Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 15, No. 2, 1996

스크류 드라이버를 사용하는 작업장의 인간공학적 평가 : 심리육체적 접근 방법+

Ergonomic Evaluation of Screw Driver-Using Workstations : Psychophysical Approach

박 희 석*

ABSTRACT

This research utilized the psychophysical methodology, where screw drivers are used, to determine the effects of i) the location and orientation of work objects, and ii) wearing gloves, on ratings of perceived exertion at various body parts. The validity of the psychophysical methodology in determining a preferred work pace was also studied. The subjects drove screws with a screw driver into thick wooden sheet at three vertical and three horizontal locations. They drove screws for 3 minutes at each location and assessed the condition using the psychophysical scale. The results showed that only the vertical location was a significant factor in determining the discomfort ratings. Driving screws at elbow height on the vertical surface and with the lower arm close to the body on the horizontal surface were the work locations with the smallest ratings of perceived discomfort. Wearing gloves had significant effects on reducing the pain of the hand. From the experiment in which a comfortable work pace was identified using 20 minute psychophysical adjustment, it was found that the psychophysical method is sensitive to workers perception of the physical stress when the upper limbs are employed. This was confirmed by the high correlation between the psychophysical results and EMG measurement.

+ 본 연구는 1995년 한국과학재단 핵심전문 연구비 (951-1010-034-1) 지원에 의하여 수행되었음
* 홍익대학교 컴퓨터 산업공학부 교수

1. 서 론

본 연구는 산업 현장 및 가정에서 가장 널리 사용되는 수공구 중의 하나인 스크류 드라이버 (screw driver)를 사용하여 나사못을 박는 작업의 인간공학적 평가에 관한 것으로서, 심리육체적 평가법 (psychophysical rating)을 사용하여 i) 작업장 설계 변수 (작업자와 작업점간의 수평 및 수직거리)가 변화함에 따라 작업자가 각 신체 부위에서 느끼는 통증 정도를 분석하고, ii) 장갑 착용의 통증 정도에 대한 효과를 파악하며, iii) 작업자가 편안하게 느끼는 작업 강도를 산정하였다. 특히 작업 강도의 산정에 있어서는 심리육체적 조정 방법에 의한 결과와 근전도 (EMG) 측정 결과와의 상관관계를 검토하였다.

1.1 수공구 작업과 산업 안전/보건

현대 사회에서는 기계화와 자동화로 인하여 전통적인 수공구 (hand tool)의 중요성이 간과되고 있으나, 아직까지 산업 현장과 가정에서는 수공구가 빈번히 사용되고 있다. 수공구의 디자인과 사용에 관하여 특히 선진국들에서는 수공구를 사용하는 산업계, 수공구 제조 회사, 그리고 인간공학 전문가들이 상당한 관심을 보여 왔다. 그 주된 이유는 반복적인 작업으로 인한 Cumulative Trauma Disorders (CTDs)로서, 수공구 작업을 하루 8시간 동안 수년간 반복 수행할 경우, 손, 팔, 어깨, 목으로 구성되는 上枝 (upper extremities)의 근육과 섬유 조직 (soft tissue)에 무리가 와서 점차적으로 상지의 기능 저하와 나아가서는 통증을 유발할 수 있다. 최근 새로운 생산 조직과 단순화된 반복 업무, 강한 노동 강도에 의하여 동력, 또는 인력을 사용하는 수공구를 사용하여 작업을 하는 경우에 상지의 통증과 감각 이상을 호소하는 작업자가 급증하고 있다. 이 반복성 질환은 미국 등 선진국에서는 산업계 전반에 걸쳐 최대의 직업병으로 인식되고 있으며, 2000년대에는 미국 전체 산업재해 관련 비용의 50% 이상을 차지할 것으로 전망되고 있다. 우리나라의 경우, 3D (Difficult, Dirty and Dangerous)작업을 회피하는 사회 분위기에 편승하여 산업 인력이 갈수록 부족해지고 있는 반면에 산업은 팽창하고 있어, 가까운 장래에 CTDs의 심각성은 급속히 확산될 전망이다.

이러한 CTDs는 무리한 힘, 부자연스러운 자세, 반복 작업, 날카로운 면과의 접촉, 진동, 저온에의 노출 등에 의하여 유발된다는 것이 일반적인 인식이다 (Putz-Anderson, 1988). Aghazadeh와 Mital의 조사 (1987)에 의하면 수공구에 의한 산업재해 중, 무리한 힘에 의한 재해가 충돌에 이어 두번째 주요 원인으로 나타나, CTDs 위험 요인을 제어해야 하는 필요성을 시사하고 있다 ([표 1] 참조). 상해 부위별로는 상지와 허리가 높은 비중을 차지하고 있어서 이 역시 CTDs의 심각성과 인간공학적 수공구 디자인/사용의 중요성을 가리키고 있다 ([표 2] 참조).

