

▣ 연구논문

자동차 조립작업 시 작업자세, 작업/휴식비율, 작업형태에 따른 작업부하의 변화에 관한 연구

A Study of Workload Change at Varying Working Posture, Work/Rest Ratio and Task Type in an Automobile Assembly Task

이준엽

Lee, Jun Yup

김철홍¹

Kim, Chol Hong

Abstract

A laboratory experiment was conducted to investigate the effects of working posture, work/rest ratio, and task type on the physical workload in automobile assembly jobs. Ten healthy male university students participated as subjects in the experiment. Each subject performed 18 experimental sessions with combination of 3 working posture, 3 work/rest ratios, and 2 task types. To examine the effect of various working conditions on workload, EMG analysis was performed on 4 different muscles in the neck and arm area. Also RPE scale and heart rate were taken as response variables. The result showed that all working conditions considered in the experiment had significant effects on the workload concluding that labor intensity in auto assembly jobs should be adjusted with respect to different levels of working posture, work/rest ratio, and task type. Detailed analysis are presented in the paper.

1. 서론

근골격계질환이란, 급속히 발전하는 현대 산업 사회의 생산현장에서 흔히 발견될 수 있는 불편하거나 바람직하지 못한 작업조건들이 주로 상체와 같은 신체의 특정부위에 장기간에 걸쳐 반복, 누적되어 나타나는 근골격계의 질환을 총칭하는 말이다(김철홍, 1995).

이 근골격계질환이 산업체 또는 일상생활에 미치는 영향은 이 질환과 관련된 산업재해 보상의 비용과 작업 손실 시간 등의 간접비용의 증가와 더불어, 작업자에게 미치는 영향 또한 손목등 발병 부위의 통증과 직장 및 일상생활의 높은 긴장감등을 통하여 명백히 밝혀지고 있다.

이에 따라 미국 등의 선진국에서는 잘못되고 바람직하지 못한 작업조건과 작업방법의 반복에 따른 결과로 발생하는 근골격계질환의 예방을 위한 노력의 일환으로 정부차원에서의 법제 규정과 다양한 연구활동이 이루어지고 있다(김철홍, 1996).

하지만 현재 국내의 근골격계질환에 대한 문제의식의 수준은 각종 통계자료에서 보여지듯이 문제의 심각성정도에 비해 소홀히 다루어지고 있는 실정이다. 2000년 산업안전공단

¹ 인천대학교 산업공학과

본 논문은 2001년 인천대학교 교내연구비 지원에 의하여 수행되었음.

의 발표자료를 따르면 직업성질환자 대비 근골격계질환자의 비율은 23.9%(815명)로 나타났다. 이는 전체 직업병 인정건수의 61%가 반복외상성질환인 미국이나 직업병의 54%가 인체공학적 장애로 나타나고 있는 스웨덴의 경우와 비교해 보면 그 차이는 더욱 확연해진다(모진희, 1997). 우리나라의 산업구조가 소위 선진국의 구조와 생산방식을 추구하고 있음을 감안할 때 이러한 근골격계질환의 발생률이나 그 심각성이 미국이나 유럽의 국가에 비해 소홀하게 평가되고 있음을 짐작할 수 있다. 국내에서 밝혀진 통계자료가 외국과 차이를 보이는 이유는 통계방법 및 기준상의 문제점과 근골격계질환의 실태를 조사하고 예방하는 연구, 노력 부족도 원인이라 할 수 있겠다.

이러한 근골격계질환의 예방을 위한 연구로 Kim(1993)은 힘과 반복작업에 대한 실험을 통하여 적절한 작업빈도에 대한 기준을 설정하였고, Drury(1989)등은 팔꿈치 판절 각도를 변화시켜 작업자가 들어 올릴수 있는 작업부하에 대한 연구를 통하여 안전한 작업기준에 대한 Guideline을 설정하였다. 하지만 국내에서는 아직 이러한 안전기준의 설정에 대한 연구뿐만 아니라 정확한 실상에 대한 파악조차 미비한 실정이다.

근골격계질환을 유발하는 직업적 요인을 살펴보면 미국의 경우 자동차 제조업에 종사하는 작업자가 전체 누적외상성질환자수에 대비해서 14.4%로 나타나 그 심각성을 입증해 주었다(미 노동부, 1997).

국내의 경우를 살펴보면 국내 모자동차 회사의 근골격계질환 실태 조사 연구결과 한 부위 이상의 신체 부위에 통증을 호소한 작업자가 전체의 68.5%로 나타났으며 이 중 근골격계질환 유소견자군으로 분류할 수 있는 작업자가 전체의 31.1%로 나타나 자동차 제조업의 근골격계질환에의 노출 정도가 심각한 것으로 나타났다(김철홍, 2000).

