Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 27, No. 4 pp.27-35, November 2008

근골격계 질환 예방을 위하여 새로이 제시된 세탁기 디자인에 대한 생체역학적 평가

조영근[1] · 최희석[1] · 김현동[1] · 최현호[1] · 윤종인[3] · 김영호[1-2] · 신태민[1-2] · 김한성[1-2] · 임도형[1-2,4]

[1]연세대학교 의공학부 / [2]연세대학교 의료공학연구원 / [3]대구가톨릭대학교 의공학과 /
[4]한국생산기술연구원 실버기술개발단

Biomechanical Evaluation for Washing Machine Design Suggested Newly for Prevention of Musculoskeletal Disorders

Young Kuen Cho[1], Hue Seok Choi[1], Hyun Dong Kim[1], Hyun Ho Choi[1], Join In Youn[3], Young Ho Kim[1-2], Tae Min Shin[1-2], Han Sung Kim[1-2], Dohyung Lim[1-2,4]

[1]Department of Biomedical Engineering, Yonsei University, Wonju, Ganwon, 220-710
[2]Institute of Medical Engineering, Yonsei University, Wonju, Ganwon, 220-710
[3]Department of Biomedical Engineering, Catholic University of Daegu, Daegu, 712-702
[4]Silver Technology Center, Korea Institute of Industrical Technology, Cheonan, Chungnam, 330-825

ABSTRACT

Recently, many studies have reported the fact that an excessively accumulated psychological and physical burden induced from physical labor conducted routinely in home and industry can be one of main reasons of musculoskeletal disorders in the working population. This fact makes increase interests in studies to reduce a risk of musculoskeletal disorders through grafting ergonomic considerations on working environment. However, there are currently limited methodologies in quantitative evaluations of new ergonomic suggestions to reduce a risk of musculoskeletal disorders. The current study is therefore performed to evaluate quantitatively effects of a design of washing machine as a new ergonomic suggestion onto prevention of musculoskeletal disorders, through application of a biomechanical evaluation methodology. For this, three-dimensional motion analysis by using musculoskeletal models with Rapid Entire Body Assessment (REBA), which has been generally used for a simple evaluation of a degree of harmfulness of the human body at specific working postures to be considered, was performed. The results of REBA did not give us enough information and their results were somewhat simple and inaccurate, but the results of the three-dimensional motion analysis give us enough information such as alteration of main muscle forces and joint moments required during washing work. All results showed that the main muscle strengths and joint moments were decreased effectively for reduction of a risk of musculoskeletal disorders during the washing work with newly designed washing machine evaluated in the current study, compared with those generated during the washing work with general washing machine. From these results, it can be concluded that a risk of the musculoskeletal disorders, which may be induced by a repetitive washing work, may be reduced through using the washing machine designed ergonomically and newly. Also, it is thought that if our ergonomic design can be applied for improvement of working environment in lifting and laying works conducted repeatedly for a treatment work of goods, which have a strong resemblance to the behaviors generated

*이 저서(논문 · 예술연구)는 2001학년도 연세대학교 학술연구비의 (부분적인) 지원에 의하여 이루어진 것임.
교신저자: 임도형
주 소: 320-825 충남 천안시 서북구 입장면 홍천리, 한국생산기술연구원, 전화: 010-8707-0069, E-mail: dli349@gmail.com

frequently during the washing work, a possibility of occurrence of the musculoskeletal disorders by the lifting and laying works may be reduced highly.

Keyword: Three-dimensional Motion Analysis, a Risk of Musculoskeletal Disorders, Biomechanical Evaluation, Washing Work, Ergonomic Design

1. 서 론

가사 노동을 주로 수행하는 여성 근로자 수는 현대 한국 사회가 발전하면서 그 수가 더욱 증가하였고(한국여성정책연구원, 2007), 이에 따라 작업적 요인에 따른 근골격계 증상을 호소하는 여성 근로자들의 수가 증가하였다. 2003년도 연구 보고에 따르면 우리나라에서 발생되는 직업병에는 근골격계 질환(36%), 뇌 · 심혈관계질환(34%), 진폐(13%), 난청(10%) 등이 주요 직업병으로 분류되고 있으며, 이러한 직업병 중 근골격계 질환이 대표적인 직업병으로 보고되고 있다(기도형, 2003). 2004년의 통계 보고에 의하면 제조업에 종사 중인 여성 근로자들 중 26.8%가 약한 통증에 대한 치료를 받은 경험이 있고, 45.2%가 심한 통증에 대한 약국치료를 받았다는 연구 결과가 있다(한국산업안전공단, 2004).

