안전분야 - 보고서
연구원 2002-32-127

작업자세의 인간공학적 조사체계 및 평가방법 모델 개발

2001. 12

한국산업안전공단
산업안전보건연구원

제 출 문

한국산업안전공단 이사장 귀하

본 보고서를 『작업자세의 인간공학적 조사체계 및 평가방법 모델 개발』에 대한 최종 보고서로 제출합니다.

2001년 12월 31일

연구주관부서 : 산업안전보건연구원
안전공학연구실

연구책임자 : 손두익(수석연구원)
공동연구자 : 이경용(책임연구원)
김대성(연구원)

요 약 문

1. 과 제 명 : 작업자세의 인간공학적 조사체계 및 평가방법 모델 개발

2. 연구기간

2001년 1월 2일 ~ 2001년 12월 31일(12개월)

3. 연 구 자

산업안전보건연구원 손두익 수석연구원, 이경용 책임연구원, 김대성 연구원

4. 연구목적

사업장에서 발생하는 다양한 작업자세에 대해 평가도구를 통해 분석하는 것은 시간투자대 효과의 측면에서 아주 큰 장점을 가지고 있지만, 분석하려는 작업자세가 다양하기 때문에 동종업종에서도 각 공정, 해당 작업에 따라 각기 다르게 평가되어야 하는 특징이 있다. 이를 해결하기 위해서는 보다 효율적으로 평가도구를 선정하는 방법이 제시되어야 하고, 사용의 편리성, 적용 및 분석결과의 신뢰성도 확보되어야 한다. 그러므로, 본 연구에서는 다양한 작업자세로 인한 위험요소를 적절하게 조사할 수 있는 체계 및 평가방법에 대한 기초적인 모델을 제시하는 것을 주목적으로 하며, 장기적으로 이러한 기초모델을 통해 보다 효율적이고, 신뢰성 있는 평가도구를 개발할 수 있는 기반을 제공하는 것을 목적으로 한다.

5. 연구내용

- 기존 인간공학적 평가도구들의 이론적 검증을 통한 재분류
- 인간공학적 조사체계 및 평가방법에 대한 기초모델 제시
- 작업자세로 인한 부하를 평가하기 위한 장비를 이용하여 실험 실시
- 인간공학적 조사체계 및 평가방법의 구체적인 적용사례 제시

6. 활용계획

- 작업자세 관련 재해의 유해요인 분석·평가 및 해결방안 제시
- 인간공학적 분석·평가를 위한 기초모델 개발의 산업현장 적용
- 작업자세에 대한 인간공학적 분석시 기초자료로 사용

7. 연구개요

본 연구에서 제시된 인간공학적 조사체계 및 평가방법의 기본흐름은 다음과 같다. 단순반복작업 및 중량물 취급작업으로 인해 근로자가 건강관리실을 방문하여 통증을 호소한 자료나 기본감사도구를 통해 기초 조사를 실시한다. 조사결과, 작업으로 인한 부하가 감지될 경우, 근로자용 설문지와 인간공학 전문가의 평가결과를 토대로 정밀분석이 필요한 작업인지 여부를 확정한 후, 작업자세의 인간공학적 평가도구를 통해 정밀분석을 실시하고, 추가적으로 특정 작업자세로 인해 근력에 미치는 부하를 측정하는 근전도(EMG)나 심박수를 변화(ECG)를 실험을 통해 조사함으로써 신뢰성 있는 자료를 확보하여 개선의 가능성을 고려할 수 있는 조사체계 및 평가방법에 대한 기초 모델을 제시한다.

8. 중심어

인간공학, 근골격계질환, 조사체계, 평가방법

목차

제 1 장 서론 ····· 1
1. 연구배경 및 목적 ····· 1
가. 인간공학(Ergonomics)의 정의 ····· 4
나. 근골격계질환(Musculoskeletal Disorders) ····· 5
다. 부적절한 작업설계의 영향 ····· 6
2. 기존연구 ····· 8
가. 단순반복작업 분석도구 ····· 11
나. 인력물자취급작업 평가도구 ····· 17
다. 평가도구의 재분류 ····· 19
라. 근전도에 대한 이해 ····· 21
3. 연구방법 ····· 24
가. 분석공정 선정 단계 ····· 25
나. 기초조사 단계 ····· 27
다. 통합조사 단계 ····· 27
라. 실험 및 정밀조사 단계 ····· 28
마. 개선안 도출 단계 ····· 29
바. 개선안 확정 단계 ····· 29

제 2 장 본론 ····· 31
1. 개요 ····· 31
2. 실험내용 및 장비 ····· 32

3. 사례연구 I ····· 34
가. 어깨-팔 들기 작업자세 ····· 34
나. 통합조사 및 정밀조사 ····· 36
다. 실험설계 ····· 37
라. 실험결과 ····· 38
마. 토의 ····· 39
4. 사례연구 II ····· 41
가. 허리 굽힘 작업자세 ····· 41
나. 통합조사 및 정밀조사 ····· 42
다. 실험설계 ····· 44
라. 실험결과 ····· 45
마. 토의 ····· 47
5. 결과 ····· 47

제 3 장 결론 ····· 49

참고문헌 ····· 51
부록 A. 기본 감시도구(Basic Screening Tool) ····· 54
부록 B. Quick Exposure Check-QEC : 분석자용 체크리스트 ····· 56
부록 C. Quick Exposure Check-QEC : 근로자용 체크리스트 ····· 57
부록 D. NIOSH 체크리스트(문진표) ····· 58

표차례

<표 1-1> QEC의 분석결과 내용 ·····9
<표 1-2> 위험수준에 따른 평가내용 ·····13
<표 1-3> RULA 분석 결과에 따른 평가 내용 ·····15
<표 1-4> REBA 분석 결과에 따른 평가 내용 ·····16
<표 1-5> WAC의 분석가능 작업 및 분석단계 ·····18
<표 1-6> 작업특성별 평가 도구 재분류 ·····20
<표 1-7> 신체부위별 평가 도구 재분류 ·····20
<표 2-1> OWAS, RULA 및 REBA 분석결과-상지 부위 ·····37
<표 2-2> 작업자세에 따른 어깨 근육활동량의 변화 ·····39
<표 2-3> OWAS, NLE 및 WAC 분석결과-허리 부위 ·····44
<표 2-4> 들기 작업 자세에 따른 L1/L3의 근육부하량 및 심박수의 변화 46

그림차례

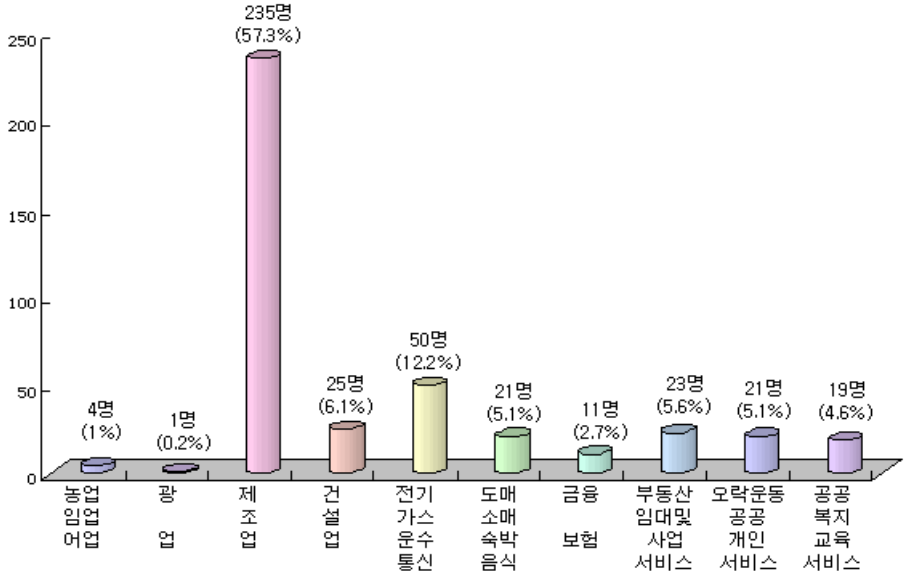
<그림 1-1> 근골격계질환의 업종별 분포 ·····2
<그림 1-2> 근골격계질환의 작업내용별 분포 ·····2
<그림 1-3> 상지의 골격구조와 대표적인 근골격계질환 ·····5
<그림 1-4> 부적절한 작업설계로 인한 영향 ·····7
<그림 1-5> OWAS의 작업자세 코드 ·····12
<그림 1-6> RULA를 이용하여 작업부하를 구하는 절차 ·····15
<그림 1-7> 작업자세의 인간공학적 조사체계 및 평가 모델 ·····26
<그림 2-1> 분석 대상 작업자세 ·····33
<그림 2-2> 동작분석기-PRIMUS(BTE사) ·····33
<그림 2-3> 근전도 측정기-MP150(BIOPAC) ·····34
<그림 2-4> 어깨-팔 들기 작업자세 ·····35
<그림 2-5> 어깨부위의 전극 부착 ·····38
<그림 2-6> 작업자세에 따른 어깨 근육활동 패턴의 변화 ·····39
<그림 2-7> 허리 굽혀 들기 작업자세 ·····42
<그림 2-8> 허리위의 전극 부착 ·····45
<그림 2-9> 들기 작업 자세에 따른 L1/L3의 근육부하량의 변화 ·····46

제 1 장 서론

1. 연구배경 및 목적

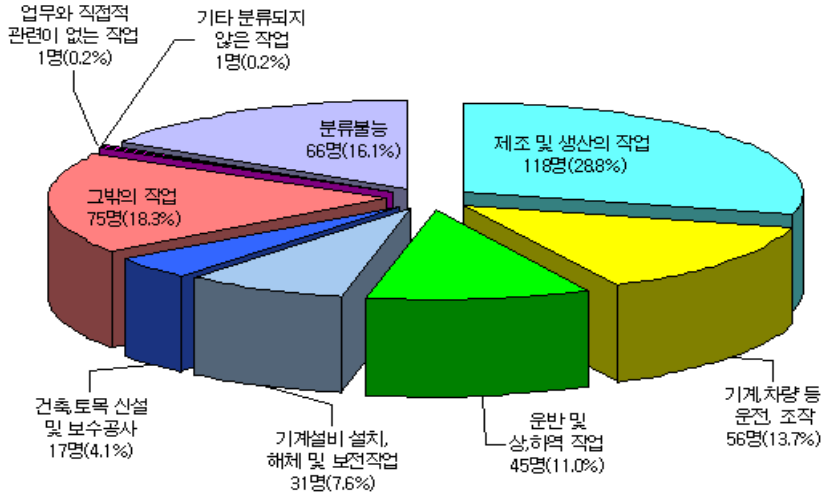
최근 우리나라의 근골격계질환의 발생 추이를 보면, ‘96년에 506명, ’97년에 221명, ‘98년에 124명으로 IMF기간 동안에 감소 추세였으나, 1999년에 344명, 2000년도에 815명(99년 대비 240% 증가), 2001년 9월말 현재, 작년도 전체 근골격계질환자수를 훨씬 넘는 1,303명이 발생하여 급격히 증가하고 있는 실정이다. <그림 1-1>은 근골격계질환의 1999년도 업종별 분포를 나타낸 것으로 제조업이 전체 57.3%, 전기가스운수통신업이 12.2%를 차지하는 것으로 나타났으며, <그림 1-2>는 작업내용별 특성을 나타낸 것으로, 제조 및 생산활동으로 발생한 것이 전체 28.8%를 차지하며, 기계 차량 등의 운전 작업이 13.7%, 운반 및 하역 작업이 11%를 차지하는 것으로 조사되었다.

2000년도 자료를 중심으로 살펴보면, 남자가 78.1%, 30～39세가 34.9%로 가장 많았고, 근속기간은 1～5년 미만이 28.4%, 직종은 노무직이 45.1%, 생산직이 40.4%를 차지하고 있는 것으로 조사되었다. 중복체크된 위험요소를 중심으로 살펴보면, 작업자세 요인이 89%, 반복성이 63.7%, 무리한 힘이 53%를 차지하는 것으로 조사되었고, 작업자세요인과 관련하여 비트는 자세가 87.2%로 가장 많았으며, 신체부위별로는 허리부위가 53.8%, 목-어깨 부위가 22.6%를 차지하고 있다(이영석, 2001).



<그림 1-1> 근골격계질환의 업종별 분포

(자료; 한국산업안전공단, 1999)



<그림 1-2> 근골격계질환의 작업내용별 분포

(자료; 한국산업안전공단, 1999)

국내의 사업장 및 노동조합(근로자대표)에서는 최근 발생되고 있는 업무상질병 중 근골격계질환의 비율이 증가되고 있는 것에 상당히 큰 관심을 가지고 있고, 선진국에서도 근골격계질환이 상당히 큰 비율을 차지하고 있어 예방활동 및 인간공학적 관리프로그램의 적용 가능성, 장기적인 대책을 세우기 위해 고심하고 있다. 미국의 경우에 전체재해 중 약 33%를 차지하고 있으며, 영국의 경우에도 보건재해 중에서 약 60%를 차지하고 있어, 전체재해를 예방하기 위한 8대 우선 수행 프로그램에 포함시켜 2004년까지 12%까지 낮추려는 업무를 수행하고 있다. 우리나라는 선진국과 비교하면 아직까지 상당히 낮은 비율이기는 하지만, 최근에 계속적으로 증가되고 있는 추세이기 때문에 장기적으로 볼 때, 근골격계질환의 발생비율이 선진국 수준까지 올라갈 가능성이 있음을 시사하고 있다.

이처럼 근골격계질환으로 인한 업무상질병이 증가하고 있는 실정임에도 불구하고, 사업장의 안전보건 담당 관리자들이 인간공학적으로 위험한 요소를 조사하는 방법이나 평가도구를 알지 못하고 있는 경우가 대부분이다. 사업장내에서 근골격계질환의 발생요인을 사전에 발견하여 관리만 된다면, 본 재해를 사전에 예방하고 그 발생율도 상당히 줄일 수 있다. 현재 대부분의 사업장에서는 관리를 전혀 하지 않고 있거나, 일부 사업장내에서 관리되고 있더라도 문제를 해결하기 위한 방안으로 관리되는 것이 아니라, 발생비율이 증가하고 있기 때문에 사업장 나름대로 임시방편으로 수행하고 있는 경우가 대부분이다. 이는 앞에서도 언급하였듯이, 관리 방법론의 문제일 수도 있고, 인식 부족의 문제일 수도 있다.

그러므로, 우선 몇 가지 중요한 용어들 즉, 인간공학, 근골격계질환, 부적절한 작업설계에 대해 정리해 보도록 하겠다.

