

작업장 설계와 평가를 위한 한국인 관절의 안락 동작범위 측정*

Measurement on Comfort Range of Korean Population's Joint Motions for Designing and Evaluating Workplaces*

기 도 형

ABSTRACT

Daily exposure to constrained body postures and deviations from neutral postures over a long period may result in discomfort as well as pains and aches in the muscles, joints, tendons, and other soft tissues. Furthermore, it was known that poor body postures are a major cause of musculoskeletal disorders in industry. Therefore, in this study, comfort ranges of joint motions were obtained as a criterion for evaluating body postures and designing workplaces ergonomically, which were based on subjects' perceived discomfort level estimated by magnitude estimation. Nineteen healthy male subjects participated in the laboratory study. The results showed that comfort ranges of joint motions occurred in the wrist, elbow, neck, and ankle were little less than their normal range of joint motions, but those in the back(L5/S1) and hip joint were much less than their normal ones. This fact implies that the back and hip movements are more stressful than the other joints movements.

It is expected that comfort ranges of joint motions can be used as a valuable guideline when designing and evaluating workplaces.

* 본 연구는 1996년도 계명대학교 비사연구기금으로 이루어졌음

1. 서 론

산업화가 고도로 진행된 선진국뿐만 아니라 우리 나라에서도 기술의 발달로 생활이 윤택해짐에 따라 사용하기 쉬우면서 편리한 제품, 좋은 디자인의 제품, 다기능의 제품에 대한 기대가 높아가고 있다. 이를 위해서는 새로운 Hi-Tech 기술 개발과 더불어 인간이 가지는 능력과 한계를 다루는 인간공학의 여러 기본 원리들에 대한 이해가 요구된다. 제품 설계에서는 인간공학의 다양한 자료와 기법들 중에서 인간의 신체치수(anthropometric dimension)가 우선적으로 고려되며, 이를 바탕으로 여러 다양한 인간공학적 기법들이 적용되어 새로운 제품을 설계하게 된다. 이러한 인간의 신체치수에는 가장 기본이 되는 신장, 팔길이, 체중과 같은 정적 인체치수(static anthropometric dimension)를 들 수 있으나, 실제 설계에서는 이보다는 움직이는 인체에서 측정된 reach envelope, 관절의 동작범위(range of motion) 등의 동적 인체치수(dynamic anthropometric dimension)가 중요한 역할을 한다. 선진 외국, 특히 미국의 NASA에서는 인체의 정적 치수를 1,000여개에 이르는 신체 부위에 대하여 수십년 전부터 측정, 발표하여 오고 있으며 (Webb Associates, 1978), 인체 관절의 동작범위와 팔의 작업영역(workspace, reach volume) 등의 동적 인체치수에 대한 다양한 연구 결과들이 발표되어 제품설계 및 평가에 활용되고 있다. 우리나라에서는 공업진흥청이 1980년부터 100여개의 부위에 대한 정적 인체치수 자료를 발표하여 오고 있으며, 최근의 자료로는 1992년에 발표한 한국표준과학연구원의 국민표준체위조사보고서를 들 수 있다. 한국인에 대한 동적 인체 측정 치수로는 이영신 등(1996)의 팔 관절 동작범위, 기도형(1997)의 가상 hip 관절과 하지 관절의 동작범위와 robot 기구학을 이용한 작업영역의 해석적 생성 등에 대

한 연구를 들 수 있으나, 선진 외국에 비하여 매우 부족한 상태에 있어, 제품 설계에 한국인의 동적 특성을 제대로 반영하지 못하고 있는 실정이다.

