

# 심물리학적 방법을 이용한 정적 관절 동작에 대한 여성의 지각 불편도 Ranking

기도형<sup>†</sup>

계명대학교 기계·자동차공학부

## Rankings for Perceived Discomfort of Static Joint Motions for Females Based on Psychophysical Scaling Method

Do-hyung Kee

Faculty of Mechanical and Automotive Engineering, Keimyung University, Daegu, 704-701

The purposes of this study are to investigate perceived discomfort for static joint motions, and to propose rankings for the joint motions based on the perceived discomfort. The perceived discomfort was measured through an experiment using the free modulus method of the magnitude estimation, in which ten healthy college-age female students participated. The results showed that joints, joint motions and their levels significantly affected the perceived discomfort at  $\alpha = 0.01$ , and that the interaction of joints and joint motion levels was also significant. Based on the experimental results, three rankings were proposed by joint and joint motions, by joints and by joint motions, which were very different from the existing ones. Especially, the proposed rankings were different from the males' published before in their order and magnitude. These rankings can be used as a valuable tool for better understanding potentially adverse effects of poor working postures in industrial sites, and as basic data for developing the postural classification scheme.

**Keywords:** discomfort, joint motion, postural load/stress, ranking

### 1. 서론

자세는 작업의 수행도 향상뿐만 아니라 작업을 하는 동안의 건강 증진과 부하(stress), 불편 등을 최소화하는데 있어서 중요한 요소이다(Haslegrave, 1994). 좋지 못하거나 거북한 자세(poor or awkward posture) 혹은 제한된 자세(constrained posture)는 자세 부하(postural stress), 피로, 통증(pain) 등을 유발하여 작업자로 하여금 근육이 회복될 때까지 작업을 멈추게 하기도 하고(Haslegrave, 1994), 이러한 자세가 장기간 반복되면 근골격계 질환(musculoskeletal disorders)의 원인이 되기도 한다(Aaras *et al.*,

1988; Burdorf *et al.*, 1991; Keyserling *et al.*, 1988). 그러나, 많은 문헌들에서 언급되고 있는 자세에 관한 지침들은 적절하거나 (suitable) 건강에 좋은(healthy) 자세를 제공하라고 권고하고 있으나, 어떠한 자세가 좋은 지 나쁜 지를 판단하는 기준은 제시하지 않고 있다(Haslegrave, 1994).

적절하거나 그렇지 않은 자세를 판단하는 한 방법으로는 좋은 자세로 작업할 수 있는 작업장을 설계하는 인간공학적인 원칙(Haslegrave, 1994), 선호 시야(Grandjean, 1988), 장시간의 시각 작업 시의 안락한 머리 자세(Chaffin, 1973), 앉은 자세에서의 안락 관절 동작 범위(Rebiffe, 1967) 등이 사용되어 왔다. 그리고,

본 논문은 2000년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음.(KRF-2000-041-E00135)

<sup>†</sup>연락처: 기도형 교수, 704-701, 대구시 달서구 신당동 1000, 계명대학교 기계·자동차공학부, Fax : 053-580-5165, e-mail : dhkeec@kmu.ac.kr  
2002년 1월 접수, 2회 수정 후 2002년 11월 게재 확정.

Genaidy와 Karwowski(1993), Genaidy *et al.*(1995), Shin *et al.*(1997)은 지각 불편도를 바탕으로 관절 동작에 대한 지각 불편도의 ranking system을 제시하여 자세 부하를 측정하거나 좋지 못한 자세의 영향 등을 판단할 수 있게 하였다. 이러한 ranking system은 다양한 관절 동작이 작업자의 건강에 미치는 요인을 이해하는 데 도움이 되며, 자세 분류 체계(postural classification scheme) 개발의 자료로 활용될 수도 있다(Genaidy *et al.*, 1995). 그러나 Genaidy *et al.*(1995)과 Shin *et al.*(1997)은 남성 피실험자만을 대상으로 한 실험 결과에 근거한 ranking system을, Genaidy와 Karwowski(1993)의 연구에서는 남녀 피실험자가 실험에 참여하였으나 결과는 성별 구분 없이 제시하고 있어서 여성의 관절 동작에 대한 부하나 ranking system은 없는 실정이다. 산업화가 진행되어 갈수록 여성의 사회 참여가 증가하여 작업 현장에서 인력 작업(manual work)에 종사하는 여성 작업자 수는 점점 증가하고 있다. 반면, 여성의 근력은 남성의 약 50% 전후 정도의 수준으로 작은 것으로 알려져 있어(Chaffin *et al.*, 1999) 여성의 관절 동작에 대한 지각 불편도도 남성과 다를 것으로 기대되나, 이에 대한 연구는 없는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 여성 피실험자를 대상으로 정적 관절 동작에 대한 지각 불편도를 심물리학적 방법(psychophysical method)으로 측정하여 관절 동작 수준에 따른 지각 불편도의 증가 경향을 살펴보고, 이를 바탕으로 관절 동작에 대한 여성의 ranking system을 제시하고자 한다. 지각 불편도는 관절 동작의 수준에 따라 달라질 수 있으므로, 관절 동작 범위(range of motion: ROM)를 측정하여 이의 수준에 따라 불편도를 측정하였다. 관절 동작은 측정자에 따라 조금씩 다르게 정의되고 있으나, 본 연구에서는 Murrell(1969), Chaffin *et al.*(1999), Hsiao와 Keysertling(1991) 등의 정의를 따라 동작 범위를 측정하였다.

자세 부하는 다양한 생리적 혹은 생체역학적 척도로 측정 가능하나, 본 연구에서는 다음과 같은 기존 연구 결과들을 참조하여 주관적 불편도로 자세 부하를 측정·평가하였다.

- 1) 지각 불편도는 작업 자세, 가한 노력(effort)과 연관되어 있는 통증(pain)의 지각과 관련되어 있어 작업장이나 작업(task)의 설계/재설계, 안전 관점에서 작업자의 관찰 등에 판단 기준으로 사용되어질 수 있는 것으로 알려져 있다(Cameron, 1996).
- 2) 작업장에서 불편은 근골격계질환의 전조(precursor)로 간주되기도 하고 생체역학적 부하에 대한 단기 반응으로 사용될 수 있으며(Lin and Radwin, 1998), 작업장의 개선을 통하여 불편을 최소화하면 근골격계질환에 대한 위험 요인을 줄일 수 있는 것으로 알려져 있다(Dul *et al.*, 1994).
- 3) 불편도와 같은 심물리학적 척도가 EMG, 심박수, 근력, torque 등의 생리학적 혹은 생체역학적 자료와 밀접하게 관련되어 있고(Boussenna *et al.*, 1982; Lin and Radwin, 1998), 자세 지속 시간(holding time of posture)과 불편도는 자세 부하의 적절한 척도가 될 수 있음이 알려져 있다(Corlett and Bishop, 1976).

