

# 사용 편의성에 기초한 주작업영역의 결정

## Determination of Primary Working Area based on Working Comfort

박성준, 정의승

포항공과대학교 산업공학과

### ABSTRACT

For efficient operation, vital hand controls must be easily controlled by the operator from his normal working position. The primary working area based on operator's working comfort was developed to serve as a design guideline to the control panel layout. Ten male subjects participated in the experiment in which working comfort was measured for two controls of a lever type control and a knob type control with respect to the frontal and sagittal distances from the body center and the slope of a workplace. The response surface methodology using a central composite design was employed to develop a prediction model for perceived working comfort of each control. Both controls have a similar pattern of comfortable working area, but the lever type control has slightly broader working area. The concept of the proposed working area is a significant extension to the conventional working area such as Farley's or Squires' curves. It is shown that the distance to a control device and the slope have a quadratic effect to working comfort. It is noticeable that comfortable working area exists outside the conventional working area. The result of the response surface analysis also indicated that a little slope of about  $15^\circ$  for a control panel improves working comfort.

### I. 서론

효율적인 조종작업을 위해서는 주요조종기기들이 작업자들의 정상작업자세에서 쉽게 손닿을 수 있고 원활하게 조작될 수 있는 영역에 배치되어야 한다. 일반적으로 작업대(Workplace)는 작업자의 움직임, 피로등을 최소화할 수 있는 상태에서 작업효율을 최대화할 수 있도록 설계되어야 한다고 제시되고 있다. 현재까지 작업대 설계를 위하여 제시되고 있는 작업영역 분류방법중 가장 널리 사용되고 있는 것은 Farley(1955)가 제안한 정상작업영역(Normal Working Area) 및 최대작업영역(Maximum Working Area) 분류법이라고 할 수 있다.

Farley의 정상작업영역은 수평작업대위에서 오른팔과 왼팔의 상완을 몸에 붙인 상태에서 단순히 팔의 궤적을 그림으로써 도출한 영역이다. Farley의 방식은 팔의 움직임을 최소화할 수 있는 영역을 간단한 방법으로 제시하고 있기 때문에 작업대 설계지침으로 널리 이용되고 있으나,

이 방법은 작업자들이 취하는 실제 팔의 움직임의 반영하지 않는 결정적 단점을 가지고 있다. 이러한 문제를 극복하기 위하여 제시된 작업영역 결정 방법으로 Squires의 곡선(Squires' Curve)이 있다. Squires (1956)는 팔의 움직임이 원의 형태(Circular path)를 나타내지 않음에 주목하고, 실제 팔의 궤적에 기초하여 타원에 가까운 작업영역을 제시하였다. Squires의 작업영역은 Farley가 제안한 작업영역에 비하여 보다 넓은 영역을 제시하고 있다(Das and Grady, 1983). 한편, Konz와 Goel (1969)은 Squires의 개념에 기초하여 미국인 남녀를 대상으로 5, 50, 95 percentile에 대한 작업영역을 제시하였다.

인체측정자료 및 작업자의 동작에 기초한 위의 연구결과들은 적용의 간편성이 있는 반면 다음과 같은 문제점을 가지고 있다. 첫째, 모든 연구가 작업영역을 착석 자세에서 팔이 닿는곳과 닿지 않는 곳으로 양분하여서만 이해하려고 하였다. 즉, 동일한 자세에서 팔이 닿는 곳이라면 영역내의 모든 위치가 동일한 의미를 갖는다고 가정하였다. 그러나 동일거리에 위치한 작업영역이 동일한 작업효율을 보장한다고는 할 수 없다. 둘째, 작업영역을 제안함에 있어 팔의 길이와 궤적만을 고려하였을뿐, 평가기준(Measure)이 적용되지 않은 단점이 있다. 셋째, 수평작업대에 대해서만 연구가 수행되므로써 경사진 작업대에 대한 설계지침을 제공하지 못하고 있다. 실제 작업 현장에서 사용되고 있는 조종판 (Control Panel)들의 경우, 많은 조종기들이 경사진 작업대에 설치되어 있으며, 많은 인간공학 설계지침서(Van Cott and Kinkade, 1972; Woodson, 1981) 역시 작업의 용이성을 위하여 작업대의 적정 각도를 제안하고 있으므로 이에 대한 고려가 필요하다고 하겠다.