또한 작업내용과 특성에 따른 노동강도의 조절에 관한 부분에 있어서는 현재 자동차 조립 공정의 경우 해당 작업의 노동강도에 상관없이 균일된 형태로 작업 및 휴식 비율을 산정하였기 때문에 신체에 더 위해한 작업자세에서 작업을 하는 작업자들의 경우 직업병을 유발 할 수 있는 가능성에의 노출이 더욱 심화되어 있는 형편이다. 실제로 국내 모자동차 공장 작업자의 경우 부서별로 작업 순환제를 실시하고 있다고는 하나 과학적인 근거에 의해 로테이션이 이루어지는 것이 아니기 때문에 신체적 위험정도가 높은 작업 공정일 경우는 그렇지 않은 공정에 비해 휴식비율 및 작업 로테이션을 짧게 해주는 것이 필요한 실정이다. 최근의 자동차 작업장을 대상으로 한 연구결과에 따르면 근골격계질환의 발생과 관련한 가장 큰 구조적인 문제점은 작업대의 높이가 대체로 작업자의 신체와 맞지 않아 불편한 작업 자세를 유발시킨다는 데 있다. 실제로 근골격계질환부위에 통증 호소율의 결과를 살펴보면 어깨 및 상박 부위에 통증을 호소하는 사람들이 전체의 34.9%로 나타나 그 심각성을 입증해주었다(김철홍, 2000). 이것은 대부분의 작업자들이 작업 시 어깨를 너리위로 들어올려서 작업하는 이른바 Overhead작업형태를 보이거나 몸을 비틀고 팔을 벌려서 작업하는 작업 형태에 기인한 결과로 볼 수 있다. 물론 이러한 작업장의 구조적인 문제점을 근본적으로 해결하기 위해서는 생산라인 자체를 현재의 자동차가 라인을 통해 그대로 지나가는 형태에서 작업자 앞에 자동차가 도착하면 자유롭게 회전시킬 수 있는 jig형태의 도입이 필요하나 기업 현실 등 여러 가지 상황을 고려해볼 때 아직 국내 작업장에는 도입이 불가능한 현실이다. 따라서 현실적인 대안으로 생각할 수 있는 것이 안전한 노동강도에 대한 연구를 통하여 작업자의 신체에 무리를 주지 않은 상황에서의 작업강도의 설정에 관한 접근방법이라고 판단된다.

따라서 본 연구에서는 이러한 요구에 바탕하여 실제 자동차 조립공정에서 가장 빈번하

게 이루어지고 있는 작업 자세 및 작업/휴식시간 비율, 작업유형에 따른 작업자의 근육 사용정도 및 주관적 피로도를 측정하여 균골격계질환을 유발시킬 수 있는 위험한 작업 공정에 대해 안전한 노동강도에 대한 기준설정의 근거를 제시하고자 한다.

2. 실험과정 및 방법

2.1 연구대상

본 실험에 참여할 피실험자는 근육 및 신경계통에 질환경력이 없고 산업현장에서 전동공구나 펀칭작업과 같은 조립작업을 수행한 적이 없는 건강한 남자 대학원생 10명을 선별하여 실험을 실시하였으며 실험자 모두 우세한 쪽(Dominant Side) 손을 이용하여 실험에 임하였고 피실험자 모두 오른손잡이였다.

피실험자들의 간단한 인체측정 자료를 보면 나이는 24-28세 사이이며, 체중은 평균 $70.4(\pm 4.5)$ kg, 신장은 $174.2(\pm 6.8)$ cm였다.

선정된 피실험자가 실제의 실험을 수행하기 위해서는 실험 내용에 대한 전반적인 이해와 공구의 사용방법 및 작업시간의 분배에 대한 훈련이 필요하다. 따라서 이들에게 본 실험에 앞서 실험에 대한 전반적인 내용과 실험기기에 대한 사용방법, 실험방법에 대한 것들을 설명함으로써, 실험에 대한 이해를 높여 성실한 자세로 실험에 임할 수 있게 하였다. 피실험자는 실험에 임할 시 편안한 복장과 신발을 착용하도록 하였고 본 실험에 들어가기 전에 앞서 각 피실험자들은 작업형태(펀칭작업, Air-Impact작업)별로 각 1회 이상씩 예비 실험을 실시하게 하여 실험결과에 대한 객관적인 의미를 갖게 해 주었다.

2.2 실험장비

본 연구의 진행을 위한 주요 실험 장비로는

- 인체계측기(Anthropometric Kit)
- 악력계(Hand Dynamometer)
- 에어 임팩트(Air Impact)
- 에어 콤프레셔(Air Compressor)
- 근전도 측정 시스템(EMG)
- 심박측정기(Heart Rate Monitor)
- IBM PC
- 체중계

등이며 주요 기능을 서술하면 다음과 같다.

근전도(EMG)측정 시스템

이 장비는 피실험자가 해당 작업 자세에서의 실험 시 근육의 운동 유형을 파악할 수 있는 장비로서 본 연구에서는 Noraxon사의 Myosystem2000모델을 사용하였다.

Air-Impact 와 Compressor

현재 자동차 조립 공장에서 가장 빈번하게 사용되고 있는 작업 공구 형태인 Air-Impact에 대한 설명은 아래 그림과 같다. 본 연구에서는 실제 현장에서 쓰이고 있는 공구무게 1.3kg의 전동공구를 사용하였다. 공구 옆의 그림은 Air-Impact의 사용을 위해

설치된 Air Compressor의 모습이다.

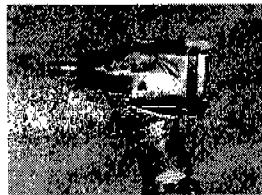


그림 1 에어 임팩트(Air Impact)

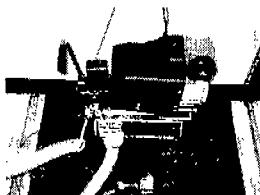


그림 2 에어 콤퍼레서(Air Compressor)

2.3 연구방법

본 연구에서는 자동차 조립 작업에서 발생할 수 있는 작업자세 및 작업형태를 중심으로 휴식시간의 비율 조정을 통하여 신체의 해당근육에 가해지는 근육부하 및 주관적 피로도를 각각 근전도(EMG)와 RPE(Rating of Perceived Exertion)의 방법으로 측정하고자 하였다.

2.3.1 독립변수

작업자세

본 연구의 독립변수로 선정된 작업자세는 3수준으로 하여 실험하였다. 연구의 목적이 자동차 조립 작업 시 빈번하게 발생하는 오버헤드 작업의 작업 형태에 따른 근육동원형태의 변화에 관한 것이기 때문에 가장 Neutral한 자세라고 알려진 Type1 자세를 기준으로 2종류의 오버헤드 작업을 각각의 수준으로 설정하였다.