[표 1] 수공구로 인한 산업재해의 원인별 분류

원인

원 인	비 중(%)
Struck or struck against	71.2
Over-exertion	24.8
Caught or between	2.0
Fall	0.7
기타	1.4

[표 2] 수공구로 인한 산업재해의 상해 부위별 분류

신체 부위	비 중(%)
상지	59.3
허리	16.7
하지	9.0
몸통	8.5
머리/목	3.9
복수의 부위	1.8
눈	0.7
기타	0.1

1.2 작업장 설계와 신체 불편도

전술한 바와 같이 CTDs는 무리한 힘, 부자연스러운 자세, 반복 작업, 날카로운 면과의 접촉, 진동, 저온에의 노출 등에 의하여 유발되며, 疫學的 (epidemiological), 醫學的 (clinical), 그리고 生體力學的 (biomechanical) 분석에 의하면 이들 위험 요인들은 작업장의 설계 특성과 밀접한 관련이 있다. 특히 자세적 스트레스는 작업물의 위치와 방향 (orientation), 그리고 공구의 모양과 밀접한 관련이 있다 (Tichauer 1978; Armstrong and Chaffin, 1979; Herberts et al., 1981; Armstrong et al., 1986). 이와 관련하여 수공구의 인간공학적 설계와 평가에 적용되는 일반적인 원칙으로는: i) 손목의 꺾임을 방지하고 ii) 어깨와 팔의 부자연스러운 자세를 초래하지 않으며 iii) 작업자의 손크기에 적절하며 iv) 손바닥과 손가락을 압박하지 않아야 한다는 것이다 (Chaffin and Andersson, 1991).

여기서 이러한 원칙은 공구와 신체 일부분의 위치만을 고려하여 분석한 결과로서, 사실 대부분의 수공구는 다양한 형태와 방향을 가지는 작업물에 사용되므로 작업장의 설계 변수와 연계하여 분석하는 것이 더욱 바람직하다. 이에 본 연구에서는 가격이 싸고 쉽게 구할 수 있으며, 가볍기 때문에 사용과 운반에 편리하므로 산업계와 가정에서 많이 사용되고 있는 수공구의 하나인 스크류 드라이버를 사용할 때 발생하는 신체적 불편도를 작업장의 설계 변수, 즉 작업물의 방향이 직립 자세에 비하여 수직인가 또는 수평인가의 함수로 분석하였다. 이 때, 장갑 착용의 효과도 함께 고려하였다.

1.3 심리육체적 방법

CTDs를 예방하려면 그 위험 요인들을 파악하고 그 요인들에 대한 노출의 한계 (acceptable exposure limit)를 설정하는 것이 필요하다. 물건을 들고 내리거나, 또는 밀거나 당기고, 운반을 하는 Manual Materials Handling (MMH) 작업의 경우, 미국의 NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health)의 작업 안전 지침은 임의의 작업자 또는 작업자 그룹이 가장 적합하고 안전하게 들어 올릴 수 있는 최대허용하중 (maximum acceptable weight of lift)을 결정하는데 도움이 되는 것으로서, 그 최대허용하중의 결정에는 i) 산업재해와 관련하여 작업자의 개인적 특성과 작업 특성과의 관계를 주로 재해 통계치를 통하여 분석하는 疫學的 접근 방법 (epidemiology), ii) 주로 작업 빈도가 낮은 (infrequent) MMH 작업 시, 근육골격계에 발생되는 부하를 모형 (model)을 통하여 분석하는 生體力學的 방법 (biomechanical method), iii) 보다 반복적이고 작업 빈도가 높은 MMH 작업 시, 에너지 대사량에 근거하는 生理學的

방법 (physiological method), iv) 그리고 외부의 자극과 인간의 인지 (cognition)를 결합시키는 心理肉體的 방법 (psycho-physical method) 등이 주로 사용되어 왔다 (NIOSH, 1981).

이 중 특히 심리육체적 방법은 지난 20년 동안 빈도수가 작은 반복적인 들기 작업을 평가하기 위해서 널리 사용되어 왔다 (Snook and Irvine, 1967, 1968; Ayoub et al., 1978; Mital, 1983, 1984; Snook and Ciriello, 1991). 이 방법은 피실험자가 들기 작업을 하루 8 시간 동안 수행하는데 있어 과도한 신체적 스트레스 없이 수용가능한 최대허용하중을 약 20분에서 40분 정도의 시간 내에서 결정하는 것으로서, 다양한 작업 조건을 비교적 정확히 모의(simulate)할 수 있으며, 그 결과의 반복성이 높아서 (Snook, 1985) 정확한 수단으로 널리 사용되고 있다.

