

## 근골격계질환에 대한 작업자세요인의 평가

### An Evaluation of Working Postures for Musculoskeletal Disorders

배성규\*, 박동현\*

Sung Kyu Bae, Donghyun Park

#### ABSTRACT

최근 산업안전/보건분야에서 누적외상성질환(Cumulative Trauma Disorders: CTDs)과 직업성요통(Low Back Injury)과 같은 근골격계질환은 산업현장에서 어렵지 않게 발견할 수 있는 신중 산업재해의 일종이다. 특히 미국의 경우, 발생건수와 그로 인한 인적/물적 손실이 급격하게 증가되고 있는 것으로 나타나고 있다. 그러나 미국과 같이 근골격계질환의 피해를 입피까지 인식하고 그 해결방안을 연구해온 나라들에서는 현재 환자관리 및 인간공학적 기준 등을 포함하는 예방지침들이 잘 정착되어 있는 실정이다. 우리 나라의 경우에는 작업환경 등의 조건과 상황이 미국과 같은 구미 선진국과 비슷하고, 특히 제조업의 생산체계가 그런 나라들과 매우 유사하여 근골격계질환의 발생과 그로 인한 인적/물적 손실이 적지 않을 것이라고 예상할 수 있지만 아직까지 CTDs에 대한 전반적인 이해가 부족하고, 정확한 실태가 파악되지 못하였으며, 따라서 체계적인 관리 대책 또한 마련되어있지 않은 실정이다. 본 조사에서는 서울 근교의 수송기계관련 사업장의 작업들에 대한 작업자세에 중점을 둔 인간공학평가를 통하여 조사 작업의 근골격계질환에 대한 상대적인 위험도, 위험요인 등을 파악하고, 그에 따른 개선 대책의 방향을 제시하고자 하였다. 특히, 각 부위별위험점수와 부위별 증상호소율의 상관분석결과, 작업자 개인적 수준에서는 통계적으로 유의한 차는 없는 것으로 분석되었으나, 부서별로 분석한 결과, 작업시 주로 사용하는 오른쪽 상지의 경우, 오른쪽 어깨, 팔꿈치, 손목 손으로 통계적으로 유의하게 관련이 있는 것으로 나타났다. 즉 증상호소율과 해당 신체부위의 위험도 점수는 서로 정적(positive)한 관계에 있는 것으로 나타났고, 상지 중 주로 사용하는 오른쪽 부분의 위험도 자세 점수와 증상호소는 비교적 높은 상관관계에 있는 것으로 나타났다. 따라서 이와 같은 인간공학적 분석결과는 향후 인간공학적인 개선대책의 개발 뿐 만 아니라 의학쪽에서 근골격계질환을 접근하는 초기단계에서 매우 유용한 역할을 할 수 있으리라 생각된다.

#### 1. 서 론

최근 산업안전/보건분야에서 누적외상성질환(Cumulative Trauma Disorders: CTDs)과 직업성요통(Low Back Injury)과 같은 근골격계질환은 산업현장에서 어렵지 않게 발견할 수 있는 신중 산업재해의 일종이다. 그 원인으로서의 지금까지 여러 가지가 단편적으로 많이 제시되어 왔지만, 크게 보면 작업특성에 관련되는 요인들, 작업자 개인특성에 관련되는 요인들, 그리고 산업현장의 변화된 기타 상황 등을 들 수 있다. 이 근골격계질환은 1980년대 이후로 꾸준히 증