특히 가사 및 산업 현장에서 세탁 작업동작의 비중이 매우 크고 반복적으로 같은 동작을 수행하기 때문에, 근로자의 근골격계 질환을 야기시킨다는 보고가 증가하고 있다(서승록과 임완희, 2000). 또한, 세탁 작업동작 수행 시 비효율적 작업동작(예: 허리 굽히고 물체 운반)은 하중 부하가 하지나 허리의 부상을 유발시키며 생리적인 에너지 소모를 증가 시킨다고 보고하고 있다(Mahon, 1978). 이러한 과도한 육체적 노동에 의해서 대표적인 근 · 골격계 질환으로 등 부위의 관절 및 연부조직의 손상으로 인한 배병증과 같은 질환이 보고되고 있다(윤훈용과 송미진, 2006). 특히 2001년부터 2004년까지 우리나라에서 발생된 근 · 골격계 질환 중 척추의 비외상성 수핵탈출, 경추, 요추 염좌, 척추병증 등을 포함하는 배병증이 4년 평균 56.7%로 가장 높은 비율을 차지하고, 그 다음으로 활막 및 건 장애, 근육장애 등을 포함하는 연부조직장애가 34.6%의 비율을 차지하고 있다고 보고되었다(윤훈용과 송미진, 2006). 이러한 근 · 골격계 질환은 심각한 외상이 발생하여 즉각적으로 그 증세가 나타나는 산업재해와는 달리, 신체 일부분에 미세한 충격이 장시간에 걸쳐 누적되어 발병되는 것으로 보고되고 있다(김철홍 등, 2000). 또한 누적된 미세한 충격들은 작업자의 허리, 무릎 등에 지속적인 통증을 유발시켜 작업능률을 현저히 저하시켜 작업자 개인의 의료비용뿐 아니라 노동력의 일시적 제한에 의한 생산성 손실에 따른 막대한 사회 · 경제적 손실을 발생시키는 것으로 추정되고 있다(노동부, 2006).

이에 따라 정부와 기업체에서는, 최근 근골격계 질환의 예방을 위한 방법으로서 노동자의 과도한 노동 강도로 인한 육체적 부담을 덜어줄 수 있는 인체공학적인 작업 방법을 제시하기도 하였다(한국산업안전공단, 2006). 또한, 인체공학적인 유니버셜 디자인(Universal Design)을 적용하여 노인뿐만 아니라 정상인들이 사용하기에 불편함이 없는 가전제품을 만들기 위한 연구들이 수행되기도 하였다(송복희 등, 2000; 이수진 등, 2007; 홍승권, 2007). 이때 제품의 디자인에 따라 작업자가 가사활동 등 작업 시 인체에 유해한 정도를 예측 가능하게 하는 척도로서 Rapid Entire Body Assessment(REBA)를 사용하였다(Sue Hignett, Lynn McAtamney, 2000). 세탁 작업동작의 경우에도 REBA에 의해 인체에 유해한 정도를 파악하여 작업환경의 개선을 시도하고 제품의 디자인을 변경하는 지표로 활용하기도 하였다(한국산업안전공단, 2004).

하지만 이러한 연구들은 일반적으로 특정 작업환경(예: 작업자세 및 동작, 사용하는 도구들의 디자인)의 평가와 개선을 위해 직접적 질병의 당사자인 작업자들을 대상으로 한 설문 조사나 인터뷰를 근거로 분석하는 REBA에 집중되는 한계점을 가진다. 또한 이러한 방법들은 사용자의 주관적 평가가 대부분을 이루고 있고 있기 때문에 객관적으로 인체에 유해한 정도를 파악하는데 어려움이 따르고 있다(송복희 등, 2000; 이원섭 등, 2007). 또한, 각 작업자세의 평가를 위해 인체 각 체절의 운동 범위와 사용하는 도구의 무게를 수치화하여 간략하게 적용하는 REBA 역시 위와 같은 제한점을 가진다. 따라서 육체 노동으로 인한 근 · 골격계 질환의 실질적인 예방을 위해서는 육체 노동 시 작업자의 관절 및 근육에서 발생하는 실질적인 하중에 대한 이해를 바탕으로 불필요한 반복하중 및 과도한 하중을 최소화 시킬 수 있는 작업기기 디자인 개선 방향으로의 연구가 필수적이다.

