

쪼그려 앉은 작업자세에서의 작업부하 평가 Workload evaluation of squat sitting postures

이 인 석, 정 민 근

포항공과대학교 산업공학과

ABSTRACT

Many workers like welders are working in squat sitting postures with the object on the ground for an entire work shift. It is suspected that such prolonged squat sitting without any supporting stool would gradually cause musculoskeletal injuries to workers. This study is to quantitatively evaluate the physical stress caused by the prolonged squat sitting and to recommend a safe work/rest schedule for the task with squat sitting posture based on the lab experiment.

In this study, 8 healthy student subjects participated in the experiment. They maintained a squat sitting posture for 16 minutes with 4 different stool height conditions: no stool, 10cm height, 15cm height, 20cm height. Every 2 minutes, the discomfort was subjectively assessed using the magnitude estimation method for the whole body, lower back, upper leg and lower leg.

Based on discomfort rating, we found that 10cm height stool relieved the workload most. Discomfort rating results also indicated that 20cm height stool showed the highest workload, and that there was no difference in workload between 15cm height and no stool. We recommend to provide the workers with 10 cm height stool for prolonged squat sitting tasks.

1. 서론

현대의 산업사회에서는 많은 작업장의 생산 시설이 기계화 및 자동화되었으나, 아직도 많은 작업들은 인력에 의하여 수행되고 있다. 인력 작업은 취급되는 작업물의 무게, 작업방법, 작업 자세에 따라 과부하가 발생할 수 있으며, 이는 요통(back pain), 누적외상병(cumulative trauma disorders, CTDs) 등의 근골격계 질환을 유발할 수 있는 문제점을 가지고 있다. 근골격계 질환은 작업자의 건강 및 경제적인 측면에서 사회 전반적으로 문제가 되고 있다. 요통의 경우에 미국에서 연간 500 만 명의 작업자에게 요통 증세가 발생하는 것으로 조사되었으며, 이와 관련된 경제적

손실은 연간 약 200 억 달러에 달하며, 간접적 경제 손실까지 포함하면 약 1000 억 달러 이상의 손실이 발생하고 있다(Mital,1991).

근골격계 통증은 작업자의 순간적인 실수 혹은 사고에 기인하기 보다는 작업 방법 및 작업 환경 등의 잘못된 설계로 인한 부적절한 작업 자세, 과도한 작업부하량 할당 및 중량물의 무리한 취급 등과 같은 구조적 원인에 의해 만성적으로 누적되어 온 상해의 결과로 나타나는 경우가 대부분이다. 특히 근골격계 통증과 부적절한 작업 자세와의 연관 관계는 많은 연구 결과에서 보고되고 있다(van Wely, 1970; Grandjean and Hunting, 1977; Armstrong, 1986; Corlett at al., 1986; Armstrong, 1993).

부적절한 작업자세 중 쪼그려 앉은 작업자세는 우리나라의 산업 근로자들에게 매우 익숙한 작업자세 중 하나로, 조선업 등의 철 구조물 제작 관련 업종에서 용접, 절단, 연마 등의 작업을 수행할 때 많이 나타난다(그림 1 참조). 쪼그려 앉은 작업자세는 작업의 특성상 오랜 기간 동안 반복적으로 같은 자세를 지속하게 되며, 중량물 취급 등의 작업에 비해 순간적인 인체역학적 작업부하량은 크지 않더라도 장기간 지속함으로 인해 작업자의 근골격계에 나쁜 영향을 미칠 수 있을 것으로 예상된다. 즉, 특정한 신체적 혹은 생리적 결함이 없는 건강한 사람이라도 정적 자세(static posture)를 오래 유지할 경우에는 부하(stress)와 근육 섬유질에 대한 잘못된 하중 분포로 인해 근골격계의 기능적 결함과 근육 섬유질의 퇴행성 변화를 유발할 수 있다(Chaffin, 1974; Magora, 1970; van Wely, 1970).