## 2. 방법

### 2.1 피실험자

인체 관절 동작의 불편도 측정 실험에는 과거 근골격계질환의 병력이 없는 건강한 여성 피실험자 10명이 참여하였다. 피실험자 10명의 나이, 신장, 몸무게의 평균과 표준편차는 다음과 같다.

(1) 연령 :  $21.4 \pm 1.4$  세; (2) 신장 :  $161.4 \pm 3.5$  cm (3) 체중 :  $54.3 \pm 4.8$  kg. 피실험자들에게는 참여한 실험 시간에 대한 약간의 수당을 지불하였다.

### 2.2 측정 대상 관절 및 동작

불편도 측정 실험에는 의견상 관찰되는 거의 모든 관절 동작을 포함하였으며, 관절 동작은 <표 1>에 정리되어 있다. 실험에서 피실험자의 자세는 측정 대상 관절을 제외한 모든 관절 동작은 중립 자세를 취하게 하였으며, 직립으로 선 자세를 유지하도록 하였다. 등(back) 동작에서는 L5/S1을 동작의 기준으로 가정하였다.

### 2.3 실험 방법

본 연구의 실험은 크게 3단계, 즉 calibration test, ROM(range of motion) 측정과 지각 불편도 측정으로 구성된다. calibration test는 피실험자로 하여금 본 연구에서 지각 불편도 측정시 사용하고자 하는 심물리학적 방법인 magnitude estimation에 익숙하게 하게 하고, magnitude estimation을 제대로 수행하지 못하는 피실험자를 실험 전에 걸러내기 위하여 수행하였다. calibration test에서는 숫자와 선의 길이로 제시되는 자극을 각각 10개씩 제시하고, 피실험자가 느끼는 자극의 주관적 크기를 숫자로 된 자극에는 선의 길이로, 선으로 된 자극에는 숫자로 답하게 하였다. 자극과 응답의 크기를 log 변환하여 선형 회귀분석을 실시하여 기울기의 99% 신뢰구간에 두 자극의 관계에 대한 기울기의 이론적인 값인 1.0을 포함하는 지를 보아 피실험자가 magnitude estimation을 수행할 능력이 있는지를 판단하였다(Gescheider, 1985). ROM 측정에서는 <표 1>에 제시되어 있는 관절 동작들의 ROM을 goniometer를 이용하여 측정하였다.

마지막으로 관절 동작에 대한 지각 불편도를 magnitude estimation의 free modulus method로 측정하였다. magnitude estimation으로 얻어진 자료는 interval scale 혹은 ratio scale의 특성을 지니게 되어 다양한 정량적 분석이 가능한 장점이 있다. magnitude estimation 기법은 자극에 대한 피실험자의 주관적 느낌의 크기에 대한 기준을 제시하느냐의 여부에 따라 modulus method, free modulus method, absolute judgment 등으로 나누어진다. modulus method는 Borg's scale 등과 같이 느낌의 크기에 대한 기준을 제시하며, free modulus method에서는 어떠한 기준도 제

표 1. 측정 대상 관절 및 동작

관절	관절 동작
손목	굴곡(flexion), 신전(extension), 요골편향(radial deviation), 측골편향(ulnar deviation)
팔꿈치	굴곡, supination, pronation
어깨	굴곡, 신전, 내전(adduction), 외전(abduction), 내전(medial rotation), 외전(lateral rotation)
목	굴곡, 신전, lateral bending, rotation
등(back)	굴곡, 신전, lateral bending, rotation
hip	굴곡, 신전, 내전, 외전, 내전, 외전
무릎	굴곡
발목	굴곡(dorsi flexion), 신전(plantar flexion), 내전, 외전

시하지 않은 상태에서 피실험자들 자신의 고유 scale을 사용하여 느낌의 크기를 첫 번째 제시되는 자극의 크기에 대한 상대적 크기로 답하게 한다. absolute judgment는 modulus method와 같이 기준의 제시 없이 피실험자가 자극에 대한 느낌의 크기를 절대적 크기로 판단하는 방법을 말한다. 일반적으로 자극의 크기에 대한 주관적 응답을 구하고자 할 때 자극에 대한 느낌의 크기에 대한 기준을 제시하는 것보다 제시하지 않는 것이 편향(bias)을 유발하지 않으며, 대부분의 피실험자들이 자신의 기준으로 자극의 크기를 평가할 수 있는 것으로 알려져 있어, 본 연구에서는 free modulus method를 선택하였다. 그리고 magnitude estimation 기법에서는 자극에 대한 느낌의 크기를 나타내기 위하여 소리의 크기, 진동 주파수, 숫자, 선의 길이 등 다양한 종속변수를 사용하고 있으나, 이 중 자극에 대한 느낌의 크기를 숫자로 나타내는 numeric estimate 기법과 선의 길이로 표현하는 line production 기법이 많이 사용되고 있다 (Gescheider, 1985). 본 연구에서는 magnitude estimation 기법 중 free modulus method와 numeric estimate 기법을 채택하여 주어진 실험 처치(treatment)에 대한 불편의 정도를 피실험자 자신의 scale을 이용하여 숫자로 답하게 하였다.

