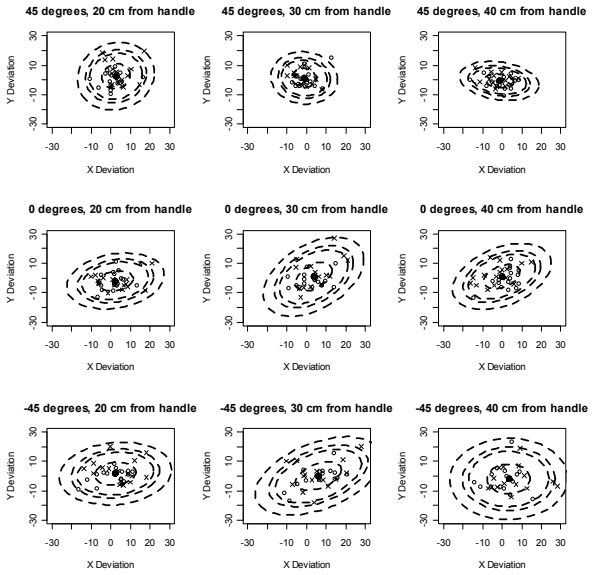

그림 7. 중앙 계기판의 표적 영역별(그림 1 참고) 반응에 대한 50%, 90%, 95% 및 99% 신뢰 영역(단위: mm)

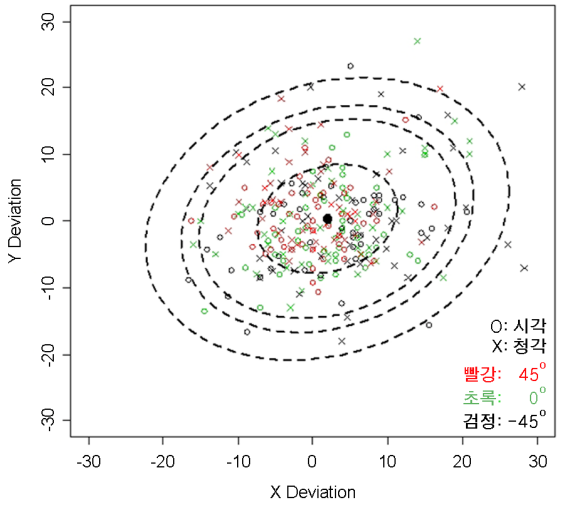

그림 8. 반응에 대한 50%, 90%, 95% 및 99% 통합 신뢰 영역 (그림 7의 신뢰 영역을 동일원점으로 변환, 단위: mm)

고려하였을 때, 비상 버튼이 중앙 계기판의 위쪽에 위치하는 것이 반응시간을 최소화 해 주고 정확도를 최대화 해주는 것을 알 수 있었다. 각 위치 별 반응 정확도를 고려하여 비상등 버튼의 크기를 선정한 결과 95%의 운전자들이 정확하게 버튼을 누르게 하기 위한 최소 지름은 41mm로 분석되었다. 기존의 관련 설계 가이드라인에 비해, 본 연구 결과를 활용하여 사용자의 반응시간과 정확도를 감안한 각 위치에서의 버튼의 최적 크기와 위치를 결정할 수 있으며, 이는 실제 계기판 설계에 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

본 연구의 주요 한계점으로는 첫째, 반응표면 영역이 2차원 평면이었다는 것이다. 향후 연구에서는 반응표면 영역의 깊이를 다양하게 설정하여 실험을 수행함으로써 3차원 최적 위치도 도출해 낼 수 있을 것으로 기대한다. 둘째, 피실험자 수가 부족하여 피실험자당 실험 반복 수를 늘려 돌발 상황 변수 및 계기판 관련 변수에 대한 자유도를 확보하였으나 샘플 수의 부족으로 인해 성별에 대한 자유도 확보가 어려웠으며, 반응시간과 정확도의 trade-off를 규명하지 못하였다는데 한계가 있다. 셋째, 본 연구에서는 피실험자가 정확도를 우선시하도록 하였으나, 반응시간을 우선시하도록 하였을 경우 결과가 달라질 것으로 예상되며, 추후 연구에서는 반응시간을 우선시하여 본 연구와 비교 분석이 가능할 것으로 기대된다. 마지막으로. 본 실험에 추가적으로 Eye-tracker를 활용하여 비상 버튼 조작 시 눈의 움직임을 연관시켜 분석한다면 자극 후에 버튼을 찾는 시간을 규명함으로써 보다 정확한 버튼 설계 가이드라인을 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

Campbell, J. L., Rogers, S. P. and Spiker, V. A., Development of a Handbook of Human Factors Design Objectives for Automotive Displays. Phase 2: Description of the Handbook Development Process, and Proposed Content, Format. And Organization. Hughes Aircraft Company, Culver City, CA, 1990.

Campbell, J. L. and Walls, W. F., Head-up Display (HUD) Design Objectives. Anacapa Sciences, Inc., Santa Barbara, CA, 1992.

