

## 사용 편의성에 기초한 작업 영역의 결정

박성준<sup>1</sup> · 정의승<sup>2</sup>

<sup>1</sup>남서울대학교 산업환경시스템공학부 / <sup>2</sup>고려대학교 산업공학과

### Determination of Working Area Based on Operator's Working Comfort

Sung-Joon Park<sup>1</sup> · Eui-Seung Jung<sup>2</sup>

For efficient operation, vital hand controls must be easily controlled by the operator from his or her normal working position. The primary working area based on the operator-perceived working comfort was developed to serve as a design guideline to the control panel layout. Six male and four female subjects voluntarily participated in the experiment in which working comfort was measured for two types of controls — knob and lever. The operator-perceived working comfort was examined for the frontal and sagittal distances from the body center and the slope of a work surface. The response surface methodology using a central composite design was employed to develop a prediction model for operator's working comfort on each type of controls. The proposed working areas based on the actual working comfort of an operator avoided the dichotomy that considers only the reachability of control devices, and showed a distinct shape, when compared to the existing normal working areas following the Farley's concept. It was shown that the distance from the body to control devices and the slope of a work surface have a quadratic relationship to the working comfort, and that the most comfortable area for seated tasks is located at the distance of about 2~4 cm in the sagittal direction and about 42~43 cm in the frontal direction from the shoulder, respectively. It was also found that the working comfort varies within the working area even at the positions with an equal distance from the body. It is expected that the isocomfort working area generated in the study will be used as a useful guideline for control panel layout.

#### 1. 서론

효율적인 조종작업을 위해서는 주요 조종기들이 작업자들의 정상 작업자세에서 쉽게 손이 닿을 수 있고, 원활하게 조작될 수 있는 영역에 배치되어야 한다. 일반적으로 작업대(Work surface)는 작업자의 움직임, 피로 등을 최소화할 수 있는 상태에서 작업효율을 최대화할 수 있도록 설계되어야 한다고 제시되고 있다. 현재까지 작업대 설계를 위하여 제시되고 있는 작업영역 분류방법 중 가장 널리 사용되고 있는 것은 Farley (1955)에 의하여 제안된 정상작업영역(Normal Working Area)과 최대작업영역(Maximum Working Area) 분류라고 할 수 있다 (Das and Grady, 1983).

Farley의 정상작업영역은 수평 작업대위에서 오른팔과 왼팔

의 상완을 몸에 붙인 상태에서 단순히 팔의 궤적을 그림으로서 도출한 영역이다. Farley의 방식은 팔의 움직임을 최소화할 수 있는 영역을 간단한 방법으로 제시하고 있기 때문에 작업대 설계지침으로 널리 이용되고 있으나, 작업자들이 취하는 실제 팔의 움직임을 반영하지 못하는 단점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 제시된 작업영역 결정방법으로 Squires의 곡선이 있다. Squires (1956)는 팔의 움직임이 원의 형태(Circular Path)를 나타내지 않음에 주목하고, 실제 팔의 궤적에 기초하여 타원에 가까운 작업영역을 제시하였다. Squires가 제시한 영역은 Farley가 제안한 영역에 비하여 보다 넓은 영역을 나타내고 있다. 한편, Konz and Goel (1969)은 Squires의 개념에 기초하여 미국인 남녀를 대상으로 5th, 50th, 95th Percentile에 대한 작업영역을 제시하였다. 위에서 언급된 세 가지 작업영역이 <그림 1>에 표현되어 있다.

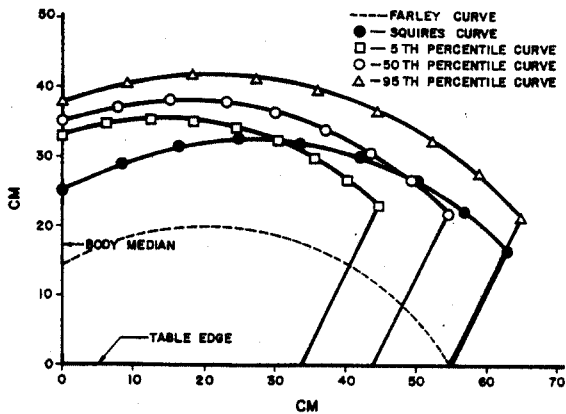


그림 1. Farley, Squires, 및 Konz and Goel의 작업영역 비교 (Pulat, 1992에서 인용).