자주 사용되거나 또는 중요한 기기는 작업자의 피로를 감소시키고 작업 수행도를 향상시키기 위하여 조작하기 편리한 위치에 배치시켜야 한다. 따라서 본 연구에서는 조종기기의 조작 편의성 (Working Comfort)에 기초한 작업편의영역 (Comfortable Working Area)을 도출하여 작업대 설계지침을 제공하고자 한다. 본 연구의 목적은 첫째, 작업대의 각 위치와 조작 편의성간의 관계를 수리적으로 규명하는 것이며, 둘째, 이를 기초로 작업대의 경사에 따른 등편의영역 (Isocomfort Working Area)를 도출하는 것이다. 기기의 조작 편의성은 주작업영역 설정의 중요한 기준이 될 수 있음에도 불구하고 정량적으로 측정하기가 어렵다는 단점을 가지고 있다. 본 연구에서는 이를 위하여 Psychophysics Scaling기법중 반응을 정량적으로 측정할 수 있는 Magnitude Estimation기법을 이용하여 기기들의 조작 편의성을 측정하였다.

## II. 실험방법

### 2.1 피실험자

포항공과대학에 재학중인 총 10명의 남자 대학원생이 실험에 참가하였다. 피실험자의 연령분포는 24세에서 28세였으며, 신장의 크기는 5 percentile에서 95 percentile 까지를 모두 망라할 수 있도록 선정하였다. 본 연구에서 조종기기의 조작 편의성을 측정하기 위하여 적용한 Magnitude Estimation 기법은 실험에 참가하는 사람들의 올바른 비율판단 (Ratio Judgement) 능력을 전제로 하고 있다. 본 연구에서는 인지된 조작 편의성의 강도를 숫자로 표현(Numeric Estimation)하도록 하였으며, 본 연구에 참여한 피실험자들은 이러한 표현방식에 대한 비율판단 검증과정을 모두 통과하므로써, 모두 정상적인 비율판단 능력을 가진 것으로 판명되었다.

### 2.2 실험장비

본 실험에서는 2 가지의 조종기기를 실험기기로 선정하였다. 실제 현장에서 많이 사용되고 있는 조종기기중 손바닥으로 쥐고 하는 방식의 대표 기기로서 Lever Control을, 그리고 손가락으로 쥐고하는 방식의 대표 기기로서 Knob Control을 선정하였다. 경사를 자유롭게 조절할 수 있도록 제작된 실험용 작업대에 조종기기를 부착하여 실험을 진행하였으며, 피실험자들로 하여금 실험계획에 따라 미리 선정된 작업대상의 위치 및 기울기에서 직접 조종기기들을 조작한뒤 인지된 편의성의 정도를 제시하도록 하였다.

### 2.3 실험계획

본 실험은 기기의 종류에 따라 2개의 독립된 실험으로 구성하였다. 각 실험은 작업자로부터의 전면 거리(Front Distance, FD), 측면거리(Sagittal Distance, SD), 그리고 작업면의 기울기(Slope, S)로 구성된 피실험자내 변수(Within-Subject Variable) 3개와 피실험자의 신체크기(Percentile, P)를 나타내는 피실험자간 변수(Between-Subject Variable) 1개가 혼합된 4 인자 Mixed-Factor Design으로 설계되었다. 피실험자가 느끼는 기기들의 조작 편의성을 종속변수로 하였다.

본 실험에 앞서 실시된 예비실험으로부터 조작 편의성은 작업영역의 변화에 대하여 2차 함수의 관계를 나타낼 것으로 예상되었다. 따라서 본 연구에서는 작업위치에 따른 2차식의 조작

편의성 예측식을 개발하고 최적의 편의성을 제공하는 작업영역을 도출하기 위하여 반응표면방법 (Response Surface Methodology)을 도입하였다. 그리고 2차 함수 관계규명을 위한 실험의 효율적 수행을 위하여 Central Composite Design에 따라 실험을 구성하였다.

위에서 언급한 4 독립변수들은 Central Composite Design에 따라  $(-\alpha, -1, 0, +1, +\alpha)$ 로 구성된 5 수준의 실험조건을 갖게된다.  $\alpha$ 값은 도출되는 반응표면식의 계수간의 직교성 (Orthogonality)를 보장하기 위하여 1.414의 크기가 할당되었다(Willigies, 1981). 본 실험에서 사용된 독립변수들의 실험수준을 정리하면 표 1과 같다. SD 변수의 수준에서 (-)부호는 작업자의 왼쪽방향을, (+)부호는 오른쪽 방향을 의미한다.