가. 인간공학(Ergonomics)의 정의

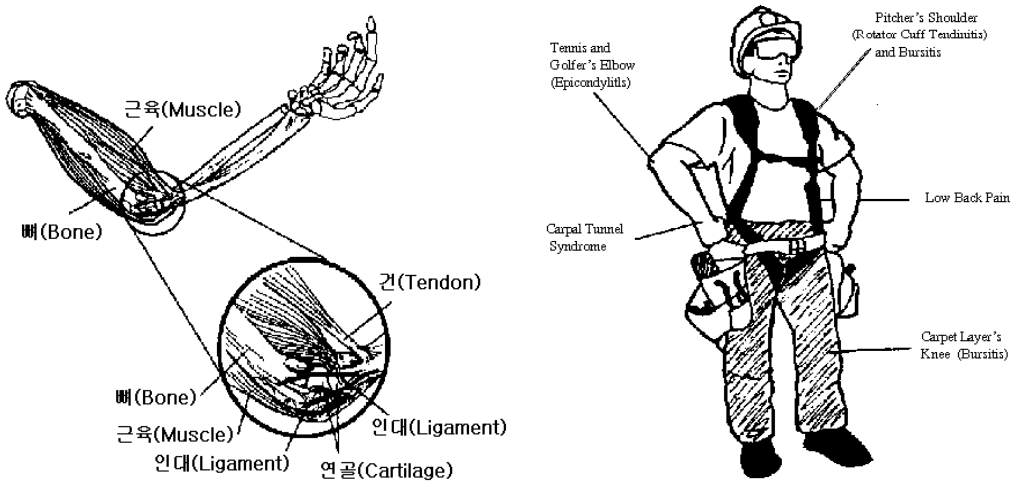
Ergonomics라는 용어는 희랍어의 Ergon(작업, work) + nomos(관리, Laws) + ics(학문)로 조합된 단어로서, 일을 인간의 특성에 맞게 수행하도록 하는 학문이라고 해석할 수 있다. 다시 말해서, 일을 할 때에 에너지를 합리적으로 배분하여 자연스럽게 작업을 하기 위하여 어떻게 하면 좋은가를 연구하는 과학적 학문이다. 미국의 E. J. McCormick은 *"인간공학이란 인간이 기계나 물건을 사용하는 데에 있어서 기술의 체계를 지적한 좁은 뜻으로는 인간의 작업과 작업환경을 인간의 정신적, 신체적 능력에 적용시키는 것을 목적으로 하는 과학이다."*라고 하였다.

인간공학에 대해서 미국의 OSHA(Occupational Safety and Health Administration)에서는 아주 간단하게 *"인간공학(Ergonomics)이란 일을 사람에게 맞추는 과학(Science of fitting the job to the worker)"*이라고 정의하고 있다. 또한, 인간의 기계화가 아니라 *"인간을 위한 공학(Design for Human Use)"*이라고도 한다. 그러므로, 인간공학은 인간이 포함된 환경에서 그 주변의 환경조건이 인간에게 맞도록 설계/재설계하는 것이라 할 수 있다.

작업장에 인간공학을 적용하면 분명한 이익이 된다. 근로자에게 있어서는 더 건강하고 안전한 작업조건이고 사용자에게 있어서는 생산성이 증가된다는 것이다. 인간공학은 작업방법, 의자높이, 기계위치, 공구위치, 작업위치와 같은 요인, 진동, 온도, 소음, 조명과 같은 요인과 교대작업, 휴식, 식사시간 등을 포함해 근로자에게 편안함과 건강함을 가져다 줄 수 있는 많은 작업조건들을 포함하는 광범위한 과학이다.

나. 근골격계질환(Musculoskeletal Disorders)

근골격계(Musculoskeletal System)라 하는 것은 인간의 형체를 유지하게 하고, 운동을 가능하게 하며, 힘을 발휘할 수 있게 하는 인체의 근육, 뼈, 그리고 이와 관련된 구조의 계통을 말한다. 따라서, *근골격계질환이란 작업장에서 단순반복작업으로 인하여 기계적 스트레스가 신체에 누적되어 목·어깨·팔·팔꿈치·손목·손 부위의 신경·건·근육 및 그 주변조직에 나타나는 질환을* 의미한다(노동부고시 2000-72호). 또한, 근골격계질환을 발생시키는 주요 위험요인으로는 특정 신체부위의 반복적인 사용, 부자연스러운 작업자세, 과도한 힘의 사용, 물리적인 접촉스트레스, 온동 및 진동 등이 있으며, 이것들이 원인이 되어 주로 관절부위를 중심으로 근육과 혈관, 신경 등에 미세한 손상이 생겨 결국 통증과 감각이상을 호소하는 만성적인 건강장해라고 할 수 있다(<그림 1-3> 참조).

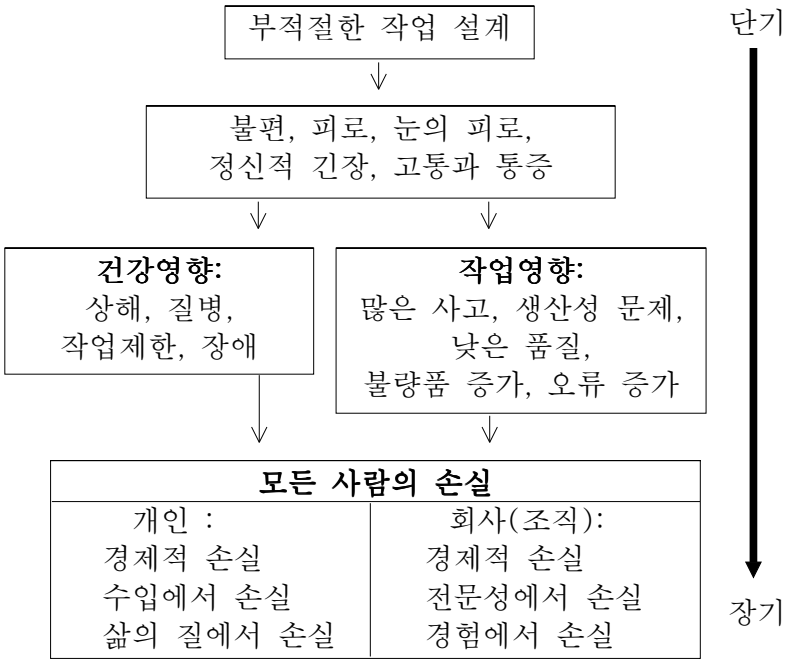


<그림 1-3> 상지의 골격구조와 대표적인 근골격계질환

다. 부적절한 작업설계의 영향

부적절한 작업설계는 인간, 기계, 환경이라는 시스템에서 인간의 육체적 능력(신체적 요소 포함)을 지나치게 기대한다는 것을 의미하며 이로 인해 부주의, 오류, 근무중 사고, 장기간의 건강 문제를 낳을 수 있다. 특히, 근골격계질환과 관련해서, 부적절한 작업설계의 영향으로 가장 많이 관찰되는 것이 부자연스런 작업자세이다. *부자연스런 작업자세는 신체의 일부분이 정상 위치(즉, 몸통과 머리가 바로 세우고, 팔은 신체 가까이 일직선으로 있거나 손은 악수하는 자세)에 있지 않은 것*을 말한다. 관절은 정상위치에서 멀어져 갈수록 똑같은 힘을 내는데 더 많은 근육 사용이 필요해진다. 부자연스런 자세 그 자체가 해로운 것이 아니라, 부자연스런 자세에서의 근력 사용, 반복 동작, 손과 같은 작은 근육이 연관된 반복 동작, 장시간 정적자세 유지 등과 결합하여 근육과 다른 조직에 상해를 초래할 수 있다.

<그림 1-4>는 부적절한 작업설계로 인해서 발생될 수 있는 장단기적인 영향을 나타낸 것이다. 부적절한 작업설계로 인해 불편, 피로, 고통과 통증이 수반되어 상해나 질별과 같은 건강에 영향을 미치거나 생산성의 문제, 불량품의 증가 등 작업에 영향을 미친다. 이런 상황이 장기화 될 경우에는 개인으로써는 수입의 감소뿐만 아니라 삶의 질도 떨어지게 되며, 조직의 입장에서도 경제적 손실과 전문성의 손실을 가져다 주게된다. 그러므로, 부적절하게 설계된 작업조건이나 환경조건을 올바른 절차로 평가하여 재해 요인을 사전에 제거하는 것이 가장 바람직한 예방법일 것이다.



<그림 1-4> 부적절한 작업설계로 인한 영향

최근 사업장 및 노동조합(근로자대표)에서 산재요양신청 건수의 증가로 인해 근골격계질환에 대한 관심이 증대되고 있기 때문에, 근골격계질환과 관련하여 근로자의 건강장해 조사와 위험요인을 평가하는 것이 무엇보다도 중요한 관건이 되고 있다. 이를 위해, 노동부에서는 '단순반복작업 근로자 작업관리지침'(노동부, 1998)을 노동부고시로 제정하여 점차 관리의 틀을 마련하고 있으나, 시행이 어렵고, 구속력이 없어 사업주에게 위험요소를 제거하도록 권고만하고 있는 입장이다. 또한, 사업주의 입장에서는 근골격계질환과 관련한 위험요소를 올바르게 평가하는 것과 현재 수행중인 작업자세 조사 체계의 문제점, 보다 효율적인 분석방법이 제시되어 비용 측면과 적용 및 결과의 신뢰성 확보하는 것이 무엇보다 중요한 요건이 되어야 한다고 주장한다.

그러므로, 본 연구에서는 이러한 부적절한 작업설계로 인해 수반되는 부자연스런 작업자세를 기존의 인간공학적인 분석도구를 사용하되 보다 효율적으로 평가도구를 선정하는 방법을 제시하고, 사용의 편리성 및 비용 측면도 고려하여 적용 및 분석결과의 신뢰성도 확보할 수 있도록 하여 다양한 작업자세로 인한 위험요소를 인간공학적인 측면에서 적절하게 조사할 수 있는 체계 및 평가방법에 대한 기초적인 모델을 제시하는 것을 주목적으로 하며, 장기적으로는, 이러한 기초모델을 통해 보다 효율적이고, 신뢰성 있는 평가도구를 개발하여 산업현장을 기술 지도함으로써, 작업장을 개선하는데 보다 효과적인 기초자료를 제공할 수 있도록 하는 것을 목적으로 한다.

2. 기존연구

작업장에서 발생하는 근골격계질환에 대한 위험요소를 분석하는 도구 중에서는 OSHA(Occupational Safety and Health Administration)에서 개발한 '기본감시도구(Basic Screening Tool)'가 초기 조사시에 가장 많이 사용되고 있다. 이는 근골격계질환 관련 신체부위를 목-어깨부위, 팔-손목-손부위, 허리부위, 하지(무릎-발목-다리)부위로 분류한 후, 근골격계질환 위험요인을 반복작업, 무리한 힘, 부자연스러운 작업자세, 물리적인 스트레스, 고저온 및 진동작업으로 구분하여 근골격계질환과 관련성 있는 작업에 대하여 예방을 위한 감사도구로 활용하고 있다.

또한, 자기기입방식의 설문지를 이용하여 근골격계질환 자각증상을 조사하는데, 이는 NIOSH(National Institute for Occupational Safety & Health)에서 개발한 것으로 목, 어깨, 팔/팔꿈치, 손목 및 손, 허리, 무릎 등 각각의 신체부위에 대해 '아픔, 쑤심, 결림, 화끈거림, 저림' 등의 증상이 적어도 1달에 1번이상

발생하며, 한번 아프면 1주일 이상 지속되며, 작업이 없는 휴식 중에도 통증이 지속되는지 여부를 5점 척도법 등을 이용하여 체크하는 것이다.

근골격계질환을 분석하기 위해 분석자 및 근로자 양자가 같은 작업자세에 대해 개별적으로 평가해 이를 통합하는 방법이 요구되고 있는데, QEC(Quick Exposure Check)가 이러한 요구를 만족시킬 수 있다. QEC는 영국의 Surrey 대학의 Guangyan Li와 Peter Buckle에 의해 개발되었다. 이는 물리적인 위험요소를 분석하는데 있어 실용적일 뿐만아니라 사용자 중심의 평가 방법으로, 앞에서도 언급했듯이 분석자와 근로자 양자가 작업자세에 대한 상태를 체크리스트에 기입하여 최종 노출점수를 결정하는 테이블에서 값을 찾는 방법으로 진행된다(Li, G. and Buckle, P., 1998). <표 1-1>은 QEC의 분석결과에 대한 평가내용을 나타낸 것으로 앞으로 설명할 RULA 평가지와 비교할 수 있다.

<표 1-1> QEC의 분석결과 내용

QEC 비율	Action Level (위험수준)	RULA 점수
< 40%	수용가능함	1 ~ 2
40 ~ 49%	재조사 필요	3 ~ 4
50 ~ 69%	재조사 후 개선 필요	5 ~ 6
> 70%	즉각적인 개선 필요	7

작업장에서 발생하는 위험요소를 측정하는 이러한 기초적인 작업분석 및 증상조사 방법들은 작업자세를 평가하는 인간공학적인 접근방법에 포함된다. 인간공학적 접근방법으로는 크게 네 가지 방법이 이용되는데, 병리학적 접근법, 생체역학적 접근법, 생리학적 접근법과 정신물리학적인 접근방법이 그것이다.

(1) 병리학, 역학(Epidemiology)

근골격계질환 중 작업자세와 관련한 작업에 노출된 분포집단의 재해통계를 통하여 근골격계질환의 발생 빈도와 위험도를 평가하는 것이다. 작업활동으로 인한 위험요소와 관련지을 수 있는 일종의 일반적인 작업조건을 개선시키려는 시도와 사고가 발생될 때의 작업조건과 환경을 연구하는 것이다.

(2) 생체역학(Biomechanics)

생체역학적인 방법은 작업자세, 성별, 인체치수와 힘을 이용하여 필요한 근력이나 뼈와 관절의 압박력을 최종적으로 계산하는 것이다. 계산된 값은 작업하는 사람들에게 허용된 한계치와 비교한다. 생체역학적 분석법은 보통 과도하게 노출된 작업을 분석할 때 사용되며, 일반적으로 작업의 동적 특성, 반복성이나 노출시간에 대한 영향은 고려하지 않는다.

(3) 생리학(Physiology)

인체는 신진대사라고 불리는 과정을 통해 음식과 산소를 근력에 필요한 화학물질로 변환한다. 신체활동이 증가하면, 근육을 강화하기 위해 화학물질을 요구하게 되는데, 신체는 더 많은 산소를 제공하고, 필요한 화학 제품을 더 빠르게(혈류는 화학적 부산물을 운반하면서 근육 조직을 “깨끗하게”함)근육으로 보내기 위해 심박수와 호흡량을 증가시킨다. 신체의 에너지 소비율이 발생율을 능가할 때, 신체적 피로가 발생하게 되고, 결과적으로, 심장마비와 같은 심장질환이 발생할 수 있다. 근육 피로는 작업의 정확도, 생산성 및 안전과 관계가 깊다.

(4) 정신물리학(Psychophysics)

정신물리학의 기초가 되고 있는 상당한 이론이 있지만, 단순하게 말하면, 문장으로써 인간의 지각을 알아내는 조사 방법이다. Liberty Mutual Table은 들기/놓기 작업, 운반 작업, 밀기/당기기 작업 방법을 성공적으로 적용한 예이다.