중립 자세로부터 벗어난 부자연스러운 자세는 일상 생활에서 가장 흔히 발견할 수 있는 정적 근육 활동 형태이다. 이러한 부자연스러운 자세를 장시간 유지하면 근육, 관절, 건과 연조직(soft tissue)에 불편(discomfort) 뿐만 아니라, 통증(pain)과 동통(ache)을 유발한다(Corlett et al., 1986; Grandjean, 1988). 또한, 좋지 못한 자세(poor body posture)는 산업체에서의 근골격계 질환의 주요한 원인으로 알려져 있다(Aaras, 1988; Burdorf et al., 1991; Keyserling et al., 1988; Ryan, 1989). 현재까지 이러한 자세를 평가하기 위하여 OWAS, VIRA, RULA 등의 자세 분류 체계(postural classification scheme)가 개발되어 사용되고 있으며, 새로운 제품의 설계 시에는 Diffrient et al.에 의한 운전석에 앉았을 때의 안락 동작범위(joint angle of comfort)가 사용되고 있다(Diffrient et al., 1985; Juul-Kristensen et al., 1997). 여기서 안락 동작범위(comfort range of motion)란 각 관절의 운동 시에 불편을 느끼지 않고 움직일 수 있는 관절의 운동범위를 의미한다. 현재까지 발표되어 있는 미국인에 대한 안락 동작범위는 많은 수의 피실험자들이 제각각 취하는 자세에서의 각 관절각 분포에 대한 표준편차의 약 ± 2 배 정도의 범위에 해당되는 것으로 알려져 있다(정의승 등, 1997). 그러나, 이러한 안락 동작 범위는 한국인의 인체 특성을 반영한 것이 아닐 뿐만 아니라, 제한적인 자세와 관절에 대한 것만 제시되어 있다.

따라서, 본 연구에서는 한국인에 대한 실제로 불편을 느끼지 않는 주요 관절 동작에 대한 주관적 불편도에 근거한 안락 동작범위를 측정, 제시하고자 한다. 여기서 측정 대상 관절로는 손목, 팔꿈치, 어깨, L5/S1의 가상 hip 관절, hip 관절, 무릎관절

과 발목 관절 등의 대부분의 인체 관절을 포함하며, 각 관절에서도 굴곡(flexion), 신전(extension), 내·외전(adduction-abduction), 내·외선(medial rotation-lateral rotation), lateral bending 등의 대표적 동작 자유도(degree of freedom)에 대하여 안락 동작범위를 측정한다. 이러한 측정 결과는 안전한 작업장, 자동차 등의 안락한 내장공간의 설계와 작업 자세 평가의 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

2. 실험방법

2.1 피실험자

본 연구의 실험에는 19명의 남자 대학 및 대학원 학생이 참여하였으며, 이들은 과거에 근골격계 질환의 경력이 없는 건강한 학생들이다. 피실험자들의 인체 측정치는 나이 25.4 ± 2.7 세, 신장 171.9 ± 6.0 cm, 그리고 체중 67.1 ± 7.0 kg을 보였다.

2.2 실험방법

본 연구에서는 안락 동작범위의 설정을 위하여 각 관절 동작에서의 동작 수준에 따른 주관적 불편도를 magnitude estimation을 이용하여 측정하였으며, 실험 전에 피실험자들이 magnitude estimation을 수행할 수 있는 능력이 있는 지를 numerical estimation을 이용하여 평가하여 수행 능력이 없는 피실험자들을 제거하였다. magnitude estimation에는 피실험자의 응답 방식으로 초기 기준을 제시하는 modulus method와 초기 기준을 제시하지 않는 free modulus 방법이 있으나, 본 연구에서는 피실험자 자신의 scale로 자유롭게 응답하게 하는 free modulus 방법을 채택하였다(한성호 등, 1993; Gescheider, 1985).

인체 관절 동작 불편도는 앉은 자세와 선 자세에서 각각 측정하였으며, magnitude estimation

중 free modulus 방법을 사용하여 피실험자 각각의 scale로 평가하게 하였다. 앉은 자세는 팔걸이가 없고 등받이가 90°인 의자에 앉은 자세이며, 선 자세는 발목의 신전이 가능하도록 바닥에서 20 cm 높이의 발판 위에 선 자세이다. 본 연구의 측정에 포함된 자세는 다음 표 1에 정리되어 있으며, 손목, 팔꿈치, 어깨, 목, 등(가상 hip 관절, 즉 L5/S1), hip 관절, 무릎과 발목의 주요 동작 자유도를 포함한다. 불편도 측정 시의 동작 자유도의 자세는 손목, 팔꿈치, 목, hip, 무릎과 발목의 경우는 Murrell (1969)이 제시한 방법을 따랐으며, 어깨 동작의 측정 방법은 Chaffin과 Andersson (1991), Kroemer et al. (1994)이 제시한 방법을, 등(back)의 동작은 기도형 (1996)이 제시한 측정 방법을 이용하였다. 앉은 자세에서는 의자의 제약으로 인해 측정할 수 없었던 등의 신전, hip 관절의 신전과 내전, 무릎의 굴곡이 선 자세에서 추가되었다.

