*Journal of the Ergonomics Society of Korea*
Vol.16, No.3, 1997



# 로보트 기구학을 이용한 3차원 등편의 작업영역의 생성*

# Generation of 3-Dimensional Isocomfort Workspace using the Robot Kinematics*

기 도 형**

## ABSTRACT

The purpose of this study is to obtain 3-dimensional isocomfort workspace using the robot kinematics, which is based on perceived discomfort in varying postures for manipulating four types of controls. Fifteen healthy male subjects participated in the experiment where their perceived discomfort in the given postures was measured, in which L32 orthogonal array was adopted. The shoulder flexion and adduction-abduction, elbow flexion, types of controls, and right/left hands were selected as experimental variables. The results showed that the shoulder flexion and adduction-abduction, elbow flexion, and types of controls significantly affected the perceived discomfort at $\alpha$=0.01. Depending upon the types of control used, regression equations predicting perceived discomfort and three dimensional isocomfort workspace were suggested based on the experimental data. Using the equations, driver's isocomfort workspace in his/her cabin for pushing operation was illustrated, in which the robot kinematics was employed to describe the translational relationships between the upper arm and the lower arm/hand.

It was expected that isocomfort workspace could be used as a valuable guideline to design workplaces ergonomically.

* 이 논문은 1996년도 학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

** 계명대학교 산업공학과

## 1. 서 론

Ramazzini가 1713년에 신체의 불규칙적 동작과 부자연스러운 자세가 인체에 해로운 결과를 초래한다고 언급한 이래로, 좋은 작업 자세에 대한 중요성이 인식되어 왔다. 작업 자세는 산업 현장에서 발생하는 재해의 한 원인이 되고 있으며, 작업 수행도 향상뿐만 아니라 작업 중의 stress와 불편(discomfort)을 최소화하고 건강을 증진하는데 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다 (Haslegrave, 1994 ; van Wely, 1970; Westgaard & Aaras, 1984). Hsiao와 Keyseling(1991)에 의하면 작업 자세는 목표물의 위치와 크기, 신체의 크기에 영향을 받으며, 작업장의 구성 및 배열(workstation layout)에 제약을 받아 결정된다. 작업장의 개선은 요통과 같은 산업 재해에 대한 위험의 경감 뿐만 아니라 손의 경제적 사용 등을 통하여 생산성의 향상을 초래한다(Lim & Hoffmann, 1997). 이러한 관점에서 좋은 자세로 작업할 수 있는 작업장의 설계가 중요하며, 이를 위한 인간공학적 설계지침이 요구된다 하겠다.

작업장 설계지침으로는 인체 관절의 동작범위(range of motion), 안락 동작범위, 작업영역의 크기 등이 사용되고 있으며, 이들에 대한 연구는 주로 미국인을 중심으로 외국인에 대하여 이루어져 왔다. 관절 동작범위는 여러 연구자들에 의하여 다양한 집단에 대하여 측정되어 왔으나, Barter et al.의 자료가 대표적으로 사용되고 있다(Webb Associates, 1978). Rebiffe는 자동차 운전석에 앉은 자세의 안락 동작범위를 제시하였다 (Diffrient et al., 1974 ; Rebiffe, 1967). 작업영역으로 번역되는 reach envelope, reach volume 혹은 workspace에 대한 연구는 실제 측정을 하는 방법, 로보트 기구학(robot kinematics)을 이용하는 해석적(analytic) 생성 방법, 인체측정치나 실험을 통하여 얻어진 식을 이용하여 작업영역을 추정하는 방법 등의 크게 세 가지로 나누어 볼 수 있다.

먼저 실제 측정방법의 연구 결과를 살펴보면, 1차원, 소위 reach와 수직.수평면 상에 나타내는 2차원 표현법, 그리고 3차원 공간 상에서 arm reach를 나타내는 방법 등 다양한 측정 결과가 나와 있다(Nowak, 1978). Kennedy(1964), Bullock (1974), Nowak(1978) 등은 미국, 호주, 폴란드인의 기능적 arm reach를 측정, 제시하였다. 그리고, 동양인에 대한 연구 결과로 Li와 Xi(1990)는 20명의 젊은 중국 남자의 기능적 arm reach를 제시하였으며, 박재희 등은 한국인 청년 남자에 대한 기능적 arm reach envelope를 측정하였다(박재희 등, 1997). 기도형(1997)은 해석적 방법으로 팔, 팔과 몸통, 다리의 작업영역을 로보트 기구학을 이용하여 제시하여, 실제 측정치와 유사함을 보였다.

