

경조립작업을 위한 입/좌식 작업자세의 비교 및 선정

김혜진 · 임현교[†]

충북대학교 안전공학과

(2000. 5. 17. 접수 / 2000. 7. 10. 채택)

Comparison and Selection of Standing / Sedentary Work Posture for A Light Assembly Work

Hea-Jin Kim · Hyeon-Kyo Lim[†]

Department of Safety Engineering, Chungbuk National University

(Received May 17, 2000 / Accepted July 10, 2000)

Abstract : The work posture impose additional stress upon human workers so that it should be carefully considered in designing works. However, we have a lot of manufacturing plants which convert their standing workplace to sedentary one. To confirm the validity of that trend, the authors conducted an experimental study, and compared the results. The results of the EMG and the self-cognitive symptoms, in general, showed a correspondent trend that the sedentary work posture was rated more comfortable. At the beginning of the work, complaint of the lowerback was higher whereas that of the lower leg and the feet went higher as the time elapsed. If the weight of workpiece were heavier than 500g, increasing rate of bodily discomfort in the sedentary posture were greater than that of the standing posture. In the meanwhile, the standing posture was consistently superior to the sedentary posture in its performance. Thus, in conclusion, for a light assembly work, sedentary work posture would be recommendable because bodily discomfort would be larger irrespective of the small increase of performance increase.

Key Words : work posture, standing/sedentary work, EMG, subjective rating.

1. 서 론

작업자는 작업으로 인한 작업부담 외에 여러 가지 작업 환경으로부터의 작업부담을 감수해야 한다. 이렇게 감수해야 하는 작업환경으로부터의 부담은 작업수행도를 저하시키는 물론, 작업 대상물에 가해지는 여러 가지 요인들과 아울러 불량률을 증가시키며, 상황에 따라서는 돌이킬 수 없는 위험요인을 야기시키기도 한다.

작업자세는 이 수행도형성요인(Performance Shaping Factors)들 중에서 결코 무시할 수 없는 것 중의 하나로서, 작업수행으로 인한 작업부담 외에 자세를 유지하기 위한 정적(static) 작업부담을 추가함으로써 작업자의 불안전 요인을 증가시키게 된다. 예를 들어 비교적 같은 자세로 장시간 작업을

계속하여야 하는 작업자들에게는 근골격계 질환(Musculoskeletal Disorders)같은 새로운 유형의 직업성 질환이 보고되고 있으며, 건설현장과 같은 고소작업의 경우 보행중이거나 자재운반 중에 작업자가 자세균형을 상실한다면 충돌, 전도나 추락과 같은 재해로 발전할 수 있다. 따라서 작업자세는 작업자의 안전을 확보하고 작업을 수행하기 위한 최소한의 요구조건이라 할 수 있다.

그럼에도 불구하고, 최근 우리나라의 작업현장에서는 입식작업과 좌식작업의 선정 기준이 없이 임의로 작업자세를 선정하거나 변경하는 경향을 보이고 있어 작업자들의 불만을 가중시키거나, 작업자세에 적응하지 못한 작업자들이 생산현장을 떠나는 요인으로 작용하고 있다.

국내의 한 보고에 의하면, 좌식작업에서 입식작업으로 바꾼 사업장의 800여 명의 작업자들을 대상으로 신체불편부위에 대해 조사한 결과, 48%나 되는 많은 작업자들이 종아리 부위의 통증

[†]To whom correspondence should be addressed.
hklim@cbucc.chungbuk.ac.kr

을 호소하였으며, 그 다음으로는 발의 통증이 31%로 보고되었고¹⁾, 외국의 경우에도 하루 5시간 이상 서서 일해야 하는 백화점 근로자의 26%가 다리와 발에 불편을 호소하고 있었다²⁾.

2. 연구배경 및 연구목적

이러한 문제에 대하여, 작업자세를 입식으로 할 것인가 좌식으로 해야 할 것인가에 관하여 이제까지 연구가 없었던 것은 아니다. 작업자들의 자세부담은 신발이나 바닥의 재질보다는 서 있는 시간이 더 큰 변수라고 보고한 연구도 있으며³⁾, 자세변화에 따른 요추(L5/S1)의 압축력을 생체역학적 모형을 이용하여 추정된 결과 좌식 작업보다는 입식작업의 압축력이 작다고 한 보고도 있었다⁴⁾.