따라서 본 연구에서는 근골격계 질환을 유발할 수 있는 유해 요인의 영향을 최소화 하기 위해 개발된 세탁기 개선 모델을 대상으로, 중량물(세탁물) 이동 작업 시 자주 수행되는 세탁물을 투입하는 동작에서 발생되는 작업자의 관절 모멘트 및 근력을 정량적으로 평가하고자 한다. 이를 통하여 기존 세탁기 디자인 대비 개선된 세탁기 디자인의 우수성에 대한 평가와 근골격계 질환 위험성 감소 효과를 정량적으로

확인하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 세탁기 선정

기존의 설문 조사와 인터뷰를 이용한 연구들은 사용하는 도구들의 디자인에 관계없이 일반적으로 작업동작 수행 시 작업자가 인지하는 작업동작에 따른 문제점 및 개선 요구사항 등을 판단하였다(송복희 등, 2000; 이원섭 등, 2007). 그러나 본 연구에서는 세탁기 모델 변화에 따른 영향을 최소화 하기 위하여 LG전자의 FR3204TH와 FR3228TA모델을 기준으로, 드럼식 세탁기 사용 시 세탁기 투입구의 높이 변화에 따른 근골격계 질환 위험성 정도를 아래에 설명된 REBA와 3차원 동작 분석을 통하여 평가하였다.

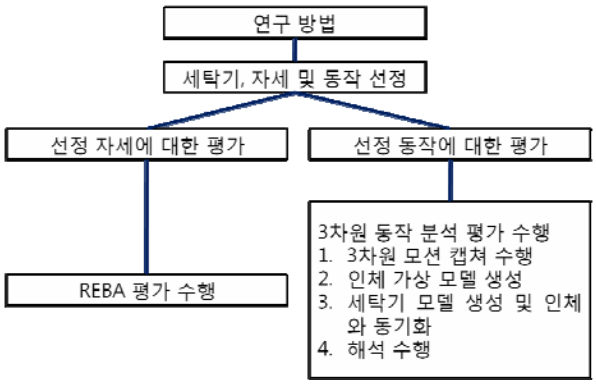
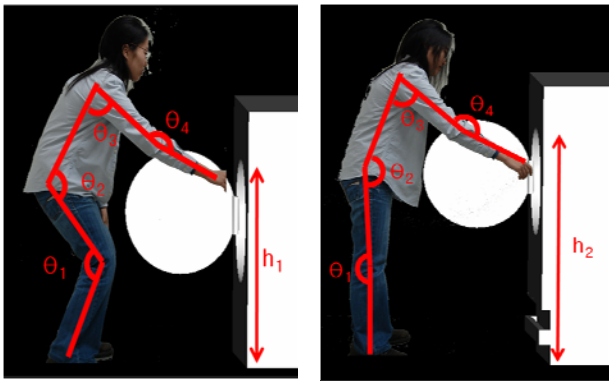


그림 1. 논문의 실험 및 해석 진행 개요

2.2 Rapid Entire Body Assessment(REBA) 수행

한국산업안전공단에서는 산업안전보건법, 산업보건기준에 관한 규칙 및 노동부고시 등에서 정한 근골격계 질환 예방을 위한 조치사항과 준수사항 등을 정량적으로 제시·평가하기 위하여 REBA를 이용하고 있다(박재희, 곽원택, 2006). 이러한 REBA는 작업 중 발생되는 특정 작업자세에 대한 인체 관절 각도와 가해지는 하중을 측정·분석하여, 작업으로 인한 근골격계 질환과 관련된 인체의 유해 정도를 1점에서부터 6점까지 분류하여 평가하는 방법이다(Sue Hignett, Lynn McAtamney, 2000). 이러한 REBA를 이용하여 세탁기 사용에 따른 인체의 유해 정도를 예측하기 위하여, 세탁기 사용 중 가장 빈번하게 발생될 수 있는 작업자세들을 선정하여 평가하였다(그림 2). 작업자세로는 피검자가 기존 낮은 높이의 세탁기 사용 시 세탁물을 투입하기 위해 수행하는 작업자세(작업자세 1)와 개선된 높은 높이의 세탁기 사용 시 같은 동작을 수행하는 작업자세(작업자세 2)로 하였다.



