

작업관련성 근골격계 질환 예방을 위한 인간공학적 접근

정민근[†] · 이인석^{*}

포항공과대학교 기계산업공학부 · *한경대학교 안전공학과

Ergonomic Approach for Prevention of Work-related Musculoskeletal Disorders

Min Keun Chung[†] · Inseok Lee^{*}

Division of Mechanical and Industrial Engineering, Pohang University of Science and Engineering

^{*}Department of Safety Engineering, Hankyong National University

Abstract : In recent years, work-related musculoskeletal disorders (WMSDs) are one of major issues in occupational safety and health in Korea, since the number of injured workers has rapidly increased and the related regulation was amended to improve the work conditions. Main risk factors of WMSDs in Korean industries include manual handling of heavy weight loads, awkward postures, repetitive tasks, prolonged static muscle contraction, and so on. In this article, some ergonomics case studies for identifying the risk factors of WMSDs and for their prevention were introduced. They include a biomechanical analysis for the heavy-weight handling task in a machine-repair shop, physiological evaluation of backpack-carrying tasks in a beverage delivery job, and a set of psychophysical studies to evaluate static-postural load. These studies showed that there are several different ergonomic approaches to identifying and evaluating risk factors of WMSDs and to eliminating them or reducing their levels, and that it is important to select proper methods and apply them in improving the work conditions according to the characteristics of the task. In addition, it needs to develop practical and effective ergonomic tools to prevent WMSDs and to provide these tools to the safety managers in the field so that they can improve the tasks by themselves.

1. 작업관련성 근골격계 질환

근골격계 질환은 관절 부위의 근육, 건, 인대 등의 미세 섬유질에 발생한 손상으로 인해 불편함, 통증, 상해 등을 유발하는 증상을 통칭하며, 작업에 의해 이러한 증상이 유발되거나 기존의 증상이 악화된 경우를 작업관련성 근골격계 질환(work-related musculoskeletal disorders: WMSDs)이라고 일컫는다¹⁻³⁾. 이러한 정의에 속하는 질환들은 발병원인, 발병 신체부위, 증상의 특징, 관련 직업 등이 다양하며, 크게는 요통(low back disorders)과 상지(upper extremities)

부위에 관련된 누적성 외상질환(cumulative trauma disorders; CTDs)을 들 수 있다. 상지부위의 근골격계 질환은 명칭도 다양하여 누적성 외상질환(cumulative trauma disorders: CTDs), 반복긴장상해(repetitive strain injury: RSI), 경견완(頸肩腕) 장애(cervico-brachial disorders), 상지질환(upper limb disorders: ULDs), 건초염(tenosynovitis), VDT 증후군, 테니스 엘보우 등이 있다. 여러 명칭 중 누적성 외상질환은 이 질환의 발병 특징을 잘 반영하고 있다. 이 명칭에 의하면 이 질환은 관절 주위의 미세 섬유질이 기계적 부하로 인해 외상(trauma) 혹은 상해를 입는 것이며, 순간적으로 발병하는 것이 아니라 수 개월 혹은 수 년에 걸친 장시간 동안 신체가 반복적인 작업할

[†]To whom correspondence should be addressed.
mke@postech.ac.kr

동에 노출되어 누적된 부하로 인해 점차 발병하게 되는 것을 의미하고 있다.

작업관련성 근골격계 질환은 자각 증상 이외에 외적인 징후가 나타나지 않을 수도 있으며, 점차 증상이 심해지는 것을 느끼는 경우도 있지만, 갑자기 심한 증상을 자각하여 고통을 호소하는 경우도 있다. 이 질환은 Table 1과 같은 단계에 따라 증상이 나타나는 것으로 알려져 있다. 증상의 초기 단계에는 인간공학적 접근을 통해 증상을 유발한 원인을 제거하는 것으로 증상을 완화시킬 수 있지만, 단계가 진행될수록 적절한 치료 과정을 필요로 하게 된다^{2,4)}.