작업자세를 평가하기 위해 인간공학 전문가들이 사용하는 평가도구는 매우 다양하다. 그렇기 때문에, 여러 가지 이유로 인해 분석이 어렵게될 수 있는 이런 평가방법에 대한 정보를 다양한 방법으로 통합하여 사용하는 것이 필요하다. 생체역학과 생리학은 주어진 작업 조건에 따라 매우 밀접한 관계가 있고, 주어진 작업 조건안에서 안전하게 작업자세를 취할 수 있어야 한다. 다양한 평가도구는 각각 나름대로 장점을 가지고 있지만, 한 가지 평가도구만을 고집하는 것은 분석결과의 신뢰성을 떨어뜨릴 수도 있음에 유념하여야 할 것이다.

이러한 기본적인 인간공학적 접근방법 중에서 특히, 단순반복작업과 인력물자를 취급하는 작업을 분석하는 평가도구(양성환, 김대성, 2000)에 대해 설명하도록 하겠다.

가. 단순반복작업 분석도구

(1) OWAS

OWAS는 Ovako Working posture Analysing System의 약자로 핀란드의 제철 회사(Ovako Oy)에 근무하고 있던 Karhu와 핀란드 노동 위생 연구소(Institute of Occupational Health)의 Kuorinka에 의해 1973년에 개발되었다.

본 기법을 처음으로 소개한 Karhu의 1977년의 논문에서는 자세 분류밖에 기재되고 있지 않았지만, Stoffert의 1985년의 논문에서는 평가법까지 포함한 완전한 방법이 상술되고 있다. 측정자간의 자세 판별의 일치율은 90% 이상으로 높고, 20개 이상의 업종에서 테스트되었다. 1980년대 후반부터 OWAS를 통한 작업조사나 작업개선이 이루어지고 있다. <그림 1-5>과 <표 1-2>은 OWAS에 대한 자세코드 및 위험수준을 나타낸 것이다.

<그림 1-5> OWAS의 작업자세 코드

<표 1-2> 위험수준에 따른 평가내용

작업자세의 위험수준	평가내용
위험수준 1(AC 1)	근골격계에 특별한 해를 끼치지 않음 작업자세에 아무런 조치는 필요치 않음
위험수준 2(AC 2)	근골격계에 약간의 해를 끼침 가까운 시일 내에 작업자세의 교정이 필요함
위험수준 3(AC 3)	근골격계에 직접적인 해를 끼침 가능한 빨리 작업자세를 교정해야 함
위험수준 4(AC 4)	근골격계에 매우 심각한 해를 끼침 즉각적인 작업자세의 교정이 필요함

(2) RULA

RULA는 Rapid Upper Limb Assessment의 약자로 영국의 노팅햄대학(Univ. of Nottingham)에서 1993년에 어깨, 팔목, 손목, 목 등 상지에 초점을 맞추어 작업자세로 인한 작업부하를 평가하기 위해 개발한 기법이다. RULA는 OWAS와 마찬가지로 분석자가 관찰을 통해 작업자세를 분석할 수 있도록 고안된 것이나, OWAS 계통의 작업자세 평가 기법과는 다르게 작업자세 분류체계에 부하수준을 정의하고, 이를 근거로 작업부하를 분석하는 방법을 이용하고 있으며 접근방식이 보다 합리적이다. 그러나, 이 기법은 상지의 분석에 초점을 두고 있기 때문에 OWAS보다는 전신의 작업자세 분석에는 한계가 있으나, 상체의 작업부하가 많이 부과되는 작업의 작업자세에 대한 근육부하를 평가하기 위해서는 보다 효율적일 수 있다.

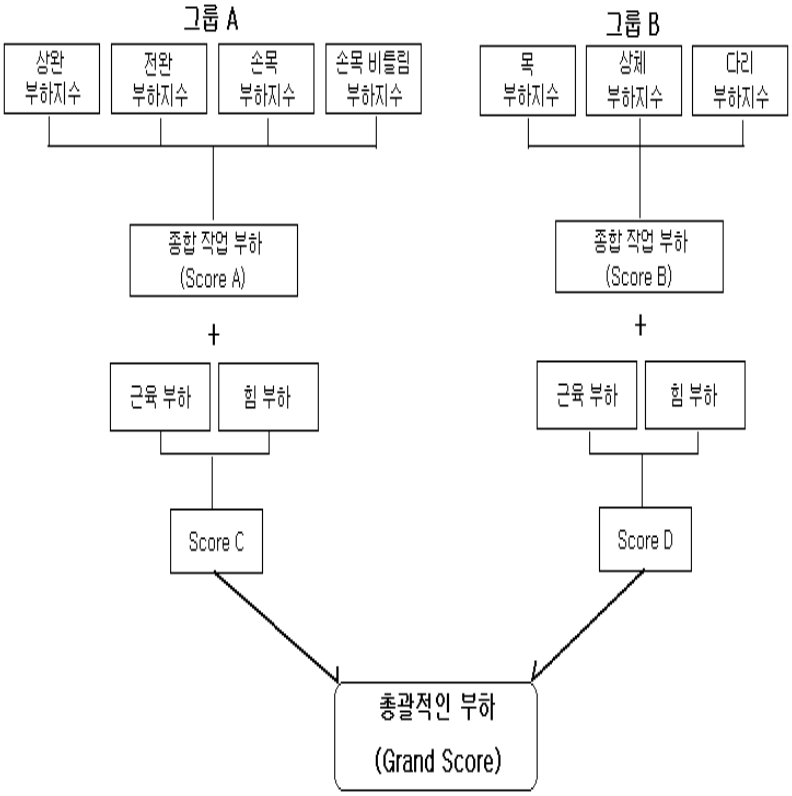
이 기법의 개발목적으로는 크게 다음 두 가지을 들 수 있다. 첫째, RULA는 나쁜 작업 자세로 인한 상지의 장애(Disorders)를 안고 있는 작업자의 비율이 어느 정도인지를 쉽고 빠르게 파악하는데 사용하기 위해 개발되었으며, 둘째,

RULA는 근육의 피로에 영향을 주는 인자들인 작업 자세나 정적인 또는 반복적인 작업 여부, 작업을 수행하는데 필요한 힘의 크기 등 작업으로 인한 근육 부하를 평가하기 위해 만들어졌다.

RULA에서는 단위 시간당 동작의 횟수가 많아지거나 근력이 필요한 정적인 작업이 많아질수록, 또한, 보다 큰 힘이 요구되거나 나쁜 작업자세가 많을수록 작업 부하가 증가할 것으로 가정하고 있다. 이러한 가정을 바탕으로 자세분류별 부하수준을 평가할 때 작업 부하에 영향을 주는 인자들은 매우 많지만, 특히 RULA가 평가하는 작업 부하 인자는 동작의 횟수(Number of Movement), 정적인 근육작업(Static Muscle Work), 힘(Force), 작업 자세(Work Posture)를 고려하였다. 이러한 작업 부하 인자에 의한 RULA를 이용한 작업부하를 측정하는 절차는 <그림 1-6>와 같다. 이러한 절차를 통해 얻어진 총괄적인 부하값을 이용하여 실제로 작업 부하가 어느 정도인지 <표 1-3>과 같이 4단계로 구분할 수 있다. 즉, 작업 부하수준이 커질수록 그 작업을 수행하는 작업자세로 인한 문제가 많아, 결국 작업자에게 장애를 가져올 위험성이 커진다. 비록, 인간의 신체는 복잡하고 적응성이 크기 때문에, 이와 같은 단순한 하나의 수치로 모든 것을 결정하는 것은 다소 부적절하지만, RULA가 제시하는 값은 작업자세에 따른 부하를 나타내는 하나의 지침이 될 수 있다.

(3) REBA

REBA는 Rapid Entire Body Assessment의 약자로, 가장 최근에 개발된 평가도구로써, 초기 신체부위 코드를 정의하기 위해 특정 작업에 대해 중량물, 움직이는 거리, 높이의 변화를 분석해야 한다.



<그림 1-6> RULA를 이용하여 작업부하를 구하는 절차

<표 1-3> RULA 분석 결과에 따른 평가 내용

점수	위험 수준 (Action Level)	위험 수준 설명
1	1	작업이 오랫동안 지속적, 반복적으로만 행해지지 않는다면 작업자세에 별 문제 없음.
2		
3	2	작업자세에 대한 추가적인 조사가 필요하고, 가능하면 작업자세를 바꾸는 것이 필요함.
4		
5	3	작업자세를 되도록 빨리 바꾸는 것이 필요함.
6		
7	4	작업자세를 즉각적으로 바꾸어야 함.

REBA 평가도구는 NLE(NIOSH Lifting Equation), Rated Perceived Exertion, OWAS와 RULA 등 기존의 다양한 평가도구들의 장점 및 특별한 사항이 포함된 것이다. 신체부위별로 평가하기 위해 인간공학자와 물리치료사들에 의해 144개의 독립된 자세를 조합하여 코드를 만들었고, 중량물, 잡기형태와 활동 점수(Activity Scores)의 분명한 개념을 통합하였다. 그렇기 때문에, REBA는 보건관리와 다른 서비스업종에서 나타나는 비정형적인 작업을 평가하는데 적합하다.

다양한 작업에서 작업자세로 인한 근골격계질환의 위험성을 정밀하게 분석할 수 있고, 운동사면을 참고하여 개별적으로 기록하기 위해 신체부위별로 나누었고, 정적, 동적, 빠른 움직임이나 부자연스러운 자세가 원인이 되는 근육활동을 점수화하였다. 또한, 항상 손을 경유하는 것은 아니지만 중량물을 취급할 때 중요한 잡는 형태와 긴박함의 징후로써 행동의 수준을 정하였다. 이처럼 REBA는 기존에 발표되었던 평가도구들의 단점을 보완하고, 장점을 충분히 수용함으로써 그 신뢰도 및 정밀도를 높였다. <표 1-4>은 REBA의 분석결과에 따른 평가 내용을 나타낸 것이다.

<표 1-4> REBA 분석 결과에 따른 평가 내용

조치단계	REBA 점수	위험단계	조치
0	1	무시해도 좋음	필요없음
1	2~3	낮음	필요할 지도 모름
2	4~7	보통	필요함
3	8~10	높음	곧 필요함
4	11~15	매우 높음	지금 즉시 필요함

나. 인력물자취급작업 평가도구

(1) NLE

본 평가도구는 NIOSH(National Institute for Occupational Safety and Health)에서 1981, 1991년(개정 1994년)에 들기 작업으로 인해 발생하는 재해를 예방하기 위해 작업자세 평가와 작업 설계를 지원하기 위해서 들기 수식을 발표하여 사업장에 권고치로 제시하는데 사용할 것을 권하고 있다. 이는 생리학, 정신물리학, 생체역학, 역학의 각 분야의 연구성과를 통합한 결과이다. NLE(NIOSH Lifting Equation)는 중량물 취급시 작업자와 대상물의 수평거리, 수직거리, 작업빈도, 이동거리, 손잡이 형태, 불균형 정도를 이용하여 적절한 중량을 산정하게 된다. 또한, 이는 단일작업 뿐만 아니라. 복수작업(연속작업)까지 분석할 수 있는 장점을 가지고 있지만, 제한조건이 까다롭고 적용범위가 한정되어 있는 단점이 있다. 이런 단점을 해결하기 위해 IEA(International Ergonomics Association, 국제인간공학회)의 근골격계질환에 관한 기술집단에서 추가 제안사항 및 방법론을 제시하고 있다.

(2) WAC

WAC 296-62-051은 Washington Administrative Code에서 볼 수 있듯이 워싱턴 주에서 들기작업시의 중량물, 작업빈도와 작업자세를 분석할 수 있도록 만들어진 분석도구이다. <표 1-5>는 분석가능 작업과 분석단계를 나타낸 것으로, 과도한 중량물 취급작업, 작업빈도가 많은 작업, 작업자세가 좋지 않은 작업을 중심으로 다섯 단계를 거치면서 작업을 분석하게 된다.

<표 1-5> WAC의 분석가능 작업 및 분석단계

구성	분석가능 작업	분석단계
내용	1. 과도한 중량을 취급하는 작업 2. 작업빈도가 많은 작업 3. 작업자세가 좋지 않은 작업	단계1 : 실제취급 중량 입력 단계2 : 작업영역 선택 단계3 : 작업시간 및 빈도 입력 단계4 : 비트는 작업 각도 입력 단계5 : 결과 출력

(3) JSI

작업강도 지수(Job Severity Index; JSI)는 작업에서 요구되는 작업자의 능력에 대한 시간과 빈도가중치의 비율이다. 작업자의 능력은 정신생리학적 들기 능력을 예측하기 위한 등축성(긴장의 지속 중에 근육의 수축이 일어나지 않는) 근력과 인체측정 데이터를 사용하는 것으로 Ayoub 등이 개발한 모델로 예측한다. JSI와 각 구성요소들은 아래와 같이 정의된다.

$$JSI = \sum_{i=1}^{n} \frac{hours_i \times days_i}{hours_t \times days_i} \sum_{j=1}^{m_i} \left[\frac{F_j}{F_i} \times \frac{WT_j}{Cap_j} \right]$$

여기서, n = 직무 그룹의 수, $hours_i$ = 그룹 i에서의 노출시간/일, $days_i$ = 그룹 i에서의 노출일/주, $hours_t$ = 일일 전체 작업시간, $days_t$ = 주당 전체 작업일, m_i = 그룹 i에서의 직무 수, WT_j = 직무 j에서 들기 요구되는 최대 무게, Cap_j = 직무 j에서 작업하는 작업자에 적합한 능력, F_j = 직무 j에 대한 들기 빈도, F_i = 그룹 i에서의 전체 들기빈도이다. 따라서 전체 들기빈도는 아래와 같다.

$$F_i = \sum_{j=1}^{m_i} F_j$$

요통의 발생과 강도는 JSI가 1.5 이상일 때 급격히 증가한다. 발생율과 강도율에 대한 공통 분모는 100명의 전시간제 근로자들, 즉 200,000 노출시간이다. JSI는 작업자의 능력을 증가시키거나(예를 들어, 좀더 높은 능력을 갖는 작업자를 선택), 수용가능한 수준으로 JSI를 감소시키기 위해 직무나 작업 매개변수들을 변경함으로써 바람직한 수준으로 감소시킬 수 있다.

다. 평가도구의 재분류

작업자세를 인간공학적으로 분석하기 위해 다양한 평가도구들이 개발되어 사용되고 이들은 모두 개별적으로는 장단점을 가지고 있다. 그렇지만, 작업자세를 평가하기 위해 한가지의 평가도구만을 사용하여 개선대책을 세우는 것이 상당히 어려운 문제로 제기되고 있고, 전반적인 공정분석 과정에서 나타나는 특정 작업자세로 인해 근골격계질환이 발생하는지를 여부를 평가하는 것이 무의미하다. 그렇기 때문에 작업특성에 맞는 평가도구를 최단시간에 올바르게 선정하여 적용할 수 있도록 하기 위해, 각 평가도구들을 작업특성별 및 신체부위별로 재분류하였다. 재분류하게된 목적은 작업의 특성 및 노출 신체부위별로 접근의 폭을 좁히고자 하는 것이지, 평가도구의 장단점을 비교하려는 것이 아니다. 각각의 평가도구는 나름대로 특정 작업자세를 분석함에 있어 부족함이 없는 것들임을 명백히 하고자 한다.