인체측정자료 및 작업자의 동작에 기초한 위의 연구결과들은 적용의 간편함으로 인하여 널리 사용되고 있음에도 불구하고 다음과 같은 문제점을 가지고 있다(Jung *et al.*, 1995). 첫째, 모든 연구가 작업영역을 착석자세에서 팔이 닿는 곳과 닿지 않는 곳으로 양분해서만 이해하려고 하고 있다. 즉, 동일한 자세에서 팔이 닿는 곳이라면 영역내의 모든 위치가 동일한 의미를 갖는다고 가정하고 있다. 그러나 몸의 중심에서 동일 거리에 위치한 작업영역이 동일한 작업효율을 보장한다고는 할 수 없다. 특히, 일반적으로 작업자의 작업시간이 하루 8시간 이상인 점을 감안할 때, 장시간 작업으로 인한 영역간의 작업효율의 변화를 정확하게 반영하기가 어렵다고 판단된다. 둘째, 작업영역을 정의함에 있어 팔의 길이와 궤적만을 고려하였을 뿐, 평가기준(Evaluation Measure)을 적용하지 않은 단점이 있다. 끝으로 위의 결과들은 수평 작업대에서의 작업영역만을 제안함으로써 경사진 작업대에 대한 설계지침을 제공하지 못하고 있다. 실제 작업현장에서 사용되고 있는 조종판(Control Panel)의 경우, 많은 기기들이 경사진 작업대에 설치되어 있으며, 인간공학 설계지침서(Van Cott and Kinkade, 1972; Woodson *et al.*, 1992) 역시 작업의 용이성을 위하여 적정 각도의 경사를 제안하고 있으므로 이에 대한 고려가 필요하다고 할 수 있다.

자주 사용되거나 중요한 기기는 작업자의 피로를 감소시키고 작업효율을 높이기 위하여 조작하기 편리한 위치에 배치되어야 한다. 이를 위하여 이 연구에서는 조종기기의 조작 편의성(Operational Working Comfort)에 기초한 작업 편의영역(Comfortable Working Area)을 도출하여 작업영역의 설계에 관한 지침을 제공하고자 한다. 이 연구의 목적은 첫째, 작업대에서의 조종장치의 각 위치와 조작 편의성 간의 관계를 수리적으로 규명하는 것이며, 둘째, 이를 기초로 작업대의 경사각도 별로 등편의 영역(Isocomfort Working Area)을 도출하는 것이다. 등편의 영역이란 작업자가 주관적으로 느끼는 조작 편의성이 동일한 위치를 연결한 영역을 의미한다. 기기의 조작 편의성은 주 작업 영역(Primary Working Area) 설정의 효과적인 기준이 될

수 있음에도 불구하고 심리적 반응치의 특성으로 인하여 정량적으로 측정하기 어렵다는 단점을 가지고 있다. 이 연구에서는 Psychophysical Scaling 기법 중 피실험자의 반응을 정량적으로 측정할 수 있는 Magnitude Estimation 기법을 이용하여 기기 조작 과정에서의 작업 편의성을 측정하였다. 이 연구를 통해서 제안하는 등편의 영역이 작업대에서의 기기 배치 문제(Control Panel Layout)를 해결하는 데 도움이 될 수 있을 것으로 기대한다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 피실험자

4명의 여자 대학생과 6명의 남자 대학생이 실험에 참여하였다. 인체 측정치를 기준으로 남성 95th Percentile부터 여성 5th Percentile까지 5 단계로 구분하여 피실험자를 선정하였으며, 연령 범위는 20세에서 28세까지 분포하였다. 모두 오른손을 주로 사용하는 피실험자였다.

이 연구에서 조작 편의성을 측정하기 위하여 적용한 Magnitude Estimation 기법은 실험에 참가한 사람들의 올바른 비율 판단(Ratio Judgment)능력을 전제로 하고 있다. 피실험자의 적합성을 검증하고 Magnitude Estimation에 익숙해 질 수 있도록 예비 실험(Screening Test)을 실시하였다. 예비 실험은 제시되는 선의 길이를 인지된 크기에 따라 숫자로 반응(Numeric Estimation)하게 하는 방식을 채택하였으며, 모든 피실험자가 올바른 비율 판단 능력을 가지고 있는 것으로 검증되었다. 예비 실험에서 사용한 Numeric Estimation 양식(Modality)은 이 실험에서 사용한 반응 양식과 동일한 양식이었다.

### 2.2 실험 장비

이 연구에서는 두 가지의 조종기기를 실험대상으로 선정하였다. 작업 현장에서 많이 사용되고 있는 조종기기 중 레버(Lever) 형태의 조종기기와 Knob 형태의 조종기기를 선정하여 조작 편의성을 평가하였다. 높이 12 cm의 Joy-stick을 이용하여 레버 형태의 조종장치를 제작하였으며, Knob의 경우 지름 5.5 cm 크기의 원형 Knob을 사용하여 실험을 수행하였다. 레버의 움직임 범위는 전후방향으로 30°이다. 레버는 손바닥으로 쥐고 조작을 하는 기기의 대표로서, 그리고 Knob는 손가락으로 조작을 하는 기기의 대표로서 선정하였다. 또한 레버와 Knob는 선형 동작과 원형 동작을 각각 대표하고 있다. 실험계획에 따라 사전에 정의된 조작 위치에서 각각의 조종장치를 이용하여 1차 추적작업(First-order tracking task)을 수행하면서 작업 편의성을 평가하였다. 1차 추적작업은 PC를 통하여 피실험자에게 제시되었으며, 조종장치가 부착된 작업대는 실험조건에 따라 경사를 조절할 수 있도록 제작하였다.