작업관련성 근골격계 질환은 작업 특성에 따라 다양한 신체 부위에서 발생하지만, 주로 발생하는 신체부위는 손, 손목, 팔목, 어깨, 목, 허리 등이다. 이 질환을 명칭 중 경견완 장애, 상지질환 등은 질환이 상지에서 주로 발병하는 것을 반영한 것이다.

작업관련성 근골격계 질환은 다양한 위험 요인에 의해 발생하는 것으로 알려져 있다. 위험 요인(risk factors)은 크게 작업 요인, 개인적 요인, 사회심리적 요인으로 구분된다(Fig. 1). 작업 요인은 중량물 취급, 부적절한 작업 자세, 반복적인 작업, 무리한 근력의 동원, 정적인 근력의 장시간 동원, 진동, 저온 작업장, 날카로운 면 혹은 차가운 면과의 접촉, 휴식시간의 부족 등이다. 개인적 요인은 연령, 신체 조건, 성별, 과거 병력, 작업 경력, 작업 습관, 운동 및 취미 활동 등이다. 그리고 사회심리적 요인은 작업 만족도, 근무 조건 만족도, 작업의 자율적 조절과 관련된 요소, 상사 및 동료들과의 인간 관계, 업무적 스트레스 등이 있다. 이 중 작업 요인이 가장 중요한 근골격계 질환의 위험 요인으로 보고되고 있으며, 질환 발병을 예방하기 위해서 직접적으로 인간공학적인 접근을 통해 개선을 할 수 있는 주 대상이 된다^{2,3,5)}.

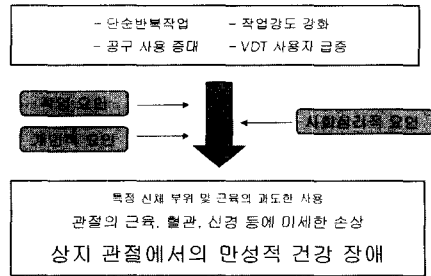


Fig. 1. 작업관련성 근골격계 질환의 발생 체계

2. 작업관련 근골격계 질환의 발생 현황

작업관련 근골격계 질환은 다양한 직업에서 발병 가능성이 높으며, 이로 인한 산업재해 보상비와 생산성 감소 등의 경제적 손실이 매우 크고, 이러한 질환에 노출된 작업자와 가족은 물질적, 정신적 고통을 겪게 된다. 경제개발 선진국의 경우에 근골격계 질환은 단기적 혹은 장기적 작업 활동 장애의 주요 원인이 되고 있으며, GDP의 약 5%에 이르는 경제적 손실을 유발하는 것으로 보고되고 있다⁶⁾. 미국의 경우에는 매년 전체 노동력의 약 2%가 근골격계 질환을 앓고 있으며, 이로 인한 재해 보상비용이 전체 산업 재해 보상비용의 약 1/3에 이르는 것으로 보고되고 있다⁷⁾.

우리나라에서는 현재 작업관련 근골격계 질환과 관련하여 경제적 손실에 대한 정확한 통계가 상대적으로 부족한 상황이지만, 보건복지부에 의하면, 요통, 좌골통 및 디스크에 의한 연간 생산성 손실액이 약 1조 3천억원으로 GDP의 약 0.3%에 이르는 것으로 추정되었다⁸⁾. 이는 각종 질병에 의한 연간 생산성 손실 추정액 약 7조 6천억원의 약 17%로, 다른 질병에 비해 가장 높은 비율을 보이고 있다. 또한, 진폐, 난청 등과 같은 직업병(occupational injuries)은 최근 꾸준히 감소하는 경향을 보이고 있으나, 요통 및 경견완장애를 포함하는 작업관련 근골격계 질환은 상대적으로 꾸준히 증가하고 있는 것으로 나타났다⁹⁾. 근골격계 질환자는 1996년에 506명이었다가 국내 경제 상황의 악화 시기인 1997년~1999년에는 오히려 감소하는 경향을 보였으나, 2002년에는 1,827명으로 6년 사이에 4배 가량 증가하는 높은 증가율을 보이고 있다(Fig. 2). 이는 이 기간 동안에 갑자기 근골격계 질환자가 증가하였다기 보다는, 근골격계 질환에 대한 사회적인 인식의 변화와 산업재해 보상법의 개정으로 인하여 잠재적으로 누적되어온 질환자들에게 대한 자료가 표면적으로 드러난 결과라 할 수 있다.

