

근골격계 부하 평가를 위한 2차원 자세 측정 시스템 개발*

박성준** · 박재규*** · 최재호****

Development of a 2D Posture Measurement System to Evaluate Musculoskeletal Workload

Sungjoon Park **, Jaekyu Park ***, Jaeho Choe ****

ABSTRACT

A two-dimensional posture measurement system was developed to evaluate the risks of work-related musculoskeletal disorders(MSDs) easily on various conditions of work. The posture measurement system is an essential tool to analyze the workload for preventing work-related musculoskeletal disorders. Although several posture measurement systems have been developed for workload assessment, some restrictions in industry still exist because of its difficulty on measuring work postures. In this study, an image recognition algorithm was developed based on a neural network method to measure work posture. Each joint angle of human body was automatically measured from the recognized images through the algorithm, and the measurement system makes it possible to evaluate the risks of work-related musculoskeletal disorders easily on various working conditions. The validation test on upper body postures was carried out to examine the accuracy of the measured joint angle data from the system, and the results showed good measuring performance for each joint angle. The differences between the joint angles measured directly and the angles measured by posture measurement software were not statistically significant. It is expected that the result help to properly estimate physical workload and can be used as a postural analysis system to evaluate the risk of work-related musculoskeletal disorders in industry.

Keyword: Posture measurement system, Image recognition, MSDs, Neural network

1. 서 론

새로운 산업 구조와 변화된 작업 환경으로 인하여 최근 급증하고 있는 작업관련 질환(work-related diseases) 중의 하나가 직업성 근골격계질환이다. 근골격계질환이란 생산기술 및 관리방식의 발달 과정에서 발생하는 불편하거나 바람직하지 못한 작업조건들과 과도한 노동 강도가 장기간에 걸쳐 신체의 특정 부위에 반복 누적되어 나타나는 근골격계 부

위의 이상증상을 총칭하는 말이다(김철홍, 2001).

미국의 노동부 산하 노동 통계청의 1992년부터 2002년까지의 근골격계질환 현황에 대한 보고에 의하면 산업재해의 수는 점차 줄어드는 추세이지만 산업재해에서 근골격계질환이 차지하는 비율은 약 34%로 지속적으로 비슷한 수준을 이루고 있다(The Bureau of Labor Statistics, 2004). 우리나라의 경우에 있어서도 직업성 근골격계질환은 1993년에 공식적으로 집계된 이후부터 그 숫자가 매년 증가하는 추세로서 전체 직업병 환자 중 차지하는 비율이 점차 높아지고

*본 논문은 2005 한국 학술진흥재단 지역대학우수과학자 지원 사업에 의하여 연구되었음.

남서울대학교 산업정보시스템공학과, *고려대학교 산업시스템정보공학과 대학원, ****대진대학교 산업시스템공학과
교신저자: 박성준

주 소: 330-707 충남 천안시 성환읍 매주리 21번지, 전화: 041-580-2204, E-mail: sjpark@nsu.ac.kr

있다(노동부, 2001).

또한 근골격계질환의 증가로 인해 1999년 344명이던 근골격계질환자수는 2003년 4,432명으로 급증하였으며 이에 따른 산재보험료 인상 및 근로손실 등의 근골격계질환을 포함한 전체 산업재해로 인한 경제적 직접손실액(산재보상금지급액)은 2.4조원으로, 직·간접손실을 포함한 경제적 손실 추정액은 12.4조원으로 전년대비 22.84%가 증가하였으며, 근로손실일수는 약 6천만일로 전년대비 9.49%가 증가한 것으로 나타났다(노동부, 2004). 특히, 김유창 등(2002)의 연구에 의하면, 2004년의 근골격계질환에 의한 경제적 손실액은 7.1억원에 달하는 것으로 예상하고 있어 기업의 경영상의 어려움을 가중시키고 있는 실정이다.

이러한 근골격계질환의 원인은 부적절한 자세, 인력물자 취급, 작업 강도, 정적 부하, 반복 작업 등으로 알려져 있으며(Kilbom, 1994), 지속적인 불안정한 자세를 취할 경우 그 빈도가 증가하는 것으로 알려져 있다. 근골격계질환과 부적절한 작업 자세와의 상관관계는 이미 많은 연구 결과에서 보고되어 왔으며(Van Wely, 1970; Grandjean and Hünting, 1977; Westgaard and Aarås, 1984; Armstrong, 1986; Purz-Anderson, Vern, 1988; Armstrong et al., 1993; Bernard, 1997), 부적절한 작업 자세로 인한 근골격계질환을 예방하고, 작업의 생산성을 높이기 위해 작업 자세로 인한 작업 부하에 대한 정량적 연구가 수행되어 왔다(기도형, 2002; 이인석 등, 2002).

작업 자세와 근골격계질환의 위험도 평가를 위해서는 자세 부하 측정이 요구된다. 작업 자세 부하를 측정하는 방법으로는 설문지를 이용하는 자기 보고법(Andrews et al., 1997; Baty et al., 1986; Burdorf et al., 1991; Wiktorin et al., 1993), 육안으로 자세를 관측하고 자세 분류 체계로 자세를 기록하는 직접 관측법 혹은 Video tape를 이용한 간접 관측법(Corlett et al., 1979; Keyserling, 1986; McAtamney et al., 1993), Inclinator, EMG, Electrogoniometer, Electromagnetic device 등의 기기를 이용한 직접 측정법(Baty et al., 1986; Wiktorin et al., 1993; Marras et al., 1993) 등이 있다. 이러한 방법들에 있어 각 연구의 적절한 기법 선택은 데이터의 정확성과 자료의 유효성에 따라 달라진다(Kilbom, 1994).