가되는 추세에 있는데, 특히 미국의 경우, 발생건수와 그로 인한 인적/물적 손실이 급격하게 증가되고 있는 것으로 나타나고 있다. 1995년 미국 노동부 산하 BLS(Bureau of Labor Statistics, 1995)의 자료에 의하면 근골격계질환은 전체 작업관련질환 중 65%를 차지하는 것으로 나타났다. 이와 같은 상황의 좀 더 세부적인 내용을 살펴보면 미국에서의 근골격계질환 관련 보고건수는 1981년에 23,000건이었던 것에 비하여 1991년에 거의 9배가 증가한 223,600건으로 증가하였고, 건당 평균보상비용은 \$ 8,070로서 작업관련 기타질환의 평균보상비용(\$ 4,075)의 2배에 달하는 것으로 나타났다. 따라서 미국의 경우 근골격계질환 문제는 단순한 작업자 복지차원의 문제뿐만 아니라 기업체를 경영하는 경영층 입장에서도 간과할 수 없는 총비용상의 문제가 되어버렸다. 그 결과, 미국과 같이 근골격계질환의 폐해를 일찌감치 인식하고 그 해결방안을 연구해온 나라들에서는 현재 환자관리 및 인간공학적 기준 등을 포함하는 예방지침들이 잘 정착되어 있는 실정이다.

그러나 우리 나라의 경우에는 작업환경 등의 조건과 상황이 미국과 같은 구미 선진국과 비슷하고, 특히 제조업의 생산체계가 그런 나라들과 매우 유사하여 근골격계질환의 발생과 그로 인한 인적/물적 손실이 적지 않을 것이라고 예상할 수 있지만 아직까지 CTDs에 대한 전반적인 이해가 부족하고, 정확한 실태가 파악되지 못하였으며, 따라서 체계적인 관리 대책 또한 마련되어 있지 않은 실정이다. 그러나 세계적인 추세와 우리 나라 산업에서의 작업특성을 고려해 볼 때 멀지 않은 시점에 미국과 같은 상황이 도래할 수 있다고 판단된다.

특히 상대적으로 긴 작업주기, 평행한 공정흐름(parallel flow) 등의 작업특성으로 대변되는 대상 사업장에서의 작업들은 그 동안 여러 연구들에 있어서 근골격계질환의 발생과 연관이 있는 것으로 나타났다. Brogmus의 연구결과(Brogmus 등, 1996)에 의하면 미국의 경우, 자동차조립업종에서 직업성 요통을 제외한 상지에 발생하는 CTDs의 건수는 전체 직업관련 부상 및 질환 중에 약 15%를 차지하였다.

일반적으로 근골격계질환을 발생시킨다고 알려진 위험요인은 크게 작업요인 그리고 작업자요인으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 작업특성 요인 중 특히 작업자세 요인에 대하여 세부적으로 분석하고자 하였다. 구체적으로 여기서 세부분석이라고 하면, 예를 들면 작업자세측면에서 작업자의 전 작업주기동안에 동적인 자세에서의 문제점, 그 문제를 일으키는 요인 그리고 작업자에게 있어서 문제가 될만한 작업 습관 등을 파악하는 것이다. 본 연구에서는 대상 사업장의 작업들에 대한 작업자세에 중심을 둔 인간공학평가를 통하여 조사 작업의 상대적인 위험도, 위험요인 등을 파악하고, 그에 따른 개선 대책의 방향을 제시하고자 하였다.

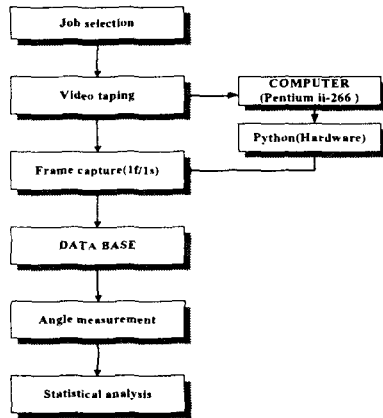
## 2. 연구 방법

본 연구의 대상은 서울 근교에 위치한 수송기계관련 사업장이었다. 1단계로 모든 작업자들(48명)을 대상으로 하여 기본적인 설문조사를 실시하였다. 설문 내용은 부서명, 작업 공정명, 성명, 신장, 체중, 나이, 입사년도, 총 작업년수, 결혼 상태 등의 개인 배경 정보, 상지에 관련되는 증상에 관한 질문, 그리고 작업자들의 현재 작업에 대한 문제점 파악 및 작업자들이 생각하고 있었던 개선대책 등이었다. 설문 응답에 걸린 시간은 약 10분 정도였으며 조사자의 입회하에 실시되었다.

