

정적 인체 관절 동작에 대한 여성의 지각 불편도

기 도 형

계명대학교 산업시스템공학과
(2001. 1. 13. 접수 / 2001. 3. 20. 채택)

Perceived Discomfort of Females for Static Joint Motions

Do-Hyung Kee

Department of Industrial and Systems Engineering, Keimyung University

(Received January 13, 2001 / Accepted March 20, 2001)

Abstract : It has been proposed that the acceptable level of discomfort was a valid measure of postural loading. Although the number of women employees has increased at a much faster rate than men workers did and female workers are thought to be more vulnerable to musculoskeletal disorders, most previous studies dealt with perceived discomforts for joint motions focused on male subjects. This study aims to measure perceived discomfort ratings of females for static joint motions. Ten female subjects participated in the experiment measuring perceived discomforts, in which almost every possible joint motion was included and the free modulus method of the magnitude estimation was employed. The results showed that discomfort levels were dependent on the joint motions and joints, and subjective discomfort ratings of women were significantly larger than those of men.

Key Words : joint motion, perceived discomfort, postural loading, musculoskeletal disorders

1. 서 론

목, 어깨, 팔 등이 마비되는 증세를 보이는 근골격계 질환 등 신체에 부담이 가는 작업으로 인한 질병 환자가 2000년 상반기에 127명이 발생하여, 전년도에 62명에 비하여 104%의 증가율을 보이는 등 근골격계 질환의 발생이 급격하게 증가하고 있어, 산업계에서 근골격계 질환이 중요한 문제로 대두되고 있다¹⁾. 근골격계 질환은 여러 요인에 의하여 유발되나 부적절한 작업 자세가 주요 원인 중의 하나로 알려져 있다^{2,3)}. 따라서, 산업 현장에서 근골격계 질환의 예방을 위해서는 부적절한 작업 자세가 일어나지 않도록 하여야 하며, 이를 위해서는 작업 자세가 가지는 부하(load)를 정량화할 수 있어야 한다. 자세 부하를 객관적이고 정확하게 측정하기는 매우 어렵지만, 최대 자세 지속시간(maximum posture holding time)과 지각불편도의 수준을 자세 부하의 유용한 척도로 사용할 수 있음이 알려져 있다^{4,5)}.

전신에 대한 자세 부하의 측정은 근전도(EMG),

심박수(heart rate) 측정 등의 객관적 방법으로는 현실적으로 어렵기 때문에, 주관적 평가를 통한 부하의 측정에 대한 연구가 이루어져 왔다. 이와 관련된 연구로는 Corlett와 Bishop(1976), Boussenna et al. (1982), Genaidy와 Karwowski(1993), Ganaidy et al. (1995), 기도형(1997) 등에 의한 관절 혹은 관절 동작의 지각 불편도에 대한 크기, 순위(ranking) 등의 연구를 들 수 있다. 이들 연구들은 남성 피실험자를 대상으로 하거나 여성 피실험자를 포함하더라도 남녀를 구분하지 않고 분석하여, 지각 불편도에 대한 성별 차이를 제시하지 않고 있다. 그러나, 일반적으로 여성의 근력(muscle strength)이 남성에 비하여 떨어지는 것으로 알려져 있어^{10,11)}, 관절 동작의 지각 불편도도 남녀간에 차이가 있을 것으로 예측된다. 우리나라의 근골격계 질환의 집단 발병 사례도 여성들이 많이 종사하는 타자, 전산부서, 전화번호 안 내원, 은행창구 작업 등에서 주로 보고되고 있고¹²⁾, 산업화에 따라 여성 노동 인력이 꾸준히 증가하고 있는 상황에서 여성의 작업자세 부하에 관한 연구가 필요하다 하겠다.

따라서, 본 연구에서는 여성 피실험자들을 대상으

dhkee@kmu.ac.kr

로 정적 관절 동작에 대한 지각 불편도를 측정·제시한다. 본 연구의 결과는 성별 차이를 고려한 새로운 자세부하 분류체계(postural classification scheme)의 개발과, 좋지 못한 작업자세로 인한 근골격계 질환 예방의 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 방법

2.1. 피실험자

본 연구에는 과거에 근골격계 관련 질환의 병력이 없는 건강한 여성 피실험자 10명이 참여하였으며, 연령 및 인체 측정치는 다음과 같다: (1) 연령 - 21.4 ± 1.4 ; (2) 신장 - 161.4 ± 3.5 ; (3) 체중 - 54.3 ± 4.8 . 모든 피실험자에게는 실험 수행 시간에 대한 약간의 수당을 지불하였다.