세번째 방법, 즉 작업영역을 추정하는 방법으로는 Farley(1955)가 제안한 정상작업영역(normal working area)과 최대작업영역(maximum working area)을 들 수 있으며, 이상도와 정중희(1976)는 한국인의 인체측정치에 적합하게 수정한 작업영역을 제시하였다. Farley의 작업영역은 팔이 원의 형태의 동작을 하는 것으로 가정하고 나타낸 것이나, 실제 인간의 팔 운동은 팔에 포함된 관절의 상호 작용으로 인하여 원운동이 아니라 타원에 가까운 운동을 한다. 이러한 팔의 실제 움직임에 기초하여 Squires(1956)는 Farley의 작업영역보다 넓은 영역을 제시하였으며, Konz와 Goel(1969)은 Squires의 영역을 기초로 하여 미국인 남녀 5, 50, 95%에 대한 작업영역을 제시하였다. Pheasant (1986)는 Farley의 정상작업영역과 같은 개념으로 과도한 힘을 들이지 않고 편리하게 물체에 도달할 수 있는 zone of convenient reach를 제시하였다. 위의 연구들은 인체측정치를 이용하여 작업영역을 팔이 닿는 곳과 닿지 않는 곳의 이분법적으로 구

분하고 있으며, 작업영역 내에서는 작업 수행도(performance) 혹은 효율이 같다고 가정하고 있으나 실제로는 그렇지 않을 것으로 생각된다. 이러한 개념을 바탕으로 박성준과 정의승(1995)은 전면거리(frontal distance), 측면거리(sagittal distance), 작업면의 기울기와 피실험자의 신장을 실험변수로 피실험자의 기기 조작 시의 불편도 수준을 측정하는 실험을 수행하여, 이를 기초로 등편의 작업영역(isocomfort workspace)을 제시하였다. 여기서, 등편의 작업영역은 피실험자가 느끼는 편의(comfort) 혹은 불편도 수준이 같은 영역을 의미한다.

박성준과 정의승이 제시한 등편의 작업영역은 기존 연구의 문제점들을 상당 부분 해결하였다고 할 수 있다. 그러나, 작업영역은 실제로 대부분 3차원 공간으로 이루어지고 있으나, 현재의 등편의 작업영역에는 이러한 요소가 충분히 고려되어 있지 않다. 전면 거리, 측면 거리와 작업면의 기울기의 수준으로 3차원을 고려하고 있으나, 이것으로는 3차원의 작업영역을 충분히 표현할 수 없다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 문제점이 개선된 로보트 기구학을 이용한 3차원 등편의 작업영역을 제시하고자 한다. 강체(rigid body)로 된 로보트를 대상으로 하는 로보트 기구학을 이용하여 수백의 자유도(degree of freedom)로 이루어진 인체를 표현하는 데에는 문제점이 없지 않다. 그러나, 기존의 자세 예측과 작업영역을 해석적으로 생성한 연구들에서 인체를 로보트 기구학을 이용하여 표현하면 인체 동작과 작업영역들을 정확하게 예측할 수 있는 것으로 알려져 있어(기도형, 1997; Jung et al., 1995; Jung et al., 1996), 본 연구에서도 로보트 기구학을 이용하면 인체 동작을 충분히 나타낼 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구에서는 3차원 공간에 대한 등편의 작업영역의 생성을 위하여 기존 연구와 같이 작업대의 위치를 조절하면서 기기 조작 시의 불편도 수준을 측정하는 것이 아니라, 인체 각 관절의 동작 자유도의 각도(angle)의 조합으로 나타낸 기기 조작 자세에 대한 불편도 수준을 측정한다. 이와 같이 실험을 수행함으로써 작업대의 높이와 거리를 조절하면서 수행한 기존 연구의 결과보다는 다양한 기기 조작 자세에 대한 불편도 수준을 측정할 수 있을 것으로 생각된다.

## 2. 실험방법

### 2.1 피실험자

본 연구에서 불편도 수준의 측정 실험에는 과거 근골격계 질환의 경력이 없는 15명의 건강한 남자 대학생과 대학원 학생이 참여하였다. 이들의 연령은 26.6±2.0 세, 신장은 172.4±4.1 cm, 그리고 체중은 65.3±6.0 kg을 보였다. 이들은 모두 magnitude estimation 중 NE(numerical estimation)로 자극을 올바르게 평가할 능력이 있는 것으로 판명되었다.

### 2.2 실험방법

본 연구에서는 주어진 자세에서 기기 조작 시의 불편도를 정신물리학적(psychophysical) 방법인 magnitude estimation을 이용하여 측정하였으며, 피실험자 자신의 scale로 불편도 수준을 답할 수 있게 free modulus 방법을 이용하였다. 일반적으로 정성적 수준을 측정할 때에 정신물리학적 방법 중 category scaling을 많이 사용하나, 본 연구에서는 회귀분석이 가능한 ratio scale의 자료를 얻기 위하여 magnitude estimation을 이용하였다. 실험 전에 모든 피실험자를 대상으로 magnitude estimation을 수행할 능력이 있는 지를, NE 자극 평가를 통하여 검정하였다.