이 심리육체적 방법은 일부 학자들에 의하여 상지 작업의 작업 빈도의 결정에 응용된 바 있다. Marley와 Fernandez (1995)는 공기압식 드릴 (pneumatic drill motor)을 사용하여 금속판에 구멍을 뚫는 작업을 할 때, 여러 가지 손목의 자세 (flexion/ulnar deviation)에 걸쳐 심리육체적 방법의 적용 가능성을 보고하였다. 이들은 손목의 자세가 중립 자세로 부터 이탈할 때, 최적 작업 속도를 보정하는 계수를 제시하였다. Snook 등(1995)도 손목의 flexion/extension 시, 여러 형태의 작업자세, grip의 형태, 반복율, 그리고 작업지속 시간에 따른 심리육체적 방법의 민감도를 분석하였다.

한편, 수공구를 사용하여 작업을 할 때에는 손목뿐만 아니라 어깨 관절도 많이 활용된다. 즉, 작업물의 위치가 다양할 때, 요구되는 정밀도를 유지하기 위하여는 될 수 있는 한 손목은 중립 자세를 취하려는 경향이 있으며, 이를 위하여 어깨 관절이 다양한 비중립 자세를 취하게 되는 것이다. 또한 최근 Genaidy등 (1995)의 연구에서도 보여진 바와 같이 손목, 팔꿈치, 어깨, 목, 그리고 허리 관절에 대하여 비중립 자세를 취할 경우, 어깨의 비중립 자세가 가장 스트레스를 많이 준다는 결과에 의거하여 본 연구에서는 심리육체적 방법의 타당성을 시험적으로 검토함에 있어 어깨 관절의 비중립 자세를 독립변수로 취하였다.

2. 연구 방법

2.1 실험 1 : 작업장 변수와 신체 불편도

본 실험에서는 스크류 드라이버를 사용하여 나사못을 박는 작업을 할 때, 작업장의 변수가 변화함에 따라 작업자가 각 신체 부위에서 느끼는 불편함과 통증 정도를 분석하여 안락 영역을 파악하였다.

2.1.1 피실험자

26명의 대학생들 (남 : 20명, 여 : 6명)이 자발적으로 실험에 참가하였다. 피실험자들의 평균 연령은 21.27세 (표준편차 1.91세)였고, 실험 참여에 대한 금전적 보상을 받았다. 피실험자 전원이 상지의 근육골격계 (musculoskeletal system)에 아무런 문제가 없음을 실험 진행자가 질문을 통하여 확인하였다.

2.1.2 실험 장비

일반적인 형태의 십자형 스크류 드라이버 (손잡이 길이 7.4 cm, 지름 1.5 cm)와 십자형 나사못 (길이 2.5cm)이 실험에 사용되었다.

2.1.3 실험 절차

작업 조건과 신체 부위의 통증과의 관계를 평가하기 위하여 스크류 드라이버 작업 시, 몸에서 작업점까지의 수평거리와 수직거리를 변화시켰다. 예비실험 결과, 수평거리와 수직거리 두 인자간의 교호작용이 발견되지 않았으므로 실험의 경제성을 고려하여 Full Factorial Design을 채택하지 않았다. 수평거리의 영향을 분석하기 위하여 작업점의 수직 높이를 마루에서 103cm로 고정시키고 수평거리가 각각 5cm, 25cm, 45cm일 때 (수평면 작업)의 통증을 분석하였다. 그리고 수직거리의 영향을 평가하기 위하여 수평거리를 몸에서 25cm로 고정시키고 수직거리가 마루에서 각각 103cm, 138cm, 164cm일 때 (수직면 작업)의 통증을 분석하였으며, 이 때 각 실험 조건은 무작위로 제시되었다. 작업물의 위치가 변화함에 따라 상지의 자세가 자연스럽게 이에 따라 변화함을 허용하였다.

또한 장갑 착용의 효과를 분석하기 위하여 수평거리가 25cm, 수직거리가 103cm일 때는 장갑을 착용 시와 미착용 시의 2회 실험을 실시하였다. 그 외의 실험 조건에서는 장갑을 착용하지 않았다. [표 3]에 본 실험의 계획이 나타나 있다.

[표 3] 실험 계획

고정 조건	변화 조건		
수직거리 103cm	수평거리 5cm	수평거리 25cm (장갑 착용/미착용)	수평거리 45cm
수평거리 25cm	수직거리 103cm	수직거리 138cm	수직거리 164cm

각 실험 조건하에서 스크류 드라이버를 사용하여 작업할 때 신체 각 부위에 부여되는 통증 (pain) 또는 불편함 (discomfort) 정도를 평가하였다. 실험 계획상의 각 실험 조건하에서 3분간 3개의 나사못을 나무 합판에 스크류 드라이버를 사용하여 돌려서 박는 실험을 실시한 뒤, 손바닥, 손가락, 손목, 앞팔, 윗팔, 어깨, 요추 등의 신체 부위에서 느껴지는 통증을 피실험자가 직접 평가하게 하였다. (실험 시간 3분은 자세와 통증 정도가 뚜렷이 차이가 나는 수준을 결정하기 위한 예비 실험의 결과에 의하여 결정되었는바, 3분 작업을 통하여 수직거리와 수평거리의 영향이 충분히 판별 가능하였으며, 그 이상이 되더라도 판별력에는 큰 차이가 없었다. 그리고 103cm는 피실험자들의 개략적인 팔꿈치 높이에 해당하였다.)