Table 1. 작업관련성 근골격계 질환의 증상 단계별 특징

| 단계 | 증상 및 특징 |
|----|---|
| 1 | <ul style="list-style-type: none"> - 작업 중에 통증과 피로 자각 - 일과 후 수면 혹은 휴식으로 증상 해소 - 작업 수행 능력의 변화 없음 - 수주~수개월간 지속 |
| 2 | <ul style="list-style-type: none"> - 작업 시작 후 곧 증상 자각 - 일과 후 수면을 통해 증상 미해소 - 반복적인 작업의 수행 능력 저하 - 수개월간 지속 |
| 3 | <ul style="list-style-type: none"> - 휴식 시간, 비반복 작업 중 증상 자각 - 수면 방해 - 가벼운 작업에서도 수행 능력 저하 - 수개월~수년간 지속 |

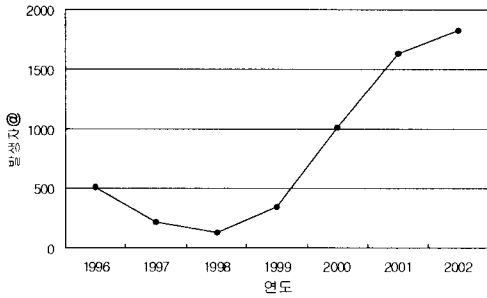


Fig. 2. 우리나라의 연도별 근골격계 질환 발생 추이

3. 국내 산업체의 근골격계 질환 위험 요인

작업관련 근골격계 질환은 특정 업종에서 제한적으로 발생하기 보다는 대부분의 작업 현장에서 발생하고 있다. 특히, 근골격계 질환의 주요 위험 요인인 부적절한 작업자세, 정적이며 장시간 작업, 반복적인 작업, 그리고 중량물 취급 및 근력의 동원이 요구되는 작업들을 동반하는 직종의 경우에 질환자 발생 가능성이 크다. 이러한 작업 특성을 보이고 있는 대표적인 작업으로는 자동차 조립 작업, 조선 및 철강 작업, 전자 제품 조립 작업, 농작업, 유통업 등이 있다.

자동차 조립 작업에서는 손목, 어깨, 목에서 근골격계 질환자가 많이 발생하는 것으로 보고 되고 있으며, 자동차 조립작업의 부적절한 허리의 자세가 요통 유발의 원인이 되고 있는 것으로 보고되고 있다(Fig. 3). 자동차 조립작업에서의 작업자세는 몇 가지 특성이 있다. 1) 자동차 조립 작업은 작업 대상 차량의 위치를 변동하는 것이 거의 불가능하며, 작업 차량이 일정한 높이의 라인을 따라 이동하기 때문에 작업 내용이나 작업자의 신체 특성에 따라 작업위치를 적절한 높이로 맞추기가 어렵다. 2) 차량 실내, 차량 아래, 엔진룸 내부 등 제한된 공간에서 수행하는 작업이 많다. 이러한 제한된 공간으로 인해 작업자들은 쪼그려 앉은 자세, 몸을 앞으로 많이 굽히거나, 옆으로 튼 자세 등 부적절한 자세를 많이 취하게 된다. 3) 공압 툴을 이용하여 볼트를 체결하는 작업이 많다. 공압 툴은 무게는 5kg 이내로 무겁지 않은 것이 일반적이지만, 팔을 어깨 높이 이상으로 올려 작업을 해야 하는 경우가 많기 때문에 손목과 어깨에 부하가 많이 걸리는 특성이 있다. 그리고 공압 툴의 사용은 국부 진동을 일으켜 손목에서의 질환 유발의 원인이 된다. 4) 반복적으로 같은 작업을 수행해야 한다. 조립 라인의 작업자들은 주어진 시간 내에 작업을 반복적으로 수행한다. Pitch time 이 1분일 경우를 가정하면 한 작업자는 하루에 같은

작업을 500회 이상 수행하게 되며, 현실적으로 1일 10시간 이상의 작업시간을 감안하면 더 많은 작업 횟수 동안 작업을 해야 한다¹⁰⁾.