불편도 수준의 측정에 사용된 자세는 어깨의 굴곡, 내전-외전, 팔꿈치의 굴곡 운동의 조합으로 나타내었으며, 손은 전완(forearm)과 일직선이 되도

록 유지하였다. 각 동작 자유도의 수준은 조작되는 조종장치가 피실험자의 전면에 위치하도록 어깨의 굴곡은 50~90°, 내전은 0~30°, 외전은 0~60°, 그리고 팔꿈치의 굴곡은 0~60°의 범위를 취하도록 하였다. 이 범위를 벗어나면 기기 조작 시의 자세가 매우 부자연스러워져, 실제 산업 현장에서 거의 일어나지 않으므로 제외하였다. 실험에는 오른손과 왼손에 대한 자세를 포함하였으며, 사용된 조종장치로는 손으로 쥐고 조작(gripping operation)하는 조종장치 중 대표적인 것으로 joy stick, 손가락으로 쥐고 조작(finger operation)하는 것 중의 대표적인 knob, 손가락으로 눌러 조작하는 mouse와 손바닥으로 조작하는 track ball 등의 네 가지의 대표적 조종장치를 포함하였다. 조종장치는 높이와 기울기가 조절되는 작은 table 위에 고정하였다. 이들 실험 변수의 수준은 다음 표 1에 정리되어 있다.

표 1. 실험변수의 수준

| 요 인 | | 수 준 |
|---|---|---|
| 어 깨 | 굴 곡 | 50°, 63°, 77°, 90° |
| | 내전-외전 | -30°, 0°, 30°, 60° (음수는 내전을 의미함) |
| 팔꿈치 | 굴 곡 | 0°, 20°, 40°, 60° |
| 조 종 장 치 | | joy stick, knob, mouse, track ball |
| 사용되는 손 | | 오른손, 왼손 |

위의 실험을 full factorial design으로 하면 4×4×4×4×2 = 512회가 되어 실험의 크기가 너무 커게 되어 실행하기 어려우므로, 본 연구에서는 L32 직교배열표(orthogonal array) (박성현, 1984)를 사용하였다. 직교 배열표의 1, 2, 3열에는 어깨 굴곡, 4, 8, 12열에는 어깨 내전-외전, 5, 6, 7열에는 팔꿈치 굴곡, 9, 10, 11열에는 조종장치의 종류, 16열에는 사용한 손, 7, 8, 9열에는 어깨 굴곡과 손의 교호작용, 20,24,28 열에는 어깨 내전-외전과 손의 교호작용, 21, 22, 23열에는 팔꿈치 굴곡과 손의 교호작용, 25, 26, 27열에는 조종장치와 손의 교호작용을 배치하였다. 이렇게 하면 32회의 실험으로 위의 모든 실험변수와 어깨 굴곡, 내전-외전, 팔꿈치 굴곡, 조종장치의 종류와 사용하는 손간의 교호작용에 대한 영향을 볼 수 있게 된다. 총 32회의 실험 처리(treatment)는 완전 randomize하여 피실험자 마다 시행 순서를 달리하여 실시하였다. 각 조합에서의 불편도 수준 측정은 실험자가 주어진 자세에 알맞게 조종장치를 위치한 다음, 피실험자가 이를 1분간 조작을 하여 본 다음 불편도 수준을 응답하게 하여 이루어졌다. 실험 전에 약 5회 정도의 연습을 하게 하여 실험 환경에 익숙하게 하였으며, 한 명의 피실험자가 32회의 실험을 수행하는 데는 약 2시간이 소요되었다.

## 3. 결 과

본 연구에서는 전술한 바와 같이 magnitude estimation 중 free modulus 방법을 사용하여 불편도를 측정하였으므로, 각 피실험자 마다 사용한 scale이 다르게 된다. 따라서 이를 분석에 사용하기 위해서는 공통의 scale로 변환이 요구되며, 본 연구에서는 다음과 같은 변환을 통하여 자료를 표준화하여 모든 피실험자의 불편도 값으로 사용하였다.

$$\text{standardized discomfort} = \frac{rawdata - \min discomfort}{\max discomfort - \min discomfort} \times 100$$

이러한 변환을 모든 피실험자 각각에 대하여 수행하였으며, 이들 변환된 자료의 기하평균값을 분석에 대표값으로 사용하였다.

### 3.1 분산분석

본 연구에서 설정한 독립 변수들이 조종장치의 조작성에 유의한 영향을 미치는 지를 알아보기 위하여 분산분석을 실시하였으며, 그 결과는 다음 표 2에 정리 되어 있다. 표에서 보는 바와 같이 본 연구에서 선정한 주효과 중 어깨 굴곡, 어깨 내전-외전, 팔꿈치 굴곡과 조종장치의 종류는 유의수준 1%에서 조종장치 조작 시의 지각 불편도에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그리고, 조종장치를 조작하는 손과 조종장치의 종류간의 교호작용이 유의수준 1%에서 유의함을 보여, 사용하는 손과 조종장치의 종류에 따라 지각 불편도가 달라짐을 볼 수 있다. 그러나, 사용하는 손에 따른 조종장치 조작 시의 지각 불편도는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다.