각 실험 조건이 완료되면 피실험자는 상기한 각 신체 부위에 대하여 길이 10cm의 연속적인 psychophysical scale상에 통증 정도를 연필로 X 표시를 하였다. 이 psychophysical scale의 가장 왼쪽 (0점)은 통증이 전혀 없을 때이며 가장 오른쪽 (10점)은 더 이상 참지 못할 정도의 통증을 느낄 때로 정의되었다. 일반적으로 통증이나 불편도의 평가에는 Borg (1970)가 제안한 10점 만점의 이산적 (discrete) 척도가 자주 사용되고 있으나, 본 방법은 스트레스의 특성을 표현하는 몇 개의 제한된 어휘 (예 : 아프다, 매우 아프다 등) 중에서 피실험자의 실제 지각 강도와 가장 유사한 하나의 항목을 선택하게 되므로, 피실험자가 지각 강도에서 약간의 차이를 느낀 경우에도 이를 표현하지 못하는 경우가 있어 정보의 손실 가능성이 있다. 이를 보완하기 위하여 본 연구에서는 통증 평가 시, 10cm연속적인 psychophysical scale은 통증 정도에 따라 직선적으로 변하는 것으로 간주해야 하는 척도의 等간격성의 지침을 피실험자에게 주지시킨 후, 작업자가 느끼는 통증의 강도를 그 연속

적인 척도상에서 스스로 평가하게 하였다.

2.2 실험 2 : 작업 속도의 심리육체적 조정

본 실험에서는 스크류 드라이버를 사용하여 나사못을 박는 작업을 할 때 작업자가 편안하게 느끼는 작업 강도를 산정함에 있어 심리육체적 조정 방법의 타당성을 근전도 측정 결과와 함께 검토하였다.

2.2.1 피실험자 (Subjects)

9명의 대학생들 (남 : 7명, 여 : 2명)이 자발적으로 실험에 참가하였다. 피실험자들의 평균 연령은 20.59세 (표준편차 1.67세)였고, 실험 참여에 대한 금전적 보상을 받았다. 피실험자 전원이 상지의 근육골격계에 아무런 문제가 없음을 확인하였다.

2.2.2 실험 장비

Noraxon사의 근전도 측정 장치인 Myosystem 2000을 사용하여 앞팔의 요측수근굴근(flexor carpi radialis), 단요측수근신근 (extensor carpi radialis), 윗팔의 이두근 (biceps brachii), 어깨의 삼각근 (deltoid) 등 총 4개의 근육에 표면 전극 (surface electrodes)을 부착하였다. 피실험자가 다양한 자세하에서 근력을 발휘할 경우에 실험 진행자가 근육 각 부분을 눌러보아 (palpation) 근육의 위치를 파악하였으며, 근육의 가장 넓은 부위(muscle valley)에 전극을 부착하였다. 어깨 근육의 피로도를 측정할 경우, 흔히 trapezius 근육의 근전도를 측정하나 최근 Palmerud등의 연구 (1995)에 의하면 정적인 자세 (static posture)를 취할 경우, trapezius 근육의 수축을 피실험자가 자율적으로 (voluntarily) 22-47% 정도 감소시킬 수 있다. 따라서 trapezius 근육이 작업 시에 발생하는 어깨의 스트레스를 가름하는 정확한 척도가 아닐 수 있으므로 본 실험에서는 삼각근을 채택하였다. ground electrode는 피부와 뼈 사이의 근육이 없는 팔꿈치 돌출부에 부착하였다. 근전도 신호의 sampling frequency는 100 Hz였으며, 측정된 원시 신호 (raw signal)를 정류 (rectify)하여 작업이 이루어지고 있는 20분 전 구간에 걸쳐 데이터를 컴퓨터에 기록하고, 이에 대하여 연속적인 적분 (continuous integration)을 하여 integrated EMG (IEMG)를 구하였다. 그 다음, 구해진 IEMG의 시간 (초)당 평균 (mean area)을 구하여 분석에 사용하였다.