철강 및 조선업에서는 중량물을 취급하는 것이 요통 발생의 주요 원인이 된다. 그러나, 중량물 취급 이외에도 Fig. 4에서 나타난 바와 같이 쪼그려 앉기와 같은 부적절한 자세를 장시간 취해야 하는 작업 특성이 근골격계 질환의 주요 위험 요인이 된다. 이들 작업에서도 작업 대상물을 작업자에게 맞추기가



Fig. 3. 자동차 조립공정에서의 부적절한 작업자세 예



Fig. 4. 철강업 및 조선업에서의 부적절한 작업자세 예



Fig. 5. 비닐하우스 작업에서의 부적절한 작업자세 예

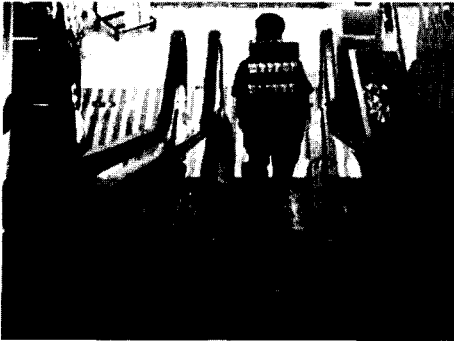


Fig. 6. 유통업에서의 중량물 취급작업의 예

현실적으로 어렵기 때문에 작업자가 쪼그려 앉거나, 팔을 높이 들거나, 허리와 목을 굽히고 옆으로 비틀어야 하는 등의 자세를 취한 채 용접, 사상 등의 작업을 하게 된다. 이러한 작업은 수십 분 동안 지속적으로 이루어 지는 경우가 많기 때문에 근골격계에 나쁜 영향을 미치게 된다^{11,12)}.

우리나라에서의 농업은 전통적으로 수작업에 의하여 이루어져 왔다. 최근에는 많은 작업이 기계화되었지만, 아직도 많은 작업이 Fig. 5에서 나타난 바와 같이 쪼그려 앉거나 허리를 많이 굽힌 채 이루어지고 있다. 우리나라의 농업 체제는 대규모 기업에 의한 체계가 아니라 개인 단위에 의한 소규모 체계에 의존하고 있기 때문에 작업자들이 근골격계 질환 위험 요인에 노출되는 것에 대한 구체적인 조사 및 대책이 마련되고 있지 못하다. 따라서, 농작업자의 근골격계 질환 발생에 대한 구체적인 자료는 보고되고 있지 않으나, 우리나라의 많은 농작업자들이 질환에 노출되어 있는 것으로 추정된다.

그 외에 전자제품 조립 작업에 종사하는 작업자들은 반복적인 작업으로 인해 손목, 어깨, 목 등의 부위에서 질환이 발생하는 경우가 많으며, 유통업에 종사하는 작업자들은 중량물의 취급으로 인한 요통 질환자가 많은 것으로 보고되고 있다(Fig. 6). 또한, 구체적인 조사는 이루어지고 있지 않으나, 외국의 사례에 의하면 간호사, 치과의사와 같은 의료업 종사자, 미용업 및 서비스업 종사자들도 이러한 질환에 노출되어 있는 대표적인 직종이라 할 수 있다.