표 2. 분산분석표

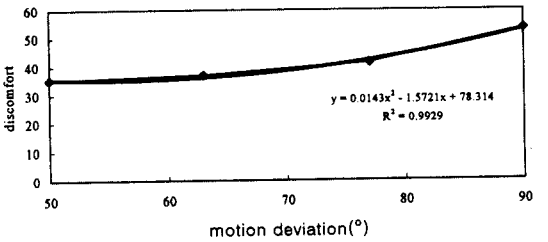
| 요 인 | 자유도 | Mean square | F value |
|---|---|---|---|
| 어깨 굴곡(SF) | 3 | 1568.9 | 103.2** |
| 어깨 내전-외전(SA) | 3 | 1221.5 | 80.4** |
| 팔꿈치 굴곡(EF) | 3 | 1339.8 | 88.1** |
| 조종장치(C) | 3 | 842.8 | 55.5** |
| 사용 손(H) | 1 | 23.9 | 1.6 |
| H×SF | 3 | 25.3 | 1.7 |
| H×SA | 3 | 124.9 | 8.2* |
| H×EF | 3 | 50.8 | 3.3 |
| H×C | 3 | 254.5 | 16.7** |

* : significant at α=0.05,

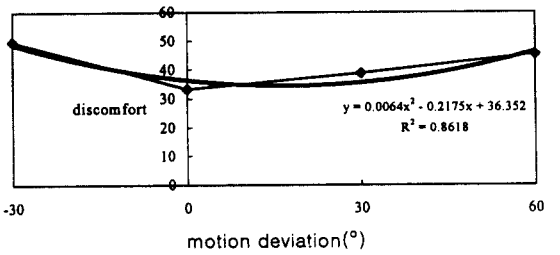
** : significant at α=0.01

### 3.2 어깨 동작의 영향

어깨에서 일어나는 굴곡과 내전-외전이 조종장치 조작 시의 지각 불편도에 영향을 미치는 경향은 다음 그림 1에 나와 있다. 그림에서 보는 바와




(a) 굴 곡




(b) 내전-외전

그림 1. 어깨 동작에 따른 지각 불편도 경향

같이 굴곡과 내전-외전 동작이 증가함에 따라 기기 조작 불편도는 2차함수, 즉 포물선의 형태로 증가하고 있다. 어깨 동작에 따른 지각 불편도의 정량적 경향을 보기 위하여 2차함수로 fitting된 graph와 식을 그림에 병기하였다. 내전-외전 동작에서는 내전 동작에서의 지각 불편도가 외전 동작에서 보다 크게 나타났다.

### 3.3 팔꿈치 동작의 영향

팔꿈치의 굴곡 동작에 따른 조종장치 조작 시의

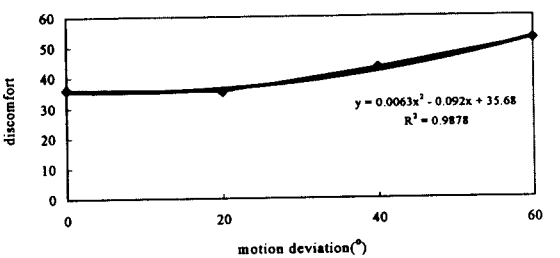



그림 2. 팔꿈치 굴곡에 따른 지각 불편도 경향

지각 불편도는 그림 2에 제시되어 있으며, 어깨 동작에서와 같이 굴곡 동작이 증가함에 따라 지각 불편도가 포물선의 형태로 증가하는 추세를 보이고 있다.

### 3.4 조종장치의 영향

본 연구에서는 조작 행태에 따라 대표적으로 사용되고 있는 joy stick, knob, mouse, track ball의 4 종류의 조종장치 조작 시의 지각 불편도를 측정하였다. 각 조종장치 조작 시의 지각 불편도의 크기는 다음 그림 3에 나와 있다. 그림에서 보는 바와 같이 mouse의 지각 불편도가 가장 작고, 다음으로 joy stick, track ball, knob의 순서로 불편도가 커짐을 보이고 있다. 그러나, 통계적으로는 유의 수준 10%에서 mouse 조작 시의 지각 불편도가 knob에 비하여 유의하게 작음을 보였고, 다른 조종장치간에는 유의한 차이를 보이지 않았다.