쪼그려 앉은 작업자세는 서양에서 보다는 우리 나라를 비롯한 동양에서 많이 보이는 자세로, 지금까지는 이러한 작업자세의 작업부하에 대한 연구가 별로 이루어지지 않고 있다. 본 연구에서는 쪼그려 앉은 작업자세에서 작업용 받침대의 유무 및 높이와 작업의 지속 시간이 작업자의 신체적 작업부하에 미치는 영향을 주관적 불편도를 통해 평가하고, 이를 바탕으로 인간공학적 안전 작업 지침을 제시하고자 한다.



그림 1. 쪼그려 앉은 작업자세의 예

2. 연구 방법

본 연구에서는 쪼그려 앉은 작업자세의 신체적 부하를 주관적 불편도를 이용해 평가하는 실험을 수행하였다. 피실험자는 요통 등의 근골격계 통증을 앓은 적이 없는 신체 건강한 남자 대학생 및 대학원생 8명이다(평균 연령: 23.5 세, 평균 신장: 174.3cm, 평균 체중: 60.8kg).

쪼그려 앉은 작업자세에서 작업용 받침대의 유무 및 높이, 작업의 지속 시간은 작업자가 쉽게 조절할 수 있는 요인으로 작업부하에 많은 영향을 미칠 것으로 예상된다. 본 연구에서는 쪼그려 앉은 작업자세의 부하를 평가하는 실험의 독립변수로 작업용 받침대의 높이와 작업자세의 지속시간을 선정하였다. 받침대 높이의 수준은 받침대 없는 경우(H0), 10cm(H10), 15cm(H15), 20cm(H20)이며, 작업 지속 시간은 2분 간격으로 16분 동안 측정하였다.

본 실험에서는 바닥에 놓인 작업물을 대상으로 수행하는 것을 가정으로 하여, 실험에서 취한 작업자세는 모든 조건에 대해 몸통 각도(knee-hip-shoulder angle)가 30° 이내가 되도록 하였다. 또한, 일반적으로 현장 작업자들이 작업물을 가까이서 보아야 하는 작업의 특성에 따라 받침대를 이용하더라도 받침대 없이 쪼그려 앉은 자세에서 크게 벗어나지 않도록 하였다.

주관적 불편도는 Magnitude Estimation 기법을 이용하여, 신체 부위에 따라 전신(Whole Body, WB), 허리(Low Back, LB), 윗다리(Upper Leg, UL), 아랫 다리(Lower Leg, LL)에서의 불편도를 측정하였다. 불편도 평가는 피실험자가 스스로 설정한 기준에 따라 평가하는 방식인 Free-modulus Method를 이용하였으며, 측정된 데이터는 Min-Max 표준화 방법을 이용하여 0 ~ 100 사이의 척도로 표준화되었다.

3. 결과 및 논의

주관적 불편도에 대한 분산 분석 결과 작업자세(P), 평가신체부위(R), 지속시간(T) 간에 불편도의 차이가 유의하게 나타났다. 또한 작업자세와 지속시간, 평가신체부위와 지속시간 간에는 교호작용이 유의하게 나타났다(p-value < 0.05).

그림 2는 작업자세별 불편도 평균을 나타내고 있다. 작업자세 간의 주관적 불편도의 평균은 H10(26.5) < H0(34.2) ≈ H15(35.5) < H20(40.9)의 관계를 보였다(p-value < 0.05). 따라서, 받침대가 없는 경우보다는 받침대 높이 10cm인 경우에 작업자가 느끼는 불편도가 적으며, 받침대 높이가 15cm인 경우에는 받침대가 없는 경우와 유사한 부하를 유발하였다. 그리고, 받침대 높이 20cm의 경우에는 다른 모든 경우보다 작업자가 느끼는 신체적인 부하가 큰 것으로 나타났다.

그림 3은 평가신체부위별 불편도 평균을 나타내고 있다. 평가신체부위 간의 주관적 불편도의 평균은 LB(27.8) < UL(31.4) < WB(35.4) < LL(42.3)의 관계를 보였다(α=0.05에서 유의). 따라서, 허리(LB)에서 느끼는 불편도가 가장 작으며, 윗다리(UL), 전신(WB), 아랫다리(LL)의 순으로 작업자가 느끼는 주관적 불편도가 증가하는 것으로 나타났다.