실험 전에 각 피실험자에 대한 불편도 측정 대상 동작 자유도에 대하여 위에서 제시한 기존의 측정 방법들을 이용하여 동작범위를 측정하여, 이들의 평균치를 각 동작 자유도에 대한 동작범위로 하였다. 불편도 측정은 각 관절의 동작 자유도의 동작범위의 0%, 25%, 50%, 75%, 100%에서 이루어졌으며, 100% 수준은 각 피실험자별 개인의 동작범위를 의미한다. 여기서 각 동작 자유도의 동작범위는 다른 자유도 혹은 관절의 동작에 영향을 받아 작아지거나 크게 나타나기도 하지만, 본 연구에서는 측정 대상의 1자유도 동작에 대한 지각 불편도를 측정하였다. 지각 불편도 측정 시에 측정 대상이 아닌 동작 자유도는 중립(neutral) 자세를 취하도록 하여, 관련되지 않은 동작 자유도의 영향을 최소화하도록 하였다. 그리고, 주어진 동작 자유도의 자세를 취할 때 손은 아무런 부하(load)없이 펼친 자세를 취한다. 지각 불편도 측정은 선 자세와 앉은 자세를 포함한 모든 측정 자세를 완전

표 1. 불편도 측정 관절과 동작

관 절	선 자 세	앉 은 자 세
손 목	굴 곡 - 신 전 (flexion-extension) 요 골 편 향 (radial deviation) 측 골 편 향 (ulnar deviation)	굴 곡 - 신 전 측 골 편 향 요 골 편 향
팔꿈치	굴 곡 supination - pronation	굴 곡 supination - pronation
어깨	굴 곡 - 신 전 내 전 - 외 전 내 선 - 외 선 (medial rotation-lateral rotation)	굴 곡 - 신 전 내 전 - 외 전 내 선 - 외 선
등 (back)	굴 곡 - 신 전 rotation lateral bending	굴 곡 - 신 전 rotation lateral bending
목 (neck)	굴 곡 - 신 전 rotation lateral bending	굴 곡 - 신 전 rotation lateral bending
hip	굴 곡 - 신 전 내 전 - 외 전 내 선 - 외 선 (internal rotation - external rotation)	굴 곡 외 전 내 선 - 외 선
무릎	굴 곡	*
발목	굴 곡 - 신 전 (dorsi flexion-plantar flexion) 내 전 - 외 전	굴 곡 - 신 전 내 전 - 외 전

* : 측정하지 않았음

randomize하여 이루어졌다. 한 명의 피실험자의 불편도 측정에는 약 8~10시간이 소요되었으며, 하루 2시간여씩 4일간에 걸쳐 측정이 이루어졌다.

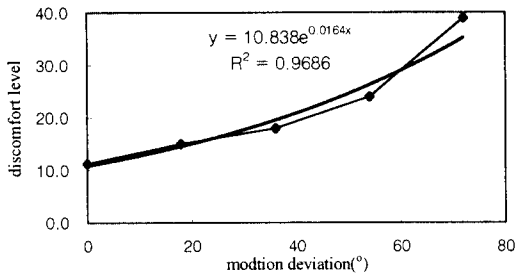
3. 결 과

전술한 바와 같이 주어진 자세에서의 주관적 불편도를 magnitude estimation 중 free modulus 방법을 이용하여 측정하였기 때문에, 각 피실험자마다 불편도 평가에 사용된 scale이 다르게 된다. 따라서, 본 연구에서는 먼저 각 피실험자에 대

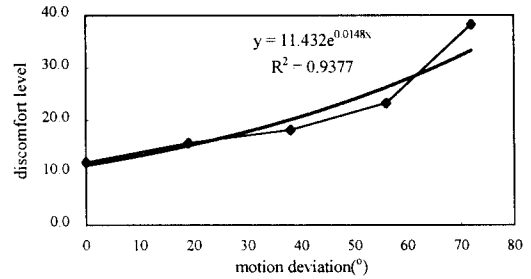
하여 평가 수치들 중의 최대값을 찾아, 모든 평가치들을 최대값으로 나누는 최대변환(maximum transformation)을 각 피실험자별로 수행하여 scale이 같게 하였다. 최대 변환된 자료를 다시 19명의 피실험자에 대한 기하평균(geometric mean)을 구하여 분석에 대표값으로 사용하였다.