4. 인간공학 응용연구

4.1. 철강업 정비 공정

철강업 정비 부서는 중량물의 취급이 많으며 다

양한 비중립적 자세를 취하는 특징이 있다. 포항지역에 소재한 철강회사에서 요통의 호소율이 상대적으로 높은 정비 부서를 대상으로 근골격계 질환의 위험 요인을 평가하고 개선안을 제시하는 연구를 수행하였다¹³⁾. 연구에 이용된 방법은 1) 작업 조건, 작업 상황, 그리고 작업자의 근골격계 질환 자각 증상을 조사하기 위한 설문 및 면담 조사, 2) 작업자의 근력 평가, 3) NIOSH 지침을 이용한 작업분석, 4) 인체역학적 분석, 5) OWAS 작업자세 분석 등이다. 연구의 결과 중 크레인 운반/조절 작업의 자세 및 분석 결과가 Fig. 7에 제시되어 있다. 크레인에 매달린 작업물의 무게는 80kg정도로, 이것을 두 사람이 짊어 운반하지만 들어올려서 작업을 하게 된다. 이때, 한 사람이 드는 무게를 40kg으로 가정하면, 허리에 걸리는 부하(L5/S1 Compressive Force)는 6566.5N으로 미국 NIOSH에서 제시한 들기작업 지침의 최대허용하중(Maximum Permissible Limit: MPL)을 넘어서 대부분의 작업자에게 위험한 작업으로 나타났다¹⁴⁾. 그리고 어깨 부위와 오른쪽 엉덩이 부위에도 큰 부하가 걸리는 것으로 나타났다. 이 작업은 긴급히 개선을 해야 할 작업으로 그림 8과 같이 허리를 편 자세로 작업을 할 수 있도록 바꾸어주면 허리에 걸리는 부하를 안전작업하중(Action Limit: AL)보다 작게 감소하는 것을 알 수 있다.

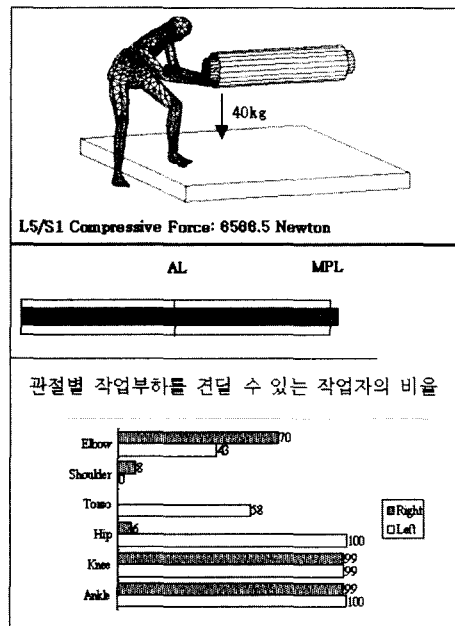


Fig. 7. 크레인 운반/조절 작업의 인체역학적 분석

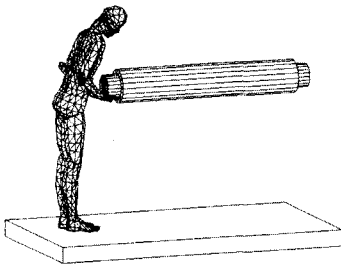


Fig. 8. 크레인 운반/조절 작업의 허리의 부하 경감 자세

4.2. 유통업 중량물 취급 작업

음료 운반 작업은 들기, 내리기, 밀기, 당기기, 나르기 등이 주로 이루어지는 전형적인 인력운반작업으로, 음료 운반 및 창고의 수하물 취급 작업자들에게 직업성 요통이 유발될 위험이 상대적으로 높다. 우리나라의 음료 운반 작업자들은 종종 음료 상자를 등에 지는 방식으로 운반작업을 수행하고 있다(Fig. 6). 이 방법은 무겁고 부피가 큰 음료 상자를 손수레와 같은 별도의 도구 없이도 상대적으로 쉽게 운반할 수 있기 때문에 좁은 길이나 계단을 이용하는 작업자들에게 선호된다. 등짐 운반은 다른 형태의 운반 방법에 비해 생리학적 혹은 인체역학적으로 유리한 점을 가지고 있다. 그러나, 우리나라의 음료 운반 작업자들은 등짐 운반 작업시 1회 평균 53.4 kg의 하중을 지고 나르는 것으로 나타나고 있어¹⁵⁾, 이러한 조건이 작업자들에 적절한 작업부하인지에 대한 연구가 필요하다.