표 1. Central Composite Design의 실험 수준

독립변수	$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
SD(cm)	-60	-42	0	+42	+60
FD(cm)	0	9	30	+51	+60
S(degree)	0	4	15	26	30
P(cm)	160	163	169	175	178

실험은 각 피실험자별로  $2^3 + 2 \times 3 + 1 = 15$ 개의 실험조건(Treatment)에서 수행된다.  $2^3$ 개의 실험조건은 Central Composite Design의 피실험자내 변수들의 Factorial Design부분을 나타내며,  $2 \times 3 + 1$ 개의 실험조건은 피실험자내 변수들의 2차함수효과(Quadratic Effect)를 평가하기 위한 Spherical Design부분과 Center Point를 나타낸다. 이러한 15개의 실험조건은 실험순서로 인한 전이효과 및 학습효과를 방지하기 위하여 모든 피실험자에 대하여 무작위 순서(Random Order)로 제시되었다.

#### 2.4 실험절차

본 연구에서 실시한 전체실험은 비율판단 검증평가, 본실험, 그리고 실험후 조사(Debriefing)의 세 부분으로 구성되었다. 비율판단 검증평가는 Magnitude Estimation에 대한 이해증진 및 훈련의 목적과 이를 올바르게 수행하지 못하는 피실험자를 선별하기 위한 목적으로 실시되었다. 각 피실험자에게 여러길이의 직선을 무작위로 제시한뒤 선의 길이에 따라 적합한 수치를 표현하도록 하였다. 제시된 선의 길이는 반응으로 표현되는 수치와 선형관계를 보이는 것으

로 알려져 있는 최대자극 대 최소자극의 비가 100 : 1인 범위에서 무작위로 선정되었다.

본실험에서는 각 피실험자가 전술한 15가지의 실험조건에서 조종기기를 조작한뒤 인지된 편의성을 평가하여 크기에 비례하여 숫자를 제시하도록 하였다. Magnitude Estimation방법으로는 특정 평가기준을 제시하지 않고 피실험자로 하여금 스스로의 기준에 따라 편의성의 크기를 제시하도록 하는 Free Modulus Method를 채택하였다. 이러한 방법은 실험진행자가 제시한 기준에 의해 반응이 편중 (Bias)될 가능성을 제거하는 장점이 있는 반면, 피실험자간의 편의성을 직접 비교하는 것은 불가능해진다. 이를 위하여 본 연구에서는 본실험이 끝난뒤 피실험자들이 생각하는 기기 조작 편의성의 최대치와 최소치를 제시받아 이를 이용하여 피실험자들의 편의성 데이터를 표준화하였다. 실험은 피실험자별로 약 1시간 30분정도가 소요되었으며, 모든 피실험자들은 본실험부분에 대하여 낯짜를 달리하여 반복적으로 실험을 실시하였다. 이러한 실험은 각각의 조종기기별로 독립적으로 수행되었다.

### III. 실험결과

각각의 독립변수들과 조작 편의성간의 관계를 설명하기 위하여 반응표면식 (Response Surface Model)을 도출하였다. 두가지 형태의 조종기기에 대하여 오른손과 왼손에 대한 모형을 각각 개발하였으며, 이를 이용하여 각 작업조건에서의 기기 편의성을 예측할 수 있도록 하였다. 각 조종기기별로 반응표면식에 대한 분산분석 결과를 표 2와 3에 제시하였다.

표 2. Lever Control에 대한 반응표면식의 분산분석 결과

Source	d.f.	SS		F		p	
		Left	Right	Left	Right	Left	Right
Total Regression	9	68902	68318	38.433	44.559	0.000	0.000
Linear	3	17882	17092	29.924	33.444	0.000	0.000
Quadratic	3	50515	50590	84.531	99.000	0.000	0.000
Crossproduct	3	504.68	636.09	0.845	1.245	0.472	0.296
Total Error	140	27888	23850				
Lack of Fit	5	767.17	550.70	0.764	0.638	0.578	0.671
Pure Error	135	27121	23299				