지각 불편도는 <표 1>에 나와 있는 관절 동작의 ROM을 5 수준으로 나누어, 즉 0%, 25%, 50%, 75%, 100% ROM에서 측정하였다. 측정시 피실험자는 동작에 제약이 없는 반바지, 반소매 복장을 하게 하였고 실험자의 지시에 따라 주어진 관절 동작을 취하며, 나머지 관절은 중립 자세를 취한 채 1분 간 유지한다. 실험자는 goniometer를 이용하여 피실험자가 주어진 자세를 취하게 하였으며, 실험 처치는 피실험자별로 random하게 제시되었다. 실험 사이에는 1분 이상의 휴식이 주어지며 휴식 시간 중에 피실험자는 주어진 자세에 대한 지각 불편도의 크기를 숫자로 답한다. 각 관절에서 관절 동작마다 중복되는 중

립동작 (관절 동작 각도가 0°인 동작)은 1회만 측정하여 한 피실험자당 275회의 실험을 수행하였다. 예를 들어 손목 관절에서 굴곡, 신전, 내전, 외전 동작의 중립 동작은 같으므로 1회만 불편도를 측정하고, 각 관절 동작에서는 25%, 50%, 75%, 100% ROM에 대한 불편도를 측정하였다. 실험은 하루에 70여회씩 4일에 걸쳐 나누어 실시하였으며, 피실험자 1명의 실험 수행에 10~12시간이 소요되었다.

### 3. 결과

본 연구에서는 피실험자로부터 관절 동작에 대한 지각 불편도를 측정할 때 magnitude estimation의 free modulus 방법을 사용하여 피실험자마다 사용한 scale이 다를 수 있다. 따라서 분석에 앞서 이들 scale들을 통일하는 변환이 필요하다. 변환의 방법으로는 max-min 변환, maximum 변환 등 여러 가지가 사용되나 (Han *et al.*, 1999), 본 연구에서는 다음 식과 같은 max-min 변환 방법을 채택하여 각 자료들을 normalize하였다.

$$\text{normalized discomfort}_{ijk} = \frac{\text{raw data}_{ijk} - \min \text{discomfort}_k}{\max \text{discomfort}_k - \min \text{discomfort}_k} \times 100$$

여기서

i=i번째 동작 수준, j=j번째 관절 동작, k=k번째 피실험자;

max discomfort<sub>k</sub> = k번째 피실험자의 최대 지각 불편도 값;

min discomfort<sub>k</sub> = k번째 피실험자의 최소 지각 불편도 값

#### 3.1 동작 범위

<표 1>에 나와 있는 관절 동작에 대한 동작 범위의 평균, 표준편차는 다음 <표 2>와 같다.

#### 3.2 분산 분석

동원된 관절, 관절 동작, 관절 동작의 수준을 독립 변수로 하여 분산 분석을 실시하였으며, 그 결과는 <표 3>에 정리되어 있다. <표 3>에서 보는 바와 같이 세 가지 독립 변수 모두 유의수준 1%에서 지각 불편도에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 동작 수준이 지각 불편도에 가장 큰 영향을 미치며, 다음으로 관절, 관절 동작 순서로 영향의 크기가 줄어들었다. 또한, 관절과 관절 동작 수준 간의 교호작용이 유의수준 1%에서 유의하게 나타나, 관절별로 동작 수준에 따른 지각 불편도의 크기가 달라짐을 나타내고 있다. 여기서 관절 동작은 관절에 중첩된(nested) 것으로 가정하고 분산 분석을 수행하였다. 따라서 관절과 관절 동작의 교호작용은 error의 자유도 부족 현상으로 인하여 분산 분석에서 인자로 사용할 수 없게 된다. 즉, 관절과 관절 동작의 교호작용을 분산 분석에 인자로 포함할 경

표 2. 관절 동작의 동작 범위(°)

관절	동작	관절 동작	평균	표준편차	관절 동작	평균	표준편차
손 목		굴 곡	72	7.7	신 전	73	4.5
		요골 편향	29	7.5	측골편향	52	5.4
팔꿈치		굴 곡	147	8.3	supination	135	12.5
		pronation	91	7.6			
어 깨		굴 곡	191	7.2	신 전	79	10.8
		내 전	54	11.2	외 전	126	13.3
		내 선	100	3.4	외 선	43	7.6
목		굴 곡	68	6.6	신 전	85	8.8
		lateral bending	42	8.2	rotation	89	4.2
등 (back)		굴 곡	107	7.7	신 전	33	3.4
		lateral bending	30	4.1	rotation	83	8.3
hip		굴 곡	68	6.4	신 전	50	3.5
		내 전	32	3.9	외 전	60	4.5
		내 선	35	3.2	외 선	42	7.4
무릎		굴 곡	112	9.3			
발 목		굴 곡	36	4.0	신 전	48	6.0
		내 전	43	87	외 전	42	6.9

표 3. 분산 분석 결과

요 인	자유도	Mean square	F value	P value
관절	7	1783.92	66.44	<0.001
관절 동작(관절)	24	202.56	7.54	<0.001
동작 수준	4	15022.80	559.47	<0.001
관절 · 동작 수준	28	155.91	5.81	<0.001
error	96	26.85		

우, error의 자유도가 0이 되어 분산 분석이 수행되지 않는다.

서 유의한 차이를 보이거나 요골편향과는 유의한 차이를 보이지 않음), 굴곡, 요골편향과 측골편향은 거의 비슷한 지각 불편도 수준을 보였다.

### 3.3 지각 불편도 경향

#### 3.3.1 손목

손목 동작의 수준에 따른 지각 불편도 경향은 <그림 1>에 나와 있으며, 측정된 4 관절 동작 모두에서 동작 수준이 증가함에 따라 지각 불편도가 거의 선형적으로 증가함을 보이고 있다. 신전의 지각 불편도 수준이 다른 관절 동작에 비하여 큰 것으로 나타났으며(굴곡과 측골편향에 비해서는 유의수준 5%에

#### 3.3.2 팔꿈치

팔꿈치 동작에서는 supination의 지각 불편도가 가장 크며, 다음으로 pronation, 굴곡의 순서로 나타났다 (p<0.01). supination과 pronation은 동작 수준이 증가함에 따라 선형적으로 지각 불편도가 증가하였으나 굴곡은 중립에서 75% ROM까지는 완만하게 선형적으로 증가하다가 75% ROM 이후에는 지각 불편도

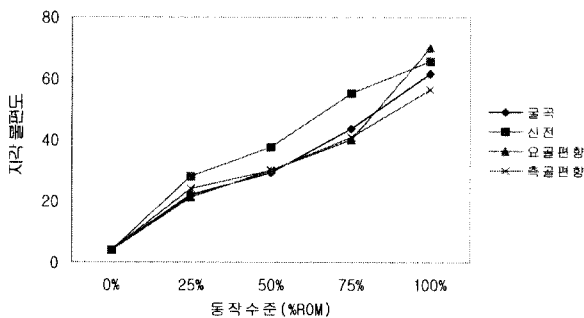


그림 1. 손목 동작에 따른 지각 불편도.