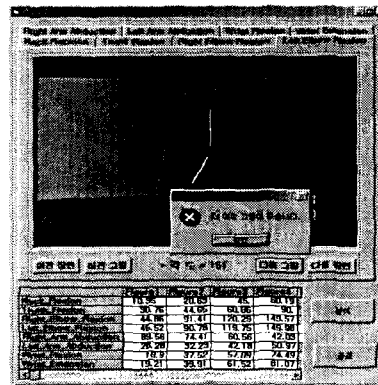
2단계로 현장조사가 실시되었는데 크게 작업자세 분석을 위한 비디오촬영과 작업대계측, 작업장 layout에 대한 평가 등의 작업측정이 수행되었다. 특히 비디오 촬영은 현장에서의 실제 작업수행시 실시되었는데 여기에서는 작업자세를 목, 몸통, 오른쪽 어깨, 왼쪽 어깨, 오른쪽 팔

꿈치, 왼쪽 팔꿈치, 오른쪽 손목, 왼쪽 손목으로 세분하여 촬영하였다.

3단계는 촬영된 비디오를 컴퓨터에 옮기는 작업이었으며 여기서는 인하대학교 산업공학과 인간공학 연구실에서 개발한 DPMS(Dynamic Posture Measurement System) 동작분석 시스템을 사용하여 각 신체부위의 자세에 대해서 초당 1프레임을 캡처하였다. 즉 촬영된 동적인 작업자세들을 1초씩 나눈 정지화면 하나 하나에 대하여 세부적인 작업자세를 평가하였다. 프로그램의 구동을 위한 환경은 다음의 그림 2-1, 2-2와 같다.



<그림 2-1> 작업자세 분석 프로그램 구성도



<그림 2-2> 작업자세 각도 측정 윈도우

4단계는 조사된 작업들에 대한 위험도분석이었는데 일반적으로 어색하고 불안정한 작업자세는 생산성을 떨어뜨릴 뿐만 아니라 CTD발생에 커다란 영향을 미친다. 특히 자세에 있어서 CTD와 관련되어 눈여겨보아야 하는 신체부위는 neck, back, shoulder, elbow & wrist이다. 특히 팔꿈치와 손목부위의 자세는 grip strength나 pinch strength에 많은 영향을 미쳐서 자세가 불량해지면 동일한 작업을 하더라도 추가로 힘이 더 필요하다고 알려져 있다(Terrell & Pursell, 1976; Drury, 1987; Lehman등, 1993; Fredericks등, 1995).

본 연구에서는 작업자세에 중점을 둔 위험도평가를 수행하였다. 이 방법에서는 근골격계질환에 관련되는 모든 신체부위의 점수를 계산하고 이 신체부위점수를 모두 합하여 해당 공정 혹은 작업의 총 위험도점수를 도출하게 되며, 점수계산법은 아래와 같이 손목과 기타 관절에 대한 부분으로 크게 나뉘어진다. 이 방법은 전 단계에서 나온 전 작업주기 동안의 작업자세정보에 기초하고 있기 때문에 작업자세에 의한 위험정도 예측능력이 우수하고 모든 신체부위의 문제점을 한 눈에 알아볼 수 있다는 점에서 다른 방법과 비교하여 그 차별성이 있다고 사료된다.

$$\text{손목 위험점수} = (\text{힘} + \text{손목각도}(\text{평균/최대})) \times \text{생산량}$$

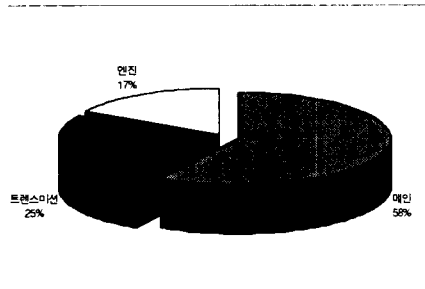
$$\text{기타관절 위험점수} = \text{관절각도} \times \text{생산량}$$

마지막으로 5단계에서는 증상조사결과와 위험도점수를 중심으로 한 인간공학적 분석결과와의 관계를 살펴보았다.