작업자세의 수준에 대한 설명은 아래와 같다.

Type 1 자세: 어깨 상박굴곡0° -하박굴곡90° 인 자세

Type 2 자세: 어깨 상박굴곡90° -하박굴곡90° 인 자세

Type 3 자세: 어깨 상박굴곡135° ~하박굴곡45° 의 자세



그림 3 Type 1
자세(측면)

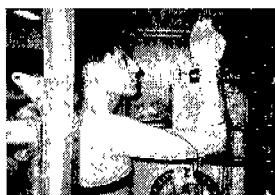


그림 4 Type 2
자세(측면)



그림 5 Type 3
자세(측면)

휴식시간비율

본 연구에서는 직업병을 유발할 수 있는 위해작업 요인에 대한 안전한 노동강도의 guideline 제시를 목적으로 작업대 휴식시간비율을 독립변수로 선정하였다. 본 연구에서는 현재 국내 모자동차 조립공장의 일반적인 작업 대 휴식비율인 10-15%를 고려하여 3가지 형태의 휴식비율을 따로 선정하고 이에 따른 작업 조건을 부여하였다.

- 3가지 형태의 휴식비율은 ① 작업 대 휴식비율 :15%
 ② 작업 대 휴식비율 :50%
 ③ 작업 대 휴식비율 :100%로 나누어 부여하였다.

본 실험에서는 한 작업 당 cycle time을 현재 국내 모자동차 회사의 평균 cycle time에 기초하여 40초로 설정하였기 때문에 각 휴식형태별 휴식시간은 각각 6초, 20초, 40초가 부여되게 하여 비율을 설정하였다.

작업형태(유형)

자동차 산업의 경우 대부분의 작업이 작업자들이 직접 손이나 공구로 조립을 하는 형태의 작업으로 진행되어진다. 따라서 본 연구에서는 현재 국내 자동차 조립 공정의 대표적인 작업형태인 손으로 직접 작업을 하는 pinching 작업형태와 전동공구를 사용하여 작업하는 형태의 두 가지를 각각의 독립변수로 설정하였다.

2.3.2 근전도 부착위치 및 방법

Noraxon사의 근전도 측정 장치인 Myosystem 2000을 사용하여 자동차 조립 작업 시 오버헤드 작업에서 주로 사용되는 근육형태인 두관상근(Splenius capitis)과 극상근(Supraspinatus), 그리고 상완 이두근(Biceps brachii), 요측수근 굴근(Flexor carpiradialis)의 총 4개의 근육에 표면전극(Surface Electrodes)을 부착하였다.

지금까지의 선행연구에서는 어깨근육의 활동 패턴 변화를 보기 위하여 주로 삼각근(Deltoid)과 승모근(Trapezius)에 표면전극을 부착한 경우가 많았다. 하지만 삼각근(Deltoid)의 경우 주로 어깨의 내, 외전을 포함한 회전 시에 사용되는 근육이기 때문에 본 연구에서는 넓은 범위의 승모근(Trapezius) 안에 포함돼 있는 극상근을 대체 근육으로 선정함으로써 좀 더 미세한 근육활동 패턴을 살펴보고자 하였다. 극상근(Supraspinatus)의 경우 어깨의 들림을 포함한 어깨의 굴곡과 신전을 지배하는 주 근육이기 때문에 본 실험에서 작업자세로 선정된 3자세의 근육활동패턴 분석을 더 민감하게 할 수 있으리라 기대했다. 또한 오버헤드 작업 시 목부위의 작업 부하를 측정하기 위하여 현재까지 많이 사용되지 않았던 두관상근(Splenius capitis)을 선정하였는데 두관상근의 경우 목의 경추(Cervical spine)부위의 좌, 우 옆으로 근육을 형성하고 있어 본 실험의 목적에 부합한 근육이라고 판단하였다.

그리고 나머지 두 근육인 상완 이두근(Biceps brachii), 요측수근 굴근(Flexor carpiradialis)은 상박과 하박의 움직임에 가장 민감한 반응을 보이며 근육 활동패턴 분석에 활용되어온 근육이기에 선정하였다. 다음과 같은 과정으로 선정한 4개 부위의 표면전극 부착 근육 위치는 아래 그림과 같다.

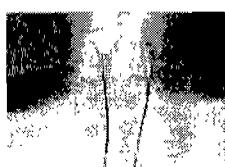


그림 6 두관상근
(Splenius capitis)

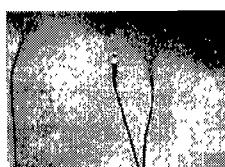


그림7 극상근
(Supraspinatus)



그림8 상완이두근
(Biceps brachii)



그림9 요측수근 굴근
(Flexor carpiradialis)

또한 4부위의 근육에 대해 피실험자에게 해당작업을 실행하게 하여 그 때 각 근육의 정확한 위치를 파악하였으며 전극은 근섬유의 결 방향을 따라 부착하였다. 실험의 진행이 한번에 끝나는 것이 아니었기 때문에 피실험자의 표면전극 부착 위치에 표시(marking)를 해두고 위치의 블립에서 오는 데이터의 오차를 줄이고자 하였다. 근전도 신호의 잡음(Noise)를 제거하기 위한 접지(Ground) 전극은 근육이 적은 팔꿈치에 부착하여 실험을 실시하였다. 부착 시 부착부위를 의료용 알锣로 깨끗이 소독하고 건조시킨 후 부착하였으며 전극 중심간의 거리는 2cm로 하여 부착하였다. 또한 본 실험에서는 Time domain에서 일어진 raw data를 RMS data로 변환 한 후 ASCII 파일 변환을 통하여 아날로그(Analog) 신호를 디지털(Digital)형식으로 변환하여 사용하였다. 본 실험에서의 샘플링 주파수(Sampling Frequency)는 각 채널별로 1024Hz를 적용하였다.