그러나 이러한 연구들은 각각의 척도들간의 상관성이 유의한가 유의하지 않은가를 판단하기 위한 실험이었지, 어떤 특정 작업을 근거로 어떤 작업자세가 우수한가를 선정하기 위한 실험은 아니었다.

이제까지 알려진 바에 따르면, 입식작업은 넓은 작업영역이 요구되는 경우 혹은 큰 힘이나 큰 토크(torque)이 요구되는 경우에 적합하고, 반대로 좌식작업은 입식작업에 비해 에너지 소비가 적고, 혈액순환이 잘 되며, 작업자에게 안정된 자세를 제공하므로 미세하고 정밀한 작업에 적합하다고 알려져 있다⁵⁾.

그런데, 전기전자 제품 제조업과 같이 조립부품이 다른 업종에 비해 상대적으로 가벼운 경조립작업의 경우에는, 작업의 특성상 입식작업도 좌식작업도 가능하기 때문에, 작업자세의 선정이 작업설계의 중요한 문제로 대두된다.

본 연구는 이러한 문제를 염두에 두고, 모의실험을 통하여 피실험자들의 생리학적 부하와 자각적 피로호소를 비교하고 작업수행도를 고려하여, 생산현장에서의 작업자세 결정시 좌식자세와 입식자세의 선정기준을 제시하고자 하였다.

3. 실험

3.1. 실험적무

산업현장에서의 조립작업을 단순화한 실험을 모사하기 위하여, 컵 쌓기 작업을 실시하였다.

이 작업은 내용물의 중량을 임의로 조절할 수 있으며, 주의를 기울이지 않으면 대상물들의 중심과 균형을 잡는데 실패하기 쉽기 때문에 성공적 작업수행이 불가능한 조립작업의 특성을 충분히 반영할 수 있었기 때문이다.

컵은 매 주기당 10개의 컵을 이용하였으며, 적재높이는 4단이었다. 또한 컵의 중량은 60g, 300g, 500g, 700g이었는데, 이것은 현장방문과 평가를 통하여 조사된 바에 따라 각각 매우 가벼운 중량, 보통 중량, 약간 무거운 중량, 상당히 무거운 중량에 해당되는 것이었다.

작업은 양손을 대칭적으로 동시에 사용하도록 하였는데, 특히 작업 도중 일정거리에 떨어져 있는 컴퓨터가 무작위로(randomly) 신호음을 발하면, 컵쌓는 작업을 멈추고 해당 컴퓨터로 이동하여 간단한 검색작업을 수행하도록 하여 작업중의 기계오작동 조정 및 부차행동(副次行動)에 의한 휴식이나 휴지(休止)를 반영하였다.

작업자의 자세는 높은 작업대를 대상으로 서서하는 입식자세와 낮은 작업대를 대상으로 등받이가 있는 의자에 앉아 작업하는 좌식자세의 두 가지를 택하였으며, 이때 작업대의 높낮이는 피실험자가 원하는 최적의 상태로 조절되었고, 작업은 각각의 실험조건에서 2 시간씩 진행되었다.

3.2. 측정과 척도

생리학적 평가를 위해 심전도(ECG)와 근전도(EMG)를 이용하였다. 이때, 근전도 전극은 대퇴이두근(biceps femoris), 비복근(gastrocnemius), 가재미근(soleus)과, 척추기립근(erector spinae)에 부착하였다. 샘플링 비율은 1024 Hz이었으며 Butterworth bandpass filter(30~360 Hz)로 필터링한 후, 12 bit 해상도의 전용 A/D 변환기(Myo 2000)로 정수화(digitize)하여 분석하였다.

한편 신체심리학적(psychophysical) 평가를 위해서는 자각증상표와 BodyMap을 이용한 주관적 평가를 실시하였고, 작업수행도도 기록하여 비교하였다.

