

Workload Evaluation of Squatting Work Postures

쪼그려 앉은 작업자세에서의 작업부하 평가

In-Seok Lee* · Min-Keun Chung*

이인석* · 정민근*

Abstract

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

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

Based on discomfort ratings, we found that a 10cm height stool relieved the workload most. Discomfort rating results also indicated that a 20cm height stool showed the highest workload, and that there were no difference in workload between a 15cm height stool and no stool. We recommend to use low height stools and to maintain such working postures no longer than 6 minutes for prolonged squatting 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, 작업자세에 따라 과부하가 발생할 수 있

으며, 이는 작업자의 근골격계 질환을 유발할 수 있는 문제점을 가지고 있다. 근골격계 질환의 대표적인 예로는 요통(back pain), 누적외상병(cumulative trauma disorders, CTDs) 등이 있다.

근골격계 질환은 작업자의 건강 및 경제적인 측면에서 사회 전반적으로 문제가 되고 있다. 요통의 경우에 미국

* 포항공과대학교 산업공학과

이서 연간 500만 명의 작업자에게 요통 증세가 발생하는 것으로 조사되었으며, 이와 관련된 경제적 손실은 연간 약 150억 달러에 달하는 것으로 알려지고 있다. 또한, 간접적 경제 손실까지 포함하면 약 1000억 달러 이상의 손실이 발생하고 있다(Mital, 1991). 이와 유사한 조사 자료는 미국뿐만 아니라 유럽의 여러 선진 공업국에서도 보고되고 있다(Mcatamney and Corlett, 1992). 한국의 경우에 노동부 산업재해 통계에 의하면, 요통 재해는 산업재해 인정 기준상 사업장에서의 직접적인 사고로 인한 경우에만 보상이 가능함에도 불구하고, 1992년에는 요통 재해가 전체 재해의 7.96%를 차지하는 것으로 나타났다(노동부, 1995).

근골격계 통증은 작업자의 순간적인 실수 혹은 사고에 기인하기 보다는 작업 방법 및 작업환경 등의 잘못된 설계로 인한 부적절한 작업자세, 과도한 작업부하량 할당 및 중량물의 무리한 취급 등과 같은 구조적 원인에 의해 만성적으로 누적되어 온 상해의 결과로 나타나는 경우가 대부분이다. 특히 근골격계 통증과 부적절한 작업자세와의 연관 관계는 많은 연구 결과에서 보고되고 있다(van Wely, 1970; Grandjean and Hunting, 1977; Armstrong, 1986; Corlett et al., 1986; Armstrong, 1993). 작업자세로 인해 발생하는 작업부하를 평가하기 위한 연구는 근육의 피로도 측정, 주관적 불편도 측정 등이 많이 이용되고 있는데, 주관적 불편도를 이용한 작업자세의 연구는 작업자가 불편하게 느끼는 자세가 근골격계 통증을 유발할 소지가 클 것이라는 가정을 가지고 있다(Oberg et al., 1994; Genaidy et al., 1995).

부적절한 작업자세 중 쪼그려 앉은 작업자세는 우리나라의 산업 근로자들에게 매우 익숙한 작업자세 중 하나이다. 쪼그려 앉은 작업자세는 조선업 등의 철 구조물 제작 관련 업종에서 용접, 절단, 연마 등의 작업을 수행할 때 많이 나타나는데, 그림 1은 그러한 작업 자세의 한 예이다. 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 부

하(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 우리나라를 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 안전작업지침을 제시하고자 한다.



그림 1. 쪼그려 앉은 작업자세의 예

2. 연구 방법

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

쪼그려 앉은 작업자세에서 작업부하에 영향을 미칠 것으로 예상되는 요인으로는 작업용 받침대의 유무 및 높이, 작업의 지속 시간, 작업물의 높이, 공구의 무게, 받침대의 재질, 작업장 환경, 작업 특성 등이 있으며, 이러한 요인들은 작업자의 다리, 허리, 팔, 목 등의 신체 부위에서의 작업자세와 작업부하에 영향을 미친다. 이러한 요인 중에서 작업자가 조절할 수 있는 것은 작업용 받침대의