(b) 작업자세 1 (a) 작업자세 2

그림 2. REBA 수행을 위하여 연구에서 선정된 세탁기 사용 중 발생하는 두 가지 대표적 동작
(기존 세탁기의 투입구 높이(h_1)와 개선된 세탁기의 투입구 높이(h_2) 변화에 따른 평가를 위하여 인체 부위들, 무릎(θ_2), 등(θ_2), 어깨(θ_3), 팔꿈치(θ_4) 관절들의 각 운동 범위를 측정함)

2.3 3차원 동작 분석 평가 수행

세탁기 작업동작 평가는 1) 3차원 동작 분석 시스템을 통하여 얻어진 인체의 모션 데이터를 기반으로, 2) 3차원 근골격계 모델을 생성·해석하여, 3) 세탁기를 이용하는 작업동작 동안 주요 근육과 관절에서 발생하는 근력 및 관절 모멘트의 변화를 분석하여 수행되었다.

2.3.1 3차원 모션 캡쳐

위의 REBA 수행을 위하여 참여한 동일한 5명의 여성 피검자(평균연령: 22.89±0.84세, 평균신장: 161.68±8.14cm, 평균체중: 51.58±5.94kg)를 대상으로 3차원 모션 캡쳐 실험을 수행하였다. 이때 3차원 모션은 REBA 수행에서 정의한 작업자세들(작업자세 1과 2)을 발생시키기 위한 작업동작들(작업동작 1과 2)로 정의되었다.

실험을 위하여 6대의 적외선 카메라를 사용한 3차원 동작 분석 시스템(VICON Motion System Ltd., 영국)과 2개의 힘 측정판(AMTI, 미국; Kistler Instruments Ltd, 스위스)(그림 3)을 이용하였다. 6대의 적외선 카메라를 이용하여 측정된 마커 데이터들은 인체의 움직임 정보를 수집하고, 2개의 힘 측정판은 인체의 움직임을 발생시키는 내부 힘을 역동역학 해석을 이용하여 계산하기 위하여 사용되었다. 인체의 작은 움직임까지 측정하기 위하여 카메라 샘플링 주파수를 120Hz로 설정하였으며, 드럼식 세탁기 사용 시 각각

의 체절의 움직임을 측정하기 위해 각 체절에 14mm 반사마커 39개를 plug-in gait marker set에 따라 부착하였다(그림 4). 이때 인체에 부착한 반사마커가 적외선 카메라에 잘 인식되도록 적외선 카메라의 중앙에서 실험을 진행하였다.