2.2. 실험방법

본 연구에서는 인체의 관절에서 관찰되는 대부분의 동작에 대하여 지각 불편도를 측정하였으며, 포함된 관절 동작은 다음 Table 1과 같다. 앉은 자세와 선 자세의 지각 불편도가 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않는 것으로 알려져 있기 때문에¹³⁾, 본 연구에서는 선 자세의 관절 동작에 대해서 지각 불편도를 측정하였다.

본 연구의 실험은 크게 3 부분으로 구성되었다. (1) calibration test; (2) ROM(range of motion) 측정; (3) 관절 동작에 대한 지각 불편도 측정.

calibration test에서는 피실험자가 관절 동작의 지각 불편도 측정에 사용되는 magnitude estimation을

수행할 수 있는 지를 확인하기 위하여, 10개의 선과 10개의 숫자를 제시하여 선에 대해서는 숫자로, 숫자에 대해서는 선의 길이로 느끼는 강도의 크기를 답하게 하였다. 제시된 자극과 피실험자들의 반응값들을 log 변환하여 선형 회귀분석을 실시하여 기울기가 유의수준 5%에서 1.0을 포함하는 피실험자를 선정하였다.

calibration test를 통과한 피실험자에 대하여 Table 1에 나와 있는 관절 동작에 대하여 goniometer를 이용하여 ROM을 측정하였다. 손목, 팔꿈치, 목, hip, 무릎과 발목의 관절 동작은 Murrell의 방법을¹⁴⁾, 어깨 동작은 Chaffin과 Anderson¹⁰⁾, Kroemer et al.의 방법을¹⁵⁾, 그리고 등(back) 동작은 Keyserling et al.의 정의³⁾를 따라 측정하였다.

관절 동작에 대한 주관적 불편도는 magnitude estimation의 free modulus 방법을 이용하여 측정하였다. magnitude estimation을 이용한 이유는 이 방법을 이용하면 다양한 정량적 통계적 분석이 가능한 비율척도(ratio scale) 혹은 구간척도(interval scale)의 자료를 얻을 수 있기 때문이다. 지각 불편도는 Table 1에 나와 있는 각 관절 동작의 ROM의 0%, 25%, 50%, 75%, 100% 등 5 수준의 자세에 대하여 측정하였다. 측정시 측정 대상 관절 동작을 제외하고는 중립 자세를 취하도록 하였으며, 주어진 자세를 1분간 유지한 다음 지각 불편도의 크기를 숫자로 답하게 하였다. 실험간에는 1분 이상의 휴식시간을 주었으며 피실험자 1명의 실험 수행에는 약 10-12시간 정도가 소요되었다.

3. 결 과

본 연구에서는 지각 불편도를 magnitude estimation의 free modulus 방법을 사용하여 측정하였기 때문에, 각 피실험자들이 지각 불편도의 응답시 사용한 scale이 각기 다르기 때문에 분석에 앞서 자료를 같은 scale이 되도록 변환하여야 한다. 본 연구에서는 여러 가지 변환 방법 중 Hwang과 Yoon¹⁶⁾이 제안한 다음의 식을 이용하고자 한다.

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

여기서 i=i번째 동작수준, j=j번째 관절 동작, k=k번째 피실험자
 max discomfort_k = k번째 피실험자의 최대 지각 불편도 값
 min discomfort_k = k번째 피실험자의 최소 지각 불편도 값

Table 1. Joint motions dealt with in this study

Joint	Joint motions
Wrist	flexion, extension, radial deviation, ulnar deviation
Elbow	flexion, supination, pronation
Shoulder	flexion, extension, adduction, abduction, medial rotation, lateral rotation
Neck	flexion, extension, lateral bending, rotation
Back	flexion, extension, lateral bending, rotation
Hip	flexion, extension, adduction, abduction, internal rotation, external rotation
Knee	flexion
Ankle	dorsi flexion, plantar flexion, adduction, abduction

위와 같이 변환된 지각 불편도 값들을 각기 다른 크기의 ROM을 가지는 관절 동작간의 비교를 위하여, 단위 움직임당의 지각 불편도를 나타내는 unit discomfort를 다음과 같이 정의하여 이 값들을 다음의 분석에 사용하였다. 여기서, unit discomfort는 각 관절 동작에서 동작의 5수준, 즉 0%, 25%, 50%, 75% 100%에서의 지각 불편도의 합을 각 동작 수준(각도)의 합으로 나눈 것이다.