이러한 현상은 본 연구의 대상인 쪼그려 앉은 작업자세의 특성에 기인한 것으로 보인다. 바닥에 있는 작업물을 대상으로 쪼그려 앉은 작업자세로 작업을 하는 경우에 허리를 굽혀 몸통과 팔을 다리에 걸치기 때문에 허리에서의 부하보다는 하지에서의 부하가 큰 것이다. 또한, 받침대가 높을수록 허리를 많이 굽혀 무게 중심이 앞으로 쏠려, 아랫다리에서 지탱하는 부하가 증가한 것이다.

그림 4와 그림 5는 각각 시간에 따른 작업자세와 신체부위의 주관적 불편도 평균을 나타내고 있다. 작업자세 시작시는 모든 작업자세의

주관적 불편도가 차이를 보이지 않고 있으나, 받침대 높이 10cm의 경우에는 2분 이후에 다른 작업자세에 비해 주관적 불편도가 작게 나타나고 있다. 또한, 8분 이후에는 받침대 높이 20cm의 주관적 불편도가 다른 작업자세에 비해 큰 것으로 나타났다. 받침대가 없는 경우와 받침대가 15cm의 경우에는 모든 시간에 있어 차이를 보이지 않고 있다. 평가신체부위별 주관적 불편도 평균은 처음에는 차이를 보이지 않다가 시간이 지날수록 허리, 윗다리, 전신, 아랫다리의 순의 불편도 차가 커지고 있다. 특히 시간이 지날수록 아랫다리에서 느끼는 불편도가 다른 신체부위에서 느끼는 불편도보다 큰 것으로 나타났다.

이는 시간이 증가할수록 받침대 높이에 따라 작업자가 느끼는 부하가 달라지는 것을 의미한다. 따라서, 장시간 지속적으로 작업을 수행해야 할 경우에는 부하를 덜 유발하는 높이의 받침대를 이용하는 것이 바람직하다. 본 연구에서는 실험의 특성상 피실험자가 전혀 움직이지 못하게 했기 때문에, 시간이 지날수록 신체부위간의 불편도 차이가 점점 커진 것으로 보인다. 실제 작업의 경우에는 작업자가 불편한 신체부위에 부하가 덜 가도록 자세를 조절할 수 있기 때문에 실제로는 이 차이가 크지는 않을 것으로 보인다. 그러나, 받침대가 너무 높거나 없는 경우에는 근본적으로 특정 부위의 부하가 크게 되므로 이를 지양하는 것이 바람직하다.