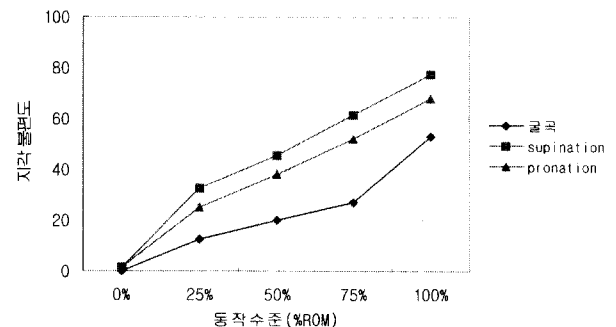


그림 2. 팔꿈치 동작의 지각 불편도.

가 급격하게 증가함을 보이고 있다(<그림 2>).

3.3.3 어깨

어깨 동작에서는 외전의 불편도가 가장 크게 나타났으며, 내전과 외전의 어깨 회전(rotation) 동작은 다른 동작들에 비하여 불편도가 작음을 보였다( $p < 0.10$ ). 신전의 불편도는 동작 수준이 ROM의 50%를 넘으면서 급격히 증가하여 이후 구간에서는 외전보다 조금 큰 불편도를 보였다(<그림 3>). 그리고 신전을 제외한 어깨 관절 동작들의 지각 불편도는 동작 수준의 증가에 따라 거의 선형적으로 증가함을 보였으며, 관절 동작들 간의 지각 불편도 차이도 커짐을 볼 수 있다.

3.3.4 목

신전 동작의 불편도가 다른 세 동작에 비하여 유의하게 크게 나타났으며, 굴곡과 rotation은 거의 같은 크기와 경향의 불편도를 보였다(<그림 4>). 목 동작에서 불편도의 크기는 신전, lateral bending, 굴곡과 rotation의 세 그룹으로 나누어질 수 있다( $p < 0.10$ ). 신전의 지각 불편도는 동작 수준이 증가함에 따라 선형적 증가 추세를 보였으나 굴곡, rotation, lateral bending에서는 포물선 형태의 증가 경향을 나타냈다.

3.3.5 등(back)

rotation의 지각 불편도가 다른 동작에 비하여 유의하게 작으며 ( $p < 0.10$ ), 굴곡, 신전, lateral bending의 지각 불편도는 조금 차이는 있으나 거의 같은 것으로 나타나, 등 동작의 지각 불편도는 크게 두 그룹으로 나누어 볼 수 있다(<그림 5>). 등 동작에

서는 동작 수준이 증가함에 따라 지각 불편도가 증가하는 정도(기울기)가 커짐을 보이고 있고, 굴곡과 신전에서는 75% ROM 이후에, lateral bending에서는 50% ROM 이후에서 지각 불편도가 급격히 증가함을 보였다. rotation을 제외한 등 동작은 hip 동작과 더불어 다른 관절 동작에 비하여 지각 불편도가 크게 나타났다.

3.3.6 hip

hip 관절 동작의 지각 불편도는 다른 관절 동작과 같이 동작 수준이 낮을 경우에는 거의 비슷한 크기를 보이다가, 동작 수준이 증가함에 따라 그 차이가 커지는 특징을 보이고 있다(<그림 6>). 굴곡이 다른 관절 동작에 비하여 유의하게 큰 지각 불편도를 보였으며( $p < 0.10$ ), 내전이 가장 작은 지각 불편도를 보였다( $P < 0.10$ ). 외전은 외전, 신전과는 지각 불편도에 차이를 보이지 않았으나( $P > 0.40$ ), 굴곡, 내전, 내전과는 차이를 보였다( $P < 0.05$ ). 따라서 등 관절 동작은 지각 불편도에 따라 굴곡, 내전, 신전-외전-외전, 내전의 네 그룹으로 나눌 수 있다. 다른 관절 동작에 비하여 지각 불편도가 크며, 특히 hip 관절에서는 동작이 일어나면 지각 불편도가 급격히 증가하였다(0% ROM과 25% ROM 구간에서 지각 불편도가 급격히 증가함).

3.3.7 무릎

<그림 7>은 무릎의 굴곡에 대한 지각 불편도를 보이고 있으며, 그림에서 보는 바와 같이 지각 불편도가 크게 세 구간(0~25%, 25~75%, 75~100%ROM)으로 나누어짐을 알 수 있다.

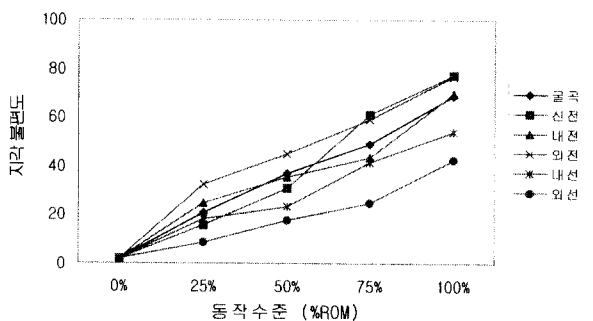


그림 3. 어깨 동작의 지각 불편도.

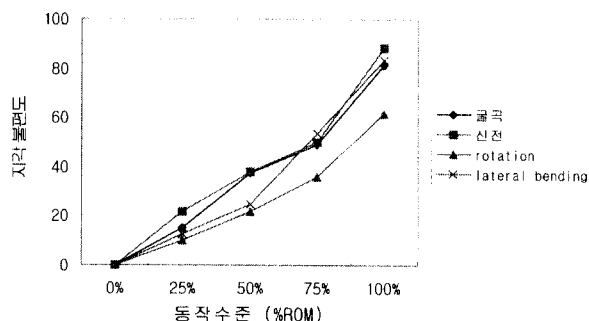


그림 5. 등 동작의 지각 불편도.

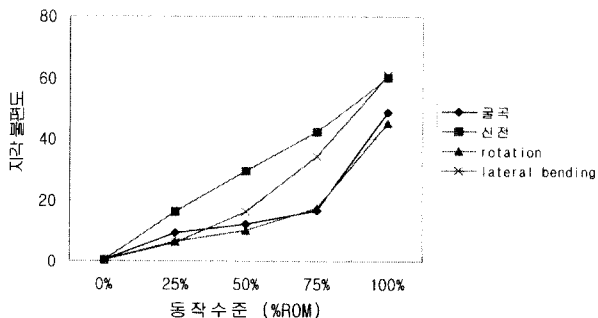


그림 4. 목 동작의 지각 불편도.