작업특성별 분류는 위험요소를 중심으로 나누었기 때문에 각 평가도구에 따라 약간의 차이가 있을 수 있으나, 전체적으로 작업특성을 중심으로 한 위험요

소별 분류는 <표 1-6>과 같이 일반 사업장에서 가장 무난하게 사용할 수 있는 것이 REBA, RULA와 NLE인 것으로 조사되었으며, 특정 신체부위보다는 전체적인 신체부위를 고려한 평가도구로 RULA와 REBA가 가장 폭이 넓은 것으로 조사되었다.

<표 1-6> 작업특성별 평가 도구 재분류

평가도구 / 작업특성	OWAS	RULA	REBA	NLE	WAC	JSI
반복성	×	○	△	○	○	△
작업자세	○	○	○	△	△	△
근력사용	△	△	○	○	○	○
물리적 접촉 스트레스	×	○	○	×	×	×
손잡이	×	×	○	○	×	×
행동점수(정적, 동적)	×	○	○	△	×	×

<표 1-7> 신체부위별 평가 도구 재분류

평가도구 / 신체부위	OWAS	RULA	REBA	NLE	WAC	JSI
목/머리	○	○	△	×	×	×
어깨-팔	○	○	○	△	△	×
팔-손목	×	○	○	×	×	×
손목-손가락	×	○	○	×	×	×
허리	△	△	△	○	○	○
다리	○	△	○	×	×	×

각각의 평가도구들의 특징을 고려하여 재분류한 결과, 단순반복적인 작업의 경우에는 RULA 및 REBA가 가장 보편적으로 작업특성 및 신체부위를 고려하여 분석이 가능하고, 인력물자 취급작업의 경우에는 NLE, WAC, JSI가 전체적으로 비슷한 것으로 조사되었다. 특히, NLE의 경우에는 적용시 제한조건이 많으나 분석결과를 중심으로 개선대책을 세우는데는 다른 평가도구보다 월등히 좋은 장점을 가지고 있는 것으로 조사되었다. 이러한 다양한 인간공학적 분석도구를 이용하여 보다 효율적이고, 신뢰성이 높은 조사체계 및 평가 모델 개발시 반드시 적용될 수 있어야 할 것이다.

라. 근전도에 대한 이해

(1) 근전도를 이용한 분석

근육의 수축에 의해서 발생되는 전기 신호를 근전도(Electromyography), 혹은 줄여서 EMG라고 한다. EMG는 근육활동을 포착하여 동작의 부하를 측정하는 장비이다. 근육은 여러개의 수축성 근섬유 다발로 구성된 운동단위(Motor Units)로 구성되어 있다. 근육의 장력은 미오신(Myosin)과 액틴 필라멘트 사이의 상호작용에 의하여 발생한다. 종판 시냅스, 근섬유막(Sacolemmamembrane), 전이도관(Transverse Tubule)시스템, 그리고, 근장성 망상질(Sarcoplasmic Reticulum)은 서로 통신망으로 연결되어 장력을 일으키는 원심성 신경 임펄스를 전달한다. 근육이 수축되기 위해서는 뇌의 운동 피질(Motor Cortex)에서 발생되는 신경 임펄스가 발생하여야 하며 이 임펄스 열은 신경을 통하여 연속적으로 전달되어 수축의 정도에 따라서 필요한 수위 운동 단위를 자극한다(이준엽, 2001).

이에 따라, 운동 단위들은 운동 단위 전위를 각 근섬유의 표면에서 일어나는 탈분극과 재분극에 의하여 발생시키며 이 전위들이 합쳐져서 근전도 신호를 발생시킨다. 이와 같이 근육의 피로에 따라서 EMG가 변화하게 되는데 이는 불충분한 산소 공급 또는, 신진대사에 필요한 어느 한 물질의 고갈 등의 이유로 근육조직이 수축 요소에 원활한 신진대사를 공급하지 못할 때 근육이 피로하게 된다. 피로의 기계적 의미는 EMG 신호나 자극률이 일정하게 유지됨에도 불구하고 힘이 감소하는 것을 말한다. 반대로, 피로가 시작된 후에도 힘을 일정하게 유지하려면 더 많은 운동단위를 동원하여야 한다는 뜻이다. 즉 운동단위의 전부 혹은 일부가 생성할 수 있는 단수축힘이 감소되므로 다른 운동단위를 새로 동원하여 힘을 보충하여야 한다.

따라서, 수초간에 한 번 정도의 자극을 근육에 부여하는 경우에는 연축을 계속 일으킬 수 있게 된다. 그러나, 자극의 빈도를 증가시키면 연축의 크기는 자극의 빈도에 비하여 점차로 감소하게 되며 결국에는 수축을 일으키지 못하게 되고 이러한 장시간의 반복자극에 의하여 근육의 수축력이 약해지는 현상을 근육의 피로라 한다. 피로가 시작되면 단수축힘이 감소할 뿐만 아니라 근육활동전위의 모양도 변하게 된다. 자발적으로 세게 근육을 수축할 때는 각각의 근육활동전위모양을 관찰 할 수 없으나 자기상관 방법을 사용하여 분석하면 동원된 근육활동전위의 평균 폭(Duration)이 변화(Shift)되는 것을 알 수 있다. 이러한 폭의 변화에 의하여 EMG스펙트럼도 역시 변화된다.

Kadefors등(1973)에 의하면 고주파수 성분들이 감소하고 근육이 피로할 때 근섬유에서의 전위 속도가 감소한다. 이러한 생리학적 현상은 저주파 영역대로의 주파수 변화로서 보여질 수 있다. 이러한 변화는 근전도를 분석함에 있어 다양한 분석 척도로서 설명되어 진다.

육체 피로의 한 형태로서 Chaffin(1991)이 정의한 국부 근육 피로(LMF: Local Muscle Fatigue)는 등장 수축(Sustained Isometric Contraction)을 하는 특정 근육이 일정한 힘을 발휘하지 못하거나, 근육이 떨리고 통증을 유발하는 상태를 의미한다. 이를 측정하기 위하여 여러 가지 파라미터를 이용한 분석 기법들이 연구되었는데, 근육 피로 시 주파수 변동(Frequency Shift)를 발견한 Piper의 연구를 시작으로 주파수분석이 시작되어 근육의 피로정도에 따라 MPF(Mean Power Frequency)와 MF(Median Frequency)가 감소하는 것을 알아냈고, Cobb와 Forbes가 근전도의 진폭이 증가하는 것을 관찰하였다. 이외에도 근육의 전도속도, 자극률 등과 같은 생리적인 요인들과 결부시켜 RMS(Root Mean Square), ZCR(Zero Crossing Rate), 시계열 모델(Time Series Model)등을 근육 피로의 분석 파라미터로 사용하고 있다(이준엽, 2001).

(2) EMG 신호 분석

근육활동의 특성을 연구하기 위한 방법으로 오래 전부터 근전도를 사용하고 있는데, 이는 근육 활동 시 운동단위의 자극으로 인해 근섬유(Muscle Fiber)에서 생리적인 반응으로 만들어지는 여러 활동전위(Action Potential) 들간의 시공간적인 합으로 나타나는 미세한 랜덤신호이다. 특히, 표면전극을 사용하여 추출한 근전도를 SEMG(Surface Electromyogram)라고 한다. 근전도는 근육의 특성을 정량화할 수 있는 유일한 측정방법이며, 이를 통해 얻을 수 있는 정보는 근육의 사용여부와 힘, 피로도 등이다. 본 실험에서는 어깨 및 허리의 들기작업 시 작업자세의 변화에 따른 근육의 변화형태를 정량적으로 측정하기 위하여 근전도 분석을 실시하고자 하였다.

(3) RMS(Root Mean Square)

RMS는 여러 공학 분야에서 주로 사용되며 Total Signal Power의 제곱근에 비례하는 신호의 진폭을 평균한 값이다. 단위는 mV 혹은 μV이며 수리적인 근전도 진폭의 RMS값은 다음과 같은 수식에 의해 정의된다.

$$\mathrm{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N+1} \sum_{n=n_0-\frac{N}{2}}^{n_0+\frac{N}{2}} s^2(n)}$$

이러한 RMS분석은 다른 분석 기법들과는 달리 EMG신호를 제곱하기 때문에 전파정류(Full-Wave Rectification)가 필요 없고, 운동단위열(Motor Unit Action Potential Trains)의 중첩이나 Synchronization으로 인한 소멸의 영향을 받지 않는다. 근육의 피로도 분석보다는 근육의 동원형태, 근육 활동의 패턴을 분석하는데 정보를 제공한다.

3. 연구방법

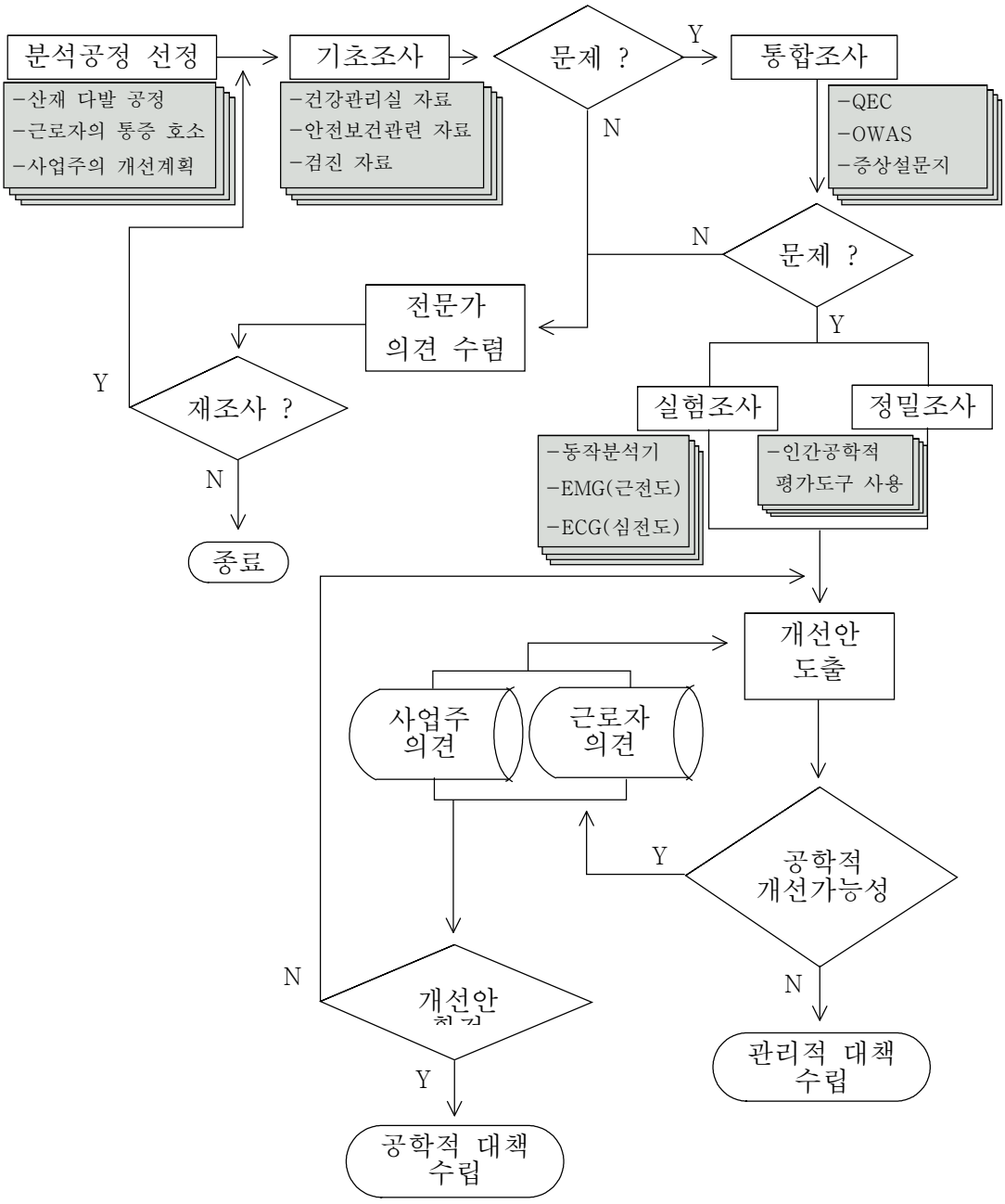
부자연스러운 작업자세는 작업장의 조건 및 상황에 따라 결정되는 것임을 잘 알고 있다. 그렇기 때문에 많은 연구자들이 작업자세를 인간공학적으로 분석하는 과정에서 육체적인 요구사항을 평가하는 방법을 과학적으로 개발하려는 노력을 해왔다. 이러한 방법들은 다양한 과학적 접근에 의존하고 있으며, 특히, 작업대상물의 위치, 대상물의 무게 등이 기본이 되어 작업조건을 제한하는 여러 가지의 요소에 맞추어져 있다.

본 연구에서는 기존에 개발된 다양한 분석도구들을 그대로 이용하면서 분석하는 과정의 효율성과 분석결과의 신뢰성을 높이기 위해 분석도구들을 작업특성별, 신체부위별로 재분류하여 각 분석과정에 맞게 적절하게 재배치하였다. 특히, 근로자의 참여도를 높이는 방법으로 “근로자용 체크리스트”를 포함시켰고, 작업의 강도에 대한 신뢰성을 높이기 위해 동작분석기를 이용하여 작업장에서 발생하는 다양한 작업자세를 재현하여 EMG 및 ECG를 이용하여 작업부하를 측정하였다. EMG와 ECG 결과와 평가도구들의 결과를 통합 분석함으로써 개선안 도출시나 개선안을 확정하는 과정에서 사업주와 근로자의 참여시 신뢰성 있는 자료를 제공하도록 했다.

작업자세를 인간공학적으로 분석하기 위해 <그림 1-7>과 같이 모델을 개발하였다. 모델의 흐름은 크게 6단계로 나눌 수 있는데, 분석공정 선정 단계, 기초조사 단계, 통합조사 단계, 실험 및 정밀조사 단계, 개선안 도출 단계, 개선안 확정 단계로 나눌 수 있다.

가. 분석공정 선정 단계

작업장에서 발생하는 다양한 작업자세 중에서 인간공학적 작업자세 분석은 근골격계질환과 관련한 산업재해가 다발한 공정이나 근로자들이 통증을 호소하는 공정 및 사업주에 의해 개선계획이 수립된 공정들을 중심으로 선정되어야 한다. 특히, 산업재해가 다발하고 있는 공정의 경우에는 반드시 선정될 수 있도록 해야할 것이며, 사업주 및 노동조합에서 개선계획을 수립한 공정의 경우에는 전문가의 의견을 수렴하여 그 공정의 선정에 타당성을 부여하도록 해야할 것이다.