$$\begin{aligned} \text{unit discomfort}_j &= \frac{\sum_{i=1}^N \text{mean normalized discomfort}_{ij}}{(0.25 + 0.50 + 0.75 + 1.0) \cdot \text{ROM}_j} \\ &= \frac{\sum_{i=1}^N \text{mean normalized discomfort}_{ij}}{2.5 \cdot \text{ROM}_j} \end{aligned}$$

여기서 i=번째 동작수준, j=번째 관절 동작,
 mean normalized discomfort_{ij} = j번째 관절 동작의 i번째 동작수준의 normalized discomfort에 대한 피실험자 10명의 기하평균값,
 ROM_j = j번째 관절 동작의 ROM.

3.1. 손목

손목(wrist)에서는 굴곡(flexion), 신전(extension), 요골편향(radial deviation)과 측골편향(ulnar deviation)에 대한 지각 불편도를 측정하였으며, 각 관절 동작에 대한 unit discomfort는 다음 Fig. 1에 나와 있다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 요골편향의 지각 불편도가 가장 큰 것으로 나타났으며, 다음으로는 측골편향, 신전, 굴곡의 순서로 나타났다. 요골편향은 굴곡과 신전에 비하여 유의수준 1%에서 크게 나타났으며, 측골편향에 비하여서는 유의수준 5%에서 유의하게 큼을 보였다.

3.2. 팔꿈치

팔꿈치(elbow) 관절의 동작에 대한 지각 불편도는 Fig. 2에 나와 있으며, Fig. 2에서와 같이 회내(pronation)의 지각 불편도가 가장 크고 회외(supination), 굴곡의 순서로 작아짐을 보였다. 팔꿈치의

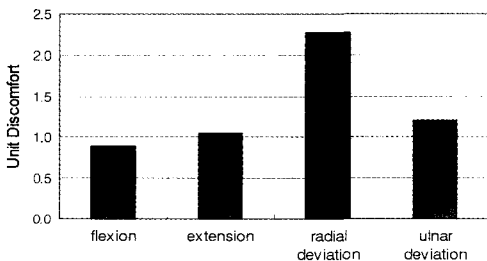


Fig. 1. Unit discomfort of wrist motions

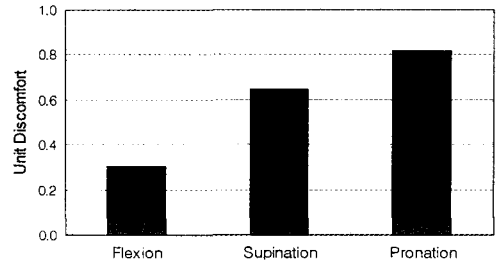


Fig. 2. Unit discomfort of elbow motions

굴곡 동작은 회내와 회외에 비하여 절반 수준 이하로 지각 불편도가 작고, 팔꿈치에서 일어나는 세 동작의 지각 불편도는 다른 관절, 즉 어깨, 등, hip, 발목 등의 동작에 비하여 지각 불편도가 매우 작게 나타났다. t-test에서는 회내와 회외는 유의수준 1%에서 굴곡의 지각 불편도와 차이를 보였으나, 회내와 회외는 유의한 차이를 보이지 않았다.

3.3. 어깨

어깨(shoulder) 관절에서 일어나는 동작들의 지각 불편도는 내전(adduction)이 가장 크고, 다음으로는 신전, 외전(lateral rotation), 외전(abduction), 내전(medial rotation), 그리고 굴곡의 순서로 지각 불편도가 작아짐을 보이고 있다 (Fig. 3). 내전의 지각 불편도가 가장 크게 나타난 것은 실험에서 얻은 절대적 불편도의 크기는 외전이나 신전 등의 동작에 비하여 크지 않으나, 본 연구에서와 같이 단위 움직임에 대한 지각 불편도, 즉 unit discomfort를 구하기 위하여 동작 각 수준의 지각 불편도의 합을 나누는 ROM의 크기가 다른 동작에 비하여 작기 때문이다. 다시 말하면, 절대적 불편도는 가장 크지 않으나 단위 동작에 대하여 느끼는 불편도는 가장 크다고 할 수 있다. SAS GLM procedure의 Duncan 다중범위 검정(multiple range test)을 이용하여 6개 동작을 grouping하면, 내전, 신전·외전·외전, 내전, 그리고 굴곡의 4개의 group으로 나누어진다 (α=0.05).