### 2.3 실험 계획

사용 편의성을 평가하기 위한 실험은 기기의 종류에 따라 두개의 독립된 실험으로 구성되었다. 각 실험에서 고려한 변수로는 작업자로부터 기기까지의 전면거리 (Frontal Distance, *FD*), 측면거리 (Sagittal Distance, *SD*), 작업면의 기울기 (Slope, *S*), 그리고 피실험자의 신체크기 (Percentile, *P*) 등 4개이다. 이 중, *FD*, *SD*, *S* 변수는 피실험자내 변수 (Within-subject Variable)이며, *P* 변수는 피실험자간 변수 (Between-subject Variable)인 4 인자 Mixed-Factor Design으로 설계되었다. 피실험자가 주관적으로 느끼는 조작 편의성을 종속변수로 하였다.

이 실험에 앞서 실시된 예비실험으로부터 *P* 변수를 제외한 나머지 변수들의 변화에 대한 조작 편의성은 특정 위치를 중심으로 변수의 값이 증감함에 따라 피실험자의 선호도 반응치가 감소하는 형태를 나타내었다. 이를 바탕으로 이 연구에서는 조작 편의성을 설명하는 회귀식의 형태를 2차식으로 가정하고 조작 편의성 예측식을 개발하고자 하였다. 최적의 편의성을 야기하는 작업영역을 도출하기 위하여 회귀분석 기법의 일종인 반응표면방법(Response Surface Methodology)을 도입하였으며, 데이터 수집을 위한 실험계획은 Central-Composite Design을 따라 설계하였다.

위에서 언급한 네 가지의 독립변수들은 Central-Composite Design에 따라  $(-\alpha, -1, 0, +1, +\alpha)$ 로 구성된 5 수준의 실험 조건을 갖게 된다. 4인자 실험의 경우 도출되는 반응표면식의 계수간 직교성(Orthogonality)을 보장하기 위하여  $\alpha$ 는 1.414의 크기가 할당되었다 (Myers, 1976). 계수간 직교성은 회귀식에서의 변수간의 상관성을 제거해 줌으로써 예측식으로서의 적합성을 높여준다 (Williges, 1981). 실험에 사용된 독립변수들의 실험수준을 정리하면 <표 1>과 같다. *SD* 변수의 각 수준에서 (+) 부호는 작업자의 오른쪽 방향, (-) 부호는 작업자의 왼쪽 방향을 의미한다.

실험은 각 피실험자별로  $2^3 + 2 \times 3 + 1 = 15$ 개의 실험조건 (Treatment)에서 수행된다. 23개의 실험조건은 Central-Composite Design의 피실험자내 변수들(*SD*, *FD*, *S*)에 대한 Factorial Design을 나타내며,  $2 \times 3$ 은 피실험자내 변수의 2차 합수효과 (Quadratic Effect)를 평가하기 위한 Spherical Design부분을, 그리고 마지막 1개의 실험조건은 Central-Composite Design의 Center Point를 나타낸다. 이러한 15개의 실험조건은 실험순

표 1. Central-Composite Design에 따른 실험수준

Factor	$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
<i>SD</i> (cm)	-60	-42	0	42	60
<i>FD</i> (cm)	0	9	30	51	60
<i>S</i> (degrees)	0	4	15	26	30
<i>P</i> (cm)	150	154	164	174	178

서로 인한 학습효과 및 전이효과 등을 방지하고 실험수행으로 인한 피로가 편의성 인지에 미치는 영향을 제거하기 위하여 모든 피실험자에 대하여 무작위 순서 (Random Order)로 제시되었다.

### 2.4 실험 절차

이 연구에서 실시한 조작 편의성 평가실험은 비율판단 검증 실험 (Calibration Test), 이 실험, 실험 후 조사 (Debriefing)의 세 부분으로 구성되었다. 비율판단 검증실험은 Magnitude Estimation에 대한 이해 증진 및 훈련의 목적과 비율판단을 올바르게 수행하지 못하는 피실험자를 선별하기 위한 목적으로 실시되었다. 각 피실험자에게 여러 길이의 직선을 무작위로 제시한 뒤, 선의 길이에 따라 적합한 수치로 인지된 크기를 표현 (Numeric Estimates)하도록 하였다. 제시되는 선의 길이는 반응으로 표현되는 수치와 선형관계를 보이는 것으로 알려져 있는 범위인 최대자극 대 최소자극의 비가 100:1인 범위에서 무작위로 선정되었다 (Lodge, 1981).