3.3. 피실험자

실험에는 허리와 다리근육에 특별한 이상이 없는 총 5명의 남자 대학생이 참가하였는데, 평균연령은 25.6(±0.9) 세이었으며, 체중은 62(±7.78) kg, 신장은 168.7 (±6.13) cm이었다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 생리학적 척도

근전도 신호는 매 10분간의 신호 중 5초간의 자료로부터 실효치(root mean square; RMS)를 구하여 진폭을 분석하였고, 역시 매 10분간의 신호 중 1분간의 산호를 Fourier 변환(Fast Fourier Transform; FFT)하여 주파수 대역별로 power를 구한 다음, 작업전의 power 값을 기준으로 정규화(normalizing)하여 분석하였다.

nRMS (normalized Root Mean Squares)의 크기는 그 시점에서의 근육의 활동도를 나타내는데, 분산분석결과에 따르면 활성근육, 자세, 경과시간 등이 모두 nRMS에 유의한 영향을 미치고 있다고 판단되었으며, 활성근육종류와 자세, 자세와 경과시간의 교호작용도 유의하여($p < 0.05$) 작업을 지속함에 있어 자세의 미묘한 변화가 감지되었다. 다만 경과시간과 근육종류의 교호작용은 유의하지 않았다($p > 0.05$).

취급중량이 가벼운 경우에는 대체로 좌식자세에서의 근육의 활성도가 높았던 반면, 취급중량

이 500g을 넘어서면 입식자세에서의 근육의 활성도가 현저히 증가하여 700g의 경우에는 모든 근육의 활성도가 증가하는 현상을 보였다. 근육종류별로는 대퇴이두근의 변화가 가장 작아, 대퇴부의 부담보다는 무릎 아래의 종아리와 발의 부담이 크다는 것을 확인할 수 있었으나, 대퇴이두근도 700g의 경우에는 가장 높은 활성도를 보여 취급중량이 증가함에 따라 부담이 증가하리라는 것을 알 수 있었다. 척추기립근과 가재미근은 상대적으로 변화폭이 컸다.

nMPF(normalized Mean Power Frequency)는 피로에 따른 근전도 신호의 서파화(徐波化) 현상을 반영하는 것으로, 그림 2는 그 변화를 나타낸다. 보는 바와 같이 취급대상물의 중량이 가벼울 때에는 상대적으로 좌식자세의 피로도가 크다고 판단되었으며, 반대로 무거울 때에는 입식자세의 작업부담이 큰 것으로 판단되었다.

한편 작업초기에는 척추기립근의 부담이 크지만 작업이 지속될수록 비복근 등의 부담이 상대적으로 증가하는 경향을 확인할 수 있었다. 이것은 작업초기의 자세유지에 비해, 작업이 지속될