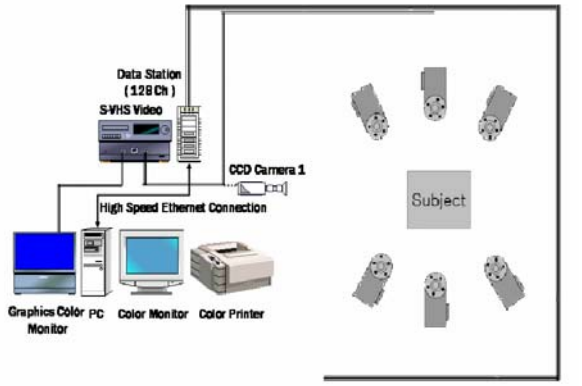


그림 3. 3차원 동작 분석 시스템

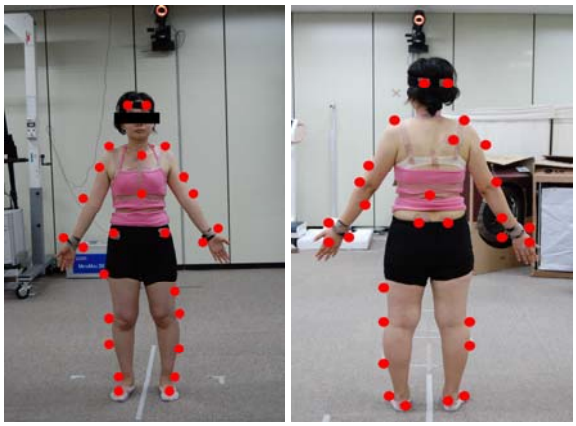


그림 4. Plug-in marker set

실험을 시작하기 전, 피검자에게 실험동작에 관하여 충분히 숙지를 시켰으며, 이전 동작에 대한 영향으로 발생할 수 있는 오류를 최소화 하기 위하여, 하나의 동작 후에 약 5분간의 휴식 시간을 제공한 후 다음 동작에 대한 실험을 재개하였다. 또한 하나의 동작을 반복 수행하는 경우, 동일한 상태를 유지하는지에 대한 판단을 위하여, 3차원 동작 분석 시스템에서 획득한 데이터를 즉각적으로 실험 진행자가 분석하여 피검자가 최대한 동일한 동작을 반복 수행하도록 하였다. 본 연구에서는 각각의 동작에 대하여 3번씩 반복하여 실험을 수행하였다. 이러한 반복동작 실험은 동작 분석에 있어서의 실험 오류를 최소화하고 각각의 동작에 대한 평균적인 정보를 획득하고자 수행되었다.

2.3.2 인체 가상 모델 생성

3차원 동작 분석 시스템에서 획득된 데이터를 기반으로 BRG.LifeMOD(Biomechanics Research Group, Inc., USA)에서 19개의 체절(머리, 목, 가슴몸통, 복부몸통, 골반, 견갑골, 상완, 하완, 손, 넓적다리, 종아리, 발)과 59개의 근육(2개의 위팔두갈래근, 위팔노근, 3개의 위팔세갈래근, 3개의 작은가슴근, 3개의 삼각근, 5개의 큰가슴근, 3개의 등세모근, 3개의 넓은등근, 긴노쪽손목폄근, 새끼폄근, 긴엄지벌림근, 노쪽손목굽힘근, 깊은손가락굽힘근, 자쪽손목굽힘근, 긴엄지굽힘근, 원엎침근, 가자미근, 2개의 장딴지근, 앞정강근, 2개의 넙다리두갈래근, 외측넓은근, 넙다리곧은근, 엉덩근, 2개의 중간볼기근, 2개의 큰볼기근, 큰허리근, 큰모음근, 내측넓은근, 반힘줄모양근, 배곧은근, 배바깥빗근, 중간목갈비근, 앞목갈비근, 목빗근, 3개의 척주세움근, 뒤목갈비근, 목널판근, 머리널판근)으로 이루어진 3차원 가상 인체 모델을 생성하였다(그림 5). 이때 각각에 피검자의 신체 및 운동 특성을 최대한 반영하여 분석하기 위하여 각각의 총 5개의 3차원 가상 인체 모델을 생성하였으며, 인체 측정 데이터에 의해 생성된 골격 모델이 가지고 있는 체절들을 서로 연결하기 위하여 체절들 사이에 관절을 정의하였다. 생성된 관절들은 총 18개의 경첩 조인트로서 관절마다 x, y, z 방향으로 각각 세 개씩 구성되고, x, y, z 방향의 회전 자유도를 가지도록 설정하였다.

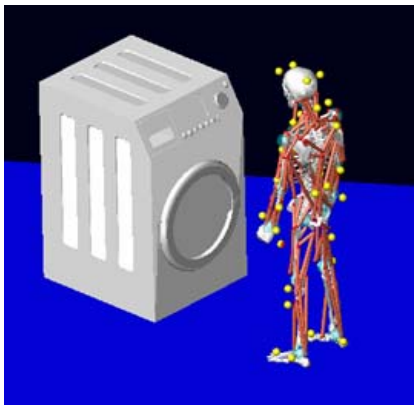


그림 5. 세탁기와 동기화된 인체 가상 모델

2.3.3 세탁기 모델 생성 및 인체와 동기화

세탁기를 실측한 뒤 단순화하여 Pro/Engineer Wildfire 2.0(Parametric Technology Corp., USA)를 이용하여 모델링 하였다. 모델은 세탁기 본체와 도어를 체절로 구성하였다. 이때 위에 생성된 3차원 가상 인체 모델과 모델링된 세탁기 모델의 동기화는 3차원 다물체 동역학 해석 소프트웨