작업 지속시간으로, 이들은 작업부하에도 많은 영향을 미칠 것으로 추정된다. 이외의 요인들은 작업의 특성에 따른 고유한 특징으로 작업자가 조절하거나 쉽게 고칠 수 없다. 따라서, 본 연구에서는 조그려 앉은 작업자세의 부하를 평가하는 실험의 독립변수로 작업용 받침대의 높이와 작업자세의 지속시간을 선정하였다. 받침대 높이의 수준은 받침대가 없는 경우(H0)와 받침대 높이 10cm(H10), 15cm(H15), 20cm(H20) 등 4가지 조건으로 하였으며, 작업 지속 시간은 2분 간격으로 16분 동안 측정하였다. 이는 현장 조사 결과와 실험 진행상의 어려움을 고려한 것이다. 조선소 등의 현장작업장을 조사한 결과 작업자들이 용접작업 시 평균적으로 약 10~15분 정도 같은 작업자세에서 작업을 지속하는 것을 관찰할 수 있었다. 또한, 실험디자인을 위한 예비 실험 결과 조그려 앉은 작업자세를 15분 이상 지속할 경우에 피실험자에게 매우 높은 부하를 유발하는 것을 알 수 있었다. 이로부터 작업자세 지속 시간을 16분으로 설정하였으며, 2분 간격으로 불편도를 평가하도록 한 것은 피실험자가 불편도 평가로 인한 정신적 부하를 느끼지 않도록 하며 지속 시간에 따른 불편도 변화를 알 수 있도록 하기 위한 것이다.

본 실험에서는 바닥에 놓인 작업물을 대상으로 수행하는 것을 가정으로 하여, 실험에서 취한 작업자세는 4가지 받침대 조건에 대해 몸통 굴절 각도(knee-hip-shoulder angle)가 30°이내가 되도록 하였다(그림 2의 a). 또한, 일반적으로 현장 작업자들이 작업물을 가까이서 보아야 하는 작업의 특성에 따라 받침대를 이용하더라도 받침대 없이 조그려 앉은 자세에서 크게 벗어나지 않도록 하였다. 피실험자의 발의 위치는 그림과 같이 일정 위치에 고정시키도록 하고, 발끝선으로부터 고관절의 위치(그림 2의 b)까지의 직선 거리를 일정하게 유지하였다. 팔 자세는 바닥에 닿지 않을 정도로 뻗도록 하였으며, 바닥에 작업물이 있는 것으로 가정하고 그림과 같이 어깨 부위를 다리에 걸치도록 하였다. 이는 팔을 들고 있는 경우에 이로 인해 피실험자가 느끼는 불편도가 커지는 것을 방지하기 위함이다. 손에는 아무것도 들지 않도록 하였으며, 팔의 움직임은 자유롭도록 하였다. 목 자세는 몸 앞의 바닥을 보도록 하였으며, 목을 너무 많이 숙이지 않도록 하였다.

주관적 불편도는 Magnitude Estimation 기법을 이용하여, 신체 부위에 따라 전신(Whole Body, WB), 허리(Low

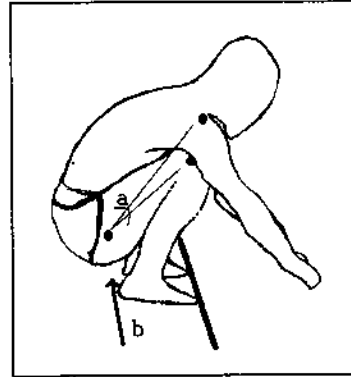


그림 2. 실험 작업 자세

Back, LB), 윗다리(Upper Leg, UL), 아랫 다리(Lower Leg, LL) 등의 네 부위에 대해 측정하였다. 평가는 피실험자가 스스로 설정한 기준에 따라 평가하는 방식인 Free-modulus Method를 이용하였으며, 측정된 데이터는 아래의 식과 같은 Min-Max 표준화 방법을 이용하여 0 ~ 100 사이의 척도로 표준화되었다. 표준값을 이용하는 것은 피실험자들간의 불편도 평가 기준이 다르기 때문에, 피실험자 변동이 매우 크므로 이를 보정하기 위한 것이다.

Standardized Value

$$= 100 * (\text{Raw Data} - \text{Minimum Data}) / (\text{Maximum Data} - \text{Minimum Data})$$

Minimum Data: 각 피실험자의 주관적 불편도의 최소값

Maximum Data: 각 피실험자의 주관적 불편도의 최대값

3. 결과

주관적 불편도에 대하여 받침대 높이(Height, H), 불편도 평가 신체 부위(Body Part, BP), 지속시간(Time, T)을 주요효과(main effect)로 하여 분산분석을 하였다(표 1). 분석 결과 받침대 높이, 평가신체부위, 지속시간에 따른 불편도의 차이가 유의하게 나타났으며, 작업자세와 지속시간, 평가신체부위와 지속시간 간에는 교호작용이 유의하게 나타났다(p-value < 0.05).