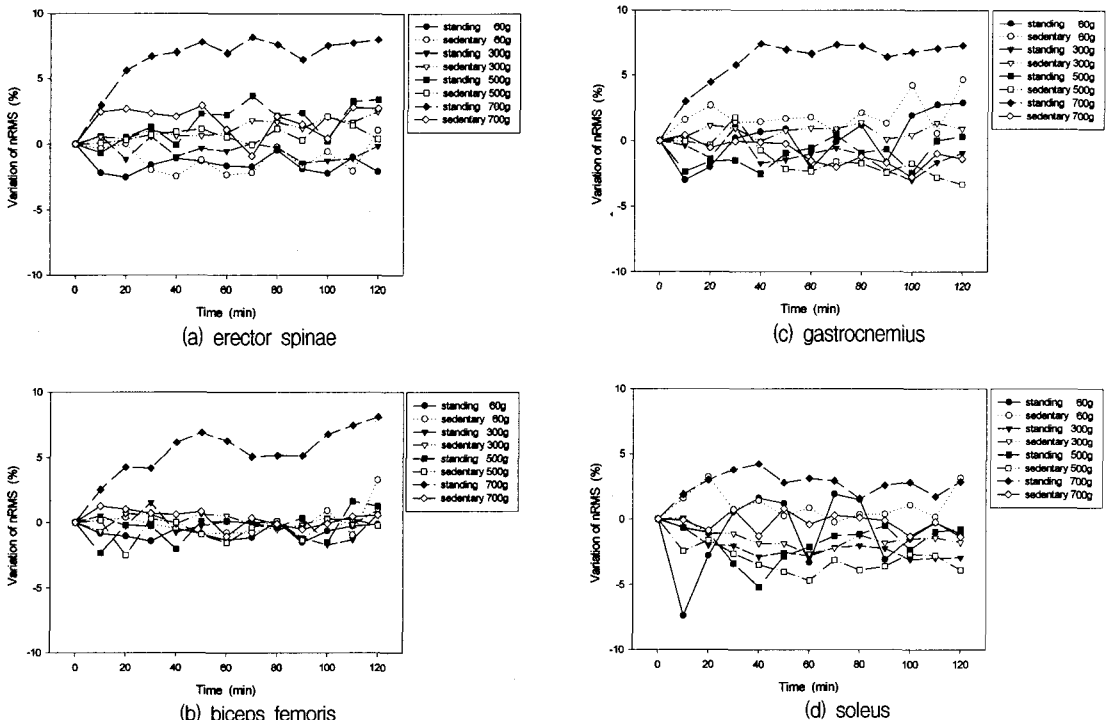


Fig. 1. Relative variation of nRMS over time

경조립작업을 위한 입/좌식 작업자세의 비교 및 선정

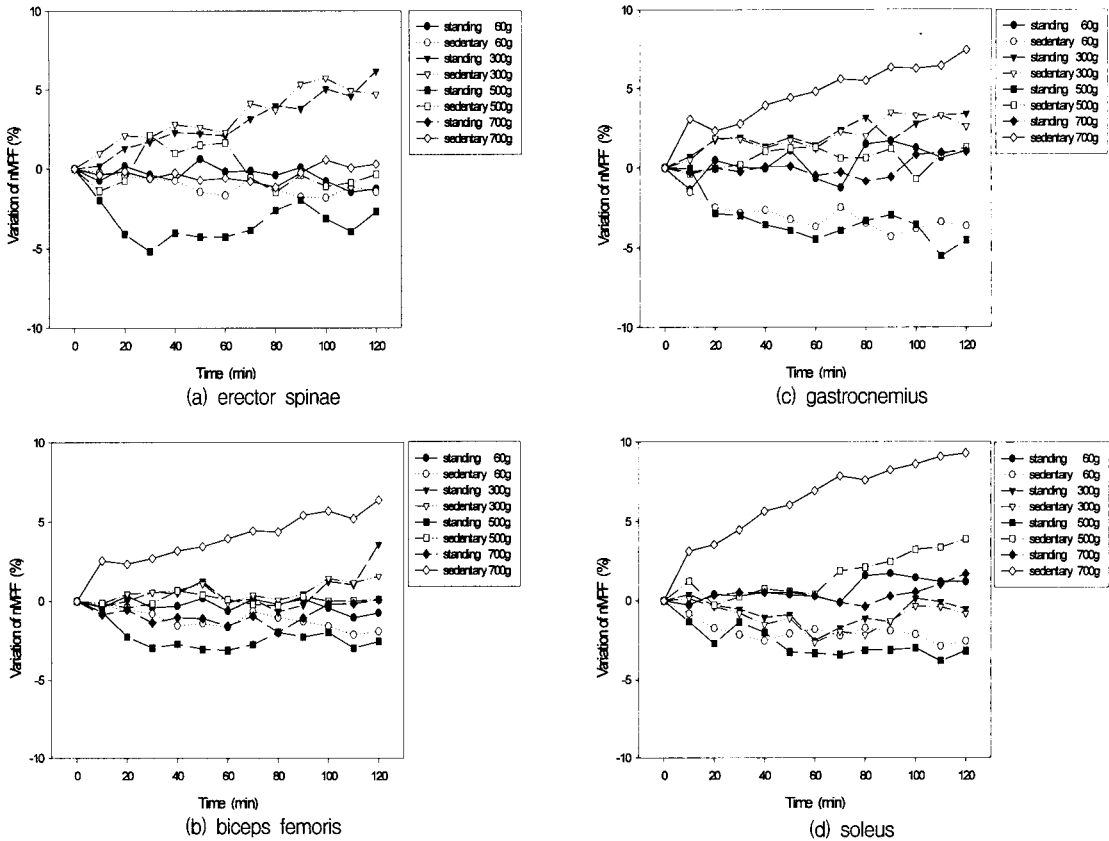


Fig. 2. Relative variation of nMPF over time

수족 자세를 유지하기 위해 다리나 발 등 의존하는 근육이 변화하였음을 나타낸다.

전반적으로는 입식자세의 부담이 좌식자세의 부담보다 크다고 판단되었다. 이것은 분산분석 결과에 의해서도 입증되었으며 주효과로는 활성근육, 자세, 경과시간이 모두 유의하였고, 활성근육종류와 자세, 자세와 경과시간의 교호작용도 유의하였으나($p < 0.05$), 경과시간과 근육종류와의 교호작용은 유의하지 않았다 ($p > 0.05$).

4.2. 주관적 평가