근골격계질환 발생을 예방하기 위해 근골격계 부담 작업의 유해요인을 정량 정성적으로 평가하여 제거하거나 감소시키기 위해서는 유해요인분석의 절차를 수행하게 된다. 이러한 유해요인분석을 하는 단계에 있어 정밀조사의 단계는 인간공학적 평가방법을 통해 유해도 평가를 하게 된다. 특히 관측법에 있어서 작업자 및 작업 공정에 대한 인간공학적 유해요인평가 도구로서 OWAS(Karhu et al., 1977), RULA(McAtamney and Corlett, 1993), QEC(Li and Buckle,

1998), REBA(Hignett and McAtamney, 2000) 등이 있다. 이러한 평가 기법들은 외부하중과 작업 자세에 의한 작업자의 자세 부하를 평가하는 도구들이다.

이처럼 근골격계질환 예방을 위한 작업 분석 평가 기법에 관한 연구는 많이 진행되어 왔으나 분석을 위한 평가 기법에 만 초점이 맞추어져 분석에 필요한 데이터를 얻기 위한 반복적인 측정에 시간과 노력이 많이 소모되는 어려움이 있다. 특히 인간공학 또는 산업의학 전문가를 확보하기 어려운 중소 산업현장에서의 예방 활동을 위해서는 손쉽게 각종 분석 기법을 적용할 수 있는 도구의 보급이 필요하다. 현재 작업자의 위험도를 측정하기 위한 평가 기법은 WinOWAS(Tampere University of Technology, 1996), ErgoMaster(NexGen Ergonomics, 1997) 등과 같은 프로그램이 개발되어 상용화되어 있다. 그러나 이와 같은 소프트웨어 역시 분석 기법을 전산화하였을 뿐, 여전히 직접 측정 혹은 사진, 동영상 등을 통해 각각의 관절에 대한 각도값을 얻어내야 하기 때문에 여러 공정을 분석하기 위해서는 데이터를 수집하는데 많은 시간과 노력이 요구되는 어려움이 있다.

본 연구에서는 작업자의 자세나 동작에 대해 영상 인식 알고리즘을 적용하여 2차원 상에서 관절 각도를 추출을 용이하게 함으로써 손쉽게 여러 작업조건에 대한 근골격계 위험도를 분석할 수 있는 자세 측정 도구를 소프트웨어화 하였다. 이러한 시스템의 개발은 유해요인의 분석에 요구되는 데이터 추출 및 입력의 용이성을 향상시켜 근골격계 위험도 평가를 보다 쉽게 할 수 있도록 하였다. 특히 실생활에서 이용할 수 있는 범용적인 장비를 통해 작업 자세를 촬영함으로써 고가의 장비로 인한 경제성의 문제와 장비 사용을 위해 필요한 전문적인 지식이 요구되는 사용성의 문제를 해결하고자 하였다. 또한 자동으로 추출된 각 관절의 자세각에 대한 데이터를 텍스트 파일 및 Excel 파일 포맷으로 저장하여 자세 분석 기법들의 데이터로 이용할 수 있도록 하여 기존에 개발된 근골격계 부하 평가 기법들을 손쉽게 적용할 수 있도록 하였다.

2. 작업 자세 분석

현재 전산화 또는 패키지화된 자세 분석 도구에 관한 연구로는 OWAS, RULA, QEC 등과 같은 자세 부하 평가 기법을 프로그램화하는 연구와 작업자의 동작 및 자세를 측정하는 소프트웨어를 개발하는 연구 등 두 가지 방법이 주를 이루어 왔다. 자세 평가 도구를 자동적으로 분석할 수 있는 프로그램은 핀란드의 탐페레 공과대학에서 개발한 WinOWAS, NexGen Ergonomics사의 ErgoMaster, ErgoIntelligence,

미시건 대학교에서 개발한 3D SSPP 등의 다양한 프로그램이 있다. 이들 프로그램은 자세 부하 및 위험도를 평가하는 도구들의 복잡한 분석을 단순한 데이터 값의 입력과 마우스를 통한 포인팅 작업을 통해 손쉽게 분석할 수 있는 장점이 있으나, 각각의 자세 데이터를 일일이 선택 또는 입력해야 하기 때문에 데이터 분석 전에 많은 시간과 노력이 요구된다. 또한 촬영된 영상을 통해 자세 분석을 하는 동작 분석 프로그램에는 위스콘신 대학교(2001)에서 개발한 MVTA(Multimedia Video Task Analysis)와 Whitmore and Berman(1996)에 의해 개발된 PVAT(The Posture Video Analysis Tool) 등의 분석 도구들이 있다. 이와 같은 동작 분석 시스템들은 작업 자세 분석이라기보다는 동작 분석을 통한 작업 시간 및 빈도 등에 초점을 맞춰 실제적인 근골격계 부하에 대한 분석은 미비한 실정이다.

최근의 자세 측정 도구 유형으로는 동작 분석에서 많이 이용되는 자기식 또는 초음파를 이용한 장비와 전기신호를 이용한 기계식 장비 그리고, 전통적으로 많이 이용되어 온 카메라를 이용한 광학식 장비 등이 있다. 기계식과 자기식 장비는 보정 과정이 간단하고 계산량이 적을 뿐만 아니라 실시간에 모션을 생성할 수 있다. 그러나 측정과정에서 움직임이 불편하고, 각종 노이즈의 발생 및 보정 과정의 오차가 발생하는 단점이 있다.

광학식 장비는 기계식과 자기식 장비에 비해 오차의 발생이 적어 실제적인 모션을 생성할 수 있는 장점으로 인해 계산량이 많고 모션 데이터 생성에 많은 노력이 필요함에도 불구하고 선호되고 있다. 그러나 광학식 시스템은 고속, 고해상도 카메라 다수를 포함하여 영상 처리를 위한 하드웨어까지 엄청난 고가의 장비가 필요하기 때문에 사용에 대한 부담이 크다(안정현 등, 2002).