2.3.3 RPE(Rating of Perceived Exertion)측정

본 연구에서는 조립 작업 시 작업자세, 휴식시간, 작업형태에 따른 피실험자들이 느끼는 주관적 피로도를 측정하기 위하여 RPE(Rating of Perceived Exertion)방법을 이용하였다.

Borg(1970)에 의하여 고안된 RPE는 사람의 심박수범위에 기초하여 작성된 것으로 작업자가 느끼는 주관적 작업(운동)강도의 측정에 사용되어지고 있다. 본 연구에서는 RPE사용 시 전신과 신체부위별로 6-20등급을 동일하게 사용하였다. 신체부위별 RPE등급은 1~10등급을 사용하는 경우도 많이 사용되어지나 본 연구에서는 실험 시 실제 심박수를 측정하여 RPE값과의 비교를 해보고자 하였기에 6-20등급을 동일하게 적용하였다.

2.3.4 실험진행

본 실험은 3가지 작업자세와 3가지 휴식시간의 비율, 2가지 작업형태에 따른 실험을 실시함으로써 각 피실험자의 실험횟수는 작업자세(3)× 휴식시간비율(3)× 작업 형태(2)=18번을 완전 랜덤하게 실시하도록 하였다.

피실험자는 본 실험에 들어가기에 앞서 작업형태별(piching작업, Air-Impact사용)로 20분씩의 임의 실험을 하여 실험에 어느 정도의 숙련도를 익힐 수 있도록 하였다.

실험은 실제 작업시간만 30분간 진행되며 피실험자 당 한 실험이 끝난 뒤 적어도 30분 이상의 휴식시간을 주어 근육의 피로축적을 피하고자 하였다. Chaffin(1991)의 연구에 의하면 근육사용의 실험에서 최소한 2분간의 휴식시간을 줌으로써 근육의 피로를 줄일 수 있다고 했으나 본 실험이 30분간 진행됨으로써 그보다 높은 휴식시간을 주게 되었다.

본 실험의 작업장설계는 본 실험이 각 작업자세별로 이루어지는 관계로 높이 및 각도조절이 용이한 앵글을 소재로 제작하였으며 피실험자의 신장에 따라서 작업대의 높이를 변화시킬 수 있도록 하였다.

또한 EMG측정의 경우 30분간의 작업시뮬레이션이 끝나는 마지막 볼팅작업을 기준으로 3초간의 구간을 3회 반복 측정하여 동일한 패턴을 보인 구간을 결과치로 인정하였으며 RPE측정은 실험이 끝난 후 피실험자에게 설문의 방법으로 측정하였다.

피실험자들은 과거 근육계통에 질병을 앓은 적이 없는 신체건강한 남자 대학원생으로 선별했으며 실험 전에는 무리한 운동을 삼가 할 것을 요구했으며 무리한 운동을 한 경우에는 실험일정을 조정하였다. 또한 실험시간을 오전, 오후, 저녁으로 나누어 시간별로 달라질 수 있는 신체리듬을 고려하여 실험일정을 스케줄링하였다.

실험에 참가하는 피실험자들은 간편한 운동복차림에 운동화를 착용하게 하여 실험을 실

시하였다.

3. 결과 분석

3.1 분산분석

본 실험의 분석에서 귀무가설의 설정은 다음과 같다.

H_0 =“작업자세, 휴식시간 비율, 작업형태에 따라 각각의 작업부하량에는 차이가 없다.”

분산분석의 경우 본 실험의 주목적이 작업자세 및 휴식시간의 비율, 작업형태에 따른 근육활동 패턴의 변화에 차이가 있는지의 여부이기 때문에 각 피실험자를 블록(Block)으로 묶어 분석하는 3원배치분석(Randomized Block Design by 3Factors)을 사용하여 실험을 분석하였다.

분산분석 결과

각 작업자세와 휴식시간의 비율, 작업형태에 따른 4개 부위의 근육 및 주관적 피로도(RPE), 심박수에 대한 분산분석 결과는 다음과 같다. 우선 <표1-1>에서는 작업자세와 휴식시간의 비율, 작업형태에 따른 극상근의 분산분석 결과를 보여주고 있으며 같은 방법으로 분석한 4개 표면전극 부착위치와 RPE, 심박수에 대한 전체 분산분석의 결과는 <표1-2>에 나타나 있다.

<표1-1> 극상근(Supraspinatus)의 분산분석

Source	DF	SS	MS	F	P-value
Posture	2	114944.6	57472.3	771.11	0.0000*
Pause Time	2	12959.7	6479.9	86.94	0.0000*
Work Type	1	73.5	73.5	0.99	0.3220
Subject	9	7678.5	853.2	11.45	0.0000*
Posture*Pause Time	4	3627.2	906.8	12.17	0.0000*
Posture*Work Type	2	1165.1	582.6	7.82	0.0010*
Pause Time *Work Type	2	0.7	0.3	0	0.9950
Posture*Pause Time *Work Type	4	265	66.2	0.89	0.4720
Error	153	11403.4	74.5		
Total	179	152117.7			

* : $\alpha = 0.05$ 에서 유의한 인자 표시

<표1-2> 전체 분산분석 결과

Source	P-value									
	두근상근	극상근	이두근	골근	전체RPE	목RPE	어깨RPE	손목RPE	허리RPE	심박수
작업자세	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
휴식시간	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
작업형태	*		*	*						*
피실험자	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
자세*휴시간		*			*	*				*
자세*형태	*	*	*					*		
서거나*형태										
자세*시간*형태										

* : $\alpha = 0.05$ 에서 유의한 인자 표시

4개 부위의 표면전극 부착 근육의 분산분석결과 극상근의 경우를 제외하고는 작업자세와 휴식시간 비율, 작업형태에 관해 $\alpha=0.05$ 에서 유의한 결과를 보였다.