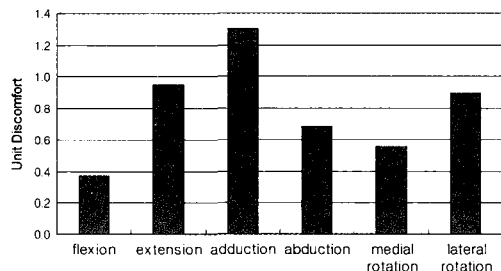


Fig. 3. Unit discomfort of shoulder motions

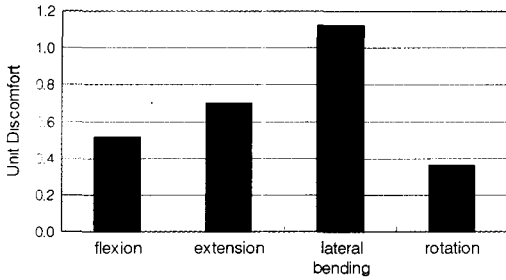


Fig. 4. Unit discomfort of neck motions

3.4. 목

목(neck) 관절 동작의 지각 불편도는 측면굴곡(lateral bending)에서 가장 크게 나타났고, 회전(rotation)의 지각 불편도가 가장 작음을 보였다 (Fig. 4). 그러나, 동작들간의 지각 불편도의 차이는 크지 않으며, 어깨, 등(back), hip 등의 비하여 지각 불편도가 작고 팔꿈치 동작과 유사한 수준을 보였다.

3.5. 등

본 연구에서는 몸통 동작의 기준을 L5/S1으로 가정하고, 이를 등(back) 관절이라 한다. 등 관절에서 일어나는 동작들의 지각 불편도는 신전과 측면굴곡(lateral bending)이 굴곡과 회전의 지각 불편도에 비하여 약 4배 정도나 큰 것으로 나타났다 (Fig. 5). 따라서, 작업의 설계 시 자세 부하를 줄이기 위해서는 신전, 측면굴곡과 같은 지각 불편도가 큰 동작의 발생을 최소화하여야 한다.

3.6. Hip

hip에서 일어나는 동작 중에서는 내전의 지각 불편도가 가장 크고, 굴곡과 외전의 지각 불편도가 다른 동작에 비하여 작은 것으로 나타났다 (Fig. 6). Fig. 6에서 보는 바와 같이 hip 동작의 지각 불편도는 다른 관절의 동작들의 지각 불편도에 비하여 크게 나타나, hip 동작의 부하가 큼을 보이고 있다.

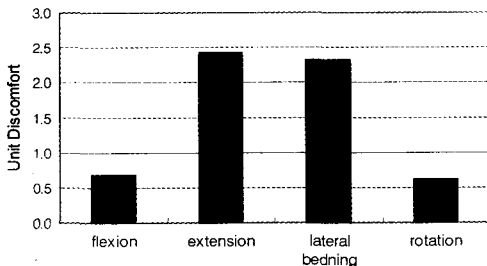


Fig. 5. Unit discomfort of back motions

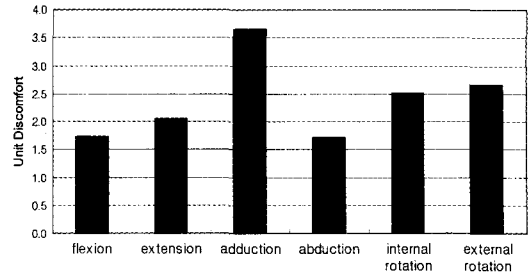


Fig. 6. Unit discomfort of hip motions

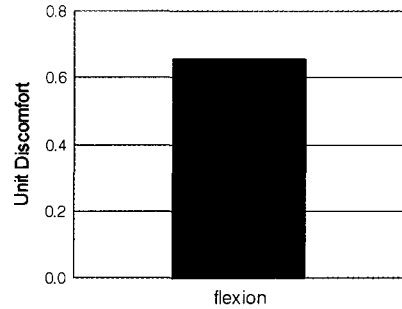


Fig. 7. Unit discomfort of knee motion

Duncan 다중범위 검정에서는 내전과 다른 5가지 동작의 2 group으로 나눌 수 있음을 보였다 ($\alpha=0.05$).

3.7. 무릎

무릎(knee)에서는 굴곡 동작에 대해서만 지각 불편도를 측정하였으며, 그 크기는 다음 Fig. 7과 같다. 지각 불편도의 크기는 팔꿈치의 회외, 목의 신전과 유사함을 보이고 있어, 본 연구에서 다른 관절 동작들에 비하여 크지 않은 것으로 나타났다.