검증실험을 통한 피실험자의 비율 판단능력 검증은 다음의 방법에 따라 실시되었다. 먼저 주어진 선의 길이 (Line Length; LINE)에 대한 수치 표현 (Numeric Estimation; NE) 결과로부터 NE와 LINE에 대한 회귀식을 도출한다. 위에서 언급한 바와 같이 최대자극 대 최소자극의 비가 100:1인 범위에서는 NE와 LINE이 선형관계를 보이는 것으로 알려져 있으므로 각 피실험자별로 도출된 회귀식의 계수값에 대한 구간추정을 실시하여 1을 포함하는 가에 따라 비율판단 능력을 판단하였다. 유의수준 0.05에서 이 실험에 참가한 10명의 피실험자는 모두 적합한 비율판단 능력을 가지고 있는 것으로 평가되었다.

이 실험에서는 각 피실험자가 2.3절에서 설명된 15가지의 실험조건에서 조종기기를 조작한 뒤, 인지된 조작 편의성을 평가하여 그 크기에 비례하여 숫자를 제시하도록 하였다. Magnitude Estimation 방법 중 평가기준 (Reference Number)을 제시하지 않고 피실험자로 하여금 스스로의 평가기준 (Internal Scale)에 따라 편의성의 크기를 제시하도록 하는 Free Modulus Method를 채택하였다. 이 방법은 실험 진행자가 제시한 기준에 의하여 피실험자의 반응이 편중 (Bias)될 가능성을 제거하는 장점이 있는 반면, 각자 다른 기준을 사용하여 반응하므로 피실험자간의 반응값 차이를 직접 비교할 수 없게 된다 (Zwislocki and Goodman, 1980). 이러한 문제를 해결하고자 실험 후 조사 단계에서 9 단계 (극히 불편~극히 편함)의 언어 표현 (Verbal Descriptor)에 대하여 Magnitude Estimation을 실시하였으며, 이를 기준으로 피실험자의 데이터를 표준화하였다. 또한, 이와 같은 언어 척도화 작업을 통하여 실험 결과를 보다 이해하기 쉽도록 해석하고자 하였다. 실험은 각 조종장치별로 독립적으로 수행되었다. 피실험자별로 약 1시간 30분이 소요되었으며, 이 실험부분에 대하여 날짜를 달리하여 반복실험을 실시하였다.

### 3. 실험 결과

#### 3.1 데이터 표준화

위에서 언급한 바와 같이 이 연구에서는 Free Modulus Method에 의하여 반응을 측정하였으므로 피실험자간의 직접 비교가 불가능하다. 이와 같은 경우 피실험자간의 데이터 표준화가 필요하다. 이 연구에서는 Hwang과 Yoon(1981)이 제시한 표준화 기법에 따라 표준화 작업을 수행하였다.

$$\text{Standardized Comfort} = \frac{\text{Raw Data} - \text{Minimum Comfort}}{\text{Maximum Comfort} - \text{Minimum Comfort}} \times 100$$

위의 표준화 방식을 따를 경우 가감 연산으로 인하여 Magnitude Estimation의 특징인 비율척도(Ratio Scale)의 특성을 잃게 되나, 최소 편의값(Minimum Comfort)이 영(0)인 경우는 비율척도의 특성을 유지하는 최대값 변환기법(Maximum Transformation Method)과 동일한 결과를 제시한다.

#### 3.2 언어 척도

실험 후 조사 과정으로서 언어 표현에 대하여 측정된 반응값에 대한 표준화작업 후 평균을 구하여 언어 척도를 구축하였다. 비율척도의 특성을 유지하기 위하여 평균은 기하 평균(Geometric Mean)을 구하여 척도를 개발하였다. 9 단계의 언어 표현에 대한 척도값은 <표 2>와 같다.

이와 같이 편의성을 나타내는 일반 언어를 척도화함으로써 Magnitude Estimation을 통하여 얻은 조작 편의성을 쉽게 해석할 수 있다. 또한, 이를 바탕으로 작업영역을 세분화하여 나타내었다.

#### 3.3 작업 편의성 예측모델

두 종류의 조종장치에 대하여 실험에서 고려한 네 가지 독립변수(SD, FD, S, P)를 이용하여 조작 편의성을 예측할 수 있

표 2. 편의성 표현 언어에 대한 척도

언어	척도값
극히 불편(최소값)	0
매우 불편	9
불편	22
조금 불편	32
보통	40
조금 편함	52
편함	65
매우 편함	83
극히 편함(최대값)	100

는 회귀식(반응표면모델, Response Surface Model)을 도출하였다. 예측모델은 세 개의 선형 요소(SD, FD, S), 세 개의 이차 요소(SD<sup>2</sup>, FD<sup>2</sup>, S<sup>2</sup>), 세 개의 교호작용 요소(SD×FD, SD×S, FD×S), 그리고 코베리엇(Covariate) 변수인 P 등 10개의 변수를 포함한다.