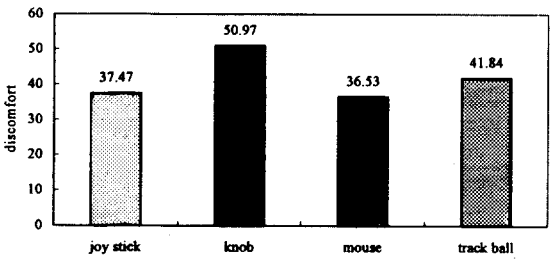



그림 3. 조종장치의 종류에 따른 불편도 크기

### 3.5 사용 손의 영향

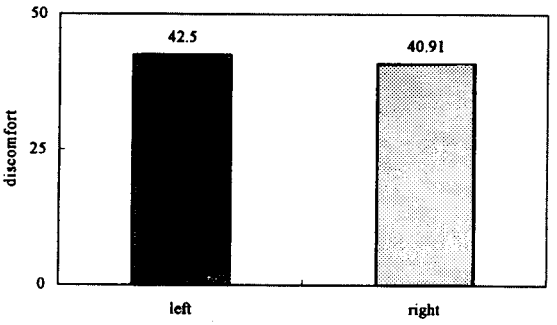



그림 4. 사용 손에 따른 지각 불편도 크기

오른손과 왼손에 대한 조종장치 조작 시의 지각 불편도의 크기는 그림 4에 제시되어 있으며, 왼손의 지각 불편도가 오른손에 비하여 조금 큰 것으로 나타나 있다. 그러나, 통계적 검정(t-test)에서는 양손간의 불편도 크기는 유의한 차이를 보이지 않았다 ($p>0.70$).

### 3.6 지각 불편도 회귀식

주어진 자세와 사용 손에 따른 조종장치 조작 시의 지각 불편도 정도를 예측하고, 등편의 작업영역의 생성을 위하여 다음 표 3에 지각 불편도에 대한 회귀식을 제시하였다. 회귀식은 조종장치의 종류별로 제시하며, 사용 손을 나타내기 위하여 지시변수(indicator variable)을 사용하였다(여기서, 0 : 왼손, 1 : 오른손을 나타냄). 표에서 보는 바와 같이 $R^2$ 값이 70% 이상을 보여 전반적으로 fitting 정도가 높음을 알 수 있다.

표 3. 조종장치별 지각 불편도 회귀식

| 조종장치 | 회 귀 식 | $R^2$ |
|---|---|---|
| joy stick | discomfort = -109 + 0.716*SF+0.047*(SA-17.0)$^2$ + 1.47*EF - 1.48*H | 87.1% |
| knob | discomfort = 15.7 + 0.15*SF+0.052*(SA-17.0)$^2$ - 1.08*EF - 3.06*H | 96.1% |
| mouse | discomfort = -10.6 + 1.07*SF+0.037*(SA-17.0)$^2$ - 2.41*EF + 5.92*H | 94.0% |
| track ball | discomfort = -27.9 - 0.25*SF+0.025*(SA-17.0)$^2$ + 2.11*EF - 8.27*H | 71.0% |

### 3.7 인체 link의 표현

위에서 언급한 바와 같이 본 연구에서는 팔과 손에 대한 등편의 작업영역을 생성하고자 하며, 이를 위하여 로보트 기구학을 도입한다. 즉, 인체를 강체(rigid body)로 연결된 link system으로 가정하며, 본 연구에서는 상완(upper arm), 그리고 전완과 손의 2개의 link로 구성된 것으로 가정한다. 팔과 손은 어깨에서 굴곡과 내전-외전, 팔꿈치에서 굴곡의 3 자유도를 가지는 link system으로 구성된다(그림 5). 로보트 기구학에서는 각 link간의 상대적인 위치를 나타내기 위하여 여러 가지의 방법이 사용되고 있으나, 본 연구에서는 이 중 parameter의 수가 가장 작고 계산량이 작은 D-H(Denavit-Hartenberg) notation을 사용한다. D-H notation은 이웃 link간의 상대적 위치를 4개의 parameter로 나타내며(Fu et al., 1987), 본 연구의 link system을 구성하는 parameter의 정의는 다음과 같으며(그림 6), 그 값들은 다음 표 4에 제시되어 있다.

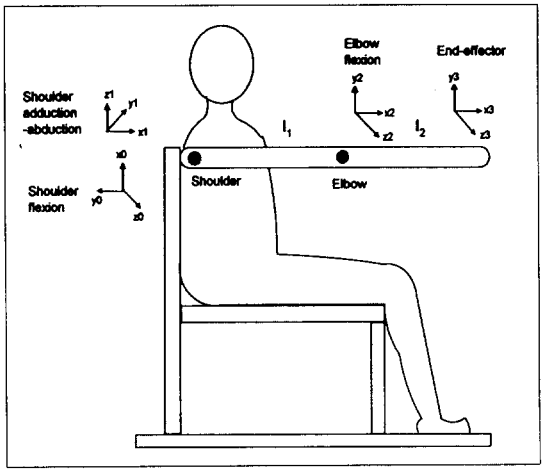



그림 5. 인체 link system

$a_i$ : $Z_{i-1}$ 축과 $X_i$ 축의 교점에서 i번째 link의 원점까지의 $X_i$축 방향으로의 길이,
$d_i$ : 원점 $O_{i-1}$과 점 $H_i$까지의 거리,
$\alpha_i$ : $X_i$ 축을 중심으로 측정한 $Z_{i-1}$ 축과 $Z_i$축이 이루는 오른쪽 방향으로의 각도,
$\theta_i$ : $Z_{i-1}$ 축 중심으로 측정한 $X_{i-1}$축과 common normal $H_iO_i$ 사이의 각도.