등짐작업의 하중(40kg, 60kg)과 운반경로 (평지, 계단오르기, 계단내려가기)에 따라 등짐작업에서의 생리학적 부하를 심박수와 산소소비량을 측정해 평가하는 연구를 수행하였다¹⁶⁾. Fig. 9는 운반 횟수에 따른 평균 심박수를 도식화한 것으로, 60kg 조건과 계단 운반 조건에서는 모두 150bpm 이상으로 증가하고 있어 극도로 힘든 작업 (extremely heavy work)으로 분류할 수 있다. 연구 결과를 바탕으로 현재 등짐작업에서 취급되는 평균 중량이 생리적으로 매우 높은 부하량을 요구하는 것으로 나타났으며, 계단이 있는 경로에서 등짐 운반을 하는 경우에는 계단으로 인한 생리적 부하량 증가를 고려하여 1회 운반 하중을 더 낮출 필요가 있는 것으로 나타났다. 그리고, 이 연구에서는 휴식 없이 연속해서 운반하는 것을 지양하고 2-3회 운반 후에는 적절히 휴식을 취할 것을 권고하고 있다.

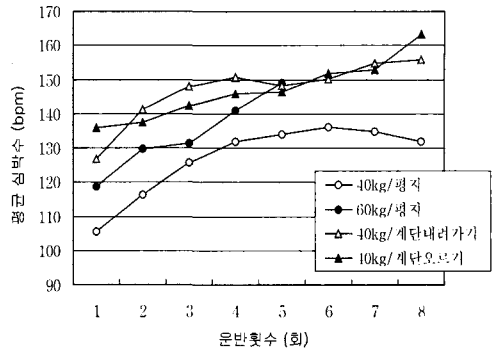


Fig. 9. 운반횟수에 따른 평균 심박수.

4.3. 심물리학적 작업자세 평가

비중립적인 자세로 인한 작업자세의 부하는 중량물을 취급하지 않더라도 근골격계 질환을 유발할 수 있는 원인으로 추정된다. 하중의 취급과 관계 없이 작업자세의 정적인 유지로 인한 부하의 크기에 대한 상대적 비교는 인체역학적 분석 이외에 심물리학적 평가 기법을 이용한 분석이 많이 이용된다^{17,18)}. 이인석과 정민근¹¹⁾의 연구에서는 조선업, 철강업, 농작업 등 다양한 산업 현장에서 작업자들이 취하는 쪼그려 앉은 작업자세의 부하에 대하여 받침대 높이와 지속시간의 영향을 심물리학적 방법을 통하여 평가하였다. 이 연구에서는 받침대 높이에 따라 부하가 달라지며, 자세의 지속시간에 대한 작업지침이 필요함을 보였다. Chung et al.¹⁹⁾은 다양한 하지의 정적 자세의 부하를 심물리학적으로 평가하여 자세간의 상대적 부하를 비교할 수 있는 분류 체계를 제시하고 있다(Table 2). 이인석 등²⁰⁾은 복합적인 몸통자세의 부하를 심물리학적 방법을 통해 평가하여, 허리 자세의 부하를 평가할 수 있는 체계를 제시하였다(Fig. 10). 이러한 일련의 연구는 전신의 작업자세 부하를 평가할 수 있는 실용적이며 타당한 기법을 개발하기 위한 것이다^{21,22)}. Fig. 11은 관찰기법을 기반으로 한 작업자세 부하 평가 시스템으로서 작업자세의 기록과 분석을 지원할 목적으로 개발된 소프트웨어이다.