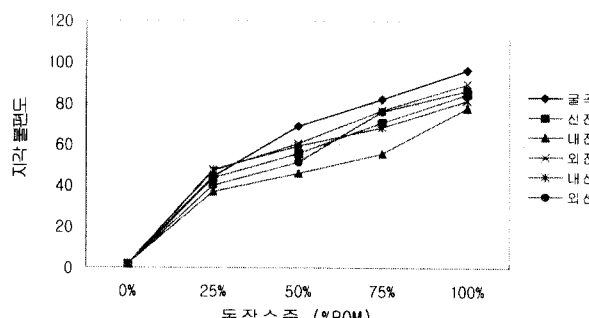


그림 6. hip 동작의 지각 불편도.

3.3.8 발목

<그림 8>은 발목 동작에 따른 지각 불편도를 나타내고 있으며, 본 연구에서 다른 네 가지의 발목 동작이 거의 같은 경향, 같은 크기의 지각 불편도를 보이고 있다.

3.4 지각 불편도 ranking

위에서는 각 관절에서 관절 동작의 수준에 따른 지각 불편도의 증가 경향을 살펴 보았다. 이러한 지각 불편도는 인간의 동작에 따라 나타나는 지각 불편도 혹은 자세 부하에 관련된 개략적 현상을 관찰하고 이해하는 데는 도움이 되나, 관절 동작에 따라 ROM의 크기가 각기 다르기 때문에 동작에 따른 부하의 크기를 정확히 평가하는 데는 문제가 있다. 즉, 어깨에서 굴곡의 ROM은 191°에 이르나 외전은 43°에 불과한 등 관절 동작에 따라 ROM의 크기에 차이가 있어, 위에서와 같은 ROM의 상대적 수준(%ROM)에 따른 지각 불편도를 바로 비교하기는 어렵다. 따라서 본 연구에서는 이를 해결하기 위하여 각 관절 동작별로 다음과 같이 RDI(relative discomfort index)를 정의하여, 이를 바탕으로 지각 불편도에 대한 ranking을 제시하고자 한다.

$$RDI_j = \sum_{i=1}^N \frac{\text{normalized discomfort}_{ij}}{(0.25 + 0.50 + 0.75 + 1.0)} \times ROM_i$$

$$= \sum_{i=1}^N \frac{\text{normalized discomfort}_{ij}}{2.5} \times ROM_i$$

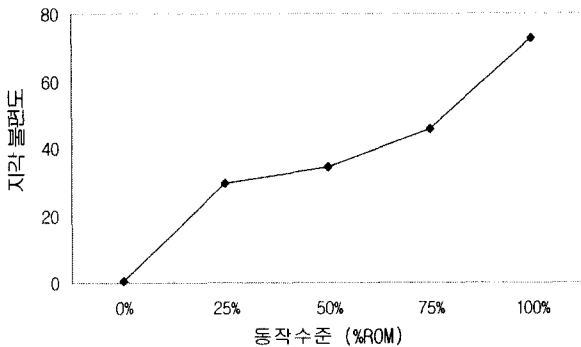


그림 7. 무릎 동작의 지각 불편도.

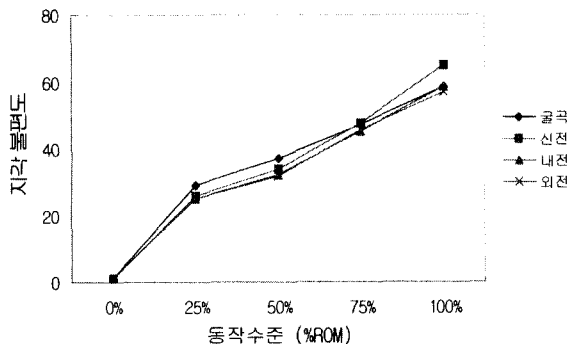


그림 8. 발목 동작의 지각 불편도.

여기서

i: 동작 수준, j: 관절 동작,

normalized discomfort<sub>ij</sub>: j번째 관절 동작의 i번째 동작 수준의 정규화된 지각 불편도의 기하 평균값,

ROM<sub>j</sub>: j번째 관절 동작의 ROM,

RDI<sub>j</sub>: j번째 관절 동작의 RDI

식에서 보는 바와 같이 RDI는 각 관절 동작에서의 다섯 수준의 동작에 대한 지각 불편도의 합을 동작시의 이동 거리(각도)의 합으로 나눈 것으로, 단위 각도의 동작에 대한 지각 불편도를 나타낸다. 이와 같은 RDI는 관절 동작의 ROM의 크기에 무관한 객관적 지각 불편도 척도이므로, 관절 동작별 지각 불편도로 나타낸 부하의 크기를 비교하는 데 사용될 수 있다.

3.4.1 관절과 관절 동작별 지각 불편도 ranking

관절과 관절 동작별 지각 불편도에 대한 ranking을 구하기 위하여, 먼저 각 관절별로 RDI에 대한 Duncan의 다중범위 검정을 실시하여 비슷한 RDI를 가진 관절 동작을 grouping하였다(α=0.05). 각 group에 대하여 본 연구에서 측정된 관절 동작 중 지각 불편도가 가장 작은 팔꿈치 굴곡 동작을 기준으로, 이에 대한 상대적 ranking을 구하였다. 각 관절 동작별 ranking은 <표 4>에 나와 있으며, 표에서의 ranking은 크기 순서만을 나타내는 것이 아니라 ratio scale의 특성을 가지고 있어 서로 직접적인 비교가 가능하다. 즉, 팔꿈치 굴곡 동작을 1로 할 때 이에 비하여 지각 불편도가 몇 배가 되는가를 나타내도록 ranking을 구하였다.

표에서 보는 바와 같이 hip 관절의 내전과 내선에서 ranking이 10으로 가장 크고, 등의 신전, lateral bending, hip의 외전이 8로 그 뒤를 잇고 있다. 팔꿈치 굴곡과 어깨 굴곡의 지각 불편도가 가장 작은 것을 알 수 있고, 등과 hip 관절의 지각 불편도가 크고 팔꿈치, 어깨, 목, 무릎 관절의 지각 불편도가 상대적으로 작음을 보이고 있다. 여기서 일반적 기대와 달리 어깨 동작의 ranking이 낮은 것은 다른 동작에 비하여 ROM이 커 RDI가 작아지기 때문이고, 반면에 손목, 발목의 ranking이 높은 것은 ROM이 상대적으로 작아 RDI가 커지기 때문인 것으로 판단된다.