2.2.3 실험 절차

스크류 드라이버 작업 시, 팔과 몸통과의 각도를 4수준, 즉 몸통에 팔 부착, 팔과 몸통과의 각도 30도, 60도, 그리고 90도 4수준으로 변화시켰다. 이 때, 피실험자는 직립 자세를 유지하였으며, 스크류 드라이버와 작업면의 높이는 팔, 어깨와 몸통간의 각도에 따라 자연스럽게 변하도록 허용하였다. 실험 조건은 피실험자별로 무작위로 제시되었다. 각 실험 조건하에서 심리육체적 방법과 근전도 측정을 동시에 병행하였다. 각 피실험자에 대하여 실험은 하루에 걸쳐서 시행되었으며, 반복 시행은 다른 날에 실시되었다.

나사 1개를 돌려 박는 데 소요되는 힘과 시간은 가능한 한 일정하도록 피실험자에게 지침을 주었다. 그리고 한번 돌려서 나사가 박히는 정도, 즉 displacement도 가능한 한 일정하도록 하였다. Lindqvist (1993), Kihlberg등 (1993)의 결과에 의하면 수공구의 torque가 인체에 미치는 영향은 그 torque에 의하여 작업물이 이동하는 displacement 정도에 비례하므로 드라이버로 나사못을 박을 때 displacement amplitude를 일정하게 하여 실험의 조절성

(control)을 높였다.

각 실험 조건에 대하여 스크류 드라이버를 사용하여 8시간 동안 나사못을 돌려 박는 작업을 할 때를 가정하여 작업자가 약 20분 동안 스스로 작업 속도를 조절하게 하였다. 작업 성과에 대한 어떠한 feedback도 제공하지 않았으며, 작업 조건 간에는 충분한 휴식 시간이 있었다.

3. 결 과

3.1 수평거리와 수직거리의 영향

각 신체 부위에 대하여 psychophysical scale상에 표시된 통증 정도를 0점을 기준으로 측정하여 수평거리와 수직거리를 독립변수로 하여 분산분석 (Analysis of Variance)을 실시하였다. 그 결과, [표 4]에 제시되어 있는 바와 같이 대상이 되었던 모든 신체 부위에 대하여 수평거리는 유의하지 않은 것으로 나타났다. 비록 유의 수준에는 미치지 못하나 앞팔 (p=0.12)과 어깨 (p=0.21) 부위가 상대적으로 수평거리에 민감하여, 작업점이 몸으로부터 멀리 있을수록 해당 부위의 통증이 증가하는 경향을 보였다.

[표 4] 분산분석 결과 : 작업 조건에 따른 각 신체 부위별 p-값

신체 부위	수평면 작업	수직면 작업
손목(wrist)	0.7415	0.2769
앞팔(forearm)	0.1219	0.1648
윗팔(upper arm)	0.5510	0.1057
어깨(shoulder)	0.2072	0.0009*
허리(low back)	0.4617	0.8999
손바닥(hand)	0.6783	0.6820
손가락(fingers)	0.4196	0.7632

(* : 유의함)

수직거리는 단지 어깨 부위에 대하여 유의하여 수직거리 103cm일 때 통증이 가장 약했으며, 통증을 많이 느끼는 138cm와 164cm간에는 통증상 유의한 차이가 없었다. 그 외 윗팔 (p=0.11), 앞팔 (p=0.16) 부위가 수직거리에 상대적으로 민감한 것으로 나타났다.

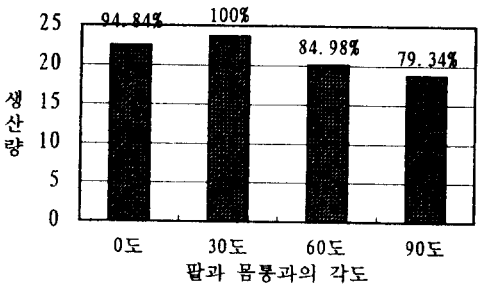
3.2 장갑의 영향

장갑을 착용하였을 때 느끼는 통증은 t-검증 결과, 손바닥 (p=0.0099), 손가락 (p=0.0010), 어깨 (p=0.0458)부위에 대하여 장갑 미착용 시에 비하여 감소하는 것으로 나타났다. 그 외 신체 부위에 대하여는 장갑 착용의 뚜렷한 영향을 발견할 수 없었다.

3.3 심리육체적 조정

20분간의 작업 결과로 산출되는 돌려 박은 나사못의 숫자를 종속변수로, 피실험자와 작업 자세를 독립변수로 분산분석을 실행한 결과, 피실험자간의 차이는 없었으며 (p=0.1573), 단지 작업 자세만이 유의한 것으로 나타났다 (p=0.0004). 따라서 후속 분석에서 피실험자를 반복 인자 (replication)로 간주하였다.

Duncan 쌍체 비교 (pairwise comparison) 결과, 팔이 몸통에 부착된 경우 (0도)와



[그림 1] 팔/몸통과의 각도와 생산량과의 관계

몸통으로 부터 30도인 경우간에는 차이가 없었다. 유사하게 팔과 몸통간의 각도 60도와 90도간 역시 차이가 없었다. 하지만 1그룹: 0도와 30도, 그리고 2그룹: 60도와 90도, 두 그룹간에는 유의한 차이가 있었다 ([그림 1] 참조). 몸통과의 각도가 90도인 경우에는 30도인 경우에 비하여 생산량이 79.34%로 감소하였다. 실험의 반복간, 즉 다른 실험일 간에는 쌍체비교 결과, 유의한 차이가 없었다.