그림 3은 작업자세별 불편도 평균을 나타내고 있다. 작업자세 간의 주관적 불편도의 평균은 받침대 높이 20cm의 경우에 불편도가 가장 크게 나타났으며, 받침대 높이

표 1. 주관적 불편도에 대한 분산분석표

source	Df	SS	MS	F-value	P-value
Height(H)	3	30561.47	10187.16	6.83	0.0022*
Body Part(BP)	3	33177.36	11059.12	8.13	0.0009*
Time(T)	8	411926.39	51490.80	83.70	0.0001*
H*BP	9	4666.34	518.48	1.43	0.1955
H*T	24	6302.56	262.61	4.54	0.0001*
BP*T	24	7476.93	311.54	6.49	0.0001*
H*BP*T	72	2185.45	30.35	1.45	0.0134*
Subject(S)	7	43921.48	6274.50		
H*S	21	31327.09	1491.77		
BP*S	21	28564.36	1360.21		
T*S	56	34450.73	615.19		
H*BP*S	63	22873.54	363.07		
H*T*S	168	9709.32	57.80		
BP*T*S	168	8070.27	48.04		
H*BP*T*S	504	10569.82	20.98		
total	1151	685783.10			

* : 유의수준 $\alpha=0.05$ 에서 유의함.

10cm의 경우에 가장 낮았다. 그리고 그 중간인 받침대가 없는 경우와 받침대 높이 15cm의 경우는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다($H10(26.5) < H0(34.2) \approx H15(35.5) < H20(40.9)$, $p\text{-value} < 0.05$).

그림 4는 평가신체부위별 불편도 평균을 나타내고 있다. 평가신체부위별 주관적 불편도의 평균은 아랫다리(LL)의 불편도가 가장 크게 나타났으며, 전신(WB), 윗다리(UL), 허리(LB)의 순으로, 허리의 불편도가 가장 적게 나타났다($LB(27.8) < UL(31.4) < WB(35.4) < LL(42.3)$, $p\text{-value}(0.05)$).

그림 5는 시간에 따른 받침대 높이별 주관적 불편도 평균을 나타내고 있다. 주관적 불편도는 네 받침대 조건에서 모두 시간이 지남에 따라 점차 증가하는 것으로 나타났다. 작업자세 시작시는 모든 작업자세의 주관적 불편도가 차이를 보이지 않고 있으나, 시간이 지남에 따라 받침대 높이에 따라 주관적 불편도의 차이가 크게 나타나고 있다. 받침대 높이 10cm의 경우에 2분 이후부터 다른 작업자세에 비해 주관적 불편도가 적게 나타나고 있으며, 6분 이후에는 받침대 높이 20cm에서의 불편도가 받침대가 없는 경우와 높이 15cm에서의 불편도보다 점차 큰 차

받침대 높이별 불편도 평균

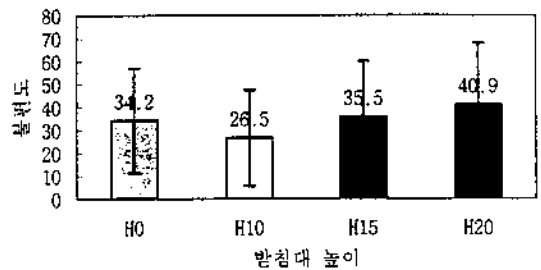


그림 3. 받침대 높이별 주관적 불편도 평균

이를 보이고 있다. 받침대가 없는 경우와 받침대 15cm의 경우에는 주관적 불편도가 차이를 보이지 않았다.

그림 6은 시간에 따른 평가신체부위별 주관적 불편도 평균을 나타내고 있다. 신체부위별 주관적 불편도 역시 시간의 지남에 따라 증가 추세를 보이고 있으며, 시간이 지남에 따라 신체부위간의 불편도 차이가 크게 증가하고 있다. 특히, 시간이 지날수록 아랫다리에서 느끼는 불편도가 다른 신체부위에서 느끼는 불편도보다 큰 것으로 나타났으며, 시간이 증가할수록 허리, 윗다리, 전신, 아랫다리의 순의 불편도 차가 커지고 있다.