3.8. 발목

발목(ankle) 관절에서는 굴곡(dorsi flexion)의 지각 불편도가 가장 크고 신전(plantar flexion)이 가장 작은 것으로 나타났으나 (Fig. 8), 통계적으로는 유의

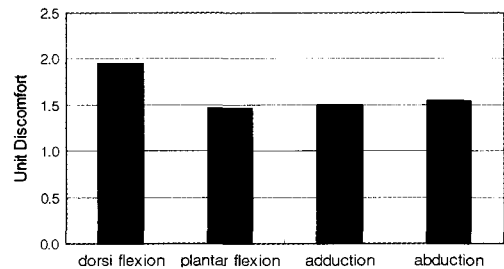


Fig. 8. Unit discomfort of ankle motions

한 차이를 보이지 않았다. 발목 동작의 지각 불편도는 예상과 달리 다른 관절 동작들과 비교할 때 작지 않음을 보여, 작업 설계 시 작업자의 불편이나 장기적으로는 근골격계 질환의 예방을 위해서는 발목 동작을 최소화하여야 할 것으로 생각된다.

3.9. 관절 불편도

관절간의 지각 불편도를 비교하기 위하여 본 연구에서는 각 관절별로 측정된 동작들의 unit discomfort의 평균을 구하여, 이를 관절불편도(joint discomfort)로 정의하기로 한다. 각 관절의 관절불편도는 다음 Fig. 9에 나와 있으며, Fig. 9에서 각 막대 그래프에서의 bar는 표준편차를 나타낸다. hip의 관절불편도가 가장 크며, 다음으로는 발목, 등, 손목, 어깨, 무릎, 목, 그리고 팔꿈치의 순서로 작아짐을 보이고 있다. hip의 지각 불편도는 팔꿈치나 목 동작에 비하여 약 4배, 등과 발목 동작은 약 2.5배 정도가 되어, hip, 등, 발목 동작의 부하가 매우 크게 나타났다. 그리고, Fig. 9에서 보는 바와 같이 등, hip, 손목, 어깨의 표준편차가 다른 관절에 비하여 크게 나타나, 이들 관절들에서 일어나는 동작들간의 지각 불편도의 차이가 큼을 보이고 있다.

본 연구에서는 여성에 대한 지각 불편도를 측정하여 제시하였으나, 남성의 지각 불편도와 비교하기 위하여 기존의 연구 결과⁹⁾를 인용하여 Fig. 9에 같이 나타내었다. 남성의 지각 불편도는 hip 관절에서 가장 크게 나타났으며, 등, 발목, 손목, 어깨, 무릎, 목, 그리고 팔꿈치의 순서로 불편도가 감소하여 여성의 지각 불편도와 조금 다름을 보였다. 남녀의 지각 불편도에서 hip의 지각 불편도가 가장 크고 팔꿈치의 지각 불편도가 가장 작은 것은 일치하였으나, 남성과 달리 여성의 경우에 발목의 지각 불편도가 등에 비하여 상대적으로 크게 나타났다. 여성에 있어서 등의 상대적 지각 불편도 서열이 남성에 비하

여 낮은 것은, 여성의 경우 등 동작이 발목 관절 동작에 비하여 상대적으로 유연함을 보인 것이라 할 수 있다. 그리고, 어깨를 제외한 모든 관절에서 여성의 지각 불편도가 남성에 비하여 크게 나타났으며, 전반적으로 쌍체비교(pairwise t-test)에서 유의수준 5%에서 여성의 지각 불편도가 남성에 비하여 약 25%정도 큰 것으로 나타났다. 손목, hip, 발목, 팔꿈치 등의 관절에서 여성이 남성에 비하여 불편도를 크게 느끼며, 이들을 제외한 어깨, 목, 등, 무릎 관절에서의 지각 불편도의 성별 차이는 상대적으로 작은 것으로 나타났다. 또한, 각 관절에서의 표준편차도 대부분의 관절에서 여성의 경우가 크게 나타나, 여성의 지각 불편도가 클 뿐만 아니라 동일 관절 동작간의 지각 불편도의 편차도 큼을 보였다.