극상근의 경우 작업형태에 따라 유의한 차가 없는 것으로 분석되었는데 이는 작업공구의 무게로 기인하여 생기는 근육피로가 어깨에는 영향을 미치지 않는 것으로 분석된 결과로 보여진다.

또한 신체부위별 주관적 피로도의 경우 작업자세와 휴식시간에 따라서 피실험자들이 느끼는 주관적 피로도의 값에 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었고 작업형태에 따라서는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다.

작업후의 심박수와 작업전의 안정시 심박수의 범위차를 고려한 분석 결과 작업자세, 휴식시간, 작업형태에 따라 모두 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다.

근육활동에 영향을 크게 미치는 인자를 변수별로 살펴보면 작업자세 및 형태에 따라 주로 사용되는 근육의 특성을 잘 살펴 볼 수 있었다. 극상근의 경우 작업자세에 따라 근전도값에 가장 큰 영향을 받는다. 반해 상완이두근이나 요측 수근 굴근은 작업형태에 따라 가장 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 이는 전동공구 사용 시 공구의 무게를 직접 관찰하는 근육의 특성에 기인한 결과로 보여진다. 이러한 공구의 특성이 작업자세가 높아질수록 작업부하량에는 적게 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.

3.2 작업 요인별 분석

본 연구에서는 작업자세, 휴식시간, 작업형태의 변화에 따라서 4개 부위의 근육 및 피실험자들이 느끼는 주관적 피로도값에 어떠한 변화가 일어나는지를 분석하기 위하여 Duncan's Multiple Range Test를 실시하였다. Duncan's Multiple Range Test는 각 인자의 통계량이 수준별로 각각에 유의한 차이가 있는지를 분석할 수 있는 방법으로 각 요인별 Test결과는 본문 <표2>와 <표3>에 나타나있다. 또한 본 연구에서는 작업전의 안정시 심박수와 작업후의 심박수를 측정하여 각 작업요인에 따라 심박수변화량(작업 후의 심박수- 작업 전의 안정시심박수)이 어떻게 변화하는지를 알아보고자 하였다. 심박수 변화량의 결과는 지면관계상 RPE분석결과와 같이 <그림11,13,15>에 나타나 있으며, 위와 같은 각 작업요인별 분석결과는 다음과 같이 주요내용으로 요약되어진다.

작업자세에 따른 작업부하 분석

작업자세에 따른 4개 부위의 근육부하 및 주관적피로도의 분석결과는 다음과 같다.

먼저 작업자세의 변화에 따른 근육의 활동패턴을 살펴보면 두판상근을 제외한 모든 근육에서 작업자세가 높아질수록 근전도값에 큰 변화를 가져왔다. 특히 어깨부위의 근육을 관찰하는 극상근의 경우 어깨 굴곡각도가 90 ° 이상으로 높아질 경우 거의 두배이상의 근육활동이 이루어지고 있는 것을 알 수 있었다.

작업자세에 따른 주관적피로도의 분석 결과 목, 어깨, 손목, 허리부위의 주관적 피로도값이 각각 작업자세가 변화함에 따라 달라지는 것을 알 수 있었다. 허리높이에서의 작업을 기준으로 작업자세가 오버헤드 형태로 전환할수록 피실험자들은 “쉽다”라는 반응에서 “약간 힘들다”라는 반응을 보여 앞의 근전도값과 유사한 결과를 보여주었다.

<표2> 작업자세에 따른 Duncan's Multiple Range Test 결과 (근전도 단위: μ V)

두관상근			
작업자세	N	질단군	
		1	2
Duncan 2	60	10,6857	.2
1	60	12,9040	
3	60	15,4850	
유의 확률		1,000	1,000
		1,000	1,000

극상근			
작업자세	N	질단군	
		1	2
Duncan 1	60	14,7053	.2
2	60	44,8253	
3	60	76,5970	
유의 확률		1,000	1,000
		1,000	1,000

상원이두근			
작업자세	N	질단군	
		1	2
Duncan 1	60	47,0923	.2
3	60	78,7687	
2	60	79,2847	
유의 확률		1,000	.915
		1,000	.915

요축수근굴근			
작업자세	N	질단군	
		1	2
Duncan 1	60	56,2340	.2
2	60	74,7330	
3	60	75,8077	
유의 확률		1,000	.851
		1,000	.851

목RPE			
작업자세	N	질단군	
		1	2
Duncan 1	60	11,12	.2
2	60	12,27	
3	60	13,30	
유의 확률		1,000	1,000
		1,000	1,000

어깨RPE			
작업자세	N	질단군	
		1	2
Duncan 1	60	10,97	.2
2	60	12,63	
3	60	13,07	
유의 확률		1,000	1,000
		1,000	1,000

손목RPE			
작업자세	N	질단군	
		1	2
Duncan 1	60	11,53	.2
2	60	12,17	
3	60	12,53	
유의 확률		1,000	1,000
		1,000	1,000

허리RPE			
작업자세	N	질단군	
		1	2
Duncan 1	60	11,32	.2
2	60	12,13	
3	60	12,70	
유의 확률		1,000	1,000
		1,000	1,000