<그림 1-7> 작업자세의 인간공학적 조사체계 및 평가 모델

나. 기초조사 단계

근육의 통증을 해소하기 위해 건강관리실을 방문하여 물파스나 기타 통증완화물질 등을 불출한 현황이나 물리치료실을 방문한 현황 등 건강관리실 자료, 작업환경측정 자료 등 안전보건 관련 자료, 건강검진 및 문진표 자료를 중심으로 공정별, 신체부위별로 통증 호소율을 조사하여 그 자료를 기초자료로 사용할 수 있다. 기존에는 문진표나 설문지 형태의 자료를 사용하였지만, 이것은 증상에 대해 과대평가된다는 단점이 있다. 그렇지만, 건강관리실 자료의 경우에는 문진표나 설문지 형태의 자료보다 증상이 과소평가되나 신뢰성이 매우 높고, 기초자료 조사시에는 전산프로그램을 이용하게 되면 그 효과를 배가시킬 수 있다(양성환, 김대성, 2000).

기초조사 결과를 중심으로 근골격계질환이 발생할 가능성이나 특정 공정에 문제가 있는지 여부를 건강관리실 등의 자료를 바탕으로 문제의 가능성을 결정하게 된다. 문제의 가능성은 전문가의 의견을 수렴한 후 재조사/분석불가 등을 결정한다.

다. 통합조사 단계(부록 A, B, C, D 참조)

통합조사 단계에서는 근골격계질환을 분석하기 위해 기본감시도구를 사용하거나 분석자 및 근로자 양자가 같은 작업자세에 대해 개별적으로 평가해 이를 통합하는 방법으로 구성하였다. 본 연구에서는 분석의 가능성을 고려하여 기본감시도구와 QEC로 통합조사하는 것을 원칙으로 하며, 조사가 불가능할 경우에는 OWAS와 증상설문지로 대용할 수 있으며, 네가지 평가도구를 함께 사용

할 수도 있다. 통합조사시에 사용되는 평가도구들은 전반적인 작업상황이나 작업자세를 평가할 수 있는 것이 바람직하며, 특정 신체부위에만 국한하여 평가하는 것은 바람직하지 않다.

통합조사 후 정밀조사를 실시할 것인지 여부를 결정하게 되는데, 정밀조사가 불필요하다고 분석, 평가될 경우에는 다시 인간공학 전문가의 의견을 수렴하여 재조사/분석불가 등을 결정한다. 의사결정시 분석자의 독단적인 판단이 고려되지 않도록 하기 위해, 근로자의 의견을 첨가하도록 해야할 것이다.

라. 실험 및 정밀조사 단계

통합조사결과 정밀조사가 필요한 공정으로 분석될 경우에는 앞에서 소개한 기존평가도구를 사용하여 정밀조사를 실시하게된다. 정밀조사시에 사용되는 평가도구로는 앞에서 설명했듯이, 단순반복작업일 경우에는 RULA와 REBA를 사용하고, 중량물 취급 작업일 경우에는 NLE, WAC과 JSI를 사용하여 추가적인 분석을 실시한다. 평가도구는 한가지만 사용할 수도 있겠지만, 몇 가지를 동시에 사용하는 것이 더 바람직한 방법이 될 것이다.

이와 더불어, 작업의 강도에 대한 신뢰성을 높이기 위해 동작분석기를 이용하여 작업장에서 발생하는 작업자세를 재현하여 EMG 및 ECG라는 과학적인 장비를 이용하여 작업부하를 실험을 통해 측정한다. 이런 실험결과와 기존 평가도구를 이용하여 조사한 결과를 서로 통합하여 보다 신뢰성있는 결과를 제시하도록 해야한다. 또한, 실험결과를 중심으로 개선안 도출시나 개선안을 확정하는 과정에서 사업주와 근로자의 참여시 신뢰성 있는 자료를 제공하도록 했다.

마. 개선안 도출 단계

이 단계에서는 제시된 개선안을 중심으로 공학적 개선이 필요한지, 관리적인 개선이 필요한지를 재평가하게 된다. 우선 공학적인 개선이 필요한지 여부를 판단하여, 개선이 불가능하거나 관리적인 대책만으로도 충분한 경우에는 관리적인 대책을 제시하고, 그렇지 않을 경우에는 사업주와 근로자의 의견과 전문가의 재평가결과를 중심으로 공학적인 개선안을 수립하게 된다. 또한, 이 단계에서는 전문가의 경험과 사업주 및 근로자의 의견이 중심이 되어야 한다. 이 단계에서는 근로자의 보다 적극적인 참여가 이루어질 수 있도록 해야하고, 사업주 역시 일방적인 거부보다는 토론을 통해 의견을 나눌 수 있도록 해야한다.

바. 개선안 확정 단계

이 단계는 개선안 도출단계에서 제시된 공학적 개선안을 확정하는 단계로, 사업주나 근로자가 합당한 결과로 판단할 경우에는 공학적 개선안을 확정하게 되는 것이고, 그렇지 않을 경우에는 다른 개선안을 재도출하는 과정을 거치도록 자료를 피드백(Feed-back)하여 계속적인 의견 수렴을 통해 개선안을 확정한다.

이와 같은 일련의 과정을 통해, 작업장에서 발생하는 다양한 작업자세를 근골격계질환이나 기타 인간공학적으로 부자연스러운 작업자세로 평가함으로써 재해가 발생할 수 있는 위험요소를 최대한 제거하거나 개선할 수 있도록 개선안을 제시해야할 것이다. 특정 작업자세의 경우에는 개선이 불필요하고, 불가능함에도 불구하고, 무조건적으로 평가도구를 사용함으로써 기술지원시간을 낭

비하는 경우가 상당히 비일비재하게 발생하고 있으므로, 시간투자대 비용적인 측면, 효율적인 측면, 신뢰성의 측면에서 위와 같은 조사체계를 통해 분석하는 것을 상당히 많은 장점을 가져다 줄 것이다.

예를 들면, 직업병심의와 같이 정밀한 인간공학적인 조사가 필요할 경우에는 통합조사를 거쳐 정밀조사와 실험을 통해 신뢰도 높은 자료를 기초하여 직업병의 여부를 판정하는 것이 바람직하며, 일반적인 작업장 기술지원시에는 기초조사와 통합조사 자료를 기본으로 정밀조사의 여부를 판정한 후 사업을 수행하는 것이 더 효율적일 것이다. 다시 말해, 평가도구를 사용하여 작업자세를 판정하는 것이 보다 적극적인 조사방법이기는 하지만, 적절한 조사체계와 평가방법을 통해 효율적으로 사업을 수행하는 것이 더 바람직할 것이다.

제 2 장 본론

1. 개요

본 장에서는 앞에서 제시한 인간공학적 조사체계 및 평가방법에 대한 모델 중에서 정밀조사시 실험방법에 대한 내용을 두 가지 사례연구를 중심으로 설명하도록 하겠다. 두 가지 사례연구는 상지를 반복적으로 사용하는 작업과 허리부위를 사용하여 중량물을 취급하는 작업자세를 선정하였는데, 이는 기존의 여러 연구에서 나타난 결과, 즉 인간공학적 위험요인으로 우리나라의 경우에 작업자세 요인이 89%, 반복성이 63.7%, 무리한 힘이 53%(중복체크)를 차지하며, 신체부위별로는 허리부위가 53.8%, 목-어깨 부위가 22.6%를 차지하고(이영석, 2001년), 미국의 경우에 발생원인별로는 운반용기가 30.6%, 작업동작 및 자세가 22.4%이고, 신체부위별로는 척추가 72.6%, 상지가 14.9%를 차지하고 있기 때문이다. 인간공학적인 위험요인으로 인해 나타나는 대표적인 질병이 근골격계질환이기 때문에, 이 질병의 위험요인인 작업자세요인 중에서 허리와 어깨부위의 움직임을 중심으로 실험을 실시하였다.

본 실험에서는 모델의 초기 단계인 공정선정, 기초조사는 기본적인 작업자세 평가시에 실시해오던 방식과 유사하며, 해당되는 평가도구를 사용하여 다음단계로 진행여부만을 결정하면 되는 의외로 쉬운 단계이기 때문에 본 연구에서는 제외하였다. 또한, 개선안을 도출하고, 확정하는 과정은 본 연구내용으로 다루기에는 사업장의 상황에 따라 상당히 차이가 있기 때문에 일반화할 수 없어

제외하였다. 통합조사의 경우에는 <부록>을 참조하여 문제가 있는 작업인지의 여부를 판단하여 결정토록 하였다.

사례연구의 구성은 우선적으로 통합조사 및 정밀조사시 분석도구를 사용하여 해당 자세를 평가하고, 사업장에서 나타나는 자세를 실험실의 동작분석기를 이용하여 동작을 재현해, 그 자세에서 나타나는 EMG 및 ECG 신호를 중심으로 평가도구에서 나타나난 값과 비교하였다. 비교결과를 통해, 현재 사용중인 평가도구의 타당성과 신뢰성을 평가할 수 있고, 이로 인해, 올바른 개선안을 도출하는데 기준을 삼고자 한다. 본론에서는 다양한 평가도구 중에서 작업특성에 맞는 평가도구를 선정해 실험함으로써, 보다 효율적인 결과를 얻도록 했다.

2. 실험내용 및 장비

작업장에서 발생하는 작업자세 중에서 <그림 2-1>에 나타난 작업자세를 중심으로 분석을 실시하였다. (A) 어깨 들림 작업의 경우에는 약 2kg의 수공구나 부품을 들고, 어깨 및 팔의 세 가지 조합으로 구성된 작업자세이며, (B) 허리 굽힘 작업의 경우에는 23kg의 중량물을 들어올리는 네 가지 동작으로 구성하였다. 작업장에서 발생하는 다양한 작업자세를 아무런 기기 없이 재현하기는 상당히 어려움이 있고, 특히, 동작을 수행하는 동안에 나타나는 부하를 만들어내는 것은 더 어렵다. 그렇기 때문에 <그림 2-2>에 나타낸 BTE사의 PRIMUS라는 동작분석기를 이용하여 작업장에서 발생하는 자세를 현장감 있게 재현하였으며, 그때 근육에 발생하는 부하에 대한 전기신호를 측정하기 위해 <그림 2-3>의 BIOPAC사의 근전도 측정 장치인 MP150을 사용하였다.

(A) 어깨 들림 작업 (B) 허리 굽힘 작업

<그림 2-1> 분석 대상 작업자세

<그림 2-2> 동작분석기-PRIMUS(BTE사)

<그림 2-3> 근전도 측정기-MP150(BIOPAC)

실험에서는 여러 가지의 근전도(EMG) 측정 파라미터 중 근육의 활동패턴 변화를 살펴볼 수 있는 RMS(Root Mean Square)값을 통하여 어깨의 들림정도에 따른 어깨근육의 부하 및 들기작업시 허리부위에 가해지는 근육부하량을 측정하고자 하였다. 또한, 들기작업시에는 ECG를 몸에 부착하여 심박수의 변화를 측정하였다. 자료의 변환은 실험을 통해 얻어진 실제자료(Raw Data)를 RMS자료(RMS Data)로 변환 한 후 아스키(ASCII) 파일 변환을 통하여 아날로그 신호를 디지털형식으로 변환하여 사용하였다. 본 실험에서의 샘플링 주파수는 각 채널별로 1024Hz를 적용하였다.

3. 사례연구 I

가. 어깨-팔 들기 작업자세

근골격계관련 신체부위의 통증 호소율의 결과를 살펴보면, 어깨-팔 상지 부위가 허리 다음으로 높은 비율을 차지하는 것으로 조사되었고, 이것은 대부분 작업시 어깨를 머리위로 들어올려서 작업하는 이른바 위보기(OverHead) 작업형태를 취하거나 몸을 비틀고 팔을 벌려서 작업하는 작업형태에 기인한 결과

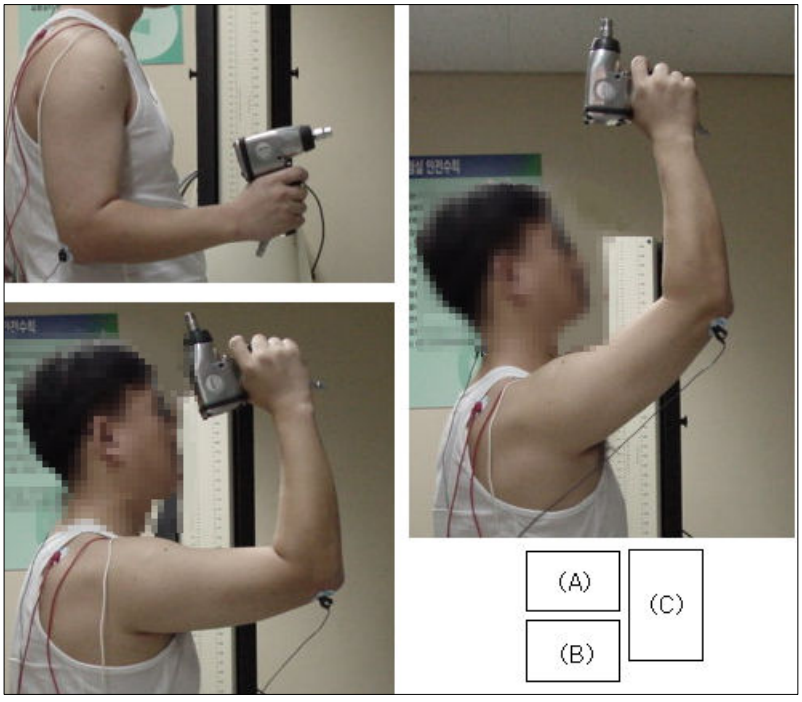
로 볼 수 있다. 그러므로, 본 사례연구는 신체부위 중 어깨의 사용정도에 따라 근전도 신호에 어떠한 변화가 나타나는지를 알아보기 위해, 아래의 세 가지 작업자세를 취하도록 하였으며, 작업내용은 약 2kg의 부품 및 공구를 들고 약 30초 동안 작업하는 형태에 대해 통합조사, 정밀분석 및 실험을 실시하였다.

<그림 2-4>는 어깨-팔 들림 작업자세의 형태를 나타낸 것으로,

(A) 어깨상박굴곡 0°- 하박굴곡90°인 자세

(B) 어깨상박굴곡90°- 하박굴곡90°인 자세

(C) 어깨상박굴곡135°- 하박굴곡45°인 자세



<그림 2-4> 어깨-팔 들기 작업자세

나. 통합조사 및 정밀조사

작업의 특성상 통합조사에서는 OWAS를 이용하였는데, OWAS의 특징은 전체적인 작업자세가 작업을 수행하기에 어떠한지 여부를 판단하기 위해 사용하는 도구이다. OWAS 분석시 상지 부위는 1) 양팔 어깨 아래, 2) 한팔 어깨 위, 3) 양팔 어깨 위의 세 가지 동작으로 분류하며, 작업부하는 각 자세코드가 증가할수록 커진다. 정밀분석시에는 RULA와 REBA 분석법을 적용하였는데, 주로 상지 부위를 사용하는 작업을 평가하기 위해 사용된다. RULA의 경우에 윗팔은 최대 6점이고, 아래팔은 최대 3점이며, REBA는 윗팔의 경우에 1점에서 최대 6점으로 구성되어 있고, 아래팔의 경우에는 1점에서 최대 2점으로 구성된다.