3.1 동작수준과 불편도의 관계

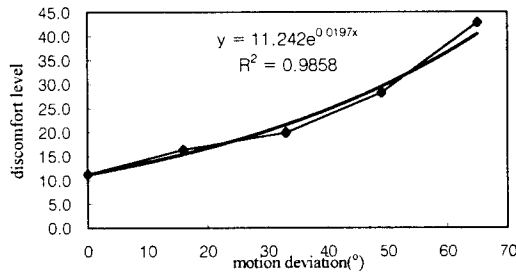
팔꿈치 관절에서의 동작 수준에 따른 불편도의 경향은 다음 그림 1, 2에 나와 있으며, 그림에서 보는 바와 같이 동작 수준이 증가함에 따라 불편



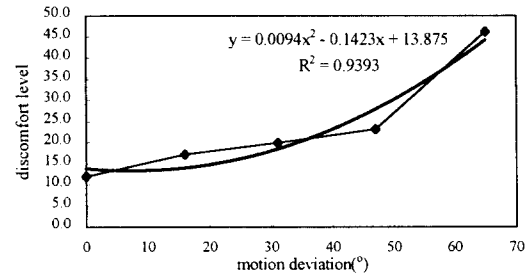
(a) 굴 꺾



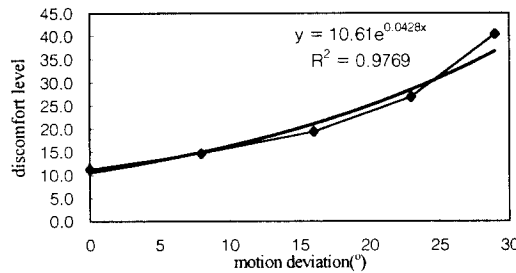
(a) 굴 꺾



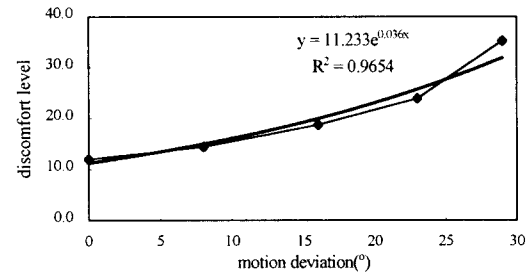
(b) 신 전



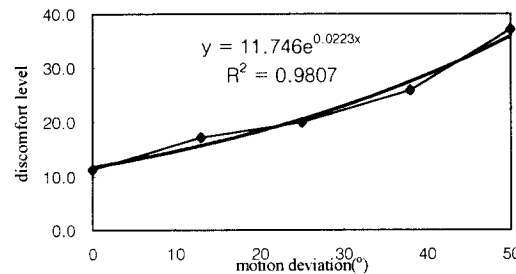
(b) 신 전



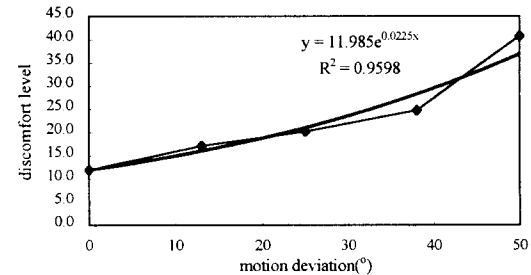
(c) 요골편향



(c) 요골편향



(d) 측골편향



(d) 측골편향

그림 1. 앉은 자세에서의 손목 관절의 지각 불편도

그림 2. 선 자세에서의 손목 관절의 지각 불편도

표 2. 관절별 동작 수준에 따른 불편도 식

관 절	선 자 세			앞 은 자 세		
	동작 자유도	관 계 식	R ² (%)	관 계 식	R ² (%)	
손 목	굴 곡	$y = 11.432e^{0.0148x}$	93.8	$y = 10.838e^{0.0164x}$	96.9	
	신 전	$y = 0.0094x^2 - 0.1423x + 13.9$	93.9	$y = 11.242e^{0.0197x}$	98.6	
	요 골 편 향	$y = 11.233e^{0.036x}$	96.5	$y = 10.61e^{0.0428x}$	97.7	
	측 골 편 향	$y = 11.985e^{0.0225x}$	96.0	$y = 11.746e^{0.0223x}$	98.1	
팔꿈치	굴 곡	$y = 0.0004x^2 + 0.0968x + 8.6$	93.3	$y = 0.0004x^2 + 0.0947x + 7.7$	91.0	
	supination	$y = 0.0023x^2 - 0.092x + 14.7$	90.4	$y = 0.0028x^2 - 0.112x + 12.4$	96.2	
	pronation	$y = 0.0042x^2 - 0.1358x + 14.4$	90.4	$y = 10.11e^{0.0144x}$	96.1	
어 깨	굴 곡	$y = 9.4865e^{0.0101x}$	95.5	$y = 0.2753x + 7.6$	96.0	
	신 전	$y = 0.6908x + 7.4$	98.4	$y = 0.873x + 5.4$	99.8	
	내 전	$y = 17.012e^{0.0255x}$	95.2	$y = 19.182e^{0.027x}$	97.6	
	외 전	$y = 17.994e^{0.0088x}$	98.5	$y = 20.14e^{0.0088x}$	96.7	
	내 선	$y = 17.459e^{0.0078x}$	98.3	$y = 0.0024x^2 - 0.027x + 24.7$	98.6	
	외 선	$y = 18.011e^{0.0309x}$	98.5	$y = 1.1187x + 22.6$	98.3	
목	굴 곡	$y = 0.4268x + 7.2$	97.9	$y = 0.4507x + 6.1$	95.7	
	신 전	$y = 0.4899x + 6.1$	99.0	$y = 0.6134x + 3.9$	99.1	