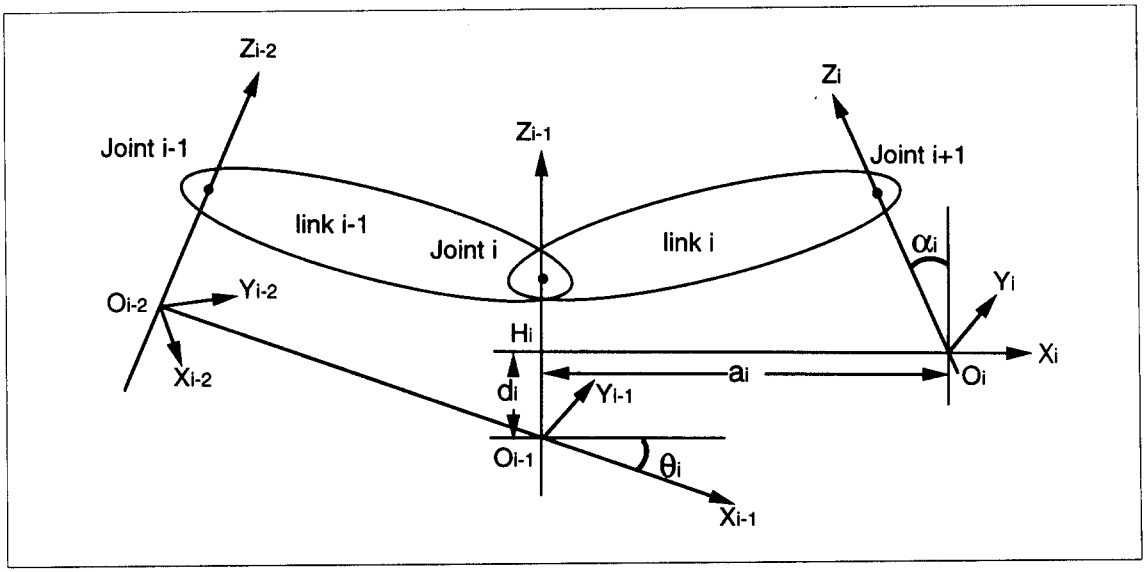



그림 6. D-H notation

표 4. 인체 link system의 parameter

| joint | $\theta_i$ | $\alpha_i$ | $a_i$ | $d_i$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $\theta_1$ | -90° | 0 | 0 |
| 2 | $\theta_2$ | 90° | $l_1$ | 0 |
| 3 | $\theta_3$ | 0° | $l_2$ | 0 |

* $l_1$ : 상완의 길이, $l_2$ : 전완과 손의 길이

각 parameter의 값들이 주어지면 손끝 (그림에서는 end-effector) 위치는 각 자유도에서 정의되는 transformation matrix의 순차적 곱(product)으로 정의된다. 여기서, link{i}에 대하여 link{i-1}를 결정해 주는 transformation matrix는 다음과 같다 (matrix에서 l은 link{i}의 길이를 나타냄).

$$\begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\sin(\theta_i)\cos(\alpha_i) & \sin(\theta_i)\sin(\alpha_i) & -a_i\cos(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & \cos(\theta_i)\cos(\alpha_i) & -\cos(\theta_i)\sin(\alpha_i) & -a_i\sin(\theta_i) \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

### 3.8 등편의 작업영역

본 연구에서는 4 종류의 조종장치 조작 시의 불편도 수준을 magnitude estimation을 이용하여 연속적인 값으로 측정하였으므로, 등편의 작업영역의 생성을 위해서는 불편도 수준의 등급을 나타내는 몇 개의 category로의 변환이 요구된다. 본 연구에서는 '극히 불편함', '매우 불편함', '불편함', '조금 불편함', '보통', '조금 안락함', '안락함', '매우 안락함', '극히 안락함' 등의 9개의 category를 사용하였으며, 이들에 해당하는 불편도 수준에 대한 값들을 불편도 측정 실험이 끝난 직후에 모든 피실험자들로부터 받았다. 이들 9개의 category에 대한 값들은 앞에서와 같은 변환을 거친 다음, 15명의 피실험자에 대한 기하평균을 구하였다(표 5).