표 3. Knob Control에 대한 반응표면식의 분산분석 결과

Source	d.f.	SS		F		p	
		Left	Right	Left	Right	Left	Right
Total Regression	9	59470	61361	36.001	34.682	0.000	0.000
Linear	3	19739	19957	35.848	33.840	0.000	0.000
Quadratic	3	39637	41996	71.985	69.854	0.000	0.000
Crossproduct	3	93.830	208.62	0.170	0.354	0.916	0.787
Total Error	140	25696	27521				
Lack of Fit	5	1563.0	465.91	1.749	0.465	0.1277	0.802
Pure Error	135	24133	27021				

두 기기에 대한 반응표면식의 분산분석 결과, 독립변수들과 조작 편의성간에는 1차 및 2차관계가 유의한 것으로 밝혀졌으며( $p \ll 0.001$ ), 변수들간의 교호작용 요인(Crossproduct component)은 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다 ( $p \gg 0.1$ ). 또한, 표 2와 3에서 볼 수 있는 바와 같이 'Lack of Fit Test' 결과, 모두 유의하지 않은 것으로 나타나, 반응표면방법에 의해 도출된 2차 회귀식은 독립변수들과 조작 편의성간의 관계를 설명하는데 적합한 것으로 판명되었다.

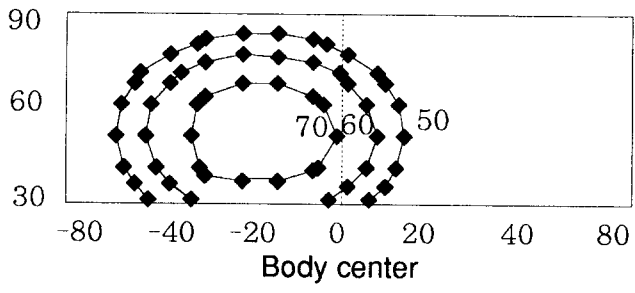
한편, 작업자의 신체크기 변화에 따른 조작 편의성의 변화에 대한 분산분석 결과, 본 연구에서 선정한 범위내에서는 두 기기 모두에 대해서 신체크기 변수는 조작 편의성에 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으며( $p > 0.1$ ), 신체크기 변수의 수준이 바뀔에 따라 일정한 경향을 나타내지 않았다. 따라서 피실험자간 변수인 신체크기변수와, 피실험자내 변수들간의 교호작용 변수는 예측식 개발에서 제외하였으며, 조작 편의성에 유의한 영향을 미치는 것으로 판명된 6개(SD, FD, S,  $SD^2$ ,  $FD^2$ ,  $S^2$ )의 변수를 이용하여 조작 편의성을 예측하기 위한 2차 회귀식을 개발하였다. 기기별 예측식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Working Comfort} &= 80.3 - 5.32SD - 10.7FD - 0.7S \\ &\quad - 30.4SD^2 - 11FD^2 - 5.91S^2 \quad \text{-----Lever, 오른손 (R}^2 = 0.734) \\ \text{Working Comfort} &= 75.4 - 6.9SD - 10.1FD - 0.35S \\ &\quad - 30.2SD^2 - 11.6FD^2 - 5.27S^2 \quad \text{-----Lever, 왼손 (R}^2 = 0.707) \\ \text{Working Comfort} &= 77.2 - 5.64SD - 11.4FD - 2.36S \\ &\quad - 27.3SD^2 - 8.73FD^2 - 4.09S^2 \quad \text{-----Knob, 오른손 (R}^2 = 0.688) \\ \text{Working Comfort} &= 72.1 - 6SD - 11.2FD - 2.04S \\ &\quad - 27SD^2 - 8.63FD^2 - 5.54S^2 \quad \text{-----Knob, 왼손 (R}^2 = 0.697) \end{aligned}$$