이러한 모든 장비들은 측정 장비를 통해 한번에 많은 데이터 수집을 할 수 있음으로 인하여 분석을 하고자 하는 자세를 실험자가 마틴식 인체 측정기나 Goniometer와 같은 장비를 통해 직접 하나씩 측정하던 어려움을 극복한 장점이 있다. 그러나 측정 장비의 대부분이 조작 및 분석을 위해서 전문적인 지식이 요구되므로 사용적인 측면에서 어려움이 있으며, 일부 시스템은 측정을 위해 장비의 설치 작업과 보정(Calibration) 작업을 거쳐야 하기 때문에 실험실 환경에서만 가능하여 산업현장에서의 측정을 하기에는 제한이 있다.

이에 본 연구에서는 디지털 카메라나 캠코더와 같은 우리 실생활에서 일반화 된 장비를 이용하여 자세 측정을 할 수 있도록 함으로써 장비의 경제적인 문제 및 사용성의 문제를 해결하고자 하고자 하였으며 기존의 장비들이 가지고 있던 설치 및 보정 작업으로 인한 환경적인 제약을 극복하고자 하였다.

3. 영상 인식 알고리즘

본 연구에서는 촬영된 영상 데이터로부터 자세를 측정하기 위해서 신경회로망(Neural Network)에 기반을 둔 영상 인식 알고리즘을 개발하였다. 작업자의 각 관절에 랜드마크를 부착한 후 주변 영상의 색상 데이터와 랜드마크의 색상 데이터를 구분하여 인식하도록 알고리즘을 개발함으로써 자세를 추출할 수 있도록 하였다. 촬영된 작업 자세 이미지 안에서 사용자에게 의해 지정된 랜드마크의 색상을 구분하여 찾아가는 것은 일종의 학습과정이라 할 수 있으므로 본 연구에서는 학습의 개념이 잘 표현된 신경회로망을 기반으로 영상 인식 알고리즘을 개발하였다. 신경회로망은 기본적으로 인간의 신경조직을 모델로 간단한 기능을 가지는 단위 처리기를 대규모로 연결시킨 네트워크 구조를 의미하는 것으로서 학습방법에 따라 크게 교사학습방법(Supervisor Learning Method)과 비교사학습방법(Unsupervisor Learning Method)으로 구분된다(김대수, 1992). 본 연구에서 교사학습방법의 일종인 Backpropagation Network(BPN) 방식을 적용하여 알고리즘을 개발하였다.

BPN 기법을 이용하여 랜드마크의 색상을 학습시킴으로써 주변 이미지로부터 랜드마크를 구분하도록 하였다. BPN의 대략적인 구조는 아래 그림 1과 같다.

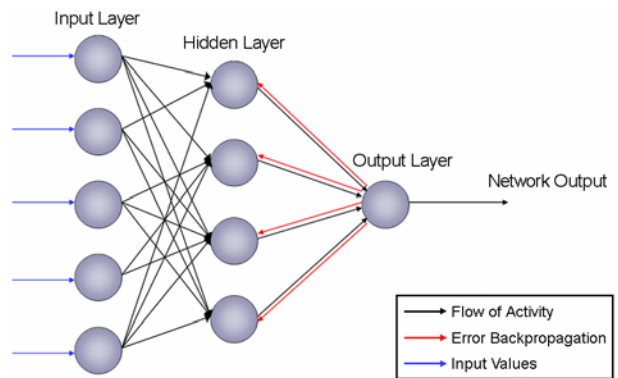


그림 1. BPN(Backpropagation Network)의 기본 구조

색상을 표현하는 Color model은 사용되는 용도에 따라 다양하다. 가장 일반적으로 사용되는 하드웨어 기준 모델들은 컬러 모니터와 많은 종류의 색채 비디오카메라를 위한 RGB(Red Green Blue) 모델, 컬러 프린터를 위한 CMY(Cyan, Magenta, Yellow) 모델, 컬러텔레비전 방송의 표준인 YIQ 모델, 이미지 처리를 위해 가장 많이 사용되는 HSI(Hue, Saturation, Intensity) 모델, HSV(Hue, Saturation, Value) 모델 등이 있다.

RGB 모델은 원색 당 하나씩 모두 3개의 독립적인 이미지 평면으로 구성되어 있으며 RGB 모니터에 보내진 이 세 이미지는 인광체 스크린에서 결합되어 복합색 이미지를 만든다. 따라서 이미지 처리를 위한 RGB 모델의 사용은 이미지 자체 값들이 3가지 색상 평면으로 자연스럽게 표현될 때 적당하다. 그러나 각각의 빨강, 녹색, 파랑의 컬러 요소들 간의 상호관계가 너무 커서 영상 처리 알고리즘에 적용하기 어려운 단점이 있다. 이를 해결하기 위해 색상, 명도, 채도를 독립적으로 처리할 수 있는 모델이 연구되었는데 그 중의 한 모델이 HSI 모델이다. HSI 모델은 색상을 나타내는 Hue 성분, 색의 채도를 나타내는 Saturation 성분, 그리고 명도를 나타내는 Intensity 성분으로 표현된다. 이 모델은 밝기 성분의 Intensity가 이미지에서 색 정보로부터 분리되어 있고, 색상(Hue)과 채도(Saturation) 성분은 사람이 색을 인지하는 방식과 같은 관계를 가지고 있는 장점이 있어 HSI 모델이 인간 시각 시스템의 색채 감지 특성에 기초한 이미지 처리 알고리즘 개발을 위한 이상적인 도구가 되게 한다(이창수, 지정규, 2002).

본 연구에서 자세 측정을 위한 랜드마크는 각 관절의 위치를 검출하기 위한 도구로서 자체의 검출력은 중요한 고려사항이다. 작업자 및 작업 환경을 촬영한 영상에 분포한 다양한 색상 속에서 랜드마크의 색상 인식을 위해 HSI 모델을 적용함으로써 색상만을 통하여 영상을 인식하는 경우(RGB 모델) 보다 인식 오류를 감소시킬 수 있었다. BPN을 이용한 영상을 인식하는 부분을 정리하면 아래의 그림 2와 같다.