<표 2-1>의 결과를 살펴보면, (A) 자세의 경우에는 OWAS의 위험율이 33.3%이고, 윗팔과 아래팔에 대해 RULA는 5.5%, REBA는 8.3%의 위험율을 나타내고 있다. (B)자세의 경우에 OWAS의 위험율이 66..6%이고, 윗팔과 아래팔에 대해 RULA는 33.3%, REBA는 25%의 위험율을 나타내며, (C) 자세의 경우에 OWAS의 위험율이 66.6%이고, 윗팔과 아래팔에 대해 RULA는 44.4%, REBA는 66.6%의 위험율을 보이는 작업인 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 팔을 어깨 높이이상으로 올리는 동작이나 위보기 형태의 작업자세에서 어깨에 노출되는 부하가 높다는 것을 의미한다.

OWAS를 이용한 통합조사 결과, 특정 신체부위에 대해서는 과대평가되는 경향이 있는 것으로 분석되었고, RULA와 REBA는 거의 유사한 결과를 보이는 것으로 나타났다. 이처럼, 각 평가도구를 사용한 결과, 어깨를 들어올리는 작업이 그렇지 않은 작업보다 상당히 큰 부하가 나타남을 알 수 있다.

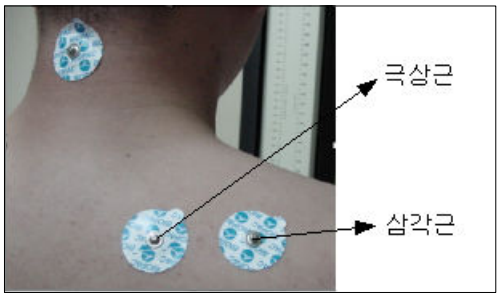
<표 2-1> OWAS, RULA 및 REBA 분석결과-상지 부위

작업자세	OWAS 자세코드	RULA 분석결과			REBA 분석결과		
		윗팔	아래팔	위험율	윗팔	아래팔	위험율
(A) 자세	1(33.3%)	1	1	5.5%	1	1	8.3%
(B) 자세	2(66.6%)	3	2	33.3%	3	1	25%
(C) 자세	2(66.6%)	4	2	44.4%	4	2	66.6%

주) 숫자는 자세코드이면서 각 신체부위별 점수, 위험율=(해당점수의 곱/전체점수의 곱) ×100

다. 실험설계

어깨근육의 활동패턴 변화를 보기 위하여 선행연구에서는 주로 삼각근(Deltoid)과 승모근(Trapezius)에 표면전극을 부착한 경우가 많았다(김정룡, 1999). 그렇지만, 본 실험에서는 어깨의 내/외전을 포함하는 회전 시 주로 사용되는 주근육인 삼각근(Deltoid)과 어깨의 굴곡과 신전을 주로 담당하는 주근육인 극상근(Supraspinatus)에 표면전극을 부착하여 근육의 활동패턴만을 살펴보았다. 피실험자에게 해당작업에 필요한 동작을 수행하게 하여 그때 각 근육의 정확한 위치를 파악하였으며, 전극은 근섬유의 결 방향을 따라 부착하였다. 근전도 신호의 노이즈(Noise)를 제거하기 위한 접지(Ground) 전극은 근육이 적은 팔꿈치에 부착하여 실험을 실시하였다. 전극의 부착은 전극 중심간의 거리를 2cm로 하여 의료용 알코올로 깨끗이 소독하고 건조시킨 후 부착하였다. <그림 2-5>는 어깨부위의 전극부착 부위를 나타낸 것이다. 실험을 1회 수행 후 충분한 휴식을 갖은 후에 재실시하는 방식으로 진행하였으며, 피실험자에게 실험내용에 대해 충분히 이해하며 수행할 수 있도록 교육 후 진행하였다.



<그림 2-5> 어깨부위의 전극 부착

라. 실험결과

어깨-팔(상박-하박)의 들기 작업에 대한 근전도 측정 결과는 <표 2-2>와 <그림 2-6>에 나타내었듯이, 작업자세의 변화에 따라 어깨의 굴곡과 신전을 담당하는 극상근의 경우 근육활동량의 값은 삼각근에 비해 낮게 나타났는데, 이는 작업시 작업면을 정면에 두지 않고, 자유롭게 위로만 들어올리도록 하였기 때문에 굴곡이나 신전보다는 내/외전을 관장하는 삼각근에 많은 부하가 나타난 것으로 판단된다. 다시 말해, 어깨를 밖으로 약간 벌린 상태에서 작업을 수행했기 때문에 극상근 보다는 삼각근에 더 큰 부하가 미친 것으로 판단된다.

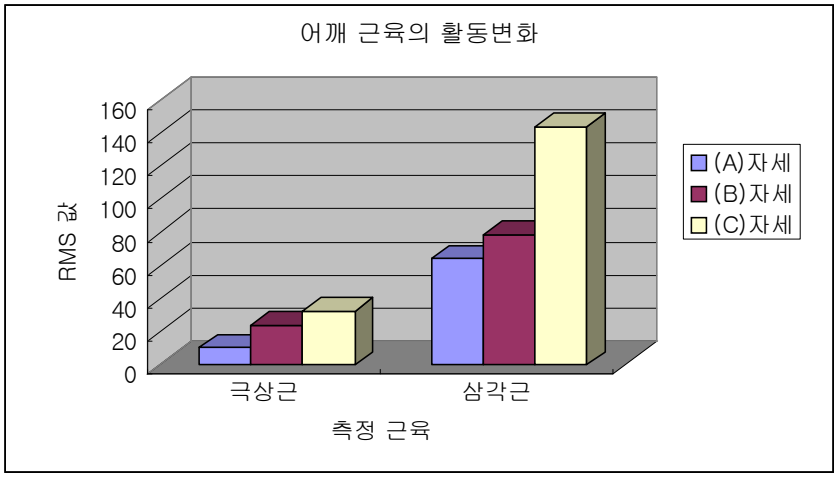
실험결과, 어깨-팔의 들기 정도가 높아질수록 근육활동량값이 선형에 가깝게 증가하는 것으로 나타났다. 특히, 삼각근의 경우 (A)자세인 어깨상박굴곡0°-하박굴곡90°인 자세를 기준으로 (B)자세인 어깨높이 이상으로 작업자세가 변할 때는 23.8%의 근육활동량의 증가만 보였으나, 어깨가 135°이상 들리는 (C)자세에서는 126%이상의 근육활동량의 증가를 보여 작업자세가 정위치에서 극단적으로 멀어질수록 어깨근육에 부가되는 작업부하가 증가하는 것으로 나타났다.

<표 2-2> 작업자세에 따른 어깨 근육활동량의 변화

근전도단위:μV

작업자세		극상근	삼각근
(A)	어깨상박굴곡0°-하박굴곡90°인 자세	10.22	63.90
(B)	어깨상박굴곡90°-하박굴곡45°인 자세	23.96	78.41
(C)	어깨상박굴곡135°-하박굴곡90°인 자세	32.46	143.53

주) 각 값은 작업자세가 바뀔 때 근육에 부가되는 활동의 패턴만 나타낸 것임



<그림 2-6> 작업자세에 따른 어깨 근육활동 패턴의 변화

마. 토의

통합조사시에 기존에 작업자세를 인간공학적으로 평가하기 위해 사용한 OWAS로는 어깨 부위에 대한 평가를 정밀하게 할 수가 없는 단점이 있기 때

문에 어깨에 어느 정도의 부하가 나타나는지의 여부를 판단하는 것이 의미가 없다. 앞에서 설명했듯이, 통합조사시에는 어느 특정 신체부위에 부여되는 부하보다는 전반적인 작업자세를 평가하는 것에 치중하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

정밀조사를 위해 사용한 RULA와 REBA의 경우에는 <표 2-1>에 나타났듯이 윗팔(상박)과 아래팔(하박)이 자세가 바뀔 때마다 더 큰 부하가 나타나는 것으로 조사되었다. 그렇지만, 정밀 조사시 기존에 사용하고 있는 평가도구만으로도 충분히 좋은 결과를 얻을 수는 있겠지만, 이런 일련의 평가도구들이 가지는 장단점을 모두 포함시키기에는 상당히 어려운 점이 있기 때문에 근육이 활동하는 정도에 따라 근전도의 값이 변화하여 나타나기 때문에 EMG를 이용하는 것이 더 신뢰성 높은 자료를 생산할 수 있다.

동작분석기와 EMG를 사용하여 실험한 결과에서도 마찬가지로 어깨를 과도하게 들어 올리는 작업을 수행할수록 더 큰 부하가 나타나는 것으로 조사되었다. 그러므로, 정밀조사를 위해 사용하는 평가도구의 분석결과를 보다 과학적이고 정밀한 실험장비를 통해 그 결과의 신뢰도를 높여줄 수 있음을 본 실험을 통해 알 수 있었다. 이러한 과학적이고 신뢰도 높은 조사체계 및 평가방법을 통해 보다 실현가능한 개선안을 도출할 수 있을 것이며, 개선계획 수립시에도 좋은 기초자료로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

4. 사례연구 II

가. 허리 굽힘 작업자세

자동차 제조업이나 중공업 계열의 사업장에서 근골격계질환 및 중량물 취급에 대해 가장 큰 관심을 가지고 있고, 위험한 신체부위로 허리를 꼽고 있다. 허리의 경우에는 일반인도 평생동안 한번정도는 아프게 되는 즉, 누구나 질환이나 통증을 느낄 수 있는 신체부위로, 미국의 경우에 53.2%가 허리와 관련된 신체부위에서 근골격계질환(염좌, 만성요통 등)이 발생하는 것으로 발표하고 있으며, 우리나라도 마찬가지로 상당히 높은 비율을 차지하고 있다. 그러므로, 본 사례연구는 신체부위 중 허리의 사용정도에 따라 근전도 신호에 어떠한 변화가 나타나는지를 알아보기 위해, 아래의 네 가지 작업자세를 취하도록 하였으며, 작업내용은 약 3초 동안에 23kg의 대상물을 팔꿈치 높이(110cm)까지 들어 올리며 작업하는 형태의 작업자세에 대해 통합조사, 정밀분석 및 실험을 실시하였다. 허리의 굽힘은 수직거리 및 수평거리가 변하는 것을 의미하며, 비트는 것은 이동전/후의 위치가 바뀌는 것을 의미한다.

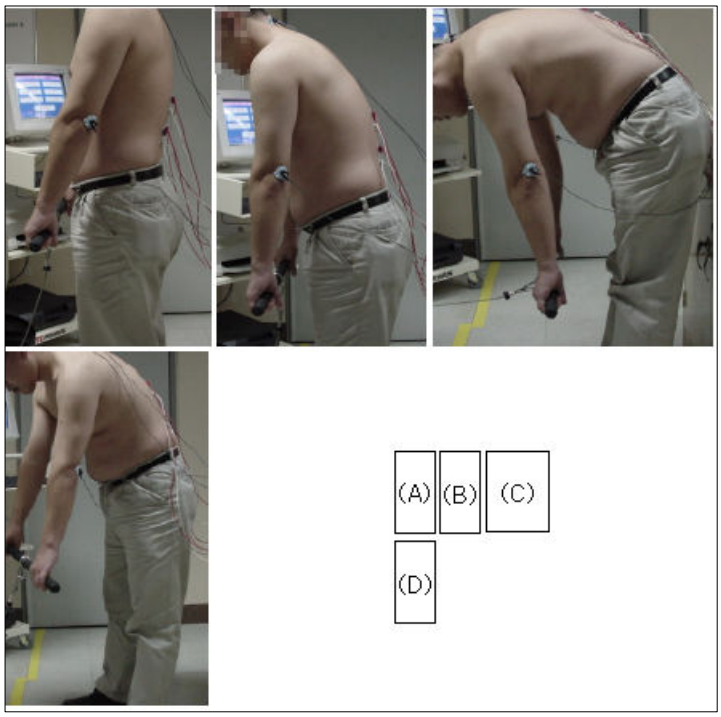
<그림 2-7>은 허리 굽힘 작업자세의 형태를 나타낸 것으로,

(A) 선자세에서 23kg 들기

(B) 앞으로 30도 굽혀 23kg 들기

(C) 앞으로 90도 굽혀 23kg 들기

(D) 앞으로 30도 굽혀 23kg 들고, 옆으로 45도 비틀어 이동



<그림 2-7> 허리 굽혀 들기 작업자세

나. 통합조사 및 정밀조사

사례연구 I과 마찬가지로, 작업의 특성상 통합조사에서는 OWAS를 이용하였는데, OWAS 분석시 허리 부위는 1) 똑바로 선자세, 2) 앞으로 굽힌자세, 3) 옆으로 비튼 자세, 4) 앞으로 굽혀, 옆으로 비튼 자세 네 가지 동작으로 분류하며, 작업부하는 각 자세코드가 증가할수록 커진다. 정밀분석시에는 NLE와 WAC 분석법을 적용하였는데, 주로 중량물을 취급하는 작업을 평가하기 위해 사용된다. 본 사례연구에서는 빈도 특성과 시간 특성을 고려하지 않고 적용하였으므로 분석시에도 이 두 부분의 영향을 최소화하기 위해 절대값을 1로 놓

고 계산하였다. NLE의 경우에 수평거리, 수직거리, 이동거리, 몸통의 각도, 손잡이 형태 등만 중점적으로 고려하여, 이동전/후를 비교하여 직접적인 위험수준 LI(Lifting Index)의 값을 계산하여 이들을 비교하도록 하였다. WAC의 경우도 마찬가지로, 빈도 특성에 대한 민감도를 최소화하여 적용토록 하였는데, 작업영역, 몸통각도에 대한 가중치만을 중심으로 계산하였다. 이것도 이동전/후의 LI(Lifting Index)값을 계산하여 비교하였다. 두 분석도구 모두 위험수준(LI)가 1보다 작으면 수용가능한 작업이고, 1~3 사이이면 관리적인 대책(가능하다면 빠른 시일내에 재조사 후 문제가 있으면 공학적인 개선이 필요함)이 필요한 작업, 3이상이면 즉각적인 공학적인 개선이 필요한 작업으로 분류한다.