	rotation	$y = 7.8539e^{0.0214x}$	89.7	$y = 6.1279e^{0.0263x}$	95.6	
	lateral bending	$y = 7.8238e^{0.0305x}$	94.2	$y = 6.1006e^{0.0386x}$	96.2	
등	굴 곡	$y = 0.5153x + 8.4$	97.6	$y = 0.5346x + 7.0$	99.6	
	신 전	$y = 2.3792x + 8.1$	99.9	*		
	rotation	$y = 8.9394e^{0.0191x}$	97.5	$y = 0.7497x + 4.1$	98.5	
	lateral bending	$y = 1.6942x + 7.3$	98.9	$y = 1.7793x + 6.8$	97.9	
hip	굴 곡	$y = 1.0941x + 10.2$	99.6	$y = -0.0248x^2 + 2.7488x + 11.3$	94.1	
	신 전	$y = -0.0112x^2 + 1.8682x + 11.3$	96.2	*		
	내 전	$y = 1.87x + 10.4$	98.4	*		
	외 전	$y = -0.0106x^2 + 1.9452x + 9.4$	98.6	$y = -0.0056x^2 + 1.3537x + 7.8$	98.8	
	내 선	$y = -0.0099x^2 + 1.5759x + 21.4$	94.6	$y = -0.0192x^2 + 2.1732x + 8.7$	96.9	
	외 선	$y = -0.0191x^2 + 2.4085x + 21.1$	97.1	$y = 2.286x + 11.5$	97.9	
무 료	굴 곡	$y = 0.4223x + 11.9$	94.0	*		
발 목	굴 곡	$y = 0.0042x^2 + 0.7061x + 10.3$	99.6	$y = 7.0102e^{0.0438x}$	96.5	
	신 전	$y = 0.8027x + 9.1$	97.9	$y = 0.8719x + 4.0$	95.3	
	내 전	$y = 0.9562x + 8.3$	97.9	$y = 6.761e^{0.047x}$	96.7	
	외 전	$y = 0.0118x^2 + 0.2366x + 11.2$	97.3	$y = 6.3066e^{0.0421x}$	96.5	

*: 측정하지 않았음

†: y는 지각불편도, x는 동작자유도의 수준을 나타냄, 단 $0 \leq x \leq$ 동작 자유도 동작범위

도가 증가하고 있음을 볼 수 있다. 각 동작 자유도에서의 증가 경향을 fitting한 식이 그림에 나와 있으며, 그 형태는 선형, 포물선 혹은 로그 함수 등의 형태를 보이고 있다. 앉은 자세와 선 자세에서의 손목 관절의 불편도는 비슷한 크기와 증가 경향을 보이고 있다.

위와 같은 방법으로 구한 팔꿈치, 어깨, 목, 등, hip, 무릎과 발목 관절의 동작 수준에 따른 불편도의 증가 경향에 대한 회귀식은 표 2에 정리되어 있다. 표에서 보는 바와 같이 본 연구에서 측정된 모든 동작 자유도의 수준에 따른 지각 불편도를 선형, 포물선 혹은 로그 함수의 형태로 fitting할 때, R^2 값이 선 자세에서의 목의 rotation이 89.7%를 보인 것을 제외하고는 90% 이상을 보여 fitting 정도가 매우 높음을 알 수 있다.