아날로그 상황의 색상이 디지털화(digitalizing)되는 BPN 알고리즘의 입력값인 HSI는, 각각 색상(H)은 0~360사이의

값, 채도(S)는 0~1사이의 값, 명도(I)는 0~1사이의 값으로 표현된다. 각각의 RGB값에서의 변환식은 아래의 식 1과 같다. 여기서 H값은 신경회로망의 입력값으로 사용할 수 있도록 360으로 나누어 0~1사이의 값으로 만들어 준다(Aleksic et al., 2001). BPN의 출력값은 랜드마크 여부로 하였다.

$$\begin{aligned} Hue &= \frac{1}{2\pi} \arctan \left(\frac{2R-G-B}{\sqrt{3(G-B)}} \right) \\ Saturation &= \sqrt{R^2 + G^2 + B^2 - RG - RB - GB} \\ Intensity &= \frac{1}{3}(R+G+B) \end{aligned} \quad (1)$$

현재 대부분의 영상 인식 프로세스는 색상을 통한 관심영역이나 객체 추출 시 이를 분리하는 방법에서의 한계점이 존재하지만, 색상을 HSI의 세 가지 요인의 상호작용으로 표현할 경우 색상 이미지를 보다 잘 구분함으로써 영상 정보에서 관심영역의 분리, 검출을 보다 정확하게 할 수 있다(김태일 등, 2003).

4. 자세 측정 시스템 (Posture Measurement System)

4.1 시스템 환경 및 구성

본 연구에서 개발된 자세 측정 시스템은 Microsoft사의 Visual C++ 6.0으로 제작하였으며 시스템 개발 환경으로는 Pentium-4 2.66GHz 데스크탑 컴퓨터를 사용하였다. 데이터 생성과 변환을 위해서는 상당한 연산 시간이 소요되므로 시스템 환경으로 펜티엄 III급 이상의 CPU와 256MB 이상의 RAM을 요구된다. 자세 측정 시스템은 촬영된 영상에서 각 랜드마크를 신경회로망에 기초한 알고리즘으로부터 검출하여, 인체 측정점의 좌표를 추출하는 기능을 가지며, 크게 자세를 인식하는 영상 인식부와 측정된 영상을 가지적으로 보여주고 정량적인 분석을 할 수 있도록 하는 영상 분석 및 평가부의 두 가지 요소로 구성된다. 다음의 그림 3은 자세 측정 시스템의 구성요소에 대해 보여주고 있다.

본 측정 시스템은 인체 기준점에 랜드마크를 부착하여 영상을 촬영한 후, 영상 인식 알고리즘을 이용하여 작업자의 자세를 측정하도록 하였다. 작업 중 자세를 측정하기 위한 장비로는 디지털 카메라 또는 캠코더, 조명, 랜드마크가 있다. 자세 측정은 우선 작업자의 인체 기준점에 랜드마크를 부착하여 영상을 촬영한다. 이때, 랜드마크는 컴퓨터에서 인식의 정확도를 높이기 위하여 커져야 하나, 너무 커질 경우 관절 위치와의 오차가 발생할 수 있으므로 이를 절충하여 지름 4cm의 크기의 구형 랜드마크를 사용하였으며, 소재의 경

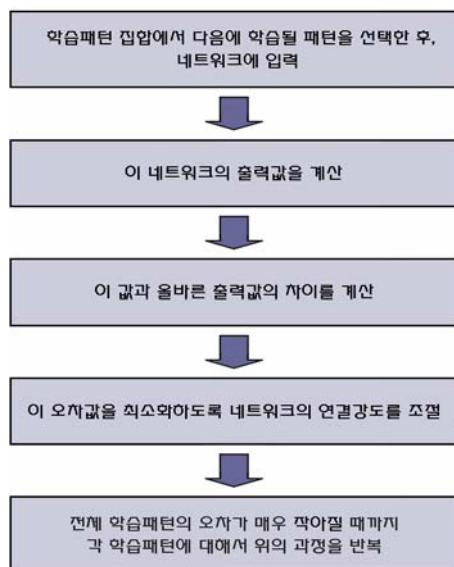


그림 2. BPN을 이용한 영상 인식 절차



그림 3. 자세 측정 시스템의 구성

우 외부의 빛으로 인한 섬광현상을 최소화하기 위해 형광이나 천의 소재와 비슷한 스폰지 재질을 사용하였다. 색상적인 측면에서는 영상 촬영을 수차례 실행한 후, 화면의 전영역의 HSI 값을 검토해 본 결과, 대부분의 영상에 있어서 진한 파란색의 HSI 값의 분포가 거의 없었기 때문에, 파란색을 랜드마크의 색깔로 선택하였다. 또한 측정 시스템은 색상의 HSI 값에 기초한 영역 및 좌표 인식을 하기 때문에, 외부 햇빛에 의한 조도의 변화로 인하여, 같은 색깔의 랜드마크를 사용하더라도, 같은 색상으로 인식하지 못하는 경우가 발생한다. 이러한 시스템의 한계점을 극복하기 위하여, 적절한 조명 수준을 확보할 수 있도록 필요한 경우 보조 조명을 활용하였다. 보조 조명은 랜드마크의 검출력을 향상시키기 위해 외부의 빛의 변화에 상관없이 일정한 조도를 유지하여야 하며 빛의 세기가 너무 강하게 되면 작업자의 시야에 눈부심이 발생하므로 500lux의 조도 수준을 지닌 삼파장 램프를 사용하였다.

디지털 카메라에 의해 촬영된 사진은 jpg 이미지 파일로 저장되며, 캠코더에 의해 촬영된 영상은 Microsoft사의 Windows Movie Maker와 같은 영상 편집 프로그램을 이용하여 일반적인 비디오 파일 형태인 Mpeg이나 Mpeg2포맷으로 변형하여 저장된다. BPN 기반의 영상 인식 알고리즘을 통하여 영상에서 학습되어진 HSI 값과 유사한 값을 가진 영역을 영상에서 찾아내고, 이렇게 추적된 영역의 중심을 계산하여, 각 랜드마크의 좌표값으로 DB에 저장한다.