본 연구에서는 VDT 작업과 자동차의 center

표 5. category에 대한 불편도

| category | 불편도 크기 |
|---|---|
| 극히 불편함(extremely poor) | 100.0 |
| 매우 불편함(very poor) | 83.9 |
| 불편함(poor) | 67.9 |
| 조금 불편함(poor a little) | 54.7 |
| 보통(so-so) | 41.3 |
| 조금 안락함(good a little) | 31.0 |
| 안락함(good) | 18.3 |
| 매우 안락함(very good) | 10.7 |
| 극히 안락함(extremely good) | 0 |

fascia 등에서 가장 일반적으로 사용되고 있는 누르는(push) 방식의 조종장치 형태인 mouse 조작 시의 '보통(so-so)' 수준의 불편도 수준에 대한 등편의 작업영역을 제시하고자 한다. 등편의 작업영역의 생성 알고리즘에서는 먼저 어깨의 내전과 굴곡이 본 연구에서 설정한 한계인 각각 30°, 50°가 되는 초기 자세를 취한 다음, 표 3에 제시되어 있는 mouse에 대한 불편도 수준 회귀식을 이용하여 '보통' 수준의 불편도(41.3)에 대한 팔꿈치 굴곡각을 결정한다. 이들 3 각도에 대한 transformation matrix를 구하여, 이것들의 곱으로 손끝의 좌표를 계산한다. 다음으로 어깨 굴곡각을 5°씩 증가시켜 가면서 90°가 될 때까지 위의 과정을 반복한다. 이렇게 계산된 손끝의 좌표값들을 연결한 곡선이 어깨를 30°만큼 내전한 평면에서의 등편의 작업영역이 된다. 이러한 과정을 다시 어깨 내전 각도를 5°씩 줄여 가면서 본 연구에서 설정한 외전의 한계인 60°까지 반복하여, 어깨의 내전 혹은 외전 수준에 따른 평면에 대한 등편의 작업영역을 구한다. 이상의 알고리즘은 다음과 같으며, 한국 성인 남자(25~50세)에 대한 자동차 운전석에서의 등편의 작업영역은 다음 그림 7에 제시되어 있다. 위에서

언급한 바와 같이 운전 공간에 배치되어 있는 대부분의 조종장치들은 누름 방식의 push button들로 mouse와 같은 조작 방식이어서, mouse 조작 시의 등편의 작업영역을 운전 공간에 적용할 수 있다. 그림에서는 운전대(steering wheel) 일부만이 '보통' 수준의 등편의 작업영역 안에 들어 있고, display panel과 control panel은 이 범위의 밖에 존재함을 보이고 있다. 여기서, 인체측정치는 1992년도 '산업제품의 표준치 설정을 위한 국민표준체위 조사 보고서'의 자료에 근거하였다(한국표준과학연구원, 1992).

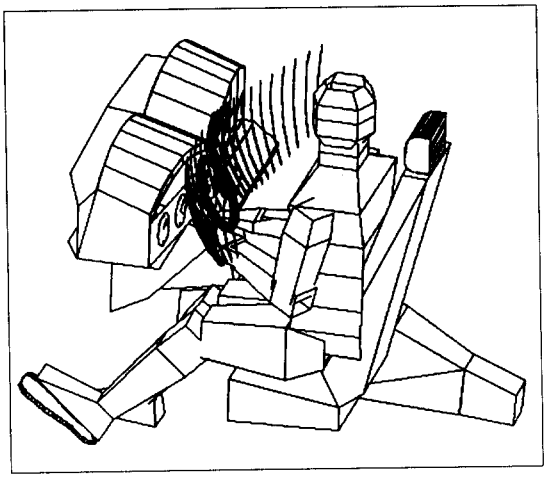


그림 7. 한국 성인 남자의 등편의 작업영역

Step 1. Initialize posture
; shoulder flexion = -130°
shoulder adduction-abduction=30°
(for left hand -30°)

Step 2. Calculate angle of elbow flexion for given shoulder flexion, shoulder adduction-abduction, and discomfort level using the equation suggested in Table 3

Step 3. Compute the position of hand by products of transformation matrix for given shoulder flexion, adduction-abduction, and elbow angles

Step 4. If shoulder flexion ≤ -90°, shoulder flexion = shoulder flexion + 5°
goto step 2

Step 5. If shoulder adduction- abduction ≤ -60° (for left hand 60°), shoulder adduction-abduction = shoulder adduction-abduction - 5°, and shoulder flexion = -130°
(for left hand, shoulder adduction-abduction = shoulder adduction-abduction + 5°)
goto step 2

Step 6. Stop

## 4. 토의 및 결론

본 연구에서는 어깨의 굴곡과 내전-외전, 팔꿈치 굴곡의 인체 동작, 조종장치 종류와 사용 손을 변수로 한 조종장치 조작 시의 지각 불편도 측정 실험을 수행하여, 측정된 피실험자의 주관적 불편도에 근거하여 등편의 작업영역을 제시하였다. 본 연구에서 제시한 3차원 등편의 작업영역은 기존의 2차원적 등편의 작업영역에 비하여 좀 더 일반적으로 작업장 설계 및 평가에 사용되어질 수 있을 것이다. 실험 변수로 현장에서 가장 많이 사용되고 있으며, 사용 시의 조작 방식을 대표할 수 있는 4종류의 조종장치를 포함하여, 이들 각각에 대한 지각 불편도를 추정할 수 있는 회귀식을 제시하여 그 효용성을 제고하였다 하겠다.