어인 MSC.ADAMS(MSC Software Cop., USA)에서 수행되었다. 이러한 동기화를 위하여 모델링된 세탁기 모델의 두 체절을 서로 연결하였다. 이때 세탁기 본체와 도어를 연결시키는 부분은 회전 관절로 정의하였다. 마지막으로 3차원 가상 인체 모델의 손과 도어의 움직임을 동기화 시켜 그림 5와 같이 최종적인 모델을 생성하였다.

2.4 해석 수행

3차원 다물체 동역학 해석 소프트웨어인 MSC.ADAMS을 이용하여 역동역학 해석을 수행하였다. 주요 관찰 부위는 세탁동작 시에 통증과 불편함을 많이 느끼는 요추, 엉덩이, 무릎 그리고 발목 관절들과 각 관절의 움직임과 관련된 근육들(배곧은근, 배바깥경사근, 척주세움근, 큰볼기근, 중간볼기근, 넙다리곧은근, 넙다리두갈래근, 앞정강근, 가자미근)로 설정하였으며(그림 6), 분석을 위하여 각 관절 및 근육에 대한 주요(dominant) 관절 모멘트와 근력을 계산하여 분석하였다. 이때 결과의 올바른 비교 · 분석을 위해 측정된 각 관절 모멘트와 근력을 피검자의 체중으로 나누어 표준화(Normalization)시켰다. 이러한 표준화는 피검자 각각 개인의 체중과 밀접하게 관련되어 있기에 체중이 무거운 사람일수록 등속성 운동에서는 일반적으로 높은 수치를 나타낸다. 이러한 관계는 항상 비례적인 것은 아니지만 체중에 관해서 근력의 표준화를 만드는 주요한 구성원인의 하나라고 할 수 있다(Zeevi, 1995).

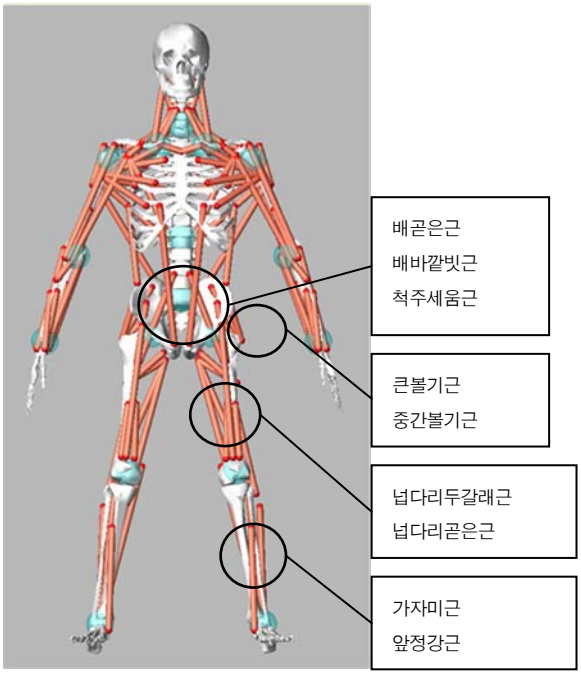


그림 6. 각 관절의 움직임과 관련된 주요 근육들

각각의 작업동작들 사이의 최대 근력들 및 최대 관절 모멘트들 사이의 통계적 유의성을 확인하기 위하여 대응표본 티 테스트(t-test)와 동일한 작업동작 내에서 최대 근력 및 최대 관절 모멘트의 통계적 유의성을 확인하기 위하여 터키 스튜던트 비(Tukey's-b)의 사후분석과 함께 일원배치 분산분석을 수행하였다. 이러한 모든 통계분석에 있어서 유의수준(α)은 항상 0.05로 설정하였다.