자각증상 조사표에 의한 피로도 분석결과에 따르면, ‘졸리움과 나른함’을 나타내는 제 I 항목군의 피로 호소율이 가장 높은 것으로 판단되었으며, 그 다음이 ‘신체조화감의 상실’을 나타내는 제 III 항목군, ‘주의집중의 곤란’을 반영하는 제 II 항목군의 순이었고, 또한 시간이 경과함에 따라 세 항목군 모두 피로 호소율이 증가하는 것

이 관측되어, 일반적인 작업의 피로성향과 차이가 없었다.

일반적으로는 좌식작업보다 입식작업이 더 높은 불편감을 호소하였으며, 작업시간의 경과에 따라 활용근육의 피로도 변화는 각각 달랐다고 판단되었다. 특히 이와 같은 현상은 작업시작 후 최초 1시간에 걸쳐 두드러지게 나타났는데, 분산분석 결과에서도 작업자세, 작업시간, 취급중량에 의한 주효과가 유의하였고, 작업시간과 취급중량, 근육종류와 취급중량의 교호작용도 유의하다($p < 0.05$)고 판단되어 이같은 사실을 지지하였다.

또한 취급중량 500g을 기준으로, 취급중량이 증가하면 가벼운 중량에 비해 자각적 피로도도 현저히 감소하여, 취급대상물의 중량이 가벼울수록 자세부담에 대한 작업자들의 호소율이 상대적으로 크다는 사실을 확인할 수 있었다.