기기 조작의 불편도에는 인체 관절의 동작과 조

종장치의 종류가 통계적으로 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 조종장치 조작 시에 사용하는 손은 큰 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다. 조종장치 중에서 mouse 조작 시의 지각 불편도가 가장 작게 나타난 것은, PC에서 Window가 보편화되면서 mouse가 가장 많이 사용되어 피실험자들에게 익숙하게 되었기 때문으로 추정된다. 반면, knob의 불편도가 가장 크게 나타난 것은 knob을 조작하려면 전완과 손의 회전을 요하게 되어 불편도가 크게 나타난 것으로 생각된다. 그러나, 전반적으로는 조종장치 종류간 조작 시의 지각 불편도의 차이는 크지 않은 것으로 나타났다.

본 연구에서는 팔과 손에 대한 등편의 작업영역을 제시하였으나, 추후에는 몸통과 손목의 동작을 포함한 상체(upper body)에 대한 좀 더 일반적인 등편의 작업영역과 하지(lower limb)에 대한 등편의 작업영역의 생성에 관한 연구가 요망된다 하겠다.

## 참 고 문 헌


[1] 기도형, "2자유도 동작범위를 고려한 reach volume의 해석적 생성", 대한산업공학회지, 23(1), 147-162, 1997.

[2] 박성준, 정의승 "사용 편의성에 기초한 주작업영역의 결정", 춘계인간공학회 논문집 (pp.155~164), 1995.

[3] 박성현, 현대실험계획법, 대영사 : 서울, 1984.

[4] 박재희, 고봉기, 김진호, "3차원 동작측정 방법에 의한 인체 파악한계 측정", 대한인간공학회 춘계학술발표대회 논문집(pp.85~89), 1997.

[5] 이상도, 정중희, "인체 계측에 의한 표준 작업역의 연구", 대한산업공학회지, 2(1), 1976.

[6] 한국표준과학연구원, 산업제품의 표준치 설정을 위한 국민표준체위 조사 보고서, 공업진흥청, 1992.

[7] Bullock, M.I., "The determination of functional arm reach boundaries for operation of manual controls", Ergonomics, 17(3), 375-388, 1974.

[8] Diffrient, N., Tilley, A.R. and Harman, D., Human scale, MIT press, 1974.

[9] Farley, R.R., "Some principles of methods and motion study as used in development work", General Motors Engineering Journal, 2, 20-25, 1955.

[10] Fu, K.S., Gonzalez, R.C. and Lee, C.S.G., Robotics, McGraw-Hill Book Company : New York, 1987.

[11] Haslegrave, C.M., "What do we mean by a 'working posture'?", Ergonomics, 37(4), 781-799, 1994.

[12] Hsiao, H. and Keyserling, W.M., "Evaluating posture behavior during seated tasks", Int. J. of Industrial Ergonomics, 8, 313-334, 1991.

[13] Jung, E.S., Kee, D., and Chung, M.K., "Upper body reach posture prediction for ergonomic evaluation models", Int. Journal of Industrial Ergonomics, 16, 95-107, 1995.

[14] Jung, E.S., and Choe, J., "Human reach posture prediction based on psychophysical discomfort", Int. Journal of Industrial Ergonomics, 18, 173-179, 1996.

[15] Kennedy, K.W., Reach capability of the USAF population, AMRL-TDR-64-59, Wright-Patterson Air Force Base, AD608-269, 1964.

[16] Konz, S. and Goel, S.C., "The shape of

the normal working area in the horizontal plane", AIIE Transaction, 1, 70-73, 1969.

[17] Li ,S. and Xi, Z., "The measurement of functional arm reach envelopes for young Chinese males", Ergonomics, 33(7), 967-978, 1990.

[18] Lim, J. and Hoffmann, E., "Appreciation of the zone of convenient reach by naive operators performing an assembly task", Int. J. of Industrial Ergonomics, 19, 187-199, 1997.

[19] Nowak, E., "Determination of the spatial reach area of the arms for workplace design purposes", Ergonomics, 21(7), 493-607, 1978.

[20] Pheasant, S., Bodyspace, Taylor & Francis : London, 1986.

[21] Rebiffe, R., "An ergonomic study of the arramgement of the driving position in motor cars", Proc. of the Institution of Mechanical Engineers, 181, Part 3D, 1966-67, 43-50, 1967,

[22] 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.

[23] van Wely, P., "Design and disease", Applied Ergonomics, 1, 262-269, 1970.

[24] Webb Associates, Anthropometric Source Book, Vol. I, NASA Ref. 1024, Nat'l Aero. Space Admin., Chapters VI & VII, 1978.

[25] Westgaard, R.H. and Aaras, A., "Postural muscle strain as a causal factor in the development of musculo-skeletal illnease", Applied Ergonomics, 15, 162-174, 1984.