작업자세에 따른 근육활동량의 변화

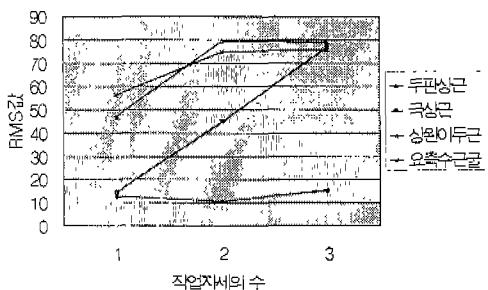


그림 10 작업자세에 따른 근육활동량의 변화

작업자세에 따른 각 RPE Scale값 및 실박수변화량

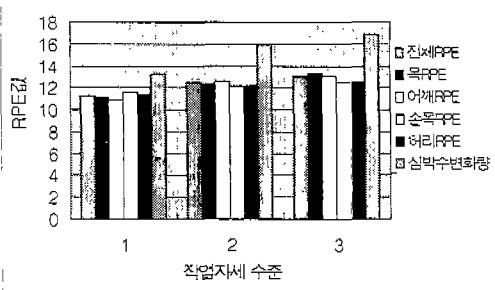


그림 11 작업자세에 따른 주관적 피로도의 변화

휴식시간에 따른 작업부하 분석

휴식시간의 변화에 따른 근육의 활동패턴과 주관적 피로도의 결과(<표3>,<그림12,13>참조)를 살펴보면 전체적으로 휴식시간이 늘어날수록 근육활동량은 적어지고 주관적 피로도는 모든 신체부위에서 줄어드는 것을 알 수 있었다. 특히 오버헤드 작업자세로 변화함에 따라 가장 큰 근육활동량의 증가를 보인 극상근의 경우 휴식시간의 비율 조정을 통하여 근육활동량을 충분히 줄일 수 있는 것으로 분석되었으며 목 및 어깨부위의 RPE분석결과도 휴식시간의 비율 조정을 통하여 “약간힘들다”에서 “쉽다”라는 반응으로 피설험자들이 느끼는 것으로 나타났다.

<표3> 휴식시간에 따른 Duncan's Multiple Range Test 결과 (근전도 단위: μ V)

		두판상근			RPE			
		N	침단군		N	침단군		
휴식시간비율			1	2		1	2	3
Duncan	3	60	11.6477		60	11.60		
	2	60	12.4280		60		12.25	
	1	60		15.0000	60		12.83	
유의확률			.449	1.000	유의확률		1.000	1.000
		국상근			어깨RPE			
		N	침단군		N	침단군		
휴식시간비율			1	2		1	2	3
Duncan	3	60	35.5830		60	11.40		
	2	60		44.2663	60		12.33	
	1	60	1.000	56.2783	60	1.000	12.93	
유의확률			1.000	1.000	유의확률		1.000	1.000
		상완이두근			손목RPE			
		N	침단군		N	침단군		
휴식시간비율			1	2		1	2	3
Duncan	3	60	58.2493		60	11.17		
	2	60	65.4430		60		12.12	
	1	60		81.4533	60		12.95	
유의확률			.136	1.000	유의확률		1.000	1.000
		요족수근굴근			허리RPE			
		N	침단군		N	침단군		
휴식시간비율			1	2		1	2	
Duncan	3	60	58.9227		60	11.33		
	2	60	66.5587		60		12.25	
	1	60		81.2933	60	12.57		
유의확률			.183	1.000	유의확률		1.000	.133

휴식시간비율에 따른 근육활동량의 변화

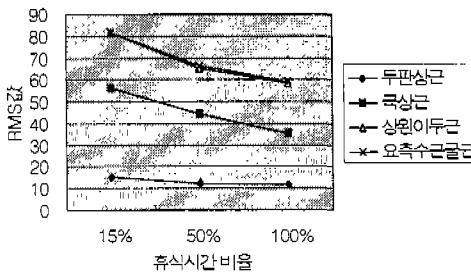


그림 12 휴식시간에 따른 근육활동량의 변화

휴식시간비율에 따른 RPE Scale 값 및 숨박수 변화

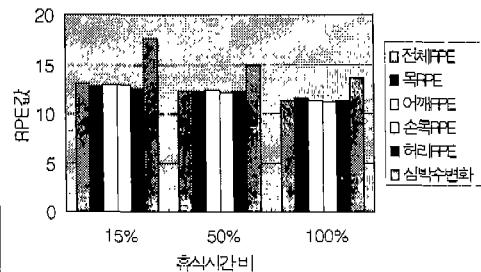


그림 13 휴식시간에 따른 주관적 피로도의 변화

작업형태에 따른 작업부하 분석

작업형태에 따른 근육활동 패턴의 변화를 살펴보면 위의 두 요인의 결과와는 약간 다른 점을 발견 할 수 있었다. 작업형태에 따라 어깨위의 근육을 관할하는 두판상근이나 국상근의 값에는 차이가 거의 없었으나 이두근과 굴근값은 pinching작업에 비해 전동공구 사용 시 근육활동량이 최대 59%까지 증가하는 것으로 나타났다. 피실험자들이 느끼는 주관적피로도의 경우 어깨이상의 부위에서는 pinching작업에 비해 오히려 전동공구 사용 시 피로도를 덜 느끼는 것으로 분석되었다.