3.4.2 관절별 지각 불편도 ranking

관절별 ranking을 구하기 위하여 위에서와 같이 Duncan의 다중범위 검정을 수행하여 grouping한 다음 지각 불편도가 가장 작은 팔꿈치 관절을 기준으로 ranking을 구하였다. ranking을 구할 때는 각 관절 동작별로 RDI의 평균을 구하여 사용하였다. 관절 지각 불편도 ranking은 <표 5>에 나와 있으며, 표에서 보는 바와 같이 hip의 ranking이 5로 가장 높고 팔꿈치, 목, 무릎의 ranking이 1로 가장 낮게 나타났다. hip 다음으로 ranking이 높은 관절이 등(back)이 아니라 발목으로 나타난 이유는 <표 3>에서 등의 rotation의 ranking이 2로 매우 낮아 등의 네 관절 동작

표 4. 관절과 관절 동작별 지각 불편도 ranking

관절	관절 동작	ranking
손목	굴곡	2
	신전	4
	요골편향	8
팔꿈치	측골편향	4
	굴곡	1
	supination	2
어깨	pronation	2
	굴곡	1
	신전	3
목	내전	4
	외전	2
	내선	2
	외선	3
	굴곡	2
등	신전	2
	lateral bending	2
	rotation	2
	굴곡	2
hip	신전	8
	lateral bending	8
	rotation	2
	굴곡	6
	신전	7
무릎	내전	10
	외전	6
	내선	10
	외선	8
발목	굴곡	2
	굴곡	6
	신전	5
	내전	5
	외전	5

표 5. 관절별 지각 불편도 ranking

관절	ranking
손목	3
팔꿈치	1
어깨	2
목	1
등	3
hip	5
무릎	1
발목	4

표 6. 관절 동작별 지각 불편도 ranking

관절 동작	ranking
굴곡	1
신전	1.5
내전	2
외전	1.5
내선	1.5
외선	1

의 평균이 작아졌기 때문으로 생각된다. 전반적인 순서는 hip-발목-등, 손목-어깨-팔꿈치, 목, 무릎의 순서로 ranking이 낮아져, 관절의 지각 불편도가 작아짐을 보이고 있다(<그림 9>).

3.4.3 관절 동작별 지각 불편도 ranking

여기에서는 관절을 고려하지 않고 같은 평면에서 유사한 방향으로 동작이 일어나는 관절 동작별 ranking을 제시한다. 즉,

sagittal plane 상에서의 굴곡과 신전, frontal plane에서의 내전과 외전, 그리고 horizontal plane에서의 내선과 외선 등 여섯 가지의 관절 동작으로 본 연구에서 다루어진 관절 동작들을 분류한다. 여기서 손목의 요골편향은 내전에, 손목의 측골편향, 목과 등의 lateral bending은 외전에, 팔꿈치의 pronation, 등의 rotation은 내선에, 그리고 팔꿈치의 supination, 목의 rotation은 외선으로 구분하였다. 관절 동작에 속하는 RDI의 평균값으로 ranking을 구하였으며(<표 6>, <그림 10>), 표와 그림에서 보는 바와 같이 관절 동작별로 지각 불편도의 크기에 차이가 크지 않은 것으로 나타났다. 이는 분산 분석에서 나타난 바와 같이 관절에 따라 지각 불편도가 유의하게 다르게 나타났으나, 관절 동작별 ranking에서는 이러한 관절 요인을 무시하였기 때문에 판단된다. 이러한 현상은 <그림 10>에 표시된 표준편차가 매우 크게 나타난 점에서도 알 수 있다. 즉, 같은 평면에서 일어나는 동작이라 할지라도 관절에 따라 차이가 커 표준편차가 크게 나타났다. 굴곡의 ranking이 1로 가장 낮고 내전이

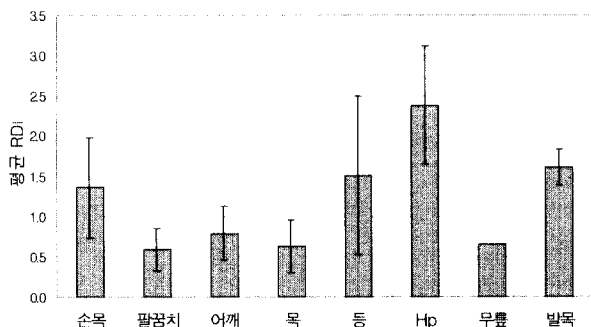


그림 9. 관절별 지각 불편도.

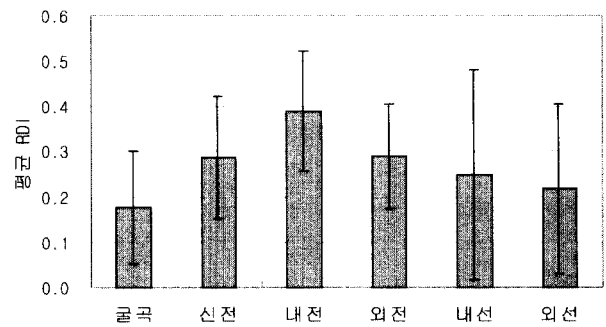


그림 10. 관절 동작별 지각 불편도.

2로 가장 높게 나타났다. rotation 동작의 부하가 크다는 일반적인 견해(Karhu *et al.*, 1977)와 달리 내선과 외선의 ranking이 다른 동작에 비하여 높지 않은 것으로 나타났다.