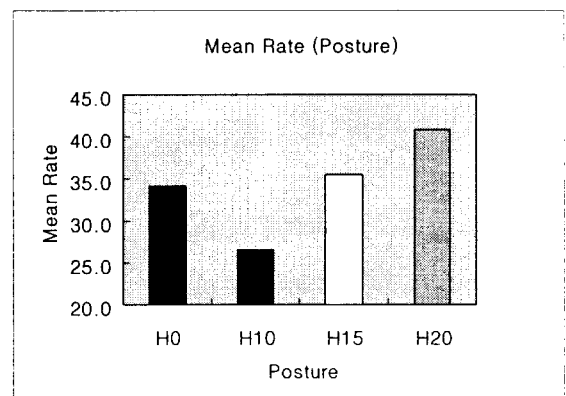


그림 2. 작업자세간의 주관적 불편도 평균

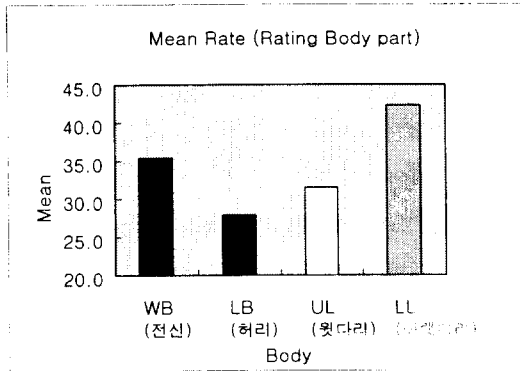


그림 3. 평가신체부위 간의 주관적 불편도 평균

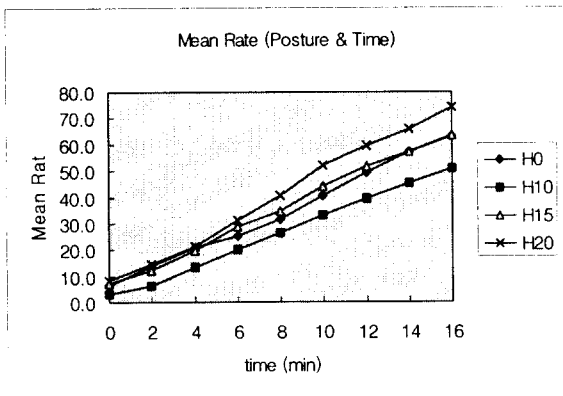


그림 4. 시간에 따른 작업자세별 불편도 평균

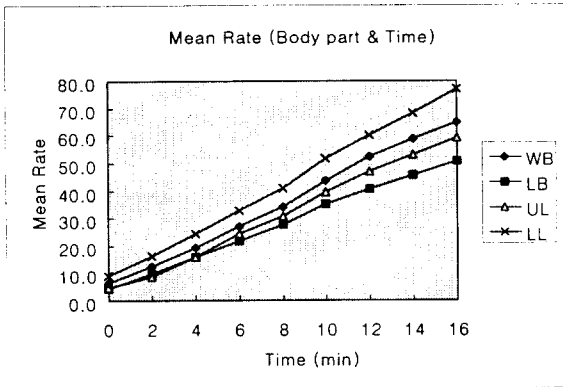
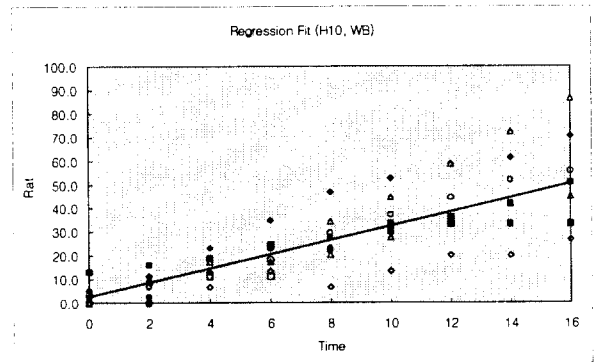


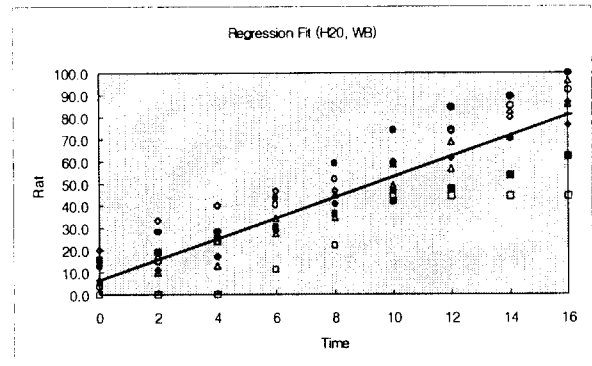
그림 5. 시간에 따른 평가신체부위별 불편도평균

작업자세 및 평가 신체 부위에 따른 주관적 불편도를 시간에 대하여 단순 선형 회귀분석한 결과, 각 작업자세별로 모든 신체 부위에 대한 주관적 불편도가 시간에 대해 선형 관계를 갖는 것으로 나타났다. 귀무가설 'H₀: β₁ = 0'에 대한 검정은 모든 경우에 있어 P-value < 0.05 로 기