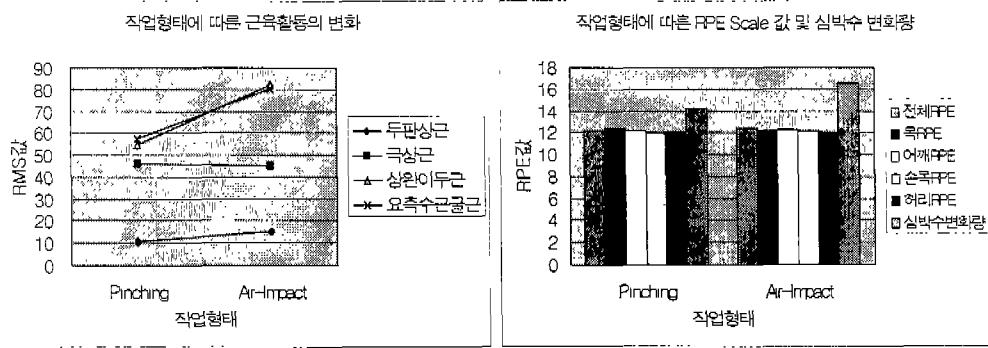
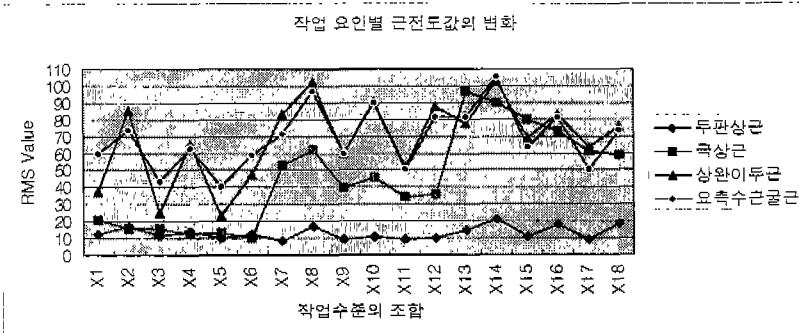


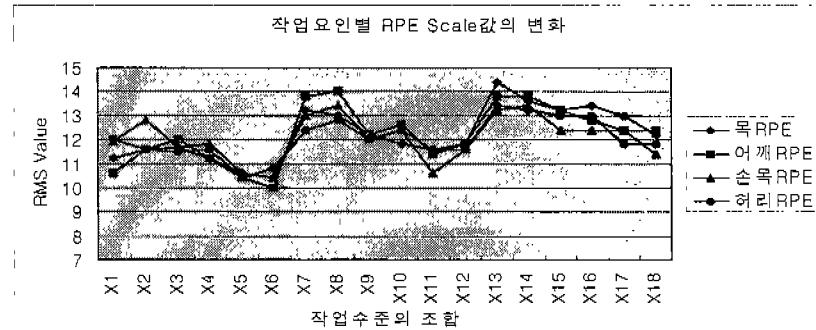
그림 14 작업형태에 따른 근육활동량의 변화 그림 15 작업형태에 따른 주관적 피로도의 변화

작업 자세, 휴식시간, 작업형태에 따른 근육부하 및 주관적피로도 분석

위의 3가지 인자의 수준조합에 따른 근육부하 및 주관적피로도를 분석한 결과는 다음과 같다. <그림15>와<그림16>을 살펴보면 작업자세 및 휴식시간, 작업형태에 따라 근육부하 및 피실험자들이 느끼는 주관적피로도의 변화가 어떻게 일어나는지 한눈에 알 수 있다. 전체적으로 작업자세가 높아질수록 근육부하 및 주관적피로도는 높아졌으며 이는 휴식시간의 비율이 증가함에 따라 점차 감소하는 경향을 뚜렷이 보여주었다. 극상근의 경우 작업자세가 어깨굴곡 135° 이상을 유발하는 극단적 작업높이 일 경우 다른 자세에서보다 100%이상의 근육활동량을 보였으며 pinching작업에서보다 전동공구 사용 시 근육부하가 적게 나타나는 것을 보여주었다. 이러한 결과는 주관적피로도의 결과와도 일치하는 것으로 이는 작업자세가 극단적으로 높아질수록 피실험자들이 공구의 무게로 인하여 느끼는 작업피로보다 작업 시 팔을 머리위로 계속 들고 있어야 하는 pinching작업형태에 피로를 상대적으로 크게 느끼는 경향을 보여주는 예라고 설명할 수 있다.



<그림 15> 4개 근육에 대한 근육활동량의 변화



<그림 16> 작업요인별 주관적 피로도의 변화

※ 작업자세, 휴식시간비율, 작업형태별 수준조합의 적용기호

기호	각 변수의 수준 조합	기호	각 변수의 수준 조합	기호	각 변수의 수준 조합
X1	A1-B1-C1	X7	A2-B1-C1	X13	A3-B1-C1
X2	A1-B2-C1	X8	A2-B2-C1	X14	A3-B2-C1
X3	A1-B3-C1	X9	A2-B3-C1	X15	A3-B3-C1
X4	A1-B1-C2	X10	A2-B1-C2	X16	A3-B1-C2
X5	A1-B2-C2	X11	A2-B2-C2	X17	A3-B2-C2
X6	A1-B3-C2	X12	A2-B3-C2	X18	A3-B3-C2

A1	Type 1 자세	B1	작업 대 휴식비율 : 15%	C1	Pinching 작업
A2	Type 2 자세	B2	작업 대 휴식비율 : 50%	C2	Air Impact 작업
A3	Type 3 자세	B3	작업 대 휴식비율 : 100%		

4. 결론 및 토의

본 연구는 자동차 조립작업에서 발생 할 수 있는 세 가지 형태의 작업 유형 및 휴식시간의 비율, 두 가지 형태의 작업 공구에 따른 근육부하를 측정하고 피실험자들이 느끼는 주관적 피로도를 측정한 연구이다. 본 연구를 통하여 얻어진 자료를 분석한 결과는 다음과 같은 주요 결론으로 요약되어진다.