3. 연구 결과

3.1 작업자세 평가를 위한 REBA 수행 결과

REBA 수행을 통하여 최종적으로 1) 상체 중 팔과 손목에 대한 평가 점수, 2) 경부(목), 상체 그리고 하체에 대한 평가 점수, 그리고 3) 종합 점수의 총 3가지 결과가 도출되었다(표 1). 그 결과 세탁기 사용 시 발생되는 다양한 작업자세 중 작업자세 1에서는 인체의 모든 부분에 있어서 평가점수(4점)가 다소 높게 측정되었으나, 작업자세 2에서는 종합 점수가 4점으로 작업자세 1과 동일하지만 부분적으로 팔과 손목, 경부, 상체, 하체는 감소하였다.

표 1. 세탁기 사용 시 발생하는 작업자세에서의 REBA 수행 결과

작업자세	팔과 손목	경부, 상체 그리고 하체	종합 점수
자세 1	4	4	4
자세 2	3	2	4

3.2 작업동작 평가를 위한 3차원 동작 분석 수행 결과

3.2.1 근력 비교

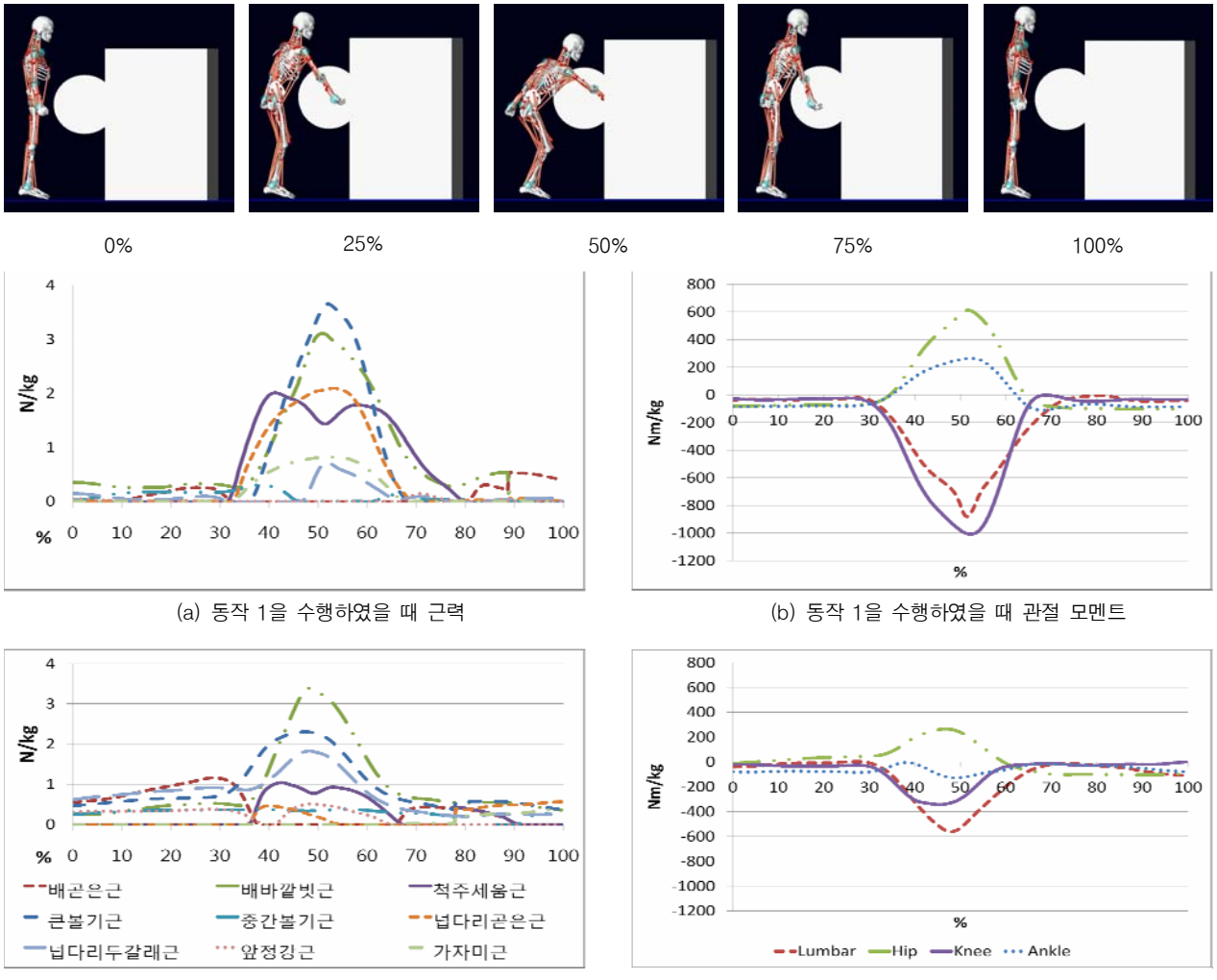
일반적으로 모든 작업동작에서 엉덩이 관절의 움직임에 관여하는 큰볼기근과 요추 관절의 움직임과 관련된 배바깥경사근이 다른 근육들보다 작업동작을 수행하는데 있어 상대적으로 가장 많은 근력을 필요로 하는 것을 확인할 수 있었다(그림 7).