한편, 좌식작업의 경우 피실험자들이 느끼는

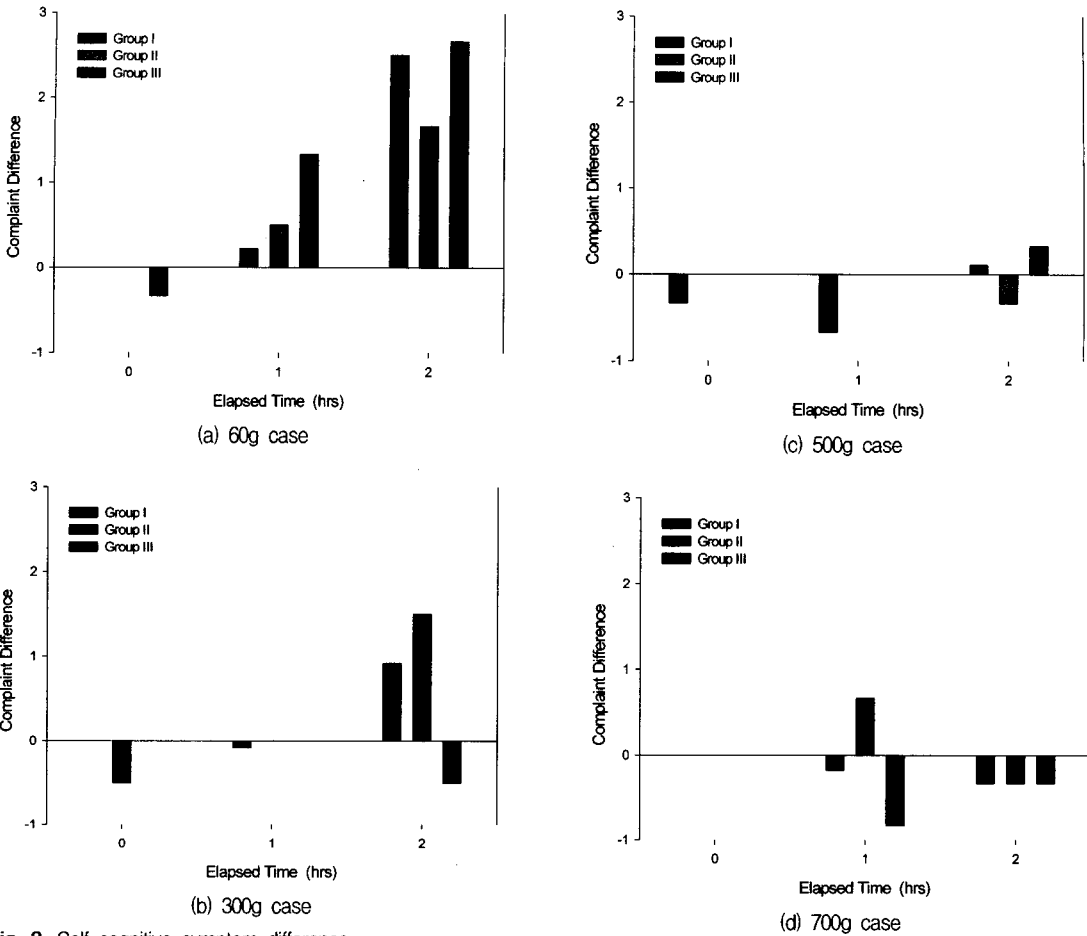


Fig. 3. Self-cognitive symptom difference

고통의 정도는 작업대상물의 중량과 작업지속시간에 비례한다고 보고된 바도 있지만⁶⁾, 본 연구에서도 유사한 경향을 나타냈고, 그 경향은 입식자세에서 더욱 두드러졌다.

그림 3은 최초 평가된 자각적 피로도와 관계없이, 입식자세와 좌식자세로 작업하는 경우 시간경과에 따른 자각적 피로도 차의 변화를 보여준다. 취급중량이 가벼울수록 시간이 지남에 따라 입식자세의 부담이 크지만, 취급중량이 무거워질수록 그 차이는 감소되어 500g을 전후로 오히려 좌식자세의 부담이 상대적으로 증가함을 보였다.

BodyMap에 의한 주관적 평점차를 신체부위별로 보면, 그림 4에서 보는 바와 같이 발 부위에서 가장 많은 차를 보였다. 취급중량에 관계없이 모든 부위에 걸쳐서, 시간이 경과함에 따라 좌식

자세와 입식자세의 작업부담차는 더 증가하는 것으로 판단되었으나, 허리부위의 경우 취급중량이 500g보다 가벼운 경우에는 시간의 경과에 따라 그 차가 감소하여, 최초 입식자세에 대한 부담이 높게 평가되고 있음을 보여주었다. 한편 취급중량이 500g보다 큰 경우에는 다시 그 차이가 증가하여 입식자세의 부담이 증대하고 있다고 판단되었다.