3.2 지각 불편도의 일상 용어로의 표현

본 연구에서는 동작 자유도의 수준에 따른 지각 불편도를 magnitude estimation 중 free modulus 방법을 사용하여 평가하였으므로, 이를 안락 동작범위로의 변환을 위해서는 새로운 변환 기준을 요한다. 따라서, 본 연구에서는 지각 불편도 수준을 일상 생활에서 사용하며, category scaling에서 많이 사용되는 9개의 category로 변환하고자 한다. 이를 위해서 실험이 끝난 후에 피실험자가 평가한 불편도 측정 결과를 보여주고, 자신이 평가한 불편도 수준에 근거하여 9개의 category에 해당하는 점수를 부여하게 하였다. 이를 다시 앞에서와 같이 최대 변환을 한 다음, 기하평균을 구하여 이를 9개의 category에 해당하는 불편도 수준으로 가정하였다. 여기서, 사용된 9개의 category는 ‘극히 불편함’, ‘매우 불편함’, ‘불편함’, ‘조금 불편함’, ‘보통’, ‘조금 안락함’, ‘안락함’, ‘매우 안락함’, ‘극히 안락함’ 등이다. 이들 category에 대한 백분율로 나타낸 불편도의 크기는 다음 표 3에 정리되어 있다.

‘극히 불편함’에서 ‘극히 안락함’으로 갈수록 category간의 간격이 좁아짐을 볼 수 있다.

표 3. category에 대한 불편도

category	불편도 크기
극히 불편함(extremely poor)	100.0
매우 불편함(very poor)	80.4
불편함(poor)	64.1
조금 불편함(poor a little)	49.9
보통(so-so)	35.9
조금 안락함(good a little)	26.7
안락함(good)	16.3
매우 안락함(very good)	9.9
극히 안락함(extremely good)	6.9

3.3 안락 동작범위

본 연구에서는 위에서 언급한 9개의 category 중 ‘극히 안락함’에서 ‘보통’까지를, 즉 심한 불편을 느끼지 않는 영역을 안락 영역으로 가정하고, 표 2에서 제시한 식을 이용하여 각 관절 동작의 안락 동작범위를 산정한다. 종속변수에 ‘보통’의 category에 해당하는 불편도 ‘35.9’를 대입할 때의 독립변수 값이 안락 동작범위의 경계가 된다. 즉, 중립 자세(neutral position)에서 위에서 구한 경계값까지가 안락 동작범위가 된다. 여기서, 제시한 식을 이용하여 구한 독립변수(x)의 값이 동작범위의 한계치를 벗어날 경우는 그 값을 동작범위의 한계치로 대치하고, 0보다 작을 경우는 안락 동작범위의 경계값을 0으로 한다 (이 경우는 주어진 category에 해당하는 안락 동작범위가 존재하지 않음을 의미한다). 이렇게 하는 이유는 안락 동작범위의 경계값이 주어진 자유도의 동작범위를 벗어나는 것은 현실적으로 의미가 없기 때문이다. 각 관절 동작에 대한 안락 동작범위는 다음 표 4에 정리되어 있다. 표에서 보

표 4. 관절 동작의 안락 동작범위

관 절	선 자 세				앞 은 자 세		
	자 유 도	안락 동작범위 (°) (1)	동 작 범 위 (2)	(1)/(2) [†]	안락 동작범위 (°) (1)	동작범위 (2)	(1)/(2)
손 목	굴 곡	0~ 72	72	1.00	0~ 72	72	1.00
	신 전	0~ 57	65	0.88	0~ 60	65	0.92
	요 골 편 향	0~ 29	29	1.00	0~ 28	29	0.96
	측 골 편 향	0~ 49	50	0.98	0~ 50	50	1.00
팔꿈치	굴 곡	0~145	145	1.00	0~145	145	1.00
	supination	0~ 85	119	0.71	0~114	119	0.96
	pronation	0~ 87	87	1.00	0~ 87	87	1.00
어 깨	굴 곡	0~132	184	0.72	0~103	184	0.56
	신 전	0~ 41	72	0.57	0~ 35	72	0.49
	내 전	0~ 29	44	0.66	0~ 23	44	0.52
	외 전	0~ 78	132	0.59	0~ 67	132	0.51
	내 선	0~ 92	116	0.79	0~ 74	116	0.64
	외 선	0~ 22	32	0.69	0~ 12	32	0.38
목	굴 곡	0~ 67	69	0.97	0~ 66	69	0.96
	신 전	0~ 61	95	0.64	0~ 52	95	0.55
	rotation	0~ 71	71	1.00	0~ 67	71	0.94
	lateral bending	0~ 49	51	0.96	0~ 46	51	0.90
등	굴 곡	0~ 53	115	0.46	0~ 54	94	0.57
	신 전	0~ 12	36	0.33	*	*	*
	rotation	0~ 73	96	0.76	0~ 42	70	0.60
	lateral bending	0~ 17	38	0.45	0~ 16	35	0.46
hip	굴 곡	0~ 23	80	0.29	0~ 10	45	0.22
	신 전	0~ 14	51	0.27	*	*	*
	내 전	0~ 14	28	0.50	*	*	*
	외 전	0~ 15	61	0.25	0~ 23	77	0.30
	내 선	0~ 10	48	0.21	0~ 14	42	0.33
	외 선	0~ 6	43	0.14	0~ 11	32	0.34
무릎	굴 곡	0~ 57	116	0.49	*	*	*
발 목	굴 곡	0~ 31	36	0.86	0~ 33	36	0.92
	신 전	0~ 33	36	0.92	0~ 36	36	1.00
	내 전	0~ 29	38	0.76	0~ 36	38	0.95
	외 전	0~ 37	41	0.90	0~ 41	41	1.00