자세 측정 시스템은 영상에서 인체의 각 부분에 부착되어

진 랜드마크의 좌표를 인식하고, 이를 DB에 저장하여 내부적 연산을 통해 실제 길이 및 크기로 변환시키고, 관절 각도를 계산하거나, 각 관절각의 시간대별 값을 저장하여 시간의 변화에 따른 관절각의 변화를 볼 수 있는 기능들을 가진다.

4.2 소프트웨어의 구성

4.2.1 관리 모드

첫번째 관리 모드에서는 측정할 자세에 대한 기본적인 작업명, 피실험자명, 작업 순서와 피실험자의 각종 기본적인 인체 측정치 정보 및 카메라까지의 거리 등과 같은 분석을



그림 4. 프로젝트 정보 입력

위한 정보 입력을 하게 된다(그림 4 참고).

측정 정보 입력을 모두 마치면 분석하고자 하는 사진 및 동영상을 열어 관심영역 학습 단계를 수행함으로써 좌표 인식을 위한 관심영역을 학습시킨다. 이때, 아래의 그림 5와 같이 Video Window에 있는 이미지에 관심영역과 같은 HSI 값을 갖는 부분이 짙은 회색으로 표시가 된다.



그림 5. 관심영역 기억

관심영역 학습까지 마치면, 각 관절에 대응되는 랜드마크의 위치를 마우스를 통하여 지정함으로써 각각의 신체 관절 좌표를 얻게 된다. 랜드마크의 좌표값은 인식된 영역의 중심 위치를 계산하여 자동으로 추출되도록 하였다. 그림 6은 랜드마크의 위치를 입력하는 모습을 보여주고 있다.

위의 모든 과정을 마치게 되면, 측정 시스템을 통해 얻은 각 관절의 위치 좌표값과 각도값 자료에 대한 DB를 텍스트 파일 및 Excel 파일로 저장함으로써 데이터의 관리 및 응용 프로그램으로의 적용이 용이하도록 하였다. 본 연구에서 개발한 측정 시스템의 경우 현재 2차원 측면(Sagittal Plane) 각도만을 제공하고 있으나, 3차원 측정이 가능하도록 알고리



그림 6. 랜드마크 입력

즘을 확장하는 연구가 마무리될 경우 기존의 OWAS, RULA, REBA 등의 작업 자세 분석 도구에서 필요한 정보를 제공해 줌으로써 보다 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 아래의 그림 7은 Excel 파일 형태로 저장된 데이터의 예이다.

4.2.2 모션 뷰어(Motion Viewer) 모드

모션뷰어 모드에서는 캠코더로 촬영한 동영상으로부터 추출된 작업 자세를 Stick 형태의 그래프로 단순화하여 보여 준다. 좌측에 Stick Figure Control과 우측에 Stick Figure Window가 나타난다. 추적된 좌표를 점과 선을 이용하여 동적으로 구현하려면, 우선적으로 파일열기를 선택하여 영상과 같은 이름의 DAT 파일을 선택하여 불러온다. 파일 재생 버튼을 누르게 되면 다음의 그림 8과 같이 Stick Figure가 동적으로 시간에 따라 움직여, 피실험자의 움직임의 형태를 보여주도록 하였다.

4.2.3 결과 데이터 모드

결과 데이터 모드에서는 순차적으로 각 관절각의 변화를

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	일련번호	Eye_X	Eye_Y	Shoulder_X	Shoulder_Y	Elbow_X	Elbow_Y	Wrist_X	Wrist_Y	Hip_X	Hip_Y	Knee_X	Knee_Y
2	0	324	226	202	178	140	208	190	258	128	282	146	382
3	1	324	226	202	178	140	208	190	258	128	282	146	382

	A	B	C	D	E	F	G
1	일련번호	Eye_Angle	Shoulder_Angle	Forearm_Angle	Elbow_Angle	Hip_Angle	Knee_Angle
2	0	-68	28	-64	70	134	10
3	1	-68	28	-64	70	134	10

그림 7. Excel 파일로 저장된 좌표값(상)과 각도값(하)에 대한 DB

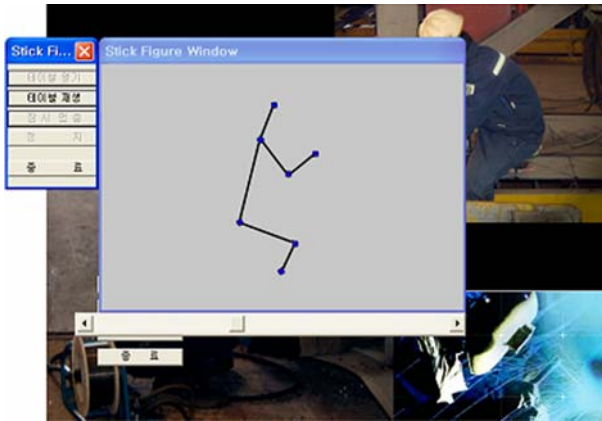


그림 8. Stick Figure Window

그래픽으로 보여주며, 이 그래픽의 데이터 값인 각 관절각의 값을 데이터 시트를 통해 확인할 수 있도록 함으로써 사용자에게 관절각의 가시적인 변화와 특정 시점의 관절각의 값을 확인할 수 있도록 하였다. 아래의 그림 9에서 보는 바와 같이 각 관절각의 변화를 시간의 흐름에 따라 좌측에서 우측으로 plotting을 해주며, 이와 동시에 하단에는 관절각의 값이 데이터 시트를 통해 보여 진다.