4.3. 작업수행도

매 10분간의 성공적 작업횟수를 기준으로 한 작업수행도를 비교하면 시간경과에 관계없이 입식작업이 좌식작업에 비해 안정적이고 우수한 작업수행도를 나타냈으며, 분산분석 결과도 작업자세, 작업시간, 그리고 취급중량 등의 주효과가 유의하였고, 교호작용은 유의하지 않아(p<0.05)

경조립작업을 위한 입/좌식 작업자세의 비교 및 선정

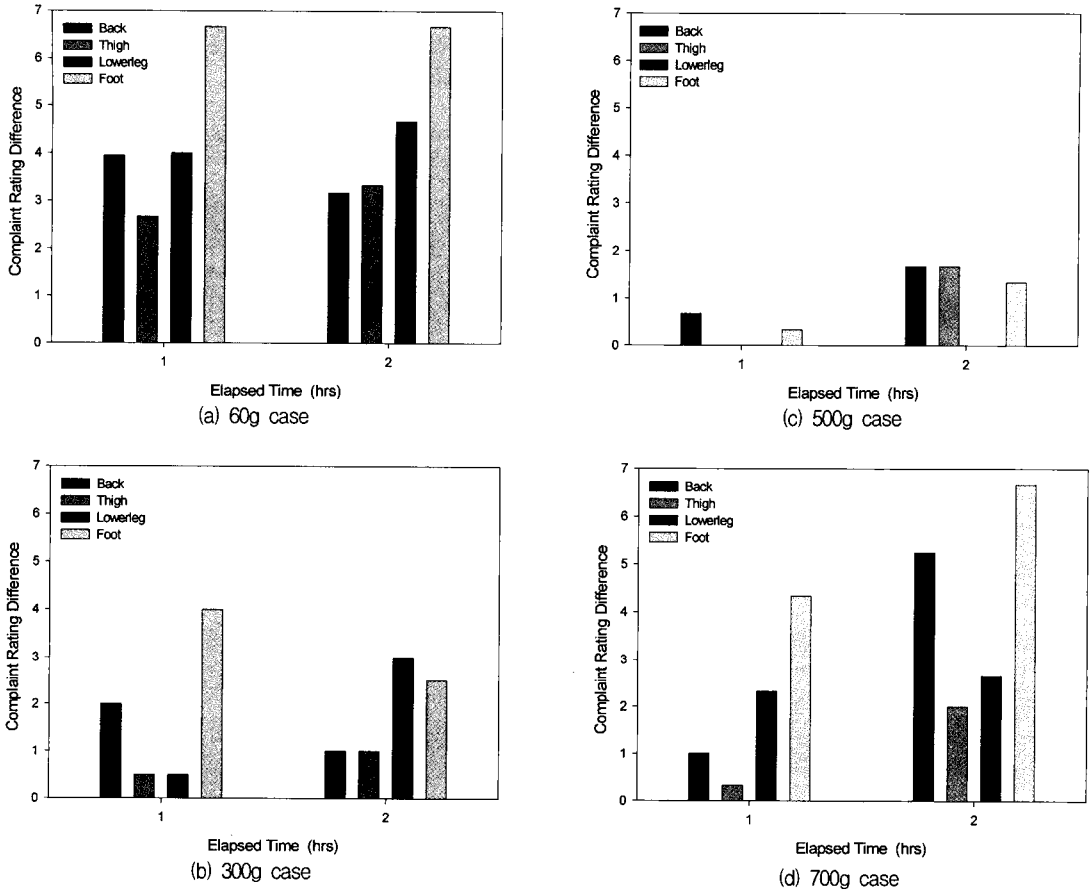


Fig. 4. Variation of BodyMap rating

이러한 사실을 입증하였다. 그러나, 각 취급중량의 경우 작업초기의 작업수행도를 기준으로 비교하였을 때, 시간경과에 따른 작업수행도의 변화는 관측되지 않았다.