4. 결론

본 연구에서는 현재까지의 관절 동작의 자세 부하 혹은 지각 불편도에 대한 연구에서 미흡한 것으로 지적되어 온, 여성에 대한 관절 동작의 지각 불편도를 제시하였다. 여성의 관절 동작에 대한 지각 불편도가 남성보다 큰 것으로 나타났으며, 또한 지각 불편도는 관절과 관절 동작에 따라 달라짐을 보여 이들의 결합으로 표현되는 작업 자세에 따른 자세 부하도 달라질 것으로 판단된다. 지각 불편도의 측정에는 각 관절에서 일어날 수 있는 대부분의 동작을 포함하였으며, 최대 ROM 혹은 일부 구간의 동작에 대해서만 지각 불편도를 측정한 기존 연구들과 달리, 각 관절 동작의 ROM을 5등분하여 동작의 전 범위에 대한 지각 불편도를 측정하여 연구 결과의 신뢰성을 제고하였다. 따라서, 본 연구의 결과는 작업 설계 시 혹은 기존 작업의 평가 시에 근골격계 질환 예방을 위한 중요한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 예를 들어, 여성의 지각 불편도가 남성에 비하여 크므로 가능하면 여성은 작은 근력을 요구할 뿐만 아니라 자세 부하가 작은 작업에 배치하여야 한다.

참고문헌

- 1) 동아일보, "작업관련성 질병 근로자 급증...작년 비 51% 증가", 2000. 8. 23.
- 2) A., Aaras, R. H., Westgaard, E., Stranden, "Potural angles as an indicator of postural load and muscular

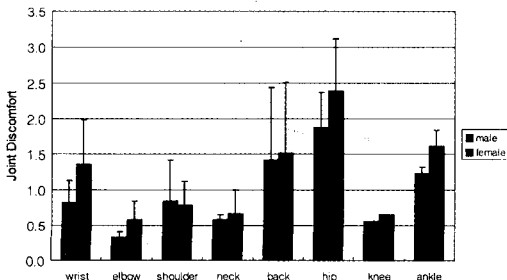


Fig. 9. Joint discomforts by gender

- injury in occupational work situations”, *Ergonomics*, Vol. 31, pp. 915~933, 1988.
- 3) W. M., Keyserling, L., Punnett, L. J., Fine, “Trunk posture and back pain: identification and control of occupational risk factors”, *Applied Industrial Hygiene*, Vol. 3, pp. 87~92, 1988.
 - 4) E. N., Corlett, R. P., Bishop, “A technique for assessing postural discomfort”, *Ergonomics*, Vol. 19, pp. 175~182, 1976.
 - 5) E. N. Corlett, I., Manenica, “The effects and measurement of working postures”, *Applied Ergonomics*, Vol. 11, pp. 175~182, 1980.
 - 6) M., Boussenna, E. N. Corlett, S. T., Pheasant, “The relation between discomfort and postural loading at the joints”, *Ergonomics*, Vol. 25, No. 4, pp. 315~322, 1982.
 - 7) A. M., Genaidy, W., Karwowski, “The effects of neutral posture deviation on perceived joint discomfort ratings in sitting and standing postures”, *Ergonomics*, Vol. 36, pp. 785~792, 1993.
 - 8) A., Genaidy, H., Barkawi, D., Christensen, “Ranking of static non-neutral postures around the joints of the upper extremity and the spine”, *Ergonomics*, Vol. 38, No. 9, pp. 1851~1858, 1995.
 - 9) 기도형, “선 자세에서의 인체 관절의 지각 불편도 측정”, *산업공학*, Vol. 10, No. 3, pp. 197~208, 1997.
 - 10) D. B., Chaffin, G. B. J., Andersson, *Occupational biomechanics*, 2nd ed., John Wiley & Sons Inc., New York, 1991.
 - 11) 정민근, 기도형, 김태복, “한국근로자의 임의적 최대근력 평가를 위한 연구”, *대한산업공학회지*, Vol. 18, No. 1, pp. 141~153, 1992.
 - 12) http://www.greenhospital.co.kr/research/workshop_근골격계질환.htm#II. 근골격계질환에 대한 이해.
 - 13) 기도형, “앉은 자세와 선 자세에서의 인체 관절 동작의 지각 불편도 Ranking”, *대한산업공학회지*, Vol. 23, No. 4, pp. 779~791, 1997.
 - 14) K., Murrell, *Ergonomics*, Chapman and Hall, London, 1969.
 - 15) K., Kroemer, H., Kroemer, K., Kroemer-Elbert, *Ergonomics: How to design for ease & efficiency*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1994.
 - 16) C. L., Hwang, K., Yoon, *Multiple attribute decision making: Method and application*, Spring-Verlag, New York, 1981.