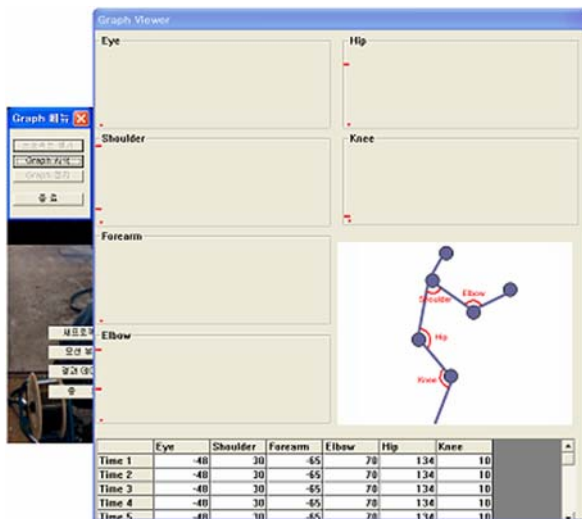


그림 9. 자세 각도 그래프

5. 시스템의 평가

5.1 실험 목적

본 연구에서 개발된 측정 시스템이 실제 산업현장에서 활

용되기 위해서는 추출된 자세 각도의 정확성이 입증되어야 한다. 본 연구에서는 시스템의 정확도를 평가하기 위하여 실측된 작업 자세와 시스템으로부터 측정된 작업 자세를 비교 평가함으로써 측정 시스템의 타당성을 검증하였다.

5.2 실험 계획

5.2.1 피실험자

지난 6개월간 근골격계질환을 경험한 일이 없는 건강한 성인 남성(나이: 36.57 ± 11.96 세, 키: 173.85 ± 6.59 cm) 14명이 피실험자로 참여하였다. 실험 참여는 피실험자들의 서면동의를 통해 이루어졌으며, 실험 대상 결정을 위한 기본 정보를 파악하기 위해 인터뷰를 통하여 조사하였다.

5.2.2 실험 장비

피실험자의 실제 각 관절별 인체 측정 데이터를 측정하기 위해 Goniometer를 사용하였으며 분석하고자 하는 피실험자의 자세를 촬영하기 위해 사진과 영상 촬영이 가능한 디지털 캠코더를 사용하였다. 또한 촬영 시 적절한 조도를 확보하기 위해 보조 조명이 이용되었고 각 관절의 인체 측정점 위치 인식을 위해 앞에서 설명한 랜드마크를 부착하였다. 촬영된 영상은 모두 jpg 포맷으로 통일하여 시스템에 입력하였다.

5.2.3 실험 절차

실험에 앞서 실험 방법과 실험 목적에 대한 설명이 이루어졌으며, 실험 참여에 동의한 피실험자에 대하여 연령, 신장 및 근골격계질환에 관한 병력에 관한 설문을 수행하였다. 일반적인 조립 작업에서 나타나는 자세 및 각종 실생활의 공구를 사용하는 자세 9가지와 공업사 등에서 자주 취하는 작업 자세 5가지 등 총 14가지 작업을 대상으로 자세를 취하게 하였다(그림 10 참고). 본 실험에 이용된 조립 작업 및 실생활에서 나타나는 9가지 자세는 상지를 중심으로 이루어지는 드릴링, 한 손 작업, 망치질 등의 팔 동작이 많은 자세를 대상으로 이루어졌으며 공업사의 5가지 자세는 절삭, 가공품을 깎는 작업, 밀링 작업 등 팔 및 어깨 동작이 함께 이루어지는 작업을 대상으로 하였다. 본 실험에서는 각각의 작업당한 장면만을 대표 자세로 선정하여 측정이 이루어졌다. 주어진 자세를 취한 후 Goniometer를 이용하여 각 관절의 각도 값을 측정하였으며, 각 관절의 인체 측정점인 어깨점, 엉덩이뼈능선점, 무릎뼈가운데점의 측면, 팔꿈치가쪽점, 손목가쪽점에 각각 랜드마크를 부착 후, 피실험자의 자세를 측정 시스템을 통해 촬영 및 분석하였다. 촬영 시에는 근접 촬영으로 인한 왜곡(Radial distortion) 현상을 막기 위하여 카메라와 피실험자와의 거리는 80cm 이상이 되도록 유지하였다.



그림 10. 자세 측정에 이용된 자세들의 예

또한 2차원 측정 시스템으로 인한 랜드마크 검출력을 높이고자 피실험자의 측면 자세와 최대한 평행을 유지하였으며 엉덩이뼈능선점을 기준으로 수평을 맞추고자 하였다.

5.3 분석 시스템의 비교 평가 결과

본 연구에서 개발한 자세 분석 소프트웨어의 정확도를 검토하기 위해 평가 실험을 한 결과, 실제 측정된 자세 각도와 소프트웨어를 통하여 자동 추출된 자세 각도에 대하여 비교해 보면 아래의 표 1과 같이 평균적으로 1도 가량의 차이를 보여 유사함을 확인할 수 있다.

표 1. 자세 측정 소프트웨어를 통하여 측정된 관절각의 평균 비교

구분	허리 굴곡		어깨 굴곡		팔꿈치 굴곡	
	측정	실측	측정	실측	측정	실측
평균	106.36	105.43	44.86	45.86	89.14	89.50
차이	0.93		1		0.36	

또한 이를 바탕으로 14개의 자세 측정 자료에 대해 두 집단의 평균 차이를 분석하였다. 표 2에서 보는 바와 같이 Paired t-test검정 결과, 각 신체 관절 부위에 대하여 실제 각도값과 소프트웨어로부터 추출된 측정값 사이에 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 분석되었다.