3.4 근전도 측정

4개의 근육에 대하여 작업이 이루어지고 있는 20분 동안에 걸쳐 IEMG를 구하고, 근전도 신호의 표준화 (normalization), 즉 피실험자간의 IEMG값들의 차이를 줄이기 위하여 몸통과 팔의 각도가 0도인 경우의 IEMG($IEMG_{0도}$)를 기준으로 각 작업 자세에서 구해진 IEMG값의 비율을 구하였다 ($Ratio_{30도}=IEMG_{30도}/IEMG_{0도}$;$Ratio_{60도}=IEMG_{60도}/IEMG_{0도}$; $Ratio9_{0도}=IEMG_{90도}/IEMG_{0도}$). 이 비율값들을 종속변수로, 피실험자와 작업 자세를 독립변수로 취하여 2원 배치 분산분석을 실시하여 다시 피실험자간의 차이와 자세의 영향을 분리하였다.

윗팔의 근육과 앞팔의 근육들에 대하여는 작업 자세가 변화하더라도 근전도 신호의 강도에는 유의한 차이가 발견되지 않았으며, 단지 어깨 근육에 대하여만 자세의 변화가 유의한 것으로 ($p=0.0001$) 분산분석 결과 나타났다. 이는 팔과 몸통과의 각도가 변화하더라도 스크류 드라이버와 작업면의 높이는 팔, 어깨와 몸통간의 각도에 따라 자연스럽게 변하도록 허용하였으며, 따라서 손목의 자세는 크게 변하지 않아서 발생한 결과로 추정된다.

Duncan 쌍체 비교 결과, 팔이 몸통에 부착된 경우와 몸통으로 부터 30도인 경우간에는 어깨 근육으로 부터의 근전도 신호의 강도에는 차이가 없었으며, 몸통과의 각도 60도와 90도간 역시 차이가 없었다. 하지만 (0도, 30도) 그리고 (60도, 90도) 두 그룹간에는 유의한 차이가 있었다. 이는 심리육체적 조정의 결과와 일치한다.

4. 결론 및 토의

본 연구는 스크류 드라이버를 사용하여 나사못을 박는 작업에 대하여 심리육체적 평가법을 사용하여 i) 작업장 설계 변수가 변화함에 따라 작업자가 각 신체 부위에서 느끼는 통증 정도를 분석하고, ii) 장갑 착용의 효과를 파악하며, iii) 작업자가 편안하게 느끼는 작업 강도를 산정하였다. 특히 작업 강도의 산정에 있어서는 심리육체적 조정 방법에 의한 결과와 근전도 측정 결과와의 관계를 분석하였다.

수직면과 수평면에서 스크류 드라이버를 사용하여 나사못을 박는 작업을 할 때, 몸과 작업점과의 수평거리가 신체 부위의 불편도에 영향을 미칠 것으로 예상하였으나 본 실험의 결과로는 수평거리가 변화하여도 신체 각 부위에서 감지되는 통증에는 큰 변화가 없었다. 이 경우, 작업점의 높이가 103cm로 고정되어 있었으며 이는 피실험자들의 평균 팔꿈치 높이에 해당하고 이 높이에서는 상지가 위로 들리게 되는 (elevated) 것이 최소가 된다. 또한 본 높이에서는 수평거리가 변화하더라도 손목과 어깨를 비롯한 상지의 자세가 크게 변화하지 않음으로 인하여 생기는 결과로 여겨진다. 본 실험에서 유의한 것으로 나타나지는 않았으나 작업점이 몸에서 가까울수록 좋은 경향이 발견되었으며 이는 여타의 결과와 일치한다 (Ulin et al., 1993).

수직거리에 대하여는 높이가 팔꿈치 높

이일 때 불편도가 최소였다. 이 때는 상지의 자세가 중립 자세 (neutral posture)와 유사하여 신체에 부여되는 스트레스가 적게 된다. 수직거리가 이보다 상승하면 어깨가 같이 상승되어 신체 스트레스가 증가한다. 이 결과는 여러 가지 비중립 자세를 취할 때 어깨 부위가 가장 민감한 부위임을 파악한 Genaidy등 (1995)의 결과와 일치한다.