각할 수 있다. 작업자세 H0, H20의 경우에는 모든 작업 신체 부위에 대해 r²이 0.650 ~ 0.845로 주관적 불편도가 시간에 대하여 1차 선형 관계식을 잘 만족하는 것으로 나타났으며, 작업자세 H10, H15의 경우에는 LB, UL 등의 일부 평가신체부위를 제외하고 r²이 0.6 이상으로 나타나 역시 1차 선형 관계식을 만족하는 것으로 나타났다. 그림 6은 받침대 10cm(H10), 20cm(H20)의 경우에 전신(WB)에 대한 주관적 불편도를 시간에 대해 회귀분석한 선형식을 나타내고 있다. 그림에서 H20의 경우에 H10보다 기울기가 더 크며, 시간이 지남에 따른 불편도의 변동도 큰 것을 볼 수 있다.



(a) H10



(b) H20

그림 6. 전신에 대한 주관적 불편도의 시간에 대한 회귀분석

4. 결론

주관적 불편도의 분석 결과 받침대 높이 10cm 작업자세가 가장 적은 부하를 유발하며, 받침대 높이 20cm 작업자세가 가장 큰 부하를 유발하였다. 받침대 높이 15cm 작업자세와 받침대가 없는 경우는 그 중간으로 서로 비슷한 부하를 유발하는 것으로 나타났다. 신체부위별 불편도는 허리, 윗다리, 전신, 아랫다리의 순으로 불편도가 증가하는 것으로 나타났다. 그리고, 시간이 증가함에 따라 작업자세 및 신체부위 간 불편도 차이가 증가하는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 쪼그려 앉은 작업자세의 작업부하 평가를 위한 방법으로 주관적 불편도를 이용했는데, 이 기법은 객관적인 면에서 단점을 가지고 있기 때문에 이를 이용하기 위해서는 많은 수의 피실험자를 대상으로 실험하는 것이 필요하다. 또한 다른 객관적인 측정 변수를 이용하여 주관적 불편도에 의한 결과를 평가하는 것이 필요하다. 측정 변수로는 근육의 순간적 부하가 적은 정적이며 지속적인 작업자세를 평가하기에 적절한 것이 고려되어야 한다. 한편, 본 연구에서는 좌우 대칭의 허리를 굽힌 자세만을 대상으로 했으나, 현장 작업장에서는 쪼그려 앉은 자세가 여러 형태로 나타나는 것을 쉽게 볼 수 있다. 따라서, 받침대 높이와 작업지속시간 이외의 다른 요인들까지 고려한 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] Armstrong, T. J. (1986). Upper-extremity postures: definition, measurement and control. In Corlett, E.N., Wilson, J. And Manenica, I. (Eds.), The ergonomics of working postures. Models, methods and cases (pp. 59-73). London: Taylor & Francis.
- [2] Armstrong, T. J., Buckle, P., Fine, L. J., Harberg, M., Jonsson, B., Kilbom, A., Kuorinka, I. A. A. Silverstein, B. A., Sjogaard, G., and Viikari-
- Juntura, E. R. A. (1993). A conceptual model for work-related neck and upper-limb musculoskeletal disorders, Scan. J. Work Environ Health, 19, 73-74.
- [3] Chaffin, D. B. (1974). Human strength capability and low back pain. J. Occ. Med., 9, 248-254.
- [4] Corlett, E.N., Wilson, J., and Manenica, I. (1986). The ergonomics of working postures. Models, methods and cases, London: Taylor & Francis.
- [5] 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.
- [6] Gescheider, G. A. (1985). Psychophysics - method, theory, and application (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- [7] Grandjean, E. and Hunting, W. (1977). Ergonomics of postures - review of various problems of standing and sitting postures. Applied Ergonomics, 8(3), 135-140.
- [8] Magora, A. (1970). Investigation of the relation between low back pain and occupation. Indus. Med. Surg., 39, 504.
- [9] Mital, A., (1991) Designing and analysis of multiple activity manual materials handling tasks, In Pault, B. M., and Alexander, D. D. (Eds.). Industrial Ergonomics: Case studies (29-40). New York: McGraw-Hill, Inc.
- [10] Van Wely, P. (1970). Design and disease. Applied Ergonomics, 1, 262-269.