#### 4. 토의

본 연구에서는 8개의 관절에서 일어나는 관절 동작의 동작 수준에 따른 지각 불편도의 증가 경향을 살펴보았다(<그림 1~8>). 그림에서 본 바와 같이 지각 불편도는 목을 제외한 거의 모든 관절에서, 크기에 차이가 있기는 하였으나, 관절 동작에 관계 없이 동작 수준이 증가함에 따라 선형적 혹은 포물선 형태로 거의 비슷한 증가 경향을 보였다. 중립 자세에서 멀어질수록, 즉 동작 수준이 커질수록 관절 동작 간의 지각 불편도의 크기와 더불어 지각 불편도의 차이도 증가하였다. 이는 가능하면 중립 관절 동작에 가까운 자세로 작업할 수 있게 작업장을 설계하여야 함을 보인 것이라 할 수 있다. 또한 ROM에 가까운 큰 관절 동작을 요구하는 작업 자세일수록 좀 더 안전한 작업을 위해서는 지각 불편도의 크기가 작은 관절 동작의 조합으로 자세를 취할 수 있도록 작업장 및 방법의 설계가 중요함을 의미한다. 그러나 위의 결과는 관절 동작의 동작 수준을 절대적 크기로 나타내지 않고 ROM에 대하여 상대적, 즉 %ROM으로 한 것이어서 정확한 부하의 크기를 나타내지는 못한다. 각 관절 동작별로 객관적인 부하의 크기를 나타내기 위해서는 관절 동작별로 각기 다른 ROM의 크기를 반영할 필요가 있다. 따라서 이를 반영하기 위하여 ranking 계산시에는 각 관절 동작에서 지각 불편도의 합을 ROM으로 나누는 RDI를 정의하여 사용하였다. 3장에서 어깨 관절 동작의 지각 불편도를 %ROM으로 나타낼 때는 굴곡-내전-신전, 외전, 외전-내전의 순서로 감소하는 것으로 나타났으나, RDI로 나타낼 때는 내전, 내전-외전-신전-굴곡, 외전의 순서로 나타나 서로 차이를 보여, 관절 동작에 대한 부하의 크기를 나타낼 때는 RDI의 사용이 권장된다 하겠다.

현재까지 Grandjean(1988), Karhu *et al.*(1977), Genaidy와 Karwowski(1993), Genaidy *et al.*(1995), Shin *et al.*(1997)에 의하여 관절 동작에 대한 ranking이 발표되어 있다. Grandjean(1988)과 Karhu *et al.*(1977)은 객관적 자료에 근거하지 않고 주관적 전문가의 견해에 기초하여 등(back) 동작의 부하 크기를 비교하였다. 반면에 Genaidy와 Karwowski(1993), Genaidy *et al.*(1995)은 본 연구와 유사한 실험에서 측정된 지각 불편도를 바탕으로 좀 더 객관적인 ranking을 제시하였으나, 관절 동작의 ROM을 고려하지 않아 자세 부하의 크기를 제대로 반영한 정확한 ranking이라 하기 어렵다. 따라서 위의 연구에서 제시한 ranking과 본 연구의 ranking은 많은 차이를 보이고 있다. 예를 들어 Genaidy *et al.*(1995)은 어깨-손목, 팔꿈치, 등-목의 순서로 불편도가 작아지는 상지(upper extremity)와 등(spine)에 대한 관절 동작별 ranking을 제시하였으나, 본 연구에서는 상지와 등 부위에서는

손목, 등-어깨-팔꿈치, 목의 순서로 된 ranking을 제시하고 있어 차이가 있다. Genaidy *et al.*(1995)은 어깨 ranking이 가장 높다고 하였으나, 이는 상대적으로 큰 어깨 동작의 ROM을 고려하지 않았기 때문으로 생각된다(Genaidy and Karwowski, 1993). 본 연구에서 제시한 여성에 대한 ranking은 상대적 ranking 생성시의 상대 기준(팔꿈치 동작을 기준으로 사용한 것은 같으나 RDI의 값은 다름)이 달라 Shin *et al.*(1997)의 남성에 대한 ranking과 직접적인 비교는 어려우나, 그 상대적인 순서는 차이를 보이고 있다. 그리고 남녀 피실험자의 관절 동작에 대한 지각 불편도의 크기도 pairwise t-test에서 유의한 차이를 보였다( $p < 0.01$ ). 따라서, 여성에 대해서는 남성과는 다른 ranking이 적용되어야 한다고 할 수 있다.

상해 위험은 작업 부하가 심물리학적 허용 수준을 초과할 때 증가하며 (Snook, 1985; Herrin *et al.*, 1986), 심물리학적 방법에 의한 주관적 평가는 맥박, 혈압, EMG 등과 같은 생리적 척도와 일치하는 것으로 알려져 있다 (Kim and Fernandez, 1993). 또한, 근골격계질환의 가장 일반적인 증상으로는 통증, 관절 동작의 제한, 연조직의 팽창(swelling) 등을 들 수 있으며, 초기 단계에서는 신체 부위의 불편을 느끼게 된다 (Genaidy *et al.*, 1995). Corlett과 Bishop(1976)은 지각 불편도가 유용한 자세 부하 척도임을 제안하였으며, 일반적으로 객관적인 방법으로 알려져 있는 EMG 등의 방법은 신체 일부가 아닌 전신 동작의 측정에는 적용하기가 어렵다. 따라서 동작 수준에 따른 부하를 심물리학적 방법인 magnitude estimation을 이용하여 주관적 지각 불편도로 측정하여 제시한 본 연구의 방법이 타당하다고 하겠다.

본 연구에서는 1분간 정적으로 유지된 관절 동작에 대한 지각 불편도를 측정하여, 이를 바탕으로 한 ranking system을 제시하였다. 자세 유지 시간을 1분으로 한 것은 다음과 같은 기존 연구 결과들에 근거하였다.

1) 기존 연구들에서 자세 유지 시간을 1분으로 하였다(Shin *et al.*, 1997; Genaidy *et al.*, 1995).

2) Grandjean (1988)은 큰 힘을 발휘할 때는 정적 근육 동작(static muscle action)을 10초 이내로, 적절한 힘(moderate force)에서는 1분 이내로 해야 한다고 보고하였다.

그러나 실제 작업 자세가 이와 같이 정적으로 1분 동안 유지되는 경우는 흔하지 않고, 산업 현장에서는 정적 동작보다는 동적 동작이 많으므로 다양한 지속 시간 및 동적 관절 동작에 대한 연구가 필요하다.