장갑을 착용하면 특히 손바닥에서 느껴지는 통증은 현저히 감소하였다. 하지만 장갑 착용은 항상 권장할 수 만은 없는데 이는 장갑 착용 시에는 i) 손의 정밀성 (dexterity)이 저하되고 ii) 작업수행 결과 (performance)가 저하되며 iii) 악력 (grip strength)이 감소하게 되어 궁극적으로 근육의 피로가 증가하는 가능성이 있기 때문이다 (Mital et al., 1994). 따라서 장갑의 크기나 재질의 선정에 주의를 기울여야 한다 (Bellinger and Slocum, 1993; Bensel, 1993). 이를 위하여 우리나라에서 시판되는 장갑의 특성에 대한 연구가 기대된다.

본 실험에서는 작업 자세가 불편해짐에 따라 작업 속도를 작업자 스스로 20분간 심리육체적으로 조정하도록 하였다. 그 결과는 반복 시행간에도 일관성이 있었으며 또한 육체적 스트레스를 객관적으로 측정하는 근전도 측정 결과와 높은 상관관계를 보였다. 이는 주로 들기 작업에 사용되는 심리육체적 방법이 수공구 작업, 특히 어깨 관절이 많이 작용을 하는 작업에서도 작업자의 스트레스 평가에 적용이 가능한 것이라는 것을 시사한다. 나아가 심리육체적 방법의 타당성을 더욱 체계적으로 평가하기 위하여 수공구 사용 시 발생하는 산업재해와 작업 강도와의 관계에 관한 많은 疫學的 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

본 연구에서는 수공구 작업에 많은 경험이 없는 학생 피실험자들이 동원되었다. 들기 작업에서는 작업 경험이 많은 피실험자군이 학생군에 비하여 심리육체적 조정을 정확히 한다 (이관석 외, 1994). 수공구 작업에서도 학생군과 실제 현장에 종사하는 작업군간의 비교를 하여, 심리육체적 조정의 정확도를 높이기 위한 교육적 요인을 파악함이 기대된다.

CTDs를 예방하려면 작업 자세, 수공구 형태 등 하드웨어적인 면도 인간공학적으로 설계되어야 하며 이에 못지 않게 중요한 것은 작업 강도나 조직 등 소프트웨어적인 면이다. 이러한 측면의 인간공학적 평가를 위하여 심리육체적 방법이 유용하게 적용될 수 있으리라 사료된다. 추후 더욱 다양한 작업 형태, 수공구, 그리고 작업 조건에 대하여 동 방법의 타당성이 검토되어야 할 것이다.

스크류 드라이버 작업 시, 근육 피로와 불편도를 줄이는 방법으로서 동력식 수공구의 도입을 고려할 수 있다. 이 경우 역시, 본 연구에서 제시된 바와 같이 공구의 형태는 작업과 작업장 설계 변수를 고려하여 선정해야 하겠다. 한편 동력식 수공구를 사용할 때 자동적으로 수반되는 기계 진동 (vibration)은 우리 몸에 반작용을 비롯한 (Freivalds and Eklund, 1993) 각종 악영향을 줄 수 있으므로 (Park and Martin, 1993), 진동을 흡수하는 물질의 사용이나 진동 주파수 조정, 공구 무게의 조정 등을 통하여 그 악영향들을 최소화하여야 한다.

반복적인 수작업은 아무리 기계화, 자동화가 진전된다 하더라도 산업 현장에서 완전히 제거할 수는 없으며, 경우에 따라서는 기계화가 가속됨에 따라 반복 수작업은 더욱 더 증가할 가능성도 있다 (Kuorinka, 1995). 이러한 반복적인 수작업

시 발생하는 인체 스트레스는 작업자의 안전/건강뿐만 아니라 작업의 생산성에도 중대한 부정적 영향을 미치며, 낮은 생산성은 작업자의 직장 만족과 근로 동기(motivation)를 다시 저하시키는 연쇄 작용을 한다 (Eklund, 1995). 본 연구의 결과를 확장하여 수공구 작업 시에는 작업, 작업자, 수공구, 그리고 작업장의 설계 특성 등을 종합적으로 고려하여 직업병 예방과 작업자 복지 증진을 도모하여야 하겠다.

참 고 문 헌

[1] 이관석, 전영호, 박희석, 김윤철, "Psychophysical Method를 이용한 육체적 스트레스 산정의 우리나라에서의 적용가능성 연구" '94 대한산업공학회/한국경영과학회 춘계공동학술대회 논문집, 1994.

[2] Aghazadeh, F. and Mital, A., "Injuries due to hand tools" *Applied Ergonomics*, Vol. 18, 273-278, 1987.

[3] Armstrong, T. J. and Chaffin, D. B., "Some biomechanical aspects of the Carpal Tunnel Syndrome" Journal of Biomechanics, 12: 567-570, 1979.

[4] Armstrong, T. J., Radwin, R. G., and Hansen, D. J., "Repetitive trauma disorders: Job evaluation and design" *Human Factors*, Vol. 28, 325-336, 1986.