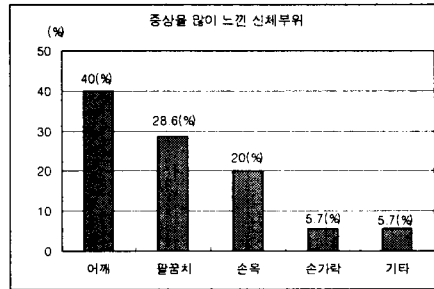
### 3. 결 과

### 3.1 증상 및 작업환경에 대한 설문조사

총 48명의 작업자에 대하여 설문조사를 하였으며 라인별로는 메인이 58%, 트랜스미션이 25%, 그리고 엔진 부분이 17%를 차지하였다(그림 3-1). 설문 내용은 작업자들이 호소한 증상들의 구체적인 내용을 살펴보면 어깨, 팔꿈치, 손목, 손가락의 순이었으며, 특히 어깨에 대한 증상의 호소가 제일 높은 것으로 나타났다(그림 3-2).



<그림 3-1> 설문응답자 구성비



<그림 3-2> 증상을 많이 느낀 신체부위

### 3.2 동작분석을 위한 비데오촬영 및 현장 작업조사

각 공정의 주요 작업들에 대한 각도측정에는 인하대학교 인간공학 실험실에서 개발한 DPMS가 이용되었다. 전 작업주기동안의 각도측정결과는 공정별, 신체부위별로 정리하였다. 하나의 예로써 그림 3-3은 손목신전각도의 변화를 보여주고 있다. 각 공정의 신체 부위별 관절의 각도를 평균값, 최대값, 최소값으로 정리하였다. 각 부위는 일반적으로 인간공학분석에서 각도의 크기가 커지면 위험요소라고 보는 왼쪽 팔꿈치 굴곡, 오른쪽 팔꿈치 굴곡, 목 굴곡, 몸통 굴곡, 손목 신전, 손목 굴곡, 왼쪽 어깨 외전, 오른쪽 어깨 외전 등을 분석하였다.

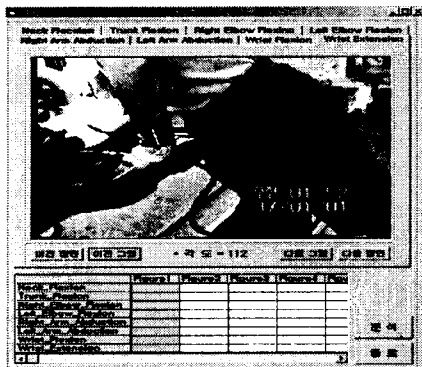


그림 3-3 손목 각도 측정

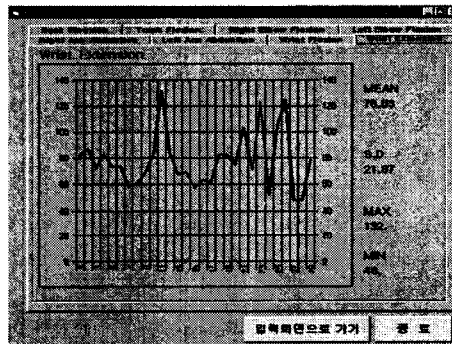


그림 3-4 손목신전각도의 변화

### 3.3 조사된 공정에 대한 위험도 평가

조사된 각 공정의 부위별 각도측정결과를 과거 연구들(Terrell & Pursell, 1976; Drury, 1987; Lehman 등, 1993; Fredericks 등, 1995) 에서 언급한 작업자세의 위험도를 신체부위별로 평가하여 정리하였으며 각 부위별 위험점수를 합산하여 총점을 계산하였다.