<표 2-3>의 결과를 살펴보면, (A) 자세의 경우에는 OWAS의 위험율이 25%이고, 허리 부위에 대한 NLE는 1.45, WAC은 1.1로 관리적이 대책이 필요한 작업자세로 평가되었으며, (B)자세의 경우에 OWAS의 위험율이 50%이고, 허리 부위에 대한 NLE는 1.84, WAC은 1.5로 관리적이 대책이 필요한 작업자세로 평가되었다. (C) 자세의 경우에 OWAS의 위험율이 50%이고, 허리 부위에 대한 NLE는 2.5, WAC은 1.5로 관리적이 대책이 필요한 작업자세로 평가되었으며 (D) 자세의 경우에 OWAS의 위험율이 100%이고, 허리 부위에 대한 NLE는 2.2, WAC은 1.8로 관리적이 대책이 필요한 작업자세로 평가되었다. 이러한 결과는 허리를 앞으로 굽히거나 옆으로 비트는 동작이 발생하는 작업일수록 더 높은 부하를 보이는 것을 알 수 있다. 그러므로, 허리를 굽히거나 비트는 동작을 제거하는 형태로 개선대책이 마련되어야 할 것이다.

사례연구 I과 마찬가지로, OWAS를 이용한 통합조사 결과는 특정 신체부위에 대해서는 과대평가되는 경향이 있는 것으로 분석되었으나, NLE 및 WAC과 거의 유사한 결과를 얻었다. NLE와 WAC의 결과는 약간의 차이는 있지만, 거의 같은 값을 보이고 있다.

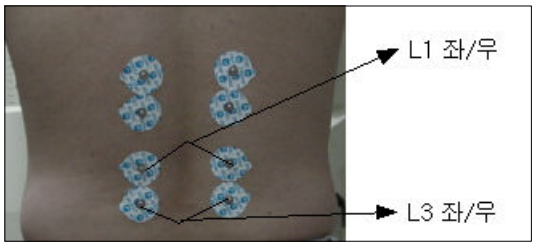
<표 2-3> OWAS, NLE 및 WAC 분석결과-허리 부위

작업자세	OWAS 자세코드	NLE 분석결과			WAC 분석결과		
		이동전	이동후	위험수준	이동전	이동후	위험수준
(A) 자세	1(25%)	17.5	15.9	1.45	25	22	1.1
(B) 자세	2(50%)	12.5	15.5	1.84	15	22	1.5
(C) 자세	2(50%)	9.1	15.1	2.5	15	22	1.5
(D) 자세	4(100%)	10.7	15.6	2.2	12.75	22	1.8

주) 위험수준 < 1 : 수용가능 작업으로 개선 불필요
1≤ 위험수준 < 3 : 관리적 개선 필요(재조사 후 개선요망)
3≤ 위험수준 : 즉각적인 공학적 개선 필요

다. 실험설계

요추는 5개로 구성되어 있는데, 요통과 관련하여 L5/S1, L4/L5이나 L1/L3 등의 부위에 대한 EMG 신호를 측정하는 경우가 대부분이다. 본 연구에서는 <그림 2-8>과 같이 요추의 L1/L3부분을 대상으로 좌우측에 4개의 표면전극을 부착하였다. 그리고, 실험 실시전 EMG 신호의 안정 상태 확인을 위하여 컴퓨터 모니터 화면에 나타나는 근육의 활동패턴이 동일한 시점에 실험을 실시하였다. 이와 더불어, 피실험자의 생리학적 반응치인 심박수(Heart Rate)알아보기 위해, 안정시 심박수에 맥박이 위치했을 때 실험을 시작하여 동일한 개인적 조건에서 실험이 진행 될 수 있도록 조치하였다. EMG 신호의 노이즈를 제거하기 위한 접지전극은 근육이 적은 팔꿈치에 부착하여 실험을 실시하였고, 전극의 부착은 전극 중심간의 거리를 2cm로 하여 의료용 알코올로 깨끗이 소독하고 건조시킨 후 부착하였다.



<그림 2-8> 허리위의 전극 부착

라. 실험결과

23kg의 작업물을 대상으로 들기작업에 따른 허리 근육에 부가되는 근육부하량 및 심박수의 변화량의 결과는 <표 2-4>, <그림 2-9>와 같다. 결과를 살펴보면 L1부위의 경우 표면전극 부착위치인 좌/우 모두에서 들기작업 자세에 따라 커다란 차이가 나타나는 것으로 분석되었다. 허리를 굽히지 않고 선자세에서의 작업을 기준으로 하여 허리를 구부리는 각도가 커질수록 L1부위의 좌/우측에 부가되는 근육부하량은 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 들기 작업 시 힘을 부여하는 시점과 종점으로 나누어 근육부하량을 살펴본 결과, 들기 시작하는 시점에 비해 종점에서의 근육부하량이 상대적으로 높게 나타났다. 이는 종점에서 약 2초 정도 23kg의 중량을 지탱하는 동작 때문인 것으로 판단되는데, 이는 본 실험의 목적의 범위를 넘어서는 내용이므로 설명을 생략한다. 또한, 좌/우간의 비교에 대한 설명도 생략한다.

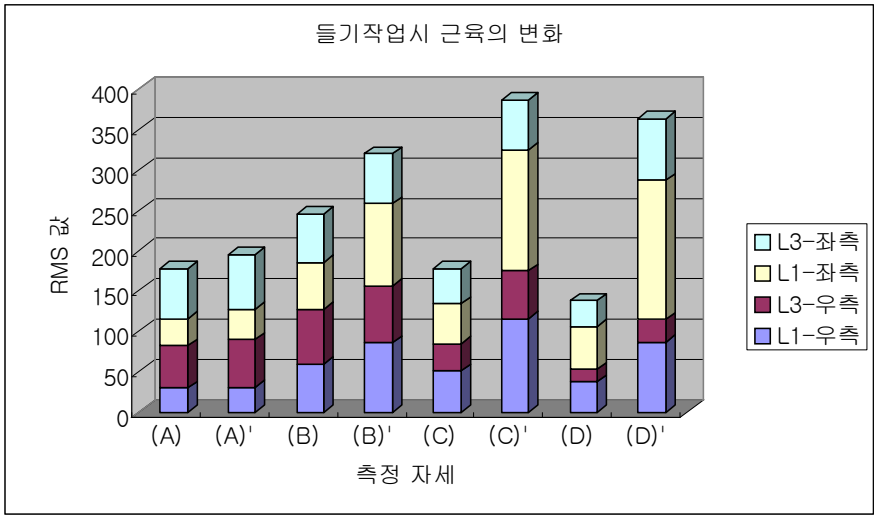
들기 작업자세의 변화에 따른 심박수의 변화추이를 살펴본 결과, 약간의 차이는 보이고 있으나, 통계적으로 유의한 차이를 발견할 수는 없었다. 이는 본 실험이 작업 시간은 최대 3초로 짧게 하여 시뮬레이션한 것에 기인한 결과로 보여지며 실제 현장에서와 같이 반복적으로 들기 작업이 이루어진다면, 본 연구의 결과와는 다른 결과가 예상되어진다고 할 수 있겠다.

<표 2-4> 들기 작업 자세에 따른 L1/L3의 근육부하량 및 심박수의 변화

근전도단위:μV

들기 작업 자세		L1 우측	L3 우측	L1 좌측	L3 좌측	심박수
(A)	선자세-(S)	29.56	52.20	34.08	61.67	77
(A)'	선자세-(D)	30.42	59.53	37.40	67.78	79
(B)	30°구부린자세-(S)	59.78	67.52	58.14	60.52	78
(B)'	30°구부린자세-(D)	86.23	70.11	101.43	62.09	86
(C)	90°구부린자세-(S)	51.37	33.03	49.85	43.17	76
(C)'	90°구부린자세-(D)	115.99	59.23	149.12	62.09	79
(D)	30°구부림-45°비틀린자세-(S)	37.84	15.25	52.98	32.35	80
(D)'	30°구부림-45°비틀린자세-(D)	86.60	28.04	172.62	76.63	80

주) S-들기 시작점(Start), D-최종 목적점(Destination)



<그림 2-9> 들기 작업 자세에 따른 L1/L3의 근육부하량의 변화

마. 토의

정밀조사를 위해 사용한 NLE와 WAC의 경우에는 <표 2-3>에 나타났듯이 허리 부위가 굽히거나 비트는 자세로 바뀔 때마다 더 큰 부하가 나타나는 것으로 조사되었다. 마찬가지로, 동작분석기와 EMG를 사용하여 실험한 결과에서도 마찬가지로 허리를 과도하게 굽히거나 비트는 작업을 수행할수록 더 큰 부하가 나타나는 것으로 조사되었다. 그러므로, 사례연구 I에서와 마찬가지로, 정밀조사를 위해 사용하는 평가도구의 분석결과를 보다 과학적이고 정밀한 실험장비를 통해 그 결과의 신뢰도를 높여줄 수 있음을 본 실험을 통해 알 수 있었다.

5. 결과

앞에서 제시한 인간공학적 조사체계 및 평가방법에 대한 모델을 사례연구 I과 II를 통해 그대로 적용해 본 결과, 통합조사를 통해 어떤 작업의 경우에는 정밀조사나 실험이 없이도 어느 정도 위험요소를 찾아 개선대책을 세울 수 있다는 것과 특정 신체부위에 대해서는 접근이 상당히 어려운 점이 있다는 것을 알게되었다. 예를 들면, 사례연구 I의 경우처럼 어깨부위에 대해서는 OWAS라는 평가도구의 특징상 정밀조사 보다 과대하게 평가되는 것으로 조사되었고, 사례연구 II에서는 정밀조사에 사용된 평가도구와 거의 같은 결과를 얻었다. 이처럼 통합조사라는 단계가 다양한 측면에서 인간공학적인 위험요소를 찾아내는 중요한 자료를 제시해 줄 수 있는 단계임을 알 수가 있었다. 본 연구에서는 사용하지 않았지만, QEC나 문진표를 사용할 때도 마찬가지의 결과를 얻게

될 것이다.

통합조사를 통해 작업에 따른 위험요소를 아주 간단하게 조사한 후에 각 작업자세를 평가할 수도 있고, 정밀 조사나 실험이 필요하다고 판단이 되거나 직업병을 심의하는 경우이라면 앞에서 제시한 조사체계의 각 단계들이 상당히 적절하게 사용될 수 있는 것으로 판단된다. 특히, 정밀조사시에 사용될 평가도구를 위험요소에 대한 작업특성과 분석시 사용되는 신체부위별로 재분류 후 사용하였기 때문에 상당히 효율적인 접근이 되고 있음을 분석을 통해 알 수 있었다. 또한, 정밀조사에 사용되는 평가도구의 신뢰성을 높여주기 위해 동작분석기와 EMG, ECG 등의 측정장비를 이용하여 서로 통합된 결과를 도출함으로써 개선안 도출시 상당히 신뢰성 높은 기초자료를 제공할 수 있게 되었다.

제 3 장 결론

본 연구에서는 작업장의 인간공학적인 특성을 파악하기 위한 조사체계 및 위험요소를 평가하는 방법에 대한 모델을 제시하였는데 즉, 사업장에서 산재다발 공정, 근로자의 통증 호소 공정으로 선정될 경우, 건강관리실 자료와 기타 안전보건자료를 중심으로 기초조사를 실시한 후에 통합조사가 필요할 경우 간단한 평가도구들을 통해 통합조사를 실시한다. 통합조사결과 보다 정밀한 조사와 실험이 필요한 작업으로 판정이 될 경우에는 인간공학적 평가도구를 중심으로 정밀조사를 실시하고, 측정 및 실험장비를 통해 실험을 실시하여 서로 신뢰성 있는 통합결과를 제시한다. 이렇게 제시된 결과를 중심으로 개선안을 도출하여 확정하는 과정을 거치게 된다.

본 모델의 효율성과 신뢰성을 입증하기 위해 사례연구를 통해 분석과정을 단계별로 실제 적용해 본 결과, 본 모델이 상당히 장점이 있음이 증명되었다. 특히, 통합조사 단계와 정밀조사 및 실험단계의 구체적인 접근을 통해 본 모델의 사용편리성까지도 입증할 수 있었다. 이렇게 제시된 모델을 중심으로 사업장에 인간공학적인 특성을 파악하는데 사용하게 되면 상당히 큰 도움이 될 것이며, 이전의 중구난방식의 접근이 아니라 보다 정밀한 분석이 가능할 것이다.

본 연구에서 두 가지의 실험조건만으로 정밀조사에 대한 실험을 수행하였지만, 본 모델의 장점을 한층 더 증명하기 위해서는 다양한 작업자세를 평가할 수 있는 여러 가지 조건을 고려한 연구가 추가적으로 진행하는 것이 필요하며,

이러한 연구를 통해 보다 현실감 있는 다양한 작업조건을 고려한 기초자료가 사업장 및 분석자들에게 제공되어야 할 것이다. 예를 들면, 작업의 주기인 반복성, 다양한 중량물의 조건 등에 대해서도 보다 정밀한 분석이 선행되어야 할 것이다. 이러한 인간특성에 대한 기초조사 자료가 사업장에 제공됨으로써 보다 효율적이고, 신뢰성 있는 자료를 중심으로 작업장의 문제점을 개선하는데 사용될 수 있을 것이다.