위에서 언급한 변수 중 몇몇 변수는 회귀분석 결과 모델내에서 통계적으로 유의하지 않거나, 예측의 정밀도를 높이는 데 큰 기여를 하지 못하는 것으로 밝혀졌다. 일반적으로 회귀모형에 필요한 변수가 부족한 경우, 즉 너무 단순화된 모형은 왜곡된 예측값을 제시할 우려가 높으며, 역으로 너무 많은 변수를 포함하는 모델은 분산이 커지는 단점이 있다(Myers, 1990). 이 연구에서는 Working Comfort에 대한 예측모델을 도출하기 위하여 C<sub>p</sub> 통계량, Adjusted R<sup>2</sup>, MSE 값을 평가하여 회귀식을 최종 선정하였다. 통계분석 패키지인 Minitab을 사용하여 분석하였으며, 회귀식에 포함되어야 하는 변수들의 Best Subset에 대한 분석결과를 Appendix에 제시하였다. 비율 판단능력에 대한 검증을 통과한 10인의 Magnitude Estimation 결과로부터 도출한 예측모델은 다음과 같다. 예측모델은 오른손과 왼손에 대하여, 그리고 조종장치별로 분류하여 도출하였다.

$$WC = 76.2 - 5.76 \times SD - 9.99 \times FD - 25.6 \times SD^2 - 10.9 \times FD^2 - 5.2 \times S^2 + 2.9 \times FD \times S + 2.96 \times P$$

(R<sup>2</sup> = 0.71, Lever control, Right-hand)

$$WC = 70.5 - 5.87 \times SD - 8.62 \times FD - 25.4 \times SD^2 - 10.5 \times FD^2 - 5.05 \times S^2 + 2.4 \times FD \times S + 2.17 \times P$$

(R<sup>2</sup> = 0.69, Lever control, Left-hand)

$$WC = 71.5 - 3.59 \times SD - 9.08 \times FD + 1.81 \times S - 22.6 \times SD^2 - 8.39 \times FD^2 - 3.51 \times S^2 - 2.06 \times SD \times FD + 1.89 \times FD \times S + 4.62 \times P$$

(R<sup>2</sup> = 0.74, Knob control, Right-hand)

$$WC = 66.0 - 4.11 \times SD - 9.48 \times FD + 1.86 \times S - 22.9 \times SD^2 - 8.15 \times FD^2 - 3.95 \times S^2 + 1.53 \times P$$

(R<sup>2</sup> = 0.70, Knob control, Left-hand)

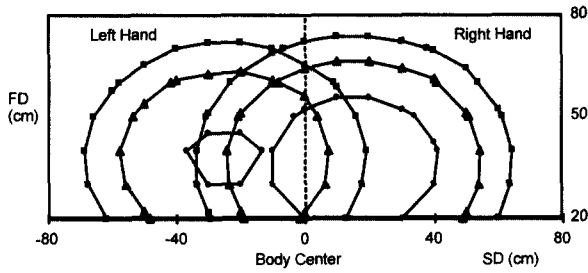
위의 모델들에 대한 Lack of Fit Test 결과, 도출된 예측식은 조작 편의성과 관련 변수들간의 함수관계를 충분히 설명하는 것으로 판명되었다(모든 p-values ≫ 0.1).

### 4. 편의 작업 영역(Comfortable Working Area)

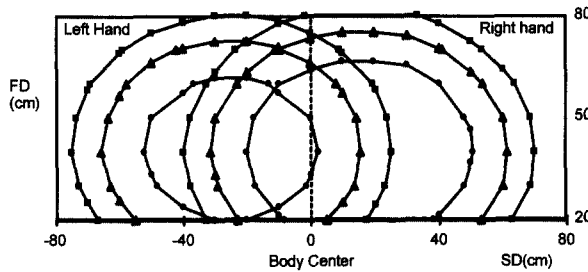
#### 4.1 등편의성 작업 영역(Isocomfort Working Area)

3.3절의 예측식을 이용하여 작업대의 각 위치에 대한 조작 편의성을 계산하여 편의성에 기초한 작업영역을 도출하였다.

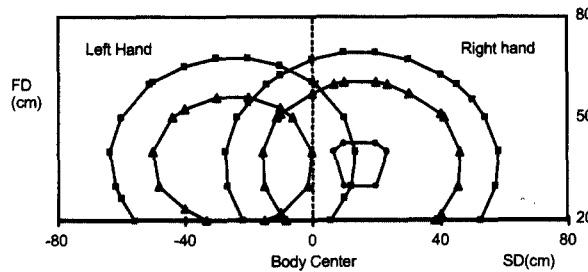
작업대의 경사별로 예측된 편의성 값에 따라 동일한 값을 갖는 위치를 연결하여 등편의 영역 (Isocomfort Area)을 도출하였다. <그림 2>와 <그림 3>은 조종장치의 종류에 따라 작업자의 Percentile수준과 작업대의 경사도 수준에 대한 작업영역의 예이다. 조건별 작업영역 그림에서 세 개의 타원 형태의 작업영역 그림은 각각 안쪽부터 '편함', '조금 편함', '보통'의 편의성 수준에 해당하는 작업영역이다.