본 연구의 결과는 여성을 고려하였고 ranking 계산시 ROM의 크기를 반영하는 등 전 연구들에 비하여 진일보하였다고 할 수 있으나, 다음과 같은 문제점을 가지고 있다. 첫째, 자세 부하의 크기를 결정하는 주요인으로 알려져 있는 크기(magnitude), 지속 시간, 반복 중 크기만을 고려하고 있다(Winkel and Mathiassen, 1994). 둘째, 본 연구에 참여한 피실험자는 모두 건강한 대학생이었으며 실제 작업 현장이 아닌 실험실 내에서 실험이 이루어졌다. 따라서 본 연구의 결과를 활용할 때는 이러



한 점들을 고려하여야 하며, 이를 개선하기 위한 추후 연구가  
요망된다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 관절 동작의 수준에 따른 지각 불편도의 증가  
경향을 살펴보고 이를 바탕으로 관절 동작별, 관절별 여성의  
지각 불편도 ranking을 제시하였다. 본 연구의 결과는 산업 현  
장에서 요즘 큰 문제로 대두되고 있는 근골격계질환의 주요  
원인으로 알려져 있는 부적절한 자세의 영향을 좀 더 정량적  
으로 이해하는데 도움이 될 것으로 기대된다. 그리고 지각 불  
편도의 증가 경향이나 ranking은 기존 작업장의 평가시 또는 새  
로운 작업장을 설계할 때 인간공학적 기초 자료로 활용될 수  
있으며, 자세 부하를 측정하기 위한 좀 더 객관적인 자세 부하  
체계(postural classification scheme) 개발의 자료가 될 수 있다. 불  
편을 최소화하면 근골격계질환을 예방할 수 있고(Dul *et al.*,  
1994; Milner, 1985; Zhang *et al.* 1996), 작업 수행도나 생산성을  
결정하는 제한 요소(limiting factor)는 작업자의 능력이 아니라  
통증이라고 알려져 있어(Corlett, 1981), 본 연구에서 제시한 지  
각 불편도 ranking이 낮은 자세로 작업장 혹은 작업 방법을 설  
계하는 것이 바람직하다 하겠다.

### 참고문헌

Aaras, A., Westgaard, R.H. and Strandén, E. (1988), Postural angles as an  
indicator of postural load and muscular injury in occupational work situations,  
*Ergonomics*, 31, 915-933.  
Buchholz, B., Paquet, V., Punnett, L., Lee, D. and Moir, S. (1996), PATH: A work  
sampling-based approach to ergonomic job analysis for construction and other  
non-repetitive work, *Applied Ergonomics*, 27(3), 177-187.  
Cameron, J.A. (1996), Assessing work-related body-part discomfort: Current  
strategies and a behaviorally oriented assessment tool, *International Journal of  
Industrial Ergonomics*, 18, 389-398.  
Chaffin, D.B. (1973), Localized muscle fatigue-definition and measurement,  
*Journal of Occupational Medicine*, 15, 346-354.  
Chaffin, D.B., Andersson, G.B.J. and Martin, B.J. (1999), Occupational  
biomechanics, John Wiley & Sons, New York.  
Corlett, E.N. (1981), Pain, posture and performance, in E.N. Corlett and J.  
Richardson (eds). Stress, work design and productivity, Wiley, London,

27-42.  
Corlett, E.N. and Bishop, P. (1976), A technique for assessing postural  
discomfort, *Ergonomics*, 19, 175-182.  
Dul, J., Douwes, M., Smitt, P. (1994), Ergonomics guidelines for the prevention  
of discomfort of static postures can be based on endurance data, *Ergonomics*, 37,  
807-815.  
Genaidy, A.M. and Karwowski, W. (1993), The effects of neutral posture  
deviations on perceived joint discomfort ratings in sitting and standing  
postures, *Ergonomics*, 36(7), 785-792.  
Genaidy, A., Barkawi, H. and Christensen, D. (1995), Ranking of static  
non-neutral postures around the joints of the upper extremity and the spine,  
*Ergonomics*, 38(9), 1851-1858.  
Gescheider, G.A. (1985), Psychophysics: Method, theory, and application,  
Lawrence Erlbaum Associates, London, UK.  
Grandjean, E. (1988), Fitting the task to the man, Taylor & Francis, London.  
Han, S.H., Song, M. and Kwahk, J. (1999), A systematic method for analyzing  
magnitude estimation data, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 23,  
513-524.  
Haslegrave, C.M. (1994), What do we mean by a 'working posture'?, *Ergonomics*,  
37(4), 781-799.  
Herrin, G.D., Jaraiedi, M. and Anderson, C.K. (1986), Prediction of overexertion  
injuries using biomechanical and psychophysical models, *American Industrial  
Hygiene Association Journal*, 47, 322-330.  
Hsiao, H. and Keyserling, W.M. (1991), Evaluating posture behavior during  
seated tasks, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 8, 313-334.  
Keyserling, W.M., Punnett, L. and Fine, L.J. (1988), Trunk posture and back  
pain: identification and control of occupational risk factors, *Applied Industrial  
Hygiene*, 3, 87-92.  
Kim, C.-H. and Fernandez, J.E. (1993), Psychophysical frequency for a drilling  
task, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 12, 209-218.  
Lin, M.L. and Radwin, R.G. (1998), Agreement between a frequency-weighted  
filter for continuous biomechanical measurements of repetitive wrist flexion  
against a load and published psychophysical data, *Ergonomics*, 41(4), 459-475.  
Murrell, K. (1969), Ergonomics, Chapman & Hall, London.  
Nag, P.K. (1991), Endurance limits in different models of load holding, *Applied  
Ergonomics*, 22, 185-188.  
Rebiffe, R. (1967), An ergonomic study of the arrangement of the driving position  
in motor cars, Proceedings of the Institute of Mechanical Engineers, 181, Part  
3D, 43-50.  
Shin, S.H., Kee, D. and Kim, H.S. (1997), Ranking of perceived joints discomfort  
in sitting and standing postures, *Journal of the Korean Institute of Industrial  
Engineers*, 23(4), 779-791.  
Winkel, J. and Mathiassen, S.E. (1994), Assessment of physical work load in  
epidemiologic studies: concepts, issues and operational considerations,  
*Ergonomics*, 37(6), 979-988.  
Zhang, L., Helander, M.G., Drury, C.G. (1996), Identifying factors of comfort  
and discomfort in sitting, *Human Factors*, 38, 377-389.



#### 기도형

서울대학교 산업공학과 학사  
서울대학교 산업공학과 석사  
포항공과대학교 산업공학과 박사  
현재: 계명대학교 산업공학 전공 부교수  
관심분야: 자세부하, 근골격계질환 예방 프로  
그램, 감성공학