총 위험점수는 공정 2(조향 PTO) 작업에서 가장 높은 위험점수가 나왔으며, 공정 10(판넬커버 조립), 공정 7(라디에타 조립), 공정 9(키박스 조립) 순으로 위험점수가 높은 것으로 분석되었다. 또한 신체 각 부위별로 위험점수를 계산하였다. 표 3-1은 전체 공정중에서 신체부위별 점수 및 총 위험도점수가 비교적 높은 작업들이다.

<표 3-1> 각 공정별 위험도점수

공정	공정명	L.E.F	R.E.F	N.F	B.F	W.E	W.F	L.S.A	R.S.A	TOTAL
2-2	조향PTO	100	100	100	120	100	100	80	100	800
10-1	판넬커버	120	120	100	80	100	100	80	80	780
7-2	라디에타조립	80	80	100	120	100	100	80	100	760
9-2	키박스조립	100	80	100	120	80	100	80	100	760
10-2	판넬커버	120	120	80	100	80	100	80	80	760
1-2	엔진도평	120	100	60	80	80	100	80	120	740
2	조향	80	80	80	120	80	80	100	120	740
4	주유,유압파이프	80	80	100	120	100	100	60	100	740
11	연료탱크조립	120	120	100	60	100	80	80	80	740
19	T/M 상차,비트축조립	100	80	100	100	100	100	80	80	740
22	T/M 주변속기어	100	80	120	120	80	80	80	80	740
25	T/M 최종구동축	100	100	120	100	80	80	80	80	740
1-1	엔진도평	100	100	80	120	80	80	80	80	720
3	باتد레배선	100	80	100	120	100	60	80	80	720
5	엔진배선	80	100	80	60	120	120	60	100	720
6-1	앞차축과일로드	80	80	60	100	80	80	120	120	720
6-2	앞차축과일로드	60	80	100	100	80	80	100	120	720
7-1	조향호스	60	60	100	120	100	100	80	100	720
11-2	공정11-2	120	120	80	80	80	80	80	80	720
16	케빈,본네트조립	80	100	100	120	80	80	80	80	720

L.E.F: 왼쪽 팔꿈치 굴곡	R.E.F: 오른쪽 팔꿈치 굴곡
N.F: 목굴곡	B.F: 허리 굴곡
W.F: 손목 신전	W.E: 손목굴곡
L.S.A: 왼쪽 어깨 외전	R.S.A: 오른쪽 어깨 외전

### 3.4 증상과 작업자세 위험점수와의 관계

본 분석에서는 작업자가 설문에 응답한 결과와 실제 작업을 평가한 결과를 분석함으로써, 근 골격계질환의 증상여부가 작업요인에서 기인하였을 가능성을 알아보려고 하였다.

부서별 평균총점수는 메인 부서 718점, 트랜스미션 부서 684점, 엔진 부서 678점 순으로 높은 것으로 나타났으며, 부서별 총 위험자세의 평균이 같은지를 알아보기 위하여 분산분석을 실시한 결과는 유의수준 0.05에서 유의하였다. 위의 결과를 토대로 부서별 총 위험점수와 총 증상개수와의 관계를 알아보기 위하여 상관분석결과 상관계수는 0.49 이었다. 즉 자세총점수가 높은 부서일수록 증상개수가 많은 것으로 나타났다.

<표 3.2> 부서별 자세점수와 증상개수와의 상관관계

상관계수	총점수
증상개수	0.491342

부서별/증상부위별 백분율을 계산하여, 각 부위별 자세점수와 부서별 증상호소율과의 관계를 알아보았다. 부서별로 오른쪽 어깨 증상호소율과 부서별 오른쪽 어깨 굴곡의 위험점수가 높은 상관관계를 보였다( $r=0.98$ ). 즉 오른쪽 어깨 위험점수가 높은 부서일수록 오른쪽 어깨의 증상을 호소하는 작업자의 수가 많게 나타났다.