표 2. 각 굴곡에 대한 실측과 측정값의 Paired t-test 결과

구분	평균	표준편차	DF	p-value (2 tailed)
허리 굴곡	0.9286	2.1649	13	.133
어깨 굴곡	1.0000	3.3050	13	.278
팔꿈치 굴곡	0.3571	1.8649	13	.486

6. 논의 및 결론

산업현장에서 근골격계질환은 노사 관계 및 작업자의 안전, 복지와 관련하여 주요 이슈로 등장하고 있다. 이러한 근골격계질환을 예방하기 위한 노력은 다양하게 시도되고 있으나 무엇보다 중요한 것은 인간공학 또는 산업의학 전문가 뿐만 아니라 현장의 작업자와 같은 비전문가가 작업 부하 및 위험도를 손쉽게 분석, 평가할 수 있어야 한다. 작업 부하를 평가하기 위한 많은 연구가 이루어져 왔으나, 비전문가가 손쉽게 활용하기에는 한계가 있었으며, 이러한 점으로 인하여 중소기업에서 안전관리 활동을 수행하는데 어려움이 있었다. 근골격계질환 위험도를 보다 손쉽게 평가하기 위하여 기존의 기법들을 소프트웨어화하여 손쉽게 분석할 수 있도록 제공되어 왔으나, 이와 같은 분석 프로그램들은 평가 기법만을 프로그램화한 경우로서 작업 자세를 평가자가 직접 측정하여 입력하여야 하는 불편함이 있다.

사업장에서의 근골격계질환 예방을 위해서는 분석 과정뿐만 아니라 작업 자세에 대한 손쉬운 측정이 요구된다. 그러나 이와 같은 업무를 담당할 인력 확보는 쉽지 않은 문제이며 특히, 소규모의 중소기업일수록 이러한 제약은 더욱 심각하여 작업자들을 자동으로 측정할 수 있는 소프트웨어의 개발이 필요한 실정이다. 기존의 자세 측정 장비들은 간단한 촬영을 통해 작업 자세를 자동적으로 측정하여 평가할 수 있는 기능을 제공하고 있으나 고가의 가격으로 인하여 영세 사업장에서의 적용하기에는 한계가 있었다.

본 연구는 산업현장에서 손쉽게 근골격계 위험도 평가를 할 수 있는 자세 측정 시스템을 구축하고자 수행하였다. 특히 작업 자세를 촬영한 영상으로부터 자동적으로 각 관절의 자세각이 측정, 추출될 수 있도록 함으로써 실제 현장에서의 활용도를 높일 수 있도록 하였다. 본 연구를 통해 개발된 측정 시스템으로부터 추출한 관절 각도와 직접 측정된 자세 각도를 비교한 결과, 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타나 개발된 자세 측정 시스템에 의한 작업 자세 평가가 가능하리라고 기대된다. 특히 기존의 측정 장비들은 조작을 위해 전문지식이 요구되는 제약이 있었다. 본 연구에서는 범용적인 디지털 카메라 및 캠코더 장비를 사용함으로써 전문가뿐만 아니라 생산현장의 비 전문가도 위험도 평가를 손쉽게 할 수 있으리라 본다. 본 시스템은 작업 자세를 측정하여 좌표값 및 자세 각도를 추출한 후, 이에 대한 DB를 Excel 파일의 형태로 저장 가능하도록 하여 사용자가 원하는 추가 분석이 가능할 수 있었다. Excel 파일의 형태로 저장된 각도값 및 좌표값에 대한 데이터는 불편도 함수(최동식 등, 2004) 등의 적용을 용이하게 함으로써 작업 부하에 대한 정량적 평가가 가능하도록 하였다. 향후 3차원 자세 측정 시스템으로 확장될 경우, RULA, REBA 등과 같이 보편적으로

사용되고 있는 작업 자세 분석 방법을 위한 활용 도구로서도 이용될 수 있으리라 기대된다.

본 연구를 바탕으로 추후에는 손목과 같은 신체의 세세한 부분의 관절까지 인식을 할 수 있도록 하여 전신 자세로 확장된 연구가 이루어져야 할 것으로 보이며, 앞에서 언급한 바와 같이 실제적인 자세 측정을 위해서는 2차원의 평면적인 분석이 아닌 3차원의 자세 측정이 가능해지도록 시스템이 확장되어야 할 것이다. 또한 랜드마크의 색상 인식 과정에서 관절의 지정과 같은 작업은 인간공학 비 전문가가 담당하기에 어려움이 있으리라 예상되므로 시스템에서 지정된 색상을 사전에 인식하여 자동으로 지정한 후, 사용자에게 확인 받는 방식으로 개선함으로써 보다 사용편의성을 향상시켜야 할 것이다. 본 연구에서는 영상 인식 알고리즘을 이용한 랜드마크 인식을 통해 자세 측정 시스템에 대한 평가를 하고자 간단한 실험을 수행하였다. 특히 측정 시스템의 평가에 있어 랜드마크 인식에 대한 영상 인식 알고리즘에 적합성 평가에 초점이 맞추어져 타당성 수렴을 하였으나 활용도에 대한 보다 다양한 검증을 위해 선 자세, 앉은 자세, 쪼그려 앉은 자세 등과 같은 다양한 조건에 대한 추후 연구가 필요할 것으로 보인다.

참고 문헌

기도형, 인체 관절 동작의 지각 불편도에 근거한 상체의 자세 분류 체계의 개발, *대한산업공학회지*, 24(3), 447-456, 1998.

기도형, 지각 불편도에 대한 외부 부하, 상지 자세의 영향, *산업안전학회지*, 17(4), 177-183, 2002.

김대수, 신경망 이론과 응용 I, *하이테크정보*, 1992.

김유창, 이관석, 장성록, 최은진, "한국에서의 근골격계질환 경제성 분석", *대한인간공학회 추계학술대회 논문집*, 2002.

김철홍, 국내 자동차산업의 근골격계질환 실태에 관한 연구, *산업경영시스템학회지*, 24(67), 1-10, 2001.

김태일, 최광수, 정의승, 박성준, 최재호, 주행중 운전 자세 측정을 통한 주행조건 영향 분석, *대한산업공학회지*, 29(4), 271-282, 2003.

노동부, 2003 산업재해 현황분석, [<http://www.molab.go.kr>], 2004.

노동부, 산업재해분석, [<http://www.molab.go.kr>], 2001.

안정현, 장미정, 원광연, 신뢰도 모델을 이용한 마커 궤적 재조정, *한국컴퓨터그래픽스학회 논문지*, 8(3), 17-23, 2002.