참고문헌

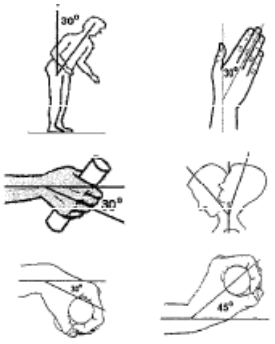
1. 권영국, 김순례 외, '컴퓨터를 자주 사용하는 종합병원 간호사들의 요통진단을 위한 EMG 분석', 대한인간공학회, 2000
2. 권영국, 이상훈 외, '백화점 근로자의 근피로도 측정 및 정량화를 위한 근전도 평가',
3. 기도형, 정민근, '들기작업 설계와 평가를 위한 요천추의 Compressive Force 예측모형 비교 연구', Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, Vol 21, No. 4, 1995
4. 김정룡, '정상인과 요통환자의 생체역학적 차이에 관한 연구 ; 신경근육계의 동적 근전도 반응형태를 중심으로', 대한인간공학회, Vol. 14, No. 2, 1995
5. 김정룡, 박지수 외, '작업자세에 따른 어깨근육의 작업부하 측정', Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, Vol, 25, No. 2, 1999
6. 김정룡, 정명철, '근전도의 정량적 분석시 사용되는 수리적 파라미터의 민감도 비교', Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, Vol. 25, No. 3, 1999
6. 김창선, 김관종 외, '자동차 조립공장 근로자의 누적외상성질환 자각증상 호소율과 관련 위험요인', 한국산업위생학회지, 제11권, 제1호, 2001
7. 김철홍, '대우자동차 공장의 근골격계질환 실태에 관한 연구', 인천대학교 산업공학과 인간공학 연구실, 2000
8. 김태광, '수공구의 종류와 작업유형 및 위치에 따른 상지 근력의 변화에 관한 연구', 인천대학교 석사논문, 1998
9. 박희석, '스크류 드라이버를 사용하는 작업장의 인간공학적 평가 : 심리육체적 접근방법', 대한인간공학회, Vol. 15, No. 2, 1996

10. 변승남, 정윤태, '두 근 수축 방법이 피로 회복율과 근육 동원 방법에 미치는 영향에 관한 연구', Vol, 14, No. 1, 1995
11. 송동빈, 김대성 외, '누적외상성질환의 발생실태와 발생특성 파악 및 의학적 평가방법 개발', 직업병 예방을 위한 연구용역 보고서 : 산업보건연구원, 1997
12. 양성환, 김대성, '작업과 인간공학', 한국산업안전공단, 2000
13. 양성환, 김대성, '작업관련 근골격계질환의 인간공학적 실태조사 및 분석', 한국산업안전공단, 2001
14. 이나루, '작업관련 근골격계질환 예방을 위한 작업위험요인 평가', 한국산업안전공단, 2001
15. 이면우, 이구형, 'EMG분석을 이용한 대퇴직근의 근력추정', 대한산업공학회, Vol 7, No 2,
16. 이면우, 장성록 외, '팔꿈치관철 굽힘동작시 작업자세에 따른 동원되는 근육의 활동 변화', Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, Vol. 19, No. 3, 1993
17. 이면우, 정경호 외, '역도경기의 자세, 무게중심, 가속도가 발휘근력에 미치는 영향에 관한 생체역학적 연구', Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, Vol 11, No, 2, 1985
18. 이영석, '작업관련성 근골격계질환의 발생 관련요인에 관한 연구', 연세대학교, 석사학위, 2001
19. 이윤근, 김현욱 외, ' 누적외상설질환 위험 요인의 정량적 평가 및 관리를 위한 점검표 개발, -자동차 조립 작업을 중심으로-', 한국산업위생학회지, 제11권, 제1호, 2001
20. 이준엽, 김철홍, '자동차 조립작업시 작업자세, 작업/휴식비율, 작업형태에

따른 작업부하의 변화에 관한연구', 공업경영학회지, 2001
21. 정소라, 정민근, '주기적 등척성 수축에서의 국소근육피로 측정을 통한 피로지수의 개발', Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, Vol 19, No, 4, 1993
22. 현수돈, 김정룡, 'L4/L5 디스크 환자 진단을 위한 동적 근전도 신호의 정량화 기법 개발', Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, Vol 24, No, 2, 1998
23. Assessing WMSDs, HFES Bulletin, Vol.44, No.2, February 2001, p4
24. Li, G and Buckle, P., Evaluating change in exposure to risk for musculoskeletal disorders – a practical tool. HSE Contract report 251/1999 HSE Books ISBN 0 7176 1722 X, pp82. 1999
25. Li, G. and Buckle, P., A practical method for the assessment of work-related musculoskeletal risks – Quick Exposure Check (QEC). In the Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 42nd Annual Meeting, October 5-9, Chicago, Human Factors and Ergonomics Society: 1351-1355. 1998
26. Li, G. and Buckle, P., Current techniques for assessing physical exposure to work-related musculoskeletal risks, with emphasis on posture-based methods. Ergonomics, 42, 5, 674-695. 1999
27. NIOSH, Selected Topics in surface electromyography for use in the occupational setting : expert Perspectives, U. S. Department of Health and Human Services, 1992
28. UAW-Ford, 'Fitting Jobs to People, Ergonomics Action Guide', National Joint Committee on Health and Safety, 1996

부록 A. 기본 감시도구(Basic Screening Tool)

위험요소	수행작업	신체부위			
		목 어깨	손 손목 팔	등 몸통 엉덩이	다리 무릎 발목
반복성	(1) 같은 동작 반복 하루 작업 중 연속적으로 2시간 이상 동안 몇 초간 같은 동작을 반복하거나 신체에 영향을 주는 동작을 분당 2회 이상 반복 사용	○	○	○	○
	(2) 키보드 및 마우스 작업 하루 작업 중 총 4시간 이상 동안 정적으로 사용	○	○		
힘/하중	(3) 들기작업(Lifting) 가. 한번에 34kg 이상 나. 하루에 24.9kg 이상을 10회 이상 다. 하루에 11.3kg이상을 무릎아래, 어깨 위나 팔길이 범위에서 25회이상	○	○	○	○
	(4) 밀기와 당기기 작업 하루에 2시간이상 초기에 9kg 이상의 힘을 사용	○	○	○	○
	(5) 손가락 집기(Pinch) 작업 하루에 총 2시간 이상을 한손으로 1kg 이상의 지지되지 않은 물건을 집거나 같은 정도의 집는 힘을 사용		○		
	(6) 잡기(Grip) 작업 하루에 총 2시간 이상을 한손으로 4.5kg 이상의 지지되지 않은 물건을 잡거나 같은 정도의 잡는 힘을 사용		○		

위험요소	수행작업	신체부위			
		목 어깨	손 손목 팔	등 몸통 엉덩이	다리 무릎 발목
부자연스러운 작업자세	(7) 뻗치는 자세 하루에 총 2시간 이상 머리 위로 손을 올리거나, 어깨 위로 팔꿈치을 올리는 작업을 반복하는 것	○	○	○	
	(8) 쪼그려 앉은 자세 하루에 총 2시간 이상 무릎을 굽히거나 쪼그리고 앉음			○	○
	(9) 비트는 작업 하루에 총 2시간이상 등, 목 또는 손목을 굽히거나 비트는 작업(그림참조) 	○	○	○	
접촉 스트레스	(10) 접촉 하루에 총 2시간이상 동안 손이나 무릎을 시간당 10회 이상 해머처럼 사용		○		○
진동	(11) 10m/sec^2 수준의 진동공구 사용 하루에 총 30분 이상을 높은 수준의 진동 공구(체인톱, 잭 해머, 타격기구, 리베팅 또는 치핑해머 등)를 사용	○	○	○	
	(12) 2.5m/sec^2 수준의 진동 공구 사용 하루에 총 2시간 이상을 중간 수준의 진동 공구(지그톱, 그라인다 혹은 연마기 등)를 사용	○	○		

부록 B. Quick Exposure Check-QEC : 분석자용 체크리스트

공정명 :　　작업내용 :　　분석자 :　　작업자 :　　날짜 :

허리	손목/손
•작업시 허리는 ? A1 : 똑바로 폄(20°내) A2 : 약간 굽히거나 비틈(20~60°) A3 : 과도하게 굽히거나 비틈(60°이상)	**•손목이나 손의 작업 형태는 ?** E1 : 거의 똑바로 펴고 작업(15°이내) E2 : 손목이 편향되거나 구부림(15°이상)
•인력운반 작업시 허리의 반복성은 ? B1 : 분당 3회 미만 B2 : 분당 3~11회 B3 : 분당 12회 이상 **•인력운반 이외 작업시 정적인 동작이 있는가 ?** B4 : 없음　　B5 : 있음	**•작업시 유사한 손목이나 손의 동작이 반복적으로 수행되는가 ?** F1 : 분당 10회 이하 F2 : 분당 11~19회 F3 : 분당 20회 이상
어깨/팔	**머리/목**
•작업 수행 위치 ? C1 : 허리 높이 아래 C2 : 가슴 높이 정도 C3 : 어깨 높이 이상	**•작업시 머리/목을 20°이상 굽히거나 비트는 동작이 있는가 ?** G1 : 없음 G2 : 가끔씩 G3 : 계속적으로
•팔의 반복성은 ? D1 : 반복적인 동작이 없음 D2 : 약간의 반복적인 동작이 있음 D3 : 계속적으로 반복적인 동작을 수행	

부록 C. Quick Exposure Check-QEC : 근로자용 체크리스트

성명 :　　공정명 :　　날짜 :

항목	항목
●작업시 취급하는 대상물의 무게는 어떠한가 ? a1 : 아주 가볍다(5kg 이하) a2 : 들기에 적절하다(6～10kg) a3 : 무거운 편이다(11～20kg) a4 : 매우 무겁다(20kg이상)	**●작업시 진동이 있는 장비나 설비는 어느 정도 사용하는가 ?** d1 : 없거나 조금 d2 : 어느 정도 있음 d3 : 매우 많음
●하루 작업시간은 ? b1 : 2시간 미만 b2 : 2～4시간 b3 : 4시간 이상	**●작업시 눈의 사용정도는 어느정도인가 ?** e1 : 정확히 응시하는 것이 필요 없음 e2 : 정확히 봐야 작업 수행이 가능함
●한손이나 양손 작업시 한손에 요구되는 최대 무게의 정도는 ? c1 : 적다(1kg 미만) c2 : 중간(1～4kg) c3 : 높다(4kg 이상)	**●작업시 어려운 동작으로 작업하는가 ?** f1 : 없음 f2 : 가끔씩 f3 : 계속적으로
	●작업에 익숙해지는데 어려움이 있는가 ? g1 : 없다. g2 : 약간 어렵다 g3 : 중간 정도는 어렵다 g4 : 매우 어렵다

부록 D. NIOSH 체크리스트(문진표)

질문) 증상이 있었던 부위에 O표 하시고, 아래의 문항에 각 부위별로 답해주시기 바랍니다.

	목 부위	어깨 부위	팔/팔꿈치	손/손목	손가락
1. 평소에 통증, 쑤심, 저림 등의 증상을 느낀 적이 있습니까?	오른쪽 □ 왼쪽 □ 양쪽 모두 □	오른쪽 □ 왼쪽 □ 양쪽 모두 □	오른쪽 □ 왼쪽 □ 양쪽 모두 □	오른쪽 □ 왼쪽 □ 양쪽 모두 □	오른쪽 □ 왼쪽 □ 양쪽 모두 □
2. 몇 년전부터 이러한 증상을 느끼셨습니까?	년 개월 전부터	년 개월 전부터	년 개월 전부터	년 개월 전부터	년 개월 전부터
3. 이러한 증상은 보통 얼마나 지속됩니까?	1시간 이내 □ 1시간 – 24시간 □ 24시간 – 1주 □ 1주 – 1달 □ 1달 – 6개월 □ 6개월 이상 □	1시간 이내 □ 1시간 – 24시간 □ 24시간 – 1주 □ 1주 – 1달 □ 1달 – 6개월 □ 6개월 이상 □	1시간 이내 □ 1시간 – 24시간 □ 24시간 – 1주 □ 1주 – 1달 □ 1달 – 6개월 □ 6개월 이상 □	1시간 이내 □ 1시간 – 24시간 □ 24시간 – 1주 □ 1주 – 1달 □ 1달 – 6개월 □ 6개월 이상 □	1시간 이내 □ 1시간 – 24시간 □ 24시간 – 1주 □ 1주 – 1달 □ 1달 – 6개월 □ 6개월 이상 □
4. 이러한 증상이 얼마나 자주 발생합니까?	항상 □ 매일 몇시간 □ 일주일에 한 번 □ 한달에 한 번 □ 2-3개월에 한 번 □ 3개월 이상에 한 번□	항상 □ 매일 몇시간 □ 일주일에 한 번 □ 한달에 한 번 □ 2-3개월에 한 번 □ 3개월 이상에 한 번□	항상 □ 매일 몇시간 □ 일주일에 한 번 □ 한달에 한 번 □ 2-3개월에 한 번 □ 3개월 이상에 한 번□	항상 □ 매일 몇시간 □ 일주일에 한 번 □ 한달에 한 번 □ 2-3개월에 한 번 □ 3개월 이상에 한 번□	항상 □ 매일 몇시간 □ 일주일에 한 번 □ 한달에 한 번 □ 2-3개월에 한 번 □ 3개월 이상에 한 번□
5. 증상의 원인이 무엇이라고 생각하십니까?	업무, 작업 □ 질병, 외상 □ 집안일 □ 취미, 운동 □ 기타 ——— □	업무, 작업 □ 질병, 외상 □ 집안일 □ 취미, 운동 □ 기타 ——— □	업무, 작업 □ 질병, 외상 □ 집안일 □ 취미, 운동 □ 기타 ——— □	업무, 작업 □ 질병, 외상 □ 집안일 □ 취미, 운동 □ 기타 ——— □	업무, 작업 □ 질병, 외상 □ 집안일 □ 취미, 운동 □ 기타 ——— □
6. 지난 일주일 동안 증상이 나타난 적이 있습니까?	아니오 □ 예 □	아니오 □ 예 □	아니오 □ 예 □	아니오 □ 예 □	아니오 □ 예 □
7. 0-4까지 점수를 매긴다면 현재 증상은 어느정도에 해당된다고 생각하십니까?	(예) 불편하지 않다. (0점)	약간 불편하다. (1점)	불편하다. (2점)	매우 불편하다. (3점)	참을 수 없을 정도로 불편하다. (4점)
	( ) 점	( ) 점	( ) 점	( ) 점	( ) 점
8. 이러한 증상 때문에 병원에서 치료받은 적이 있습니까?	아니오 □ 예 □	아니오 □ 예 □	아니오 □ 예 □	아니오 □ 예 □	아니오 □ 예 □
10. 작업시 이러한 증상이 더 악화되어 나타납니까?	아니오 □ 예 □	아니오 □ 예 □	아니오 □ 예 □	아니오 □ 예 □	아니오 □ 예 □
11. 이러한 증상 때문에 일상생활에서도 장애가 있습니까?	아니오 □ 예 □	아니오 □ 예 □	아니오 □ 예 □	아니오 □ 예 □	아니오 □ 예 □
12. 이러한 증상 때문에 야간에 잠을 자다가 깬 적이 있습니까?	아니오 □ 예 □	아니오 □ 예 □	아니오 □ 예 □	아니오 □ 예 □	아니오 □ 예 □
13. 이러한 증상 때문에 결근한 적이 있습니까?	아니오 □ 예 □	아니오 □ 예 □	아니오 □ 예 □	아니오 □ 예 □	아니오 □ 예 □
14. 이러한 증상 때문에 작업을 바꾼적이 있습니까?	아니오 □ 예 □	아니오 □ 예 □	아니오 □ 예 □	아니오 □ 예 □	아니오 □ 예 □
15. 증상이 호전되기 위해서는 무엇이 필요하다고 생각하십니까?	휴식 □ 작업전환 □ 치료 □ 휴직 □ 기타( )	휴식 □ 작업전환 □ 치료 □ 휴직 □ 기타( )	휴식 □ 작업전환 □ 치료 □ 휴직 □ 기타( )	휴식 □ 작업전환 □ 치료 □ 휴직 □ 기타( )	휴식 □ 작업전환 □ 치료 □ 휴직 □ 기타( )

본 연구보고서에 기재된 내용은 연구책임자의 개인적 견해이며, 우리 공단의 공식견해가 아님을 알려드립니다.

한국산업안전공단 이사장

작업자세의 인간공학적 조사체계 및 평가방법 개발

(안전분야-보고서 연구원 2002-0-00)

발 행 일	: 2001년 12월 31일
발 행 인	: 산업안전보건연구원 원장 정 호 근
연구책임자	: 안전공학연구실 손두익, 이경용, 김대성
발 행 처	: 한국산업안전공단 산업안전보건연구원
주 소	: 인천광역시 부평구 구산동 34-4
전 화	: (032) 5100-909
F A X	: (032) 5180-867