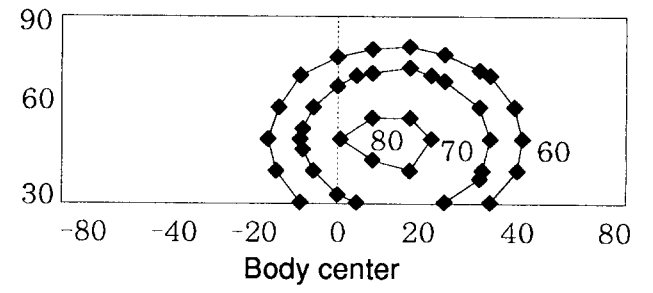
#### IV. 주작업영역의 결정

도출된 회귀식에 기초하여 작업대위의 각 위치에서의 조작 편의성을 예측하였으며, 이로 부터 등편의영역(Isocomfort Working Area)을 도출하였다. 등편의영역이란 작업대에서의 기기 조작시, 동일한 조작 편의성을 야기하는 위치들의 집합을 의미한다. 그림 1은 조종기기가 Lever와 Knob인 경우에 대해서 왼손과 오른손에 대한 등편의영역을 보여 주고 있다. 그림 1에서 볼 수 있는 바와 같이 조종기기에 대한 조작 편의성은 수평 작업대에서보다 약간의 경사가 있는 15°의 경우에 보다 높은 편의성을 야기하는것으로 나타났다. 또한, Lever의 경우가 Knob의 경우보다 작업자로 부터 가까운 영역에서 보다 넓은 편의영역을 나타내었다. 이는 몸에서 가까운 영역에서 전반적으로 Knob보다는 Lever가 더욱 조작하기 편리하였음을 의미한다. 그러나 몸의 전면방향으로 바로 근접하여서는 Knob가 보다 조작하기 편리한 것으로 판명되었다. 모든 경우에 대하여 왼손보다는 오른손에 대한 작업 편의영역이 넓게 도출되었다. 이는 실험에 참여한 피실험자들이 오른손잡이였기 때문으로 추정되며, 왼손을 주로 사용하는 작업자에 대해서는 반대의 편의작업영역이 도출될것으로 생각된다. 본 연구에서 도출된 등편의영역으로부터 적정 편의수준에 대한 주작업 영역을 결정할 수 있다. 그림 1은 각 기기별로 조작 편의성에 기초한 상위 세 수준의 주작업 영역들을 나타내고 있다.

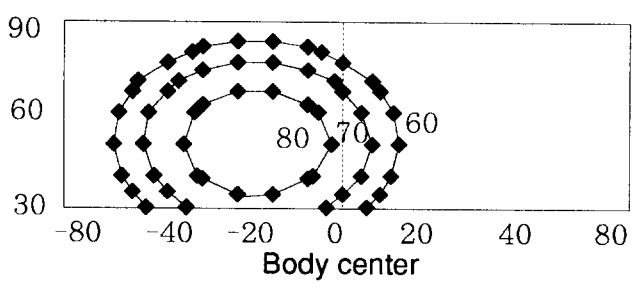
반응표면분석기법은 실험 데이터로 부터 최적의 조건을 야기하는 독립변수들간의 수준의 조합을 제공할 수 있는 장점을 가지고 있다(Myers, 1971). 10명의 피실험자들로부터 얻어진 조작 편의성 데이터를 분석한 결과, 두 기기 모두 양손에 대하여 몸의 중심으로 부터 몸의 측면 방향으로 16 ~ 17cm 떨어진 위치에 기기가 배치되었을때 가장 조작하기 편리한 것으로 나타났으며, 몸의 전면 방향으로는 Lever의 경우 몸의 중심으로 부터 37 ~ 38cm, Knob의 경우 35cm 정도 떨어진 위치가 가장 적합한 것으로 분석되었다. 몸의 전면방향 거리는 앉은 자세에서 몸의 중심으로 부터 작업대까지의 거리가 30cm 일때 작업자로 부터 기기까지의 거리를 의미한다. 작업면의 기울기는 Lever의 경우 15°보다 약간 낮은 각도에서 가장 편한 반면, Knob는 15°보다 약간 높은 각도에서 조작하기 편리한 것으로 나타났다. 반응표면분석으로 부터 도출된 두 기기에 대한 최적 배치위치는 표 4와 같다.



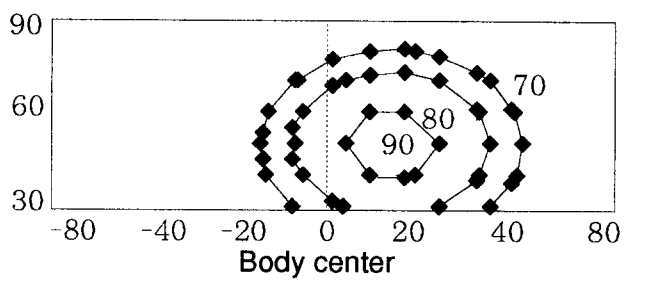
(a) Lever, 왼손 편의영역(0°)