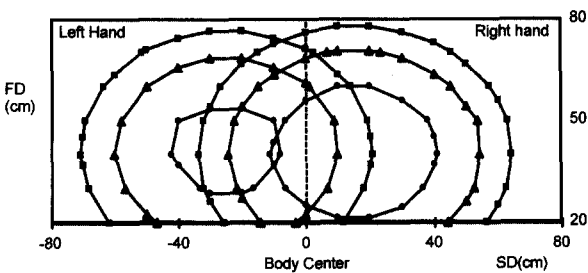
(a) Isocomfort areas of male 95th percentile at the slope of 0°



(b) Isocomfort areas of male 95th percentile at the slope of 15°

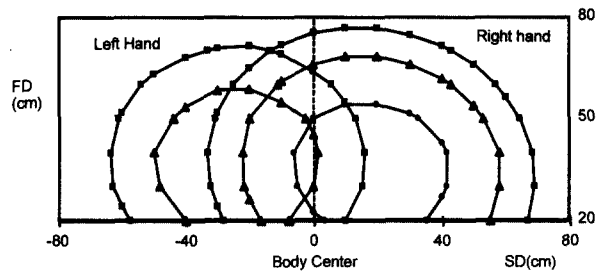


(c) Isocomfort areas of female 95th percentile at the slope of 0°

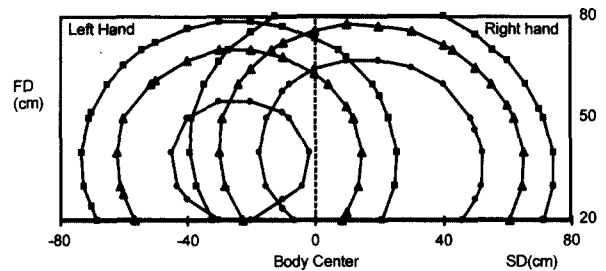


(d) Isocomfort areas of female 95th percentile at the slope of 15°

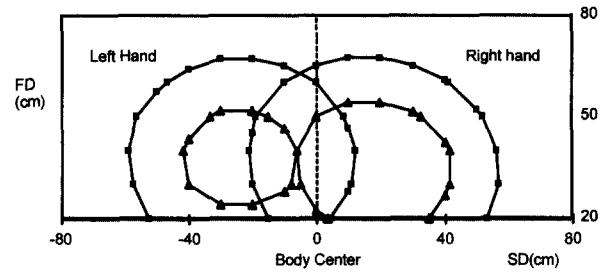
그림 2. Lever 형태의 조종장치에 대한 등편의 작업영역.



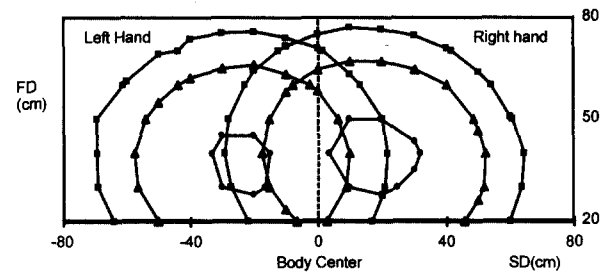
(a) Isocomfort areas of male 95th percentile at the slope of 0°



(b) Isocomfort areas of male 95th percentile at the slope of 15°



(c) Isocomfort areas of female 95th percentile at the slope of 0°



(d) Isocomfort areas of female 95th percentile at the slope of 15°

그림 3. Knob 형태의 조종장치에 대한 등편의 작업영역.

<그림 2>와 <그림 3>에서 볼 수 있는 바와 같이 각각의 작업영역은 좌우거리를 장축으로 하는 타원형태를 나타내고 있는데, 이는 작업 편의성은 작업자를 기준으로 전후거리 방향으로 더욱 민감하게 변함을 의미한다. 또한, 오른손의 편의작업영역이 모두 왼손의 영역보다 넓게 나왔는데, 이는 피실험자들이 모두 오른손을 주로 사용하는 사람들이었기에 이러한 결과가 나온 것으로 추정된다. 끝으로 두 가지 조종장치들에 대해서 수평 작업대에서의 편의작업영역보다 15°의 경사를 가

진 작업대에서의 편의작업영역이 더욱 크게 설정됨을 알 수 있었다. 따라서 약간의 작업면 경사는 작업 편의성을 향상시키는 것으로 판단된다.

4.2 조종장치의 최적 작업 위치

이 연구에서 작업자의 편의성을 분석하기 위하여 적용한 반응표면기법은 2차원의 반응표면(편의영역)을 나타낼 뿐만 아니라, 종속변수의 반응값(이 연구에서는 작업 편의성)을 최대화시킬 수 있는 독립변수들의 조합을 제공해 줄 수 있는 장점이 있다. 반응표면분석의 이러한 특징으로부터 이 실험에 참여한 피실험자의 데이터를 이용하여 실험에 사용한 조종장치별로 최적의 작업위치를 선정하였다(<표 3> 참조). <표 3>에 제시된 최적위치는 신체크기에 따른 데이터를 평균한 일반화된 위치자료이다.