Campbell, J. L., The development of human factors design guidelines, International Journal of Industrial Ergonomics, Vol. 18 No.5, (pp. 363-371), 1996.

Charlton, S. G. and O'Brien, T. G., Handbook of Human Factors Testing and Evaluation, 2nd ed., Lawrence Erlbaum Associates, (pp. 341 -362), 2002.

Donald, D., Be warned! A review of curve warning signs and curve advisory speeds, *ARRB Transport Research Report No ARR 304*. ARRB Transport Research, Melbourne, 1998.

Eby, D. W. and Kostyniuk, L. P., Driver distraction and crashes: An assessment of crash databases and review of the literature, (Report No. UMTRI-2003-12), University of Michigan Transportation Research Institute: Ann Arbor, MI, 2003.

Fischer, J., Testing the effect of road traffic signs' informational value on driver behavior, Human Factors, Vol. 34 No.2, (pp. 231-237), 1992.

Frances E. Mount, Mihriban Whitmore, Sheryl L. Stealey, Evaluation of Neutral Body Posture on Shuttle Mission STS-57 (SPACEHAB-1), National Aeronautics and Space Administration (NASA), Washington DC, 2003.

Glaze, A. L. and Ellis, J. M., Pilot Study of Distracted Drivers, Virginia Commonwealth University: Richmond, VA, 2003.

Klann, M., Malizia, A., Chittaro, L., Cuevas, I. A. and Levialdi, S., HCI for emergencies, Proceedings of the CHI '08 Conference on Human Factors in Computing Systems, (pp. 3945-3948), 2008.

Radix, C. L., Robinson, P. and Nurse, P., Extension of Fitts' Law to Modeling Motion Performance in Man-Machine Interfaces, IEEE Transactions on Systems, Man, and cybernetics, Vol. 29, No. 2, 1999.

Parker, D., Reason, J. T., Manstead, A. S. R. and Stradling, S. G., Driving errors, driving violations, and accident involvement, *Ergonomics, Vol*. 38(5), (pp.1036-1048), 1995.

Summala, H. and Hietamäki, J., Drivers' immediate responses to traffic signs. Ergonomics 27(2), (pp. 205-216), 1984.

Spiker, V. A., Campbell, J. L. and Walls, W. F., Guidelines for Job Card Development by Utilities and Plant Personnel (RP3111-05). Anacapa Sciences, Santa Barbara, CA, 1993.

Spiker, V. A. and Campbell, J. L., Strategies and Tactics for Effective Mission Rehearsal: Application of Principles from Psychology and Other Relevant Domains. Human Resources Directorate Aircrew Training Research Division, Mesa, AZ, 1994.

Stevens, A., Quimby, A., Board, A., Kersloot, T. and Burns, P., Design guidelines for safety of in-vehicle information systems, Transport Research Laboratory, 2002.

Stevens, A. and Minton, R., In-vehicle distraction and fatal accidents in England and Wales, Accident Analysis & Prevention, 33, (pp.539 -545), 2001.

Stutts, J. C., Reinfurt, D. W. and Rodgman, E. A., "The role of driver distraction in crashes: An analysis of 1995~1999 Crashworthiness Data System data". In 45th Annual Proceedings Association for the Advancement of Automotive Medicine, AAAM: Des Plaines, IA, (pp.287-301), 2001.

Thomas A. Ranney, Transportation Research Center, Inc., Driver Distraction: A Review of the Current State-of-Knowledge, National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), Washington DC, 2008.

Wang, J. S., Knipling, R. R. and Goodman, M. J., The role of driver inattention in crashes: New statics from the 1995 Crashworthiness Data System, In 40th Annual Proceedings Association for the Advancement of Automotive Medicine, AAAM: Des Plaines, IA, (pp.377-392), 1996.

◐ 저자 소개 ◑

❖ 최 준 영 ❖ liniate@naver.com
서울대학교 산업공학과 석사
현 재: 서울대학교 산업공학과 Human Interface Systems Lab
관심분야: 인간공학, 감성공학

❖ 김 영 수 ❖ davidkim83@hanmail.net
서울대학교 산업공학과 석사
현 재: (주)핸디소프트
관심분야: 인간공학, HCI

❖ 반 상 우 ❖ panlot@gmail.com
서울대학교 산업공학과 박사수료
현 재: 서울대학교 산업공학과 박사 과정
관심분야: 감성공학, HCI, 사용자 중심 설계

❖ 윤 명 환 ❖ mhy@snu.ac.kr
펜실베니아 주립대학교 산업공학과 박사
현 재: 서울대학교 산업공학과 교수
관심분야: 인간공학, 사용자 중심 설계, HCI, 감성공학

❖ 이 면 우 ❖ mwlee@snu.ac.kr
University of Michigan 산업공학과 박사
현 재: 서울대학교 산업공학과 교수
관심분야: High Touch Design, 인간공학

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2009년 05월 26일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2010년 02월 23일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2010년 04월 12일