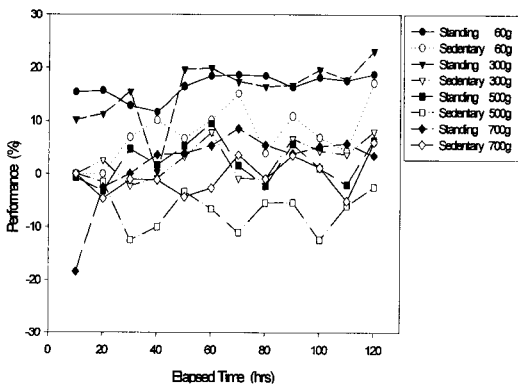


Fig. 5. Comparison of work performance

5. 결론

Oberg 등은 팔을 사용하는 작업자세에서 어깨 부위근육의 피로나 EMG 측정치는 피실험자들의 주관적 불편도와 상관성이 높다고 하였다⁷⁾. 본 연구결과에서도 근전도 분석과 주관적인 자각증상은 대체로 일치하여 일반적으로는 좌식작업보다 입식작업의 불편감 호소율이 더 높았으며, 500g을 전후로 오히려 좌식자세의 부담을 증가가 상대적으로 더 크게 느껴지는 경향을 보였고, 작업초기에는 허리의 부담이 크지만 작업이 지속될수록 발과 종아리의 부담이 상대적으로 증가하는 경향을 확인할 수 있었다. 한편 시간경과에 관계없이 입식작업이 좌식작업에 비해 안정적이고 우수한 작업수행도를 나타냈으며, 시간경과에 따른 작업수행도의 변화는 관측되지 않았다. 이상의 결과를 종합하면, 여러 가지 현상

이 모두 취급중량 500g을 전후로 변화하는 것을 알 수 있으며, 특히 취급중량이 무거워질수록 입식자세에 비해 좌식자세가 더욱 부담스럽게 느껴진다고 판단된다.

결론적으로 말하면, 취급중량이 무거워질수록 작업수행도의 측면에서도, 작업자 자신의 주관적·객관적 평가에 있어서도 입식자세가 우수하다고 할 수 있다. 본 연구결과에 의하면 그 기준은 대략 500g 내외이었다.

그러나 이 결과를 그대로 적용하는 데에는 간과해서는 안 되는 문제가 있다. 전기전자 부품을 조립하는 제조업의 경우 대부분의 조립부품의 무게가 이보다 가볍다는데 문제가 있을 수 있다. 취급대상물이 가벼울 때에는 작업수행도의 증가보다는, 작업자가 느끼는 자세부담의 증가가 상대적으로 커서 입식자세를 기피할 것이기 때문에, 불가피한 경우가 아니면 좌식자세가 바람직하다고 판단된다.

또 하나는 입식작업의 경우, 허리에 미치는 압축력면에서는 좌식작업보다 우수하지만 하지(下肢)의 생리적 부담이 증가하는 관계로 관절염환자나 중고령자의 경우에는 절대적으로 불리하다는 점이다. 최근 우리나라도 점차 고령화 사회에 들어서고 있는 점을 감안한다면, 좌식작업을 입식작업으로 전환하여 생산성 향상을 도모하기보다는, 좌식 작업대의 높이나 작업방법을 개선

함으로써 작업수행도를 개선할 수 있도록 하는 것이 보다 거시적인 측면에서 인간공학적인 접근방법이라 판단된다.

참고문헌

- 1) 김수엽, 근로자의 입식작업에 관한 연구, 한양대학교 대학원, 1991.
- 2) Grandjean, E., Hunting, G., "Ergonomics of Posture - Review of Various Problems of Standing and Sitting Posture", Applied Ergonomics, Vol. 8, No. 3, pp. 135~140, 1977.
- 3) Zhang, L., Drury, C. G., Wooley, S. M., "Constrained Standing : Evaluating the Foot/Floor Interface", Ergonomics, Vol. 34, No. 2, pp. 175~192, 1991.
- 4) 황도연, "입식과 좌식자세가 L5/S1 Disc의 하중에 미치는 영향", 대한인간공학회지, Vol. 11, No. 2, 1992.
- 5) 佐藤方彦, 人間工學概論, 光生館, 1971.
- 6) Kirk, N. S., Sadoyam, 1973, via Corlett, E. N., Bishop, R. P., "A Technique for Assessing Postural Discomfort", Ergonomics, Vol. 19, No. 2, pp. 175~182, 1976.
- 7) Oberg, T., Sandsjo, L., Kadefors, R., "Subjective and Objective Evaluation of Shoulder Muscle Fatigue", Ergonomics, Vol. 37, No. 8, pp. 1323~1333, 1994.