<표 3.3> 부서별 부위별 증상호소율과 자세점수와의 상관관계

상관계수	오른쪽 어깨 위험점수
오른쪽 어깨 증상호소율	0.987829
	오른쪽 팔꿈치 위험점수
오른쪽 팔꿈치 증상호소율	0.928571
	손목 신전
왼쪽 손목 증상호소율	0.976221
오른쪽 손목 증상 호소율	0.802955

또한 오른쪽 팔꿈치 증상호소율이 높은 부서일수록 오른쪽 팔꿈치 굴곡에 위험점수가 높은 것으로 나타났다( $r=0.92$ ). 손목 굴곡/신전의 위험점수와 왼쪽/오른쪽 손목 증상호소율과의 관계는 부서별로 손목 신전/굴곡에 대한 위험점수가 높을수록 왼쪽/오른쪽 손목에 대한 증상호소율이 높은 것으로 나타났다.

위의 분석 결과, 오른쪽 상지의 자세점수와 오른쪽 상지의 증상호소율이 양의 상관관계가 많은 것으로 분석되었다. 작업시 주로 사용하는 오른쪽 상지의 위험점수가 높을수록 오른쪽 상지의 각 부위의 증상호소율이 높은 것으로 분석되었다. 즉, 작업시 주로 사용하는 오른쪽 상지는 오른쪽 어깨, 오른쪽 팔꿈치, 오른쪽 손목 순으로 통계적으로 유의한 수준이 있는 것으로 나타났다.

#### 4. 결론 및 요약

우리 나라의 경우에는 작업환경 등의 조건과 상황이 미국과 같은 구미 선진국과 비슷하고, 특히 제조업의 생산체계가 그런 나라들과 매우 유사하여 근골격계질환의 발생과 그로 인한 인적/물적 손실이 적지 않을 것이라고 예상할 수 있다. 본 연구에서는 서울 근교의 수송기계관련 사업장의 작업들에 대한 작업자세에 중심을 둔 인간공학평가를 통하여 조사 작업의 상대적 위험도, 위험요인 등을 파악하고, 그에 따른 개선 대책의 방향을 제시하고자 하였다.

제일 먼저 증상에 대한 간단한 설문조사를 실시하였는데, 대부분의 작업자들은 최소 한번 이상 근골격계질환에 관련된 유사 증상을 경험하였고, 그 빈도는 어깨, 팔꿈치, 손목 순으로 나타났다. 이것은 반복성이 높으면서도 다루는 대상물의 무게가 무거운 사실에 기인한다고 사료된다. 또한 설문조사시 작업자들에게 현재 작업에 있어서의 가장 힘든 부분과 개선의 방향에 대하여 질문하였는데, 대부분의 작업자들은 부적절한 작업높이와 그로 인한 불안정한 작업자세를 제일 큰 문제점으로 꼽았다.

촬영된 비디오자료를 토대로하여 수행된 작업자세 분석을 통하여 전 작업주기동안의 작업자세의 변화정도를 파악하였다. 분석결과, 각 신체부위별로 위험공정이 파악되었다. 첫째, 팔꿈치는 3, 5, 10, 11, 26공정이, 둘째, 손목 신전은 1, 3, 4, 7, 11, 공정이, 셋째, 손목 굴곡은 8, 11, 15, 16, 19공정이, 넷째, 어깨는 2, 6, 16, 17, 18공정이, 그리고 마지막으로 다섯째, 목은 3, 4, 15, 20, 25공정이 위험하다고 나타났다. 특히, 3, 11, 15, 16 공정은 여러 신체 부위에서 문제점이 있는 것으로 나타났다. 또한 전반적인 위험도 평가 결과인 작업자세중점 위험도점수에서는 1공정(엔진 도핑), 2공정(조향 PTO), 4공정(주유/유압파이프), 7공정(라디에타조립), 9공정(키박스 조립), 10공정(판넬커버) 등이 상대적으로 다른 공정들보다 위험도가 높았다. 이와같은 결과들은 차후의 본격적인 개선대책 마련 및 적용에 있어서 그 우선도를 정하는 데 있어서 기준으로

사용될 수 있을 것이다.