* : 측정하지 않았음. † : (1)의 최대값을 (2)로 나눈 것임

는 바와 같이 손목, 팔꿈치, 목, 발목 관절에서 일어나는 대부분의 동작 자유도의 안락 동작범위는 동작범위의 80% 이상을 차지하고 있어, 이들 관절의 지각 불편도가 다른 관절 동작에 비하여 적음을 알 수 있다. 그러나, hip과 등(back)의 안락 동작범위는 동작범위에서 차지하는 비중이 작아, 상대적으로 부하가 큼을 알 수 있다. 표 4에서는 '보통'까지의 안락 동작범위를 제시하였으나, 제시된 회귀식을 이용하면 다른 수준의 등편의 동작범위(isocomfort range of motion)도 구할 수 있다.

4. 토의 및 결론

본 연구에서는 인체의 주요 관절 -손목, 팔꿈치, 어깨, 목, 등(L5/S1), hip, 무릎과 발목에서 일어나는 대부분의 동작 자유도에 대한 안락 동작범위를 제시하였다. 각 관절 동작 자유도의 안락 동작범위와 더불어, 동작 자유도에 대한 회귀식을 제시하여 원하는 수준에 대한 등편의 동작범위도 생성할 수 있게 하여 그 유용성을 제고하였다 하겠다. 손목, 팔꿈치, 발목과 무릎의 동작범위의 많은 부분이 안락 동작범위로 구성되어 있으며, 등과 hip 관절은 상대적으로 동작에 따른 지각 불편도가 커 안락 동작범위가 작게 나타났다. 이러한 본 연구에서 제시한 각 관절의 안락 동작범위는 안전한 작업장 설계를 위한 설계 지침으로, 기존의 작업 자세를 평가할 때의 기준으로 사용되어질 수 있을 것이다. 이는 미국인에 대한 안락 동작범위만 발표되어 있는 상황에서, 한국인의 동적 인체 특성을 나타내는 주요한 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

손목 관절의 동작 자유도 중 요골편향과 측골편향의 안락 동작범위가 동작범위에 가까워, 이들의 지각 불편도가 매우 적음을 나타냈다. 그러나, 이들 동작은 CTS(carpal tunnel syndrome) 질환 발병의 주요 원인으로 알려져 있어, 인간공학설

계 지침에는 이들 동작을 가능하면 최소화하여야 한다고 되어 있다(Sanders & McCormick, 1993). 실제 생활에서는 이들 동작의 지각 불편도가 적어 자주 발생할 것으로 예상되어, 이러한 동작의 위험성에 대한 안전 교육이 요망된다 하겠다. 그러나, 이러한 현상은 지각 불편도의 측정 시에 손에 부하를 가하지 않았기 때문으로 생각되며, 만약 불편도를 측정할 때 부하를 가할 경우는 위의 자세에 대한 불편도가 상대적으로 커질 것으로 예상되어, 본 연구의 해석과는 달라질 수도 있을 것이다.