1. 자동차 조립작업에서 3가지 작업요인의 영향을 분석한 결과 작업자세가 높아질수록, 휴식시간이 짧아질수록, 대부분의 작업조건에서 작업형태가 전동공구를 사용하는 경우가 pinching 작업에 비하여 육체적 작업부하가 유의하게 증가하는 것으로 나타났다.
2. 조립 작업시 작업이 이루어지는 작업 높이, 즉 작업자세에 따라서 4개 근육의 근육부하는 각기 다른 형태의 근육동원형태를 보여주었다. 허리높이에서의 작업을 기준으로 하여 오버헤드 작업으로 작업자세가 변함에 따라 각 근육의 근육부하량이 증가한다는 것을 알 수 있었다. 특히 어깨근육을 관할하는 극상근의 경우 작업자세의 변화에 따라 2배 이상의 근육활동량의 차이를 보였다.
3. 현재 자동차 조립작업에서 작업대 휴식시간 비율로 사용되고 있는 15% 휴식시간 비율을 기준으로 하여 휴식시간의 비율이 늘어날수록 근육부하는 점차 감소하는 것으로 나타났다. 근육의 작업부하를 측정한 근전도값의 경우 근육에 따라 19.7%에서 28.4%까지 근육부하를 줄일 수 있는 것으로 나타났으며 피실험자들이 느낀 주관적 피로도의 경우 휴식시간의 비율이 늘어날수록 “약간힘들다”에서 “쉽다”라는 반응으로 변화하는 것을 알 수

있었다.

4. 현재 자동차 조립작업에서 대표적 작업형태로 활용되는 pinching작업과 air-impact 작업의 근육부하에 대한 비교 결과 어깨위의 근육에서는 작업 형태에 따라 큰 차이가 나타나지 않았으나 상완이두근과 요축수근굴근에서는 pinching작업에 비해 전동공구 사용 시 최대 59%까지 근육부하가 늘어난다는 것을 알 수 있었다.

5. 작업자세와 작업공구형태에 따른 근육부하의 연구결과 근육의 동원형태와 근육별 작업부하가 변화한다는 것을 알 수 있었다. 작업공구에 직접적 영향을 받는 상완이두근의 경우 작업자세가 높아지고 작업형태가 전동공구를 사용할수록 근육부하가 점차 증가하는 것으로 나타났는데 반해 극상근의 경우 작업자세가 높아지눈것에 대해서는 매우 높은 근육 활동량의 증가를 보였으나 작업공구형태에는 크게 영향을 받지 않는 모습을 보였다. 이러한 결과는 자세에 따라 각각의 근육에 부가되는 작업부하가 다르게 나타난다는 것을 의미하는 결과로 근육의 역할분담을 증명하는 것으로 보여진다.

6. 위의 결과에 따르면 자동차 조립 작업장에서는 작업높이가 허리높이에서 어깨높이 이상으로 올라가는 작업의 경우 상대적으로 휴식시간의 비율을 최소한 50%이상 조절해 주는 것이 필요하며 작업높이가 극단적(어깨골곡135 °이상)으로 높아질 경우 가급적이면 pinching작업보다는 공구를 이용한 작업형태를 권장하여 극단적 작업높이에서 하박 및 상박 부위에 집중적으로 가해지는 작업부하를 줄여야 할 것으로 판단되어진다.

7. 본 연구의 결과는 자동차 조립작업에서 작업자세 등과 같은 작업조건의 변화에 따른 노동강도 및 휴식시간의 비율이 적절히 조절되어 근골격계질환의 발생을 최소화하기 위한 안전한 육체적 작업조건의 설정에 활용될 수 있을 것이다.

추후 근골격계질환 예방을 위한 조립작업에서의 안전한 노동강도 산정을 위하여는 본 연구의 결과를 바탕으로 보다 다양한 작업조건에서의 작업적 요인을 고려한 연구가 필요하다고 생각되며 근육의 작업부하를 정량적으로 측정하기 위한 다양한 근전도 파라미터의 적용 및 피실험자를 블록으로 묶어 실험할 수밖에 없는 인간공학적인 실험계획상황에서 근전도값과 같은 수치들을 객관적으로 정량화 할 수 있는 Nomalization에 대한 방법론도 함께 연구되어져야 할 것이다.

참고문헌

1. 김철홍 외, “누적외상병 예방을 위한 심생리학적 접근법을 이용한 상체작업의 안전한 작업기준의 설정에 관한 연구”, 대한 인간공학회지, 제13권(2), pp 57-63, 1994.
2. 김철홍, “누적외상병이 산업계에 미치는 영향과 인간공학적 예방프로그램”, 공업경영학회지, 제19권(40), vol. 19, 1996.
3. 김철홍, 김승남, 이준엽, 윤덕기, “대우자동차의 근골격계질환 실태에 관한 연구”, 최종보고서, 대우자동차 노동조합, 2000.
4. 김태광, “수공구의 종류와 작업 유형 및 위치에 따른 상지근력의 변화에 관한 연구”, 석사학위논문, 인천대학교, 1998.
5. 모진희, “금속연맹 근골격계질환 실태조사와 노동조합의 대응방향”, 경경환경에 예방과 대책을 위한 공청회, 1997.

6. Bureau of Statistics, U.S. Department of Labor, March, 1997.
7. Drury, C.G., J.M. Deeb, B. Hartmann, S. Wolley, C.E. Drury and S. Gallagher, . "Symmetric and asymmetric manual material handling." Ergo. Vol 32 : pp. 467-489, 1989.
8. Hagberg, M., "Muscular Endurance and Surface Electromyogram in Isometric and Dynamic Exercise", Apply Physiology, 51(1), 1981.
9. Kim, C. H., "Psychophysical Frequency at Different Forces and Wrist Postures of Females for Postures of Females for a Drilling Task", The Wichita State University, ph. D dissertation. 1991.
10. Kim, C. H., Fernandez, J. E., "Psychophysical frequency for a drilling task". International Journal of Industrial Ergonomics, 12, pp. 209-218, 1993.
11. Borg, G. "Psychophysical bases of perceived exertion", Medicine and Science in Sports and Exercise, 14(5), pp. 377-381. 1982.
12. Borg, G. "Perceived exertion as an indicator of somatic stress" Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine, 2(3), pp. 92-98, 1970.
13. Chaffin, D. B. and Andersson, G. "Occupational Biomechanics" John Wiley & Sons, New York. 1991.