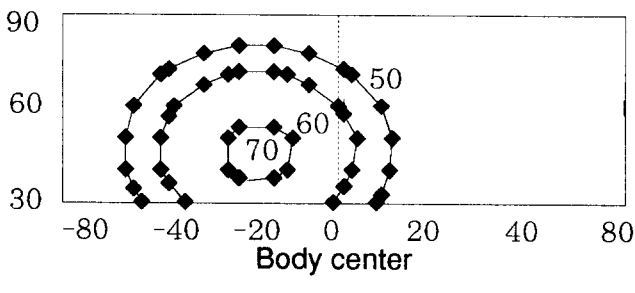
(b) Lever, 오른손 편의영역(0°)



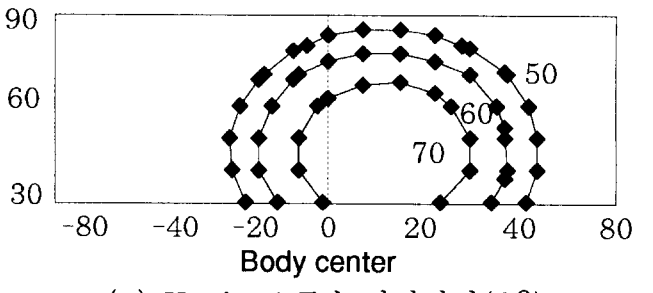
(c) Lever, 왼손 편의영역(15°)



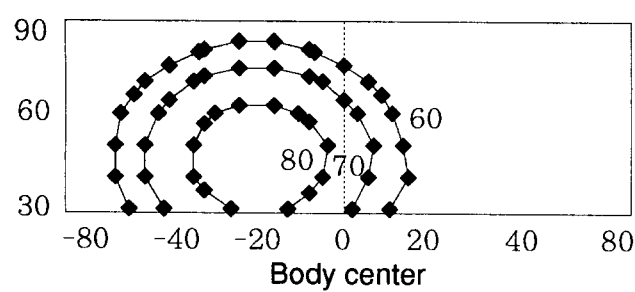
(d) Lever, 오른손 편의영역(15°)



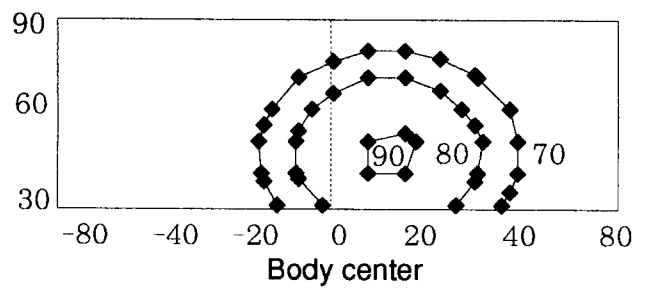
(e) Knob, 왼손 편의영역(0°)



(f) Knob, 오른손 편의영역(0°)



(g) Knob, 왼손 편의영역(15°)



(h) Knob, 오른손 편의영역(15°)

그림 1. 조종장치별 등편의영역



표 4. 조종기기별 최적 위치

조종기기		최적위치	
		왼손	오른손
Lever	SD	-16.5 cm	17.5 cm
	FD	38.3 cm	37.4 cm
	S	13.9°	13.7°
Knob	SD	-16.6 cm	17.3 cm
	FD	35.5 cm	35.5 cm
	S	15.9°	16.5°

### V. 논의 및 결론

표 2와 3에 정리된 반응표면식의 분석결과에서 볼 수 있는바와 같이 본 연구에서 고려한 요인들의 2차항(Quadratic component)이 조작 편의도에 가장 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 즉, 조작 편의도는 최적위치를 기준으로 거리 또는 기울기가 증감됨에 따라 급격히 감소하는 경향을 보이고 있다. 피실험자들의 기기조작 편의도를 직접 측정하여 도출한 등편의영역은 작업자로부터 일정한 거리내에 있는 작업영역이라 할지라도 편의성이 균질하지 않음을 보여주고 있다. 이러한 결과는 작업자의 팔의 길이에만 의존하여 제시되고 있는 기존의 작업영역들이 실제 측정된 수행도 또는 편의도등을 기준으로 수정되어야 할 필요가 있음을 의미한다고 하겠다. 특히, 그림 2에서 볼 수 있는 바와같이 최상위 편의영역의 상당부분이 Farley가 제안한 정상작업영역의 바깥부분에 위치하고 있음에 주목할 필요가 있다고 생각된다. 또한, 최대작업영역에서의 조작 편의성이 정상작업영역 내부의 편의성과 동일할 수 있음은 팔의 도달여부(Reach)에 따른 기준의 이분법(Dichotomy)적인 작업영역 분류방안이 실제 작업효율을 향상시킬 수 있는 설계기준을 제공하지 못함을 의미한다고 하겠다.