다음으로 작업자가 각 신체 부위별로 증상을 호소한 부위와 해당 신체 부위별 위험점수를 분석하였다. 분석결과, 각 부서별(메인, 트랜스미션, 엔진) 위험점수는 메인, TM, EG 순으로 평균 점수가 높은 것으로 분석되었다( $p=0.03$ ). 작업자가 설문에 응답한 결과와 실제 작업을 평가한 결과를 비교함으로써, 근골격계질환관련 증상여부가 작업에서 기인하였는가를 알아보고자 각 부위별 위험점수와 부위별 증상호소율의 상관분석을 실시하였다. 분석결과, 작업자 개인적 수준에서는 통계적으로 유의한 차는 없는 것으로 분석되었으나, 부서별로 분석한 결과, 작업시 주로 사용하는 오른쪽 상지의 경우 오른쪽 어깨, 팔꿈치, 손목 순으로 통계적으로 유의하게 관련이 있는 것으로 나타났다. 즉 증상호소율과 해당 신체부위의 위험도 점수는 서로 정적(positive)한 관계에 있는 것으로 나타났고, 상지 중 주로 사용하는 오른쪽 부분의 위험도 자세 점수와 증상 호소는 비교적 높은 상관관계에 있는 것으로 나타났다. 따라서 이와 같은 인간공학적 분석결과는 향후 인간공학적인 개선대책의 개발 뿐 만 아니라 의학쪽에서 근골격계질환을 접근하는 초기단계에서 매우 유용한 역할을 할 수 있으리라 생각된다.

마지막으로 본 조사에서는 앞으로의 개선대책의 방향을 제시하는데 있어서 공장 라인에 대한 대규모의 개선보다는 소규모이지만 비교적 손쉽게 효과를 볼 수 있는 개선대책의 방향을 제시하고자하였다. 본 조사에서 도출된 문제점들에 대하여 비교적 손쉽게 그리고 빨리 수용할 수 있는 개선대책의 방향은 작업대 높이, 손잡이 달린 막대의 사용, 다양한 종류의 파레트의 이용, 이동식 보조의자, 손목/무릎 보호대, 작업자세 교정, 휴대용 바닥거울의 설치, 수공구 사용의 강화, 도안 작업대의 사용, 작업순환 등이다. 향후, 조사된 사업장에서는 이제까지의 모든 결과를 토대로 하여 각 공정(라인)별 개별 지도 및 교육 그리고 본보고서에서 제시하고 있는 개선대책의 방향을 근거로 하여 개선대책의 구체화, 적용, 및 수정/보완을 통하여 근골격계질환에 대한 예방효과를 실현 할 수 있으리라 사료된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Brogmus, G.E., Sorock, G.S., and Webster, B.S. (1996) "Recent trends in work-related cumulative trauma disorders of the upper extremities in the United States: An evaluation of possible reasons", *Journal of Occupational & Environmental Medicine*, Vol 38, No 4, pp401-411.
- [2] Bureau of Labor Statistics (1995) *Workplace injuries and illnesses in 1994*, Department of Labor, Washington, DC.
- [3] Drury, C.G. "A biomechanical evaluation of the repetitive motion injury potential of industrial jobs", *Seminars in Occupational Medicine*, Vol. 2, No. 1, 41-49, 1987.
- [4] Fredericks, T.K., Kattel, B.P., and Fernandez, J.E. "Is grip strength maximum in the neutral position?" In A.C. Bittner and P.C. Champney (Eds.), *Advances in Industrial Ergonomics and Safety VII*, pp 561-568, London: Taylor & Francis, 1995.
- [5] Hagberg, M. "Work Load and Fatigue in Repetitive Arm Elevations", *Ergonomics*, Vol 24, No 7, pp.543-555, 1981.
- [6] Terrell, R. and Purswell, J.L. The influence of forearm and wrist orientation on static grip strength as a design criterion for hand tools. In *Proceedings of the Human Factors Society 20th Annual Meeting* (pp. 28-32). Santa Monica, CA: Human Factors Society, 1976.