이인석, 정민근, 기도형, 심물리학적 방법을 이용한 다양한 하지 자세의 부하 평가, *대한인간공학회지*, 21(4), 47-65, 2002.

이창수, 지정규, 멀티미디어 서비스를 위한 동영상 이미지의 특징 정보 분석 시스템에 관한 연구, *정보기술과 데이터베이스 저널*, 9(3), 1-12, 2002.

최동식, 박성준, 정의승, 최재호, 상체의 자세 변화에 따른 외부 부하에 대한 불편도 영향 평가, *대한인간공학회지*, 23(4), 45-56, 2004.

Aleksic, J., Szymczyk, J. A., Leder, A., Kowalewski, T. A., Experimental investigations on thermal, thermocapillary and forced convection in Czochralski crystal growth configuration. *Computational Methods and Experimental Measures*. WIT Press, 626-635, 2001.

Andrews, D. M., Norman, R. W., Wells, R. P. and Neumann, P., The accuracy of self-report and trained observer methods for obtaining estimates of peak load information during industrial work. *Ergonomics*, 19(6), 445-455, 1997.

Armstrong, T. J., Upper-extremity postures: definition, measurement and control. In: E.N. Corlett, J. Wilson, and I. Manenica (Eds.), *The ergonomics of working postures*. Taylor & Francis, London, 59-73, 1986.

Armstrong, T. J., Buckle, P., Fine, L. J., Harberg, M., Jonsson, B., Kilbom, A., Kuorinka, I. A. A., Silverstein, B. A., Sjogaard, G. and Viikari-Juntura, E. R. A., A conceptual model for work-related neck and upper-limb musculoskeletal disorders. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 19, 73-74, 1993.

Baty, D., Buckle, P. W. and Stubbs, D. A., Posture recording by direct observation, questionnaire assessment and instrumentation: a comparison based on a recent field study. In N. Corlett, J. Wilson and I. Manenica(Ed), *The Ergonomics of Working Postures*, Taylor and Francis, London, 282-292, 1986.

Bernard, B.(Ed.), *Musculoskeletal disorders and workplace factors: A critical review of epidemiological evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity, and lower back*. DHHS(NIOSH) Publication No. 97-141, US Department of Health and Human Services, 1997.

Burdorf, A. and Laan, J., Comparison of methods for the assessment of postural load on the back, *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 17(6), 425-429, 1991.

Corlett, E. N., MAdeley, S. J. and Manencia, I., Posture targeting: A technique for recording working postures, *Ergonomics*, 22(3), 357-366, 1979.

Hignett, S. and McAtamney, L., Rapid entire body assessment(REBA), *Applied Ergonomics*, 31(2), 201-205, 2000.

Li, G. and Buckle, P., A practical method for the assessment of work-related musculoskeletal risks - Quick Exposure Check (QEC). *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 42nd Annual Meeting*, October 5-9, Chicago, Human Factors and Ergonomics Society: 1351-1355, 1998.

NexGen Ergonomics, [<http://www.nexgenergo.com>], 1997.

Karhu, O., Kansi, P. and Kuorinka, I., Correcting working postures in industry: a practical method for analysis, *Applied Ergonomics*, 8(4), 199-2001, 1977.

Keyserling, W. M., Postural analysis of the trunk and shoulders in simulated real time, *Ergonomics*, 29(4), 569-583, 1986.

Kilbom, A., Assessment of physical exposure in relation to work-related musculoskeletal disorders- what information can be obtained from systematic observations?, *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 20(spec), 30-45, 1994.

Marras, W. S., Lavender, S. A., Leurgans, S. E., Rajulu, S. L., Allread, W. G., Fathallah, F. A. and Ferguson, S. A., The role of dynamic three-dimensional trunk motion in occupationally- related low back disorders: The effects of workplace factors, trunk position, and trunk motion characteristics on risk of injury, *Spine*, 18(5), 617-628, 1993.

- McAtamney, L. and Corlett, E. N., RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders, *Applied Ergonomics*, 24(2), 91-99, 1993.
- Putz-Anderson, Vern., Cumulative trauma disorders: A manual for musculoskeletal diseases of the upper limbs. Taylor & Francis, London, 1988.
- Tampere University of Technology, Users Manual for WinOWAS, Tampere University of Technology, Occupational Safety Engineering, 1996.
- The Bureau of Labor Statistics, [http://www.bls.gov], 2004.
- University of Wisconsin-Madison, Users Manual for Multimedia Video Task Analysis™, Ergonomic Analysis and Design Research Consortium, University of Wisconsin-Madison, 2001.
- Van Wely, P., Design and disease. *Applied Ergonomics*, 1: 262-269, 1970.
- Westgaard, R. H. and Aarås, A., Postural muscle strain as a casual factor in the development of musculoskeletal illnesses. *Applied Ergonomics*, 15(3): 162-174, 1984.
- Whitmore, M. and Berman, A. H., The Evolution of the Posture Video Analysis Tool(PVAT), NASA Technical Paper 3657, Houston, TX: NASA Johnson Space Center, 1996.
- Wiktorin, C., Karlqvist, L. and Winkel, J., Validity of self-reported exposures to work postures and manual materials handling, *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 19(3), 208-214, 1993.

● 저자 소개 ●

❖ 박 성 준 ❖

포항공과대학교 산업공학과(박사)
 현재 남서울대학교 산업정보시스템공학과 부교수
 주요관심분야: 자동차 인간공학, 제품개발, 안전공학

❖ 박 재 규 ❖

한남대학교 산업시스템공학과(학사)
 고려대학교 산업시스템정보공학과(석사 과정)
 주요관심분야: 인체역학, 안전공학, 작업생리

❖ 최 재 호 ❖

포항공과대학교 산업공학과(박사)
 현재 대전대학교 산업시스템공학과 부교수
 주요관심분야: 인간공학, 감성공학, 제품설계

논문접수일 (Date Received) : 2005년 06월 27일

논문게재승인일 (Date Accepted) : 2005년 08월 25일