본 연구에서 제안한 주작업영역의 일부가 Farley가 제안한 최대작업영역의 바깥에 존재하는 것은 작업자세에 대한 제약이 완화되었음에 기인한다. 팔의 움직임에 따른 몸의 움직임의 허용은 실제 작업상황에 보다 근접한 조건을 제공하므로써, 도출된 영역의 사실성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

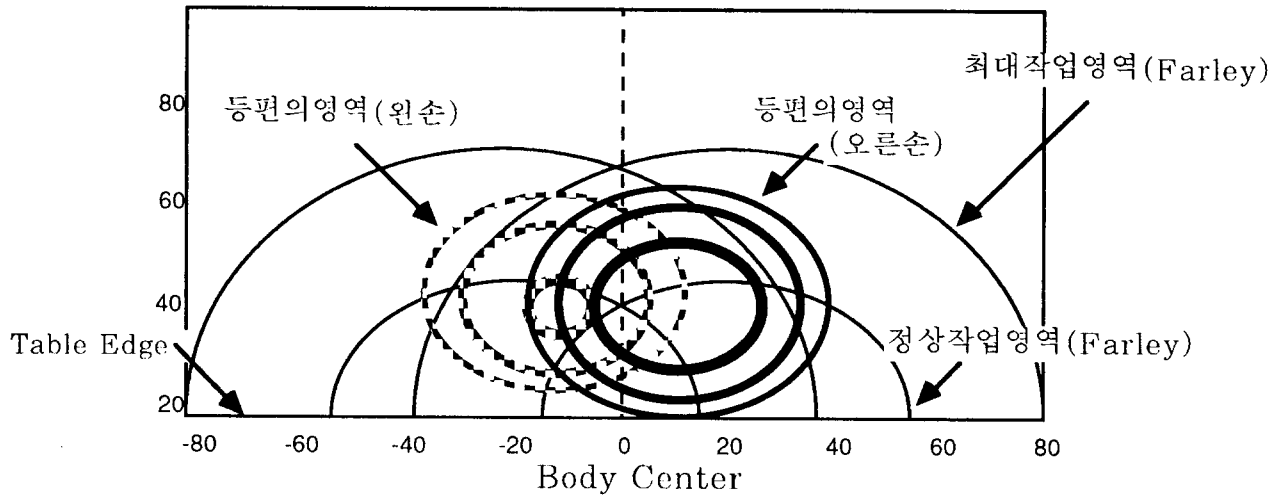


그림 2. Farley의 작업영역과의 비교 (Knob 조종기기, 수평작업대)

본 연구에서 조작 편의성에 기초하여 제안한 주작업영역은 조종판(Control Panel) 배치 문제에 대한 기본적인 지침을 제공할 수 있다. 특히, 기존의 작업영역과는 달리 편의성의 정도에 따라 세분화하여 작업영역을 제공할 수 있기 때문에 Computer System과 연계된 배치 시스템의 개발에 유용한 기본 정보를 제공할 수 있게 된다. 현재, 본 연구팀이 개발한 배치 시스템과 본 실험의 결과를 연계하는 연구가 진행중에 있다.

#### 참고문헌

- Das, B. and Grady, R. M., "The normal working area in the horizontal plane : A comparative analysis between Farley's and Squires' concepts," *Ergonomics*, 26 (5): 449-459, 1983.
- Farley, R. R., "Some principles of methods and motion study as used in development work," *General Motors Engineering Journal*, 2: 20-25, 1955.
- Konz, S. and Goel, S. C., "The shape of the normal working area in the horizontal plane," *AIIE Transaction*, 1: 70-73, 1969.
- Myers, R. H., *Response Surface Methodology*, Allyn and bacon, Boston, 1971.
- Squires, P. C., "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, 1956.
- Van Cott, H.P. and Kinkade, R.G., *Human Engineering Guide to Equipment Design*, Revised Edition, Washington, 1972.
- Williges, R. C., "Development and use of research methodologies for complex system/simulation experimentation," In Moraal, M. J. and Kraiss, K. F. (Ed.), *Manned system design* (pp. 59-87). New York, Plenum Press, 1981.
- Woodson, W.E., *Human Factors design handbook*, McGraw-Hill, New York, 1981.