본 연구에서는 불편과 안락을 서로 정반대의 개념으로 보는 1차원적 개념에 근거하여 동작 수준에 따른 지각 불편도를 측정하여, 각 관절의 동작 자유도에 대한 안락 동작범위를 제시하였다. 그러나, Zhang et al.(1996)은 불편과 안락은 정반대의 개념이 아니라, 불편이 감소하면 안락이 증가하는 2차원적 개념을 제시하였다. 따라서, 이러한 새로운 개념에 근거한 안락 동작범위에 대한 연구가 있어야 할 것으로 생각된다. 본 연구에서는 1자유도에 대한 안락 동작범위를 제시하였으나, 인간의 해부학적 특성상 2자유도 이상의 동작이 일어나면 서로 영향을 미칠 것이므로 2자유도 이상의 동작에 대한 안락 동작범위에 대한 연구가 요망된다. 그리고, 본 연구에서는 주어진 동작 자유도를 취할 때 손에 아무런 부하도 가하지 않았으나, 부하의 크기와 경과 시간에 따라 지각 불편도도 달라질 것이므로 이에 대한 추후 연구도 있어야 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] 기도형, "작업영역의 해석적 생성을 위한 2자유도 동작의 동작범위 측정", 대한인간공학회지, 15(2), 15~24, 1996.
- [2] 기도형, "2자유도 동작범위를 고려한 reach

- volume의 해석적 생성”, 대한산업공학회지, 23(1), 147~162, 1997.
- [3] 이영신, 이석기, 김철중, 박세진, “한국인 20대 청년의 팔 관절 동작범위 측정 연구”, 대한인간공학회지, 15(1), 39~52, 1996.
- [4] 정의승, 윤명환, 전영호, 기도형, 삼성전자자동차 휴먼웨어엔지니어링 기술개발 및 적용 1차년도 보고서, 포항공과대학교, 1997.
- [5] 한국표준과학연구원, 산업제품의 표준치 설정을 위한 국민표준체위 조사 보고서, 공업진흥청, 1992.
- [6] 한성호, 정의승, 정무영, 박성준, 광지영, 최필성, “Magnitude estimation기법을 이용한 설계 대안의 평가”, 대한인간공학회지, 12(2), 3~13, 1993.
- [7] Aaras, A., Westgaard, R.H., and Strandén, E., “Postural angles as an indicator of postural load and muscular injury in occupational work situations”, *Ergonomics*, 31, 915~933, 1988.
- [8] Burdorf, A., Govaert, G., and Elders, L., “Postural load and back pain of workers in the manufacturing of prefabricated elements”, *Ergonomics*, 34, 909~918, 1991.
- [9] Chaffin, D.B., and Andersson, G.B.J., *Occupational biomechanics*, 2nd ed, John Wiley & Sons Inc. : New York, 1991.
- [10] Corlett, E.N., Wilson, J., and Manenica, I., *The ergonomics of working postures*, Taylor & Francis : London, 1986.
- [11] Diffrient, N., Tilley, A.R., and Harman, D., *Human Scale*, MIT press : Massachusetts, 1985.
- [12] Gescheider, G.A., *Psychophysics: method, theory, and application*, 2nd Ed., Lawrence Erlbaum Associates : London, 1985.
- [13] Grandjean, E., *Fiting the task to the man : A textbook of occupational ergonomics*, 4th edn, Taylor & Francis : London, 1988.
- [14] Juul-Kristensen, B., Fallentin, N., and Ekdahl, C., “Criteria for classification of posture in repetitive work by observation methods: A review”, *Int. J. of Industrial Ergonomics*, 19, 397~411, 1997.
- [15] Keyserling, W.M., Punnett, L., and Fine, L.J., “Trunk posture and back pain: identification and control of occupational risk factors”, *Applied Industrial Hygiene*, 3, 87~92, 1988.
- [16] Kroemer, K., Kroemer, H., and Kroemer-Elbert, K., *Ergonomics : How to Design for Ease & Efficiency*, Prentice Hall : Englewood Cliffs, 1994.
- [17] Murrell, K., *Ergonomics*, Chapman and Hall : London, 1969.
- [18] Ryan, G.A., “Musculo-skeletal symptoms in supermarket workers”, *Ergonomics*, 32, 359~371, 1989.
- [19] Sanders, M.S., and McCormick, E.J., *Human factors in engineering and design*, 7th edn, McGraw-Hill Book company : New York, 1993.
- [20] Webb Associates, *Anthropometric Source Book*, Vol. I, Ch. VI, NASA Ref. 1024, National Aeronautics and Space Administration, 1978.
- [21] Zhang, L., Helander, M.G., and Drury, C.G., “Identifying factors of comfort and discomfort in sitting”, *Human Factors*, 38(3), 377~389, 1996.