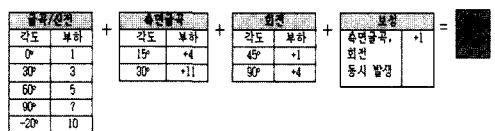


Fig. 10. 몸통 자세의 부하 평가 체계

Table 2. 하지 자세의 분류 체계 및 상대적 부하 수준 정의

| Category | Sub-category | mean discomfort rating | Discomfort score |
|---------------------|-------------------------|------------------------|------------------|
| Standing | | 11.84 | 2 |
| | Imbalanced standing | 22.99 | 4 |
| | Wide feet position | 17.49 | 3 |
| | Tiptoe | 29.12 | 5 |
| | Leaning | 8.83 | 1 |
| Knee-flexed posture | Mild knee flexion | 25.37 | 4 |
| | Severe knee flexion | 43.87 | 7 |
| | Imbalanced knee flexion | 31.51 | 5 |
| Squatting | | 36.11 | 6 |
| | Imbalanced squatting | 42.69 | 7 |
| Sitting | | 6.42 | 1 |
| | Sitting on the floor | 10.98 | 2 |
| Kneeling | | 23.33 | 4 |
| | Improper kneeling | 38.04 | 6 |
| One-foot | | 28.96 | 5 |
| | One-foot knee-flexed | 44.29 | 7 |

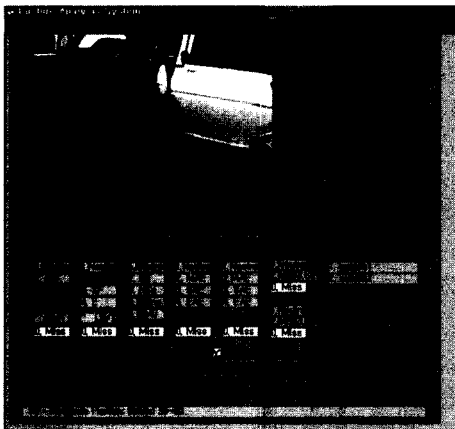


Fig. 11. 작업자 자세 부하 평가 시스템.

5. 결론

최근 국내에서 사회적 관심의 대상이 되고 있는 작업관련성 근골격계 질환의 위험 요인은 작업요인, 개인적 요인, 사회심리적 요인 등으로 분류될 수 있으며, 이 중 특히 작업 요인에 대한 요인의 확인 및 평가, 그리고 개선을 목적으로 한 인간공학적 접근이 요구된다. 국내의 많은 산업현장에서는 작업자들이 중량물 취급, 부적절한 작업자세, 반복 작업, 정적인 근력의 지속적 동원 등의 주요 작업 요인에 노출되어 있는 것으로 보고되고 있다.

인간공학적 응용 연구 사례로서 정비부서에서의 작업의 위험 요인 평가와 개선 사례, 음료 운반 작업

의 생리적 부하 평가, 중량물 취급이 적은 작업자세 부하 평가를 위한 심물리학적 연구 등을 요약적으로 소개하였다. 이와 같이 근골격계 질환의 위험 요인에 대해 공학적으로 접근하는데 있어서는 작업의 성격에 따라 매우 다양한 방법을 선택하는 것이 필요하다. 즉, 작업의 특성에 따라 인체역학적 분석과 작업생리학적 분석은 물론 작업자세에 의한 부하와 근골격계 질환의 상관 관계를 평가하는 연구가 선행되어야 할 것이다. 이러한 작업자세에 대한 정량적 평가는 상지에 대한 근골격계 질환과 관련해서는 많은 연구결과가 나와 있으나 하지(lower extremity)나 전신(whole body) 자세에 대한 연구는 아직 미개척 분야로서 우리나라의 자체 수요를 고려할 때 우리나라에서 선도해야 할 연구 분야이다. 또한, 산업현장에서 안전관리자들이 직접 현장의 위험 요인을 평가하여 작업을 개선할 수 있도록 지원할 수 있는 실용적이며 효과적인 평가기법의 개발 및 보급이 필요하다.