<표 3>에서 볼 수 있는 바와 같이, 좌우방향으로는 어깨에서 몸의 중심쪽으로 2~4 cm 정도 떨어진 위치가 가장 작업하기 편리한 것으로 나타났으며, 전후 방향으로는 몸의 중심에서 43 cm 정도 떨어진 곳이 작업 편의성을 극대화시키는 것으로 밝혀졌다. 이와 같은 위치는 Farley 등이 제시한 전통적인 정상 작업 영역을 벗어난 위치로서, 팔의 꺾임만으로 결정한 작업 영역과 실제 작업 편의성간의 괴리를 나타내주는 실험결과이다. 또한, Lever형태의 조종장치는 작업면의 기울기가 15°보다 약간 작을 때 가장 사용하기에 편리한 것으로 나타났으나, Knob형태의 조종장치는 15°보다 약간 클 때 가장 편리한 것으로 나타나 대조를 이루었다.

표 3. 조종장치별 최적 위치

조종장치	요소	최적위치	
		왼손	오른손
Lever	SD	좌측 어깨 중심으로부터 몸의 중심방향으로 3.5 cm 떨어진 위치	우측 어깨 중심으로부터 몸의 중심방향으로 3.1 cm 떨어진 위치
	FD	신체로부터 43.1 cm 떨어진 위치	신체로부터 42.8 cm 떨어진 위치
	S	14.1°의 경사	13.6°의 경사
Knob	SD	좌측 어깨 중심으로부터 몸의 중심방향으로 2.5 cm 떨어진 위치	우측 어깨 중심으로부터 몸의 중심방향으로 1.6 cm 떨어진 위치
	FD	신체로부터 41.5 cm 떨어진 위치	신체로부터 42.2 cm 떨어진 위치
	S	16.0°의 경사	15.9°의 경사

5. 논의 및 결론

이 연구로부터 도출된 등편의 작업영역(Isocomfort Working Area)을 보면 몸의 중심으로부터 동일한 거리에 있는 위치라 할지라도 작업 편의성은 서로 크게 다를 수 있다. 이러한 현상은, 작업 편의성은 단순히 조종장치와 작업자간의 거리에 의해서 결정되어 지기보다는 작업자세(이 연구의 경우 팔의 자세)에 의하여 많은 영향을 받기 때문이라고 보여진다. <그림 4>는 95th Percentile의 남자가 15°의 경사진 작업대에서 Lever를 조작할 때의 등편의 작업영역과 기존의 작업영역(Farley's Working Area, Squires' Working Area)들을 함께 나타낸 것으로서, <그림 4>에서 볼 수 있는 바와 같이 작업하기 편리하다고 반응되는 영역의 대부분이 Farley가 제안한 정상작업 영역의 바깥에 존재하므로 과거와 같이 신체로부터 떨어진 거리에 의해서만 작업영역을 결정하는 것은 적합하지 않다고 판단되며, 작업자가 느끼는 작업 편의성을 기초로 주 작업영역(Primary Working Area)의 형상 및 크기를 재조정할 필요가 있다고 여겨진다.

그림 4. 등편의 작업영역과 기존의 작업영역들간의 비교.

위의 그림에서 볼 수 있는 바와 같이, Farley가 제안한 최대 작업영역의 바깥에 위치한 영역의 작업 편의성이 정상 작업영역내에 위치한 영역의 편의성보다 오히려 높은 경우도 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 사실은 작업영역을 기존의 방법처럼 정상 작업영역의 내부 또는 외부와 같이 이분법적으로 나누는 것은 부적절함을 의미하는 것이라고 할 수 있다. 이 연구로부터 제안된 등편의 작업영역(Isocomfort Working Area)은 작업 편의성을 기준으로 작업영역내의 각 위치에 대한 기기 조작성을 정량화 할 수 있으며, 이를 바탕으로 작업영역 설계를 위한 보다 구체적인 정보를 제공하여 줄 수 있다.

작업 편의성에 기초하여 설정한 작업영역과 Farley의 정상/최대 작업영역과의 가장 큰 차이점은 각기 제안한 작업영역의 형상차이라고 할 수 있다. 이 연구에서 제안한 작업영역은 자연스러운 팔 동작을 반영하면서 타원에 가까운 형상을 보이는 반면, 기존의 작업영역들은 반원의 형상을 하고 있다(<그림 4> 참조). 또한 오른손과 왼손에 대하여 같은 형상, 같은 크기

를 나타내고 있는 기존의 작업영역과는 달리 작업 편의성에 기초한 작업영역의 경우 오른손의 영역이 왼손보다 크게 나타났다. 이는 실험에 참여한 사람들이 오른손을 주로 사용하는 사람들이었기 때문으로 추정되며, 왼손을 주로 사용하는 사람에 대해서는 작업영역을 좌우대칭으로 변환하여 사용하는 것이 타당하다고 여겨진다.