신체 부위별 불편도 평균

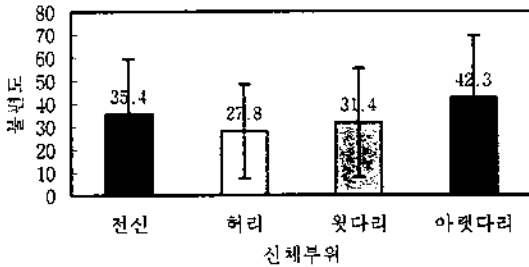


그림 4. 평가신체부위별 주관적 불편도 평균

표 2. 주관적 불편도가 처음으로부터 차이를 보인 시간 (분) ($p < 0.05$)

	H0	H10	H15	H20
전신(WB)	4	6	4	4
허리(LB)	6	6	6	6
윗다리(UL)	4	6	6	6
아랫다리(LL)	4	6	4	4

4. 논의

주관적 불편도에 대한 분산분석 결과 받침대 높이, 평가신체부위, 지속시간 등의 주효과가 모두 통계적으로 유의한 것으로 나타났다(p -value(0.05)). 또한 작업자세와 지속시간, 평가신체부위와 지속시간의 교호작용도 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 받침대 높이에 따라서는 받침대 높이 10cm 작업자세에서 피실험자가 느끼는 부하가 가장 적으며, 받침대 높이 20cm 작업자세의 부하가 가장 큰 것으로 나타나고 있다. 받침대가 없는 경우와 받침대 높이 15cm 작업자세는 그 중간으로 서로 비슷한 부하를 가지는 것으로 나타났다(그림 3). 평가신체부위 간의 차이로는 허리에서 느끼는 부하가 가장 적으며, 윗다리, 아랫다리의 순으로 증가하는 것으로 나타났으며, 전신에 대한 불편도는 윗다리와 아랫다리의 중간인 것으로 나타났다(그림 4). 한편, 그림 3과 그림 4에서 받침대 높이별 불편도와 신체부위별 불편도의 표준편차가 매우 큰 것을 알 수 있는데, 이는 피실험자간의 변동 이외에 시간에 따른 변동, 신체 부위 혹은 받침대 높이에 따른 변동이 포함되었기 때문이다. 특히, 시간의 변화에 따라 불편도가 계속 증가하고 있기 때문에 이로 인한 변동요인이 많은 것으로 파악된다(그림 5, 그림 6).

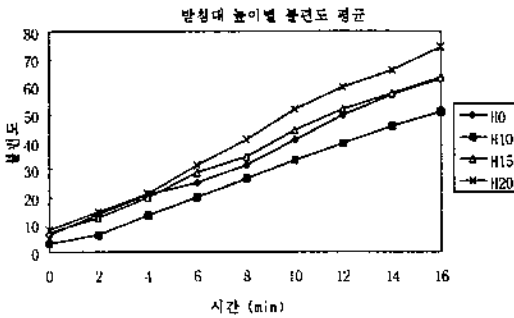


그림 5. 시간에 따른 받침대 높이별 불편도 평균

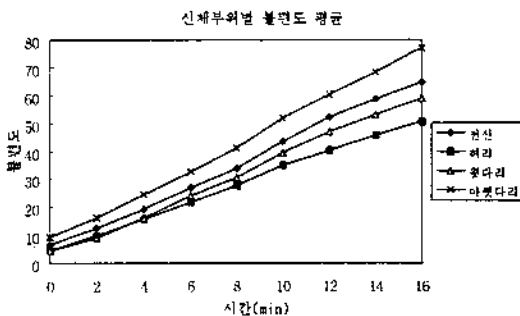


그림 6. 시간에 따른 신체부위별 불편도 평균

표 2는 받침대 높이에 따라 주관적 불편도가 처음으로부터 차이를 보인 시간을 나타내고 있다. 모든 받침대 조건에 따라 아랫다리와 전신의 불편도가 가장 빨리 차이를 보였으며, 허리의 불편도가 늦게 차이를 나타냈다. 전신과 아랫다리의 경우에 받침대 높이 10cm 에서는 불편도가 6분부터 차이를 보였으며, 나머지 경우에는 4분에 차이를 보이기 시작했다.

이러한 현상은 본 연구의 대상인 조그려 앉은 작업자세의 특성에 기인한 것으로 보인다. 바닥에 있는 작업물을 대상으로 조그려 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. 시간에 따른 작업자세별 불편도는 받침대 높이 10cm

작업자세가 처음부터 다른 작업자세에 비해 적은 불편도를 나타내었다. 다른 작업자세 간에는 처음에는 차이가 나타나지 않다가, 6분 이후로 받침대 높이 20cm 작업자세에서의 불편도가 다른 경우에 비해 크게 증가하고 있다(그림 5). 이는 시간이 증가할 수록 받침대 높이에 따라 작업자가 느끼는 부하가 달라지는 것을 의미한다. 따라서, 장시간 지속적으로 작업을 수행해야 할 경우에는 부하를 덜 유발하는 높이의 받침대를 이용하는 것이 바람직하다. 받침대가 없는 경우에는 받침대 높이 15cm 작업자세와 유사한 불편도를 나타냈는데, 이 현상은 시간의 증가에 따라서도 큰 차이를 보이지는 않았다.