참고문헌

- 1) V. Putz-Anderson, (Ed.), Cumulative trauma disorders: A manual for musculoskeletal diseases of the upper limbs, Taylor & Francis, London and New York, 1988.
- 2) K. H. E. Kroemer, "Cumulative trauma disorders: Their recognition and ergonomics measures to avoid them," Applied Ergonomics, Vol. 20, No. 4, pp. 274~280, 1989.
- 3) M. Hagberg, B. Siverstein, R. Wells, M. J. Smith, H. W. Hendrick, P. Carayon, M. Perusse, I. Kuorinka, and L. Forcier (Eds), Work-related musculoskeletal disorders (WMSDs): A reference book for prevention, London: Taylor & Francis, 1995.
- 4) D. S. Chatterjee, "Repetition strain injury - a recent review," Journal of society of occupational medicine, Vol. 37, pp. 100~105, 1987.
- 5) S. Kumar, "Theories of musculoskeletal injury causation," Ergonomics, Vol. 44, No. 1, pp. 17~47, 2001.
- 6) World Health Organization (WHO), Health and environment in sustainable development: Five years after the earth summit, Geneva: WHO, 1997.

- 7) J. Faucett, M. Garry, D. Nadler and D. Ettare, "A test of two training interventions to prevent work-related musculoskeletal disorders of the upper extremity," *Applied Ergonomics*, Vol. 33, pp. 337~347, 2002.
- 8) 보건복지부, 한국보건사회연구원98 국민건강<<영양조사-총괄보고서, 위탁 연구보고서 99-33-1, 1999.
- 9) 한국산업안전공단, KOSHA NET (<http://www.kosha.net/>), 2003.
- 10) M. K. Chung, I. Lee Y. S. Yeo, "Physiological workload evaluation of screw driving tasks in automobile assembly jobs," *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 28, pp. 181~188, 2001.
- 11) 이인석, 정민근, "쪼그려 앉은 작업자세에서의 작업부하 평가," *대한산업공학회지*, Vol. 24, No. 2, pp. 167~173.
- 12) M. K. Chung, I. Lee and D. Kee, "Assessment of postural load for varying lower limb postures based on perceived discomfort," *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 31, No. 1, pp. 17~32, 2003.
- 13) 정민근, 최경임, 송영웅, 이인석, 이명수, 임종호, "정비작업에 대한 인체역학적 부하 및 작업자세 평가," *대한인간공학회지*, Vol. 16, No. 3, pp. 49~60, 1997.
- 14) T. R. Waters, V. Putz-Anderson, A. Garg and L. J. Fine, "Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks," *Ergonomics*, Vol. 36, No. 7, pp.749~776, 1993.
- 15) 정민근, 이관석, 한정수, 요통재해 예방을 위한 안전작업 설계기술 개발, KOSEF Research Report (95-0200-08-01-3), 한국과학재단, 1998.
- 16) 정민근, 이유정, 이인석, "음료운반 등짐 작업의 생리적 작업부하 평가," *대한산업공학회지*, Vol. 26, No. 2, pp. 110~116, 2000.
- 17) A.M. Genaidy, H. Barkawi and D. Christensen, "Ranking of static non-neutral postures around the joints of the upper extremity and the spine," *Ergonomics*, Vol. 38, No. 9, pp. 1851~1858, 1995.
- 18) D. Kee and W. Karwowski, "LUBA: an assessment technique for postural loading on the upper body based on joint motion discomfort and maximum holding time," *Applied Ergonomics*, Vol. 32, pp. 357~366, 2001.
- 19) M.K. Chung, I. Lee and D. Kee, "Assessment of postural load for varying lower limb postures based on perceived discomfort," *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 31, No. 1, pp. 17~32, 2003.
- 20) 이인석, 류형곤, 정민근, 기도형, "복합적인 몸통 자세의 심물리학적 불편도 평가," *대한산업공학회지*, Vol. 27, No. 4, pp.413~423, 2001.
- 21) M. K. Chung, I. Lee, D. Kee and S. H. Kim, "A postural workload evaluation system based on a macro-postural classification," *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, Vol. 12, No. 3, pp. 267~277, 2002.
- 22) I. Lee, Psychophysical evaluation of whole-body postural stresses based on discomfort for body joint motions, Dissertation, Pohang University of Science and Technology, Korea, 2002.