이 연구에서는 착석시 곧은 자세를 가정한 기존의 최대 작업영역보다 넓은 작업영역이 도출되었다. 이는 작업시 몸통의 움직임을 허용하였음에 기인하며, 몸통 움직임을 허용함으로써 실제 작업상황에 보다 현실성있게 부합되는 작업영역이 도출되었다고 판단된다. 조종기기의 유형에 따라 편의 작업영역이 다소 다르게 나타났으며, 이는 조종패널의 설계 및 배치시 사용되는 조종기기별로 각각에 맞는 편의 작업영역을 고려하여 설계하여야 함을 의미한다고 하겠다. 이 연구에서는 Lever 형태의 조종기기와 Knob 형태의 조종기기만을 실험에 고려하였으므로, Button 형태의 조종기기와 같은 다른 유형의 조종장치들에 대한 추가 실험이 필요하다고 판단되며, 이에 대한 연구를 진행 중에 있다.

작업 편의성에 기초하여 이 연구에서 제안한 작업영역은 장시간 동안 정밀한 조종을 필요로 하는 작업에 대한 조종패널 설계시 특히 유용하게 적용될 수 있다고 판단되며, 저자들에게 의해서 개발된 조종패널 배치 시스템의 기본 자료로서 구현되었다.

참고문헌

Clark, C., Scanlan, L. A., and Williges, R. C. (1973), Mixed-factor response surface methodology central-composite design considerations. In Proceedings of the 17th Annual Meetings of the Human Factors Society, M. P. Rance, Jr., T. B. Malone (eds.), Santa Monica, CA, *Human Factors Society*, 281-288.

Das, B. and Grady, R. M. (1983), The normal working area in the horizontal plane: A comparative analysis between Farleys and Squires concepts. *Ergonomics*, 26(5), 449-459.

Farley, R. R. (1955), Some principles of methods and motion study as used in development work. *General Motors Engineering Journal*, 2, 20-25.

Hwang, C. and Yoon, K. (1981), *Multiple Attribute Decision Making*, New York, Springer-Verlag.

Jung, E. S., Park, S., and Han, S. H. (1995), Generation of Isocomfort Working Area based on the Psychophysical Evaluation. In Proceedings of the 39th

Annual Meetings of Human Factors and Ergonomics Society, Santa Monica, CA, *Human Factors and Ergonomics Society*.

Konz, S. and Goel, S. C. (1969), The shape of the normal working area in the horizontal plane, *AIIE Transaction*, 1, 70-73.

Lodge, M. (1981), *Magnitude Scaling: Quantitative measurement of opinions*, Sage, Beverly Hills, CA.

Myers, R. H. (1976), *Response Surface Methodology*, Blacksburg, Virginia, Virginia Polytechnic Institute and State University.

Pulat, B. M. (1992), *Fundamentals of Industrial Ergonomics*, Prentice-Hall, New Jersey.

Squires, P. C. (1956), The shape of the normal working area. Report No. 275, U.S. Navy Department, Bureau of Medicine and Surgery, *Medical Research Laboratories*, New London, Connecticut.

Williges, R. C. (1981), Development and use of research methodologies for complex system/simulation experimentation. In Moraal, M. J. and Kraiss, K. F. (Ed.), *Manned system design* (59-87). New York, Plenum Press.

Zwislocki, J. J. and Goodman, D. A. (1980), Absolute scaling and sensory magnitude: A validation. *Perception and Psychophysics*, 28, 460-468.

부 록

회귀식에 포함되는 변수선정을 위한 Best Subset 분석결과 — 오른손 레버 조종장치의 예

	SD	FD	S	SD <sup>2</sup>	FD <sup>2</sup>	S <sup>2</sup>	SDFD	S <sub>DS</sub>	F <sub>DS</sub>	P	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	C <sub>p</sub>	MSE
1		●									38.9	38.5	148.7	17.79
1		●		●							15.6	15.0	261.1	20.92
2				●							54.5	53.9	75.4	15.41
2		●		●	●						45.5	44.7	19.1	16.87
3		●		●	●						61.1	60.3	45.9	14.30
3	●	●		●							59.7	58.9	52.4	14.55
4	●	●		●	●						66.2	65.3	22.8	13.36
4		●		●	●				●		63.1	62.1	37.9	13.97
5	●	●		●	●				●		68.3	67.2	14.9	12.99
5	●	●		●	●	●					68.1	67.0	15.8	13.03
6	●	●		●	●	●			●		70.2	68.9	7.9	12.65
6	●	●		●	●	●			●	●	69.2	67.9	12.7	12.86
7	●	●		●	●	●			●	●	71	69.6	5.7	12.51
7	●	●		●	●	●	●				70.3	68.8	9.5	12.68
8	●	●		●	●	●	●		●	●	71.1	69.5	7.3	12.53
8	●	●	●	●	●	●	●		●	●	71.1	69.5	7.4	12.54
9	●	●	●	●	●	●	●		●	●	71.2	69.3	9.0	12.56
9	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	71.1	69.3	9.3	12.58
10	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	71.2	69.1	11.0	12.61