시간에 따른 신체 부위별 불편도의 차이는 작업자세를 추한 처음부터 아랫다리의 부하가 가장 컸으나, 시간이 지날 수록 다른 부위와의 차이가 점점 크게 나타났다(그림 6). 또한, 시간이 증가함에 따라 허리와 아랫다리, 전신의 불편도 간에도 차이를 보이기 시작했다. 이는 본 연구에서 실험의 특성상 피실험자가 전혀 움직이지 못하게 했기 때문에, 시간이 지날수록 신체 부위간의 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.

각 작업자세를 취한 후 처음으로 주관적 불편도가 차이를 보인 시간은 전신과 아랫다리의 경우에 받침대 높이가 10cm 작업자세에서 6분, 나머지 다른 작업자세에서 4분으로 나타났다(표 2). 이 결과에서 쪼그려 앉은 작업자세를 6분 이내로 지속할 경우에는 작업자가 느끼는 불편도가 큰 차이가 없지만, 6분 이상 작업을 지속할 경우에는 작업자가 느끼는 불편도가 처음보다 확연하게 큰 것을 알 수 있다.

5. 결론 및 추후 연구 방향

주관적 불편도의 분석 결과 받침대 높이가 10cm 작업자세가 가장 적은 부하를 유발하며, 받침대 높이가 20cm 작업자세가 가장 큰 부하를 유발하였다. 받침대 높이가 15cm 작업자세와 받침대가 없는 경우는 그 중간으로 서로 비

슷한 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. 작업자세를 취한 후 6분 이후에 불편도가 처음과 차이를 보이기 시작했으며, 약 6분 이후에 작업자세 및 신체 부위간에 차이도 점점 증가하는 것으로 나타났다.

주관적 불편도를 바탕으로 한 쪼그려 앉은 작업자세에 대한 안전 지침은 너무 높은 받침대를 사용하거나, 받침대를 이용하지 않는 것 보다는 낮은 높이의 받침대를 이용하는 것이 제안된다. 또한, 적절한 받침대가 있더라도 6분 이상 쪼그려 앉은 작업자세를 지속할 경우에는 불편한 정도가 차이를 보이게 되며, 그 이상 장시간 작업을 지속할 경우에는 받침대 높이에 따라 신체부위별로 느끼는 불편도가 큰 차이를 보이므로 이를 지양하는 것이 바람직하다.

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. 이러한 연구의 결과 및 연구 방법은 다양한 작업자세에 대한 정량적 평가 모델을 구축함에 있어 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] 노동부, '92-'94 산업재해통계, 1993-1995.
- [2] 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.
- [3] Armstrong, T. J., Buckle, P., Fine, L. J., Harberg, M., Jonsson, B., Kilbom, A., Kuorinka, I. A. A. Silverstein, B. A., Sjøgaard, 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.
- [4] Chaffin, D. B. (1974). Human strength capability and low back pain. *J. Occ. Med.*, 9, 248-254.
- [5] Corlett, E.N., Wilson, J., and Manenica, I. (1986). The ergonomics of working postures. Models, methods and cases, London: Taylor & Francis.
- [6] 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.
- [7] Genaidy, A.M., 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.
- [8] Gescheider, G. A. (1985). *Psychophysics - method, theory, and application* (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- [9] Grandjean, E. and Hunting, W. (1977). Ergonomics of postures - review of various problems of standing and sitting postures. *Applied Ergonomics*, 8(3), 135-140.
- [10] Lodge, M. (1981). *Magnitude Scaling : Quantitative measurement of options*, Beverly Hills, CA: Sage.
- [11] Magora, A. (1970). Investigation of the relation between low back pain and occupation. *Indus. Med. Surg.*, 39, 504.
- [12] Mcatamney L., and Corlett, E. N. (1992). Ergonomics workspace assessment in a health care context. *Ergonomics*, 35(9), 965-978.
- [13] 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.
- [14] Obérg, T., Sandsjo, L., and Kadefors, R. (1994). Subjective and objective evaluation of shoulder muscle fatigue. *Ergonomics*, 37(8), 1323-1333.
- [15] Stevens, S. S. (1975). *Psychophysics: Introduction to its perception, neural, and social prospects*. New York, NY: John Wiley.
- [16] van Wely, P. (1970). Design and disease. *Applied Ergonomics*, 1, 262-269.