[5] Ayoub, M. M., Bethea, N. J., Deivanayagam, S., Asfour, S.S., Bakken, G. M., Lies, M. S., Mital, A., and Sherif, M., "Determination and modeling of a lifting capacity", Final Report, NIOSH, Grant No. tR010H-005-45-02, 1978.

[6] Bellinger, T. A. and Slocum, A. C., "Effect of protective gloves on hand movement: an exploratory study" *Applied Ergonomics*, Vol. 24, 244-250, 1993.

[7] Bensel, C. K., "The effects of various thicknesses of chemical protective gloves on manual dexterity" *Ergonomics*, Vol. 36, 687-696, 1993.

[8] Borg, G. A. V., "Perceived exertion as an indicator of somatic stress Scandinavian" Journal of Rehabilitative Medicine, Vol. 2, 92-98, 1970.

[9] Chaffin, D. B. and Andersson, G. B. J., *Occupational Biomechanics*, 2nd edition, John Wiley & Sons, New York, 1991.

[10] Eklund, J. A. E., "Relationships between ergonomics and quality in assembly work" Applied Ergonomics, 26(1): 15-20, 1995.

[11] Freivalds, A. and Eklund, J., "Reaction torque and operator stress while using powered nutrunners" *Applied Ergonomics*, Vol. 24, 158-164 , 1993.

[12] Genaidy, A., Barkawi, H. and Christensen, D., "Ranking of static non-neutral postures around the joints of the upper extremity and the spine" Ergonomics, 38: 1851-1858, 1995.

[13] Herberts, P., Kadefors, R., Andersson, G. and Peterson, I., "Shoulder pain in industry: an epidemiological study on welders" Acta Orthopaedica Scandinavica, 52: 299-306, 1981.

[14] Kihlberg, S., Kjellberg, A. and Lindbeck, L., "Pneumatic tool

torque reaction : reaction forces, displacement, muscle activity and discomfort in the hand-arm system" Applied Ergonomics, 24: 165-173, 1993.

[15] Kuorinka, I., "Repetitive work in perspective" Ergonomics, 38: 1686-1690, 1995.

[16] Lindqvist, B., "Torque reaction in angled nutrunners" Applied Ergonomics, 24: 174-180, 1993.

[17] Marley, R. J. and Fernandez, J. E., "Psychophysical frequency and sustained exertion at varying wrist postures for a drilling task" *Ergonomics*, Vol. 38, 303-325, 1995.

[18] Mital, A., "The psychophysical approach in manual lifting-a verification study", Human Factors, 25: 485-491, 1983.

[19] Mital, A., "Maximum weights of lift acceptable to male and female industrial workers for extended work shifts", Ergonomics, 27: 1115-1126, 1984.

[20] Mital, A., Kuo, T. and Faard, H. F., "A quantitative evaluation of gloves used with non-powered hand tools in routine maintenance tasks" Ergonomics, 8 : 329-338, 1994.

[21] National Institute for Occupational Safety and Health, Work Practices Guide for Manual Lifting, DHHS Publication NO. 81-1222, American Industrial Hygiene Association; Akron, OH, 1981.

[22] Palmerud, G., Kadefors, R., Sporrong, H., Jarvholm, U., Herberts, P., Hogfors, C. and Peterson, B., "Voluntary redistribution of muscle activity in human shoulder muscles" Ergonomics, 38: 806-815, 1995.

[23] Park, H. S. and Martin, B. J., "Contribution of the tonic vibration reflex to muscle stress and muscle fatigue" *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, Vol. 19, 35-42, 1993.

[24] Puz-Anderson, V., *Cumulative trauma disorders*, Taylor and Francis, New York, 1988.

[25] Snook, S. H. and Irvine, C. H., "Maximum acceptable weights of lifts", American Industrial Hygiene Association Journal, 28: 322-329, 1967.

[26] Snook, S. H. and Irvine, C. H., "Maximum weight of lift acceptable to male industrial workers", American Industrial Hygiene Association Journal, 29: 531-536, 1968.

[27] Snook, S. H., "Psychophysical acceptability" as a constraint in manual working capacity" Ergonomics, 28: 331-335, 1985.

[28] Snook, S. H. and Ciriello, V. M., "The design of manual handling tasks: revised tables of maximum acceptable weights and forces", Ergonomics, 34: 1197-1213, 1991.

[29] Snook, S. H., Vaillancourt, D. R., Ciriello, V., and Webster, B. S., "Psychophysical studies of repetitive wrist flexion and extension" *Ergonomics*, Vol. 38, 1488-1507, 1995.

[30] Tichauer, E., "Biomechanical Basis of Ergonomics" New York, John Wiley, 1978.

[31] Ulin, S. S., Armstrong, T. J., Snook, S. H. and Keyserling, W. M., "Perceived exertion and discomfort associated with driving screws at various work locations and at different work frequencies" *Ergonomics*, Vol. 36, 833-846, 1993.