본 연구에서 구현된 5개의 3차원 가상 인체 모델 해석 결과로부터 얻은 세탁기 작업동작들에서 발생되는 표준화된(Normalized) 최대 근력의 평균 및 표준편차를 표 2에 정리하였다. 그 결과 일반적으로 세탁기 작업동작을 수행하는데 있어서 요추 및 엉덩이 관절의 움직임에 관여하는 배바깥경사근과 큰볼기근이 모든 작업동작에 있어서 가장 크게 기여를 하는 것을 확인할 수 있었다(p<0.05). 또한 각 작업

동작 별 근력 변화에 있어서는, 기존의 낮은 세탁물 투입 높이를 대상으로 수행한 작업동작 1에서보다 개선된 높은 세탁물 투입 높이를 대상으로 수행한 작업동작 2에서 상대적으로 척주세움근과 큰볼기근의 근력이 감소하는 것을 확인할 수 있었으며(p<0.05), 각 작업동작 1과 2의 특성에 따라 활성화되는 관절 움직임의 차이로 인하여 특정 근력군들 사이에 통계적 유의성을 보이는 것을 알 수 있었다(p<0.05). 또한 각 작업동작 내에서도 특정 근육들의 근력들 사이에 통계적 유의성을 보이는 것을 확인할 수 있었다(p<0.05).

3.2.2 관절 모멘트 비교

일반적으로 모든 작업동작에서 요추와 무릎 관절의 모멘트가 가장 큰 폭으로 변화하는 것을 확인할 수 있었다(그림 7). 특히 기존의 낮은 세탁물 투입 높이를 대상으로 수행한 작업동작 1에서는 무릎 관절에서의 관절 모멘트가, 개선된 높은 세탁물 투입 높이를 대상으로 수행한 작업동작 2에서는 요추 관절에서의 관절 모멘트가 가장 높을 것을 확인할 수 있었다. 또한, 각 작업동작에서 상대적인 값만을 비교하여 보았을 때, 작업동작 1에서는 무릎 관절과 함께 요추와 엉덩이 관절에서 큰 관절 모멘트를 보이고, 작업동작 2에서는 요추 관절의 관절 모멘트가 가장 높은 것을 확인할 수 있었다. 첨부적으로 작업동작 1과 2에서 관절 모멘트의 절대값을 서로 비교해 보면, 작업동작 2에서의 관절 모멘트 크기가 작업동작 1에서의 관절 모멘트 크기보다 모든 관절에서 상대적으로 감소하는 것을 확인할 수 있었다.



(a) 동작 1을 수행하였을 때 근력

(b) 동작 1을 수행하였을 때 관절 모멘트

(c) 동작 2을 수행하였을 때 근력

(d) 동작 2을 수행하였을 때 관절 모멘트

그림 7. 생성된 모델들 중 한 모델의 세탁기 작업동작 동안 발생하는 대표적인 주요 근력 및 관절 모멘트의 변화. 여기서 주요 근력 및 관절 모멘트는 각각의 작업동작에서 직립 자세로 서있을 때(0%)부터 세탁물을 투입구에 넣고(약 50%) 다시 처음 자세로 서있을 때(100%)까지 계산됨

표 2. 세탁기 작업동작을 위하여 요구되는 대표적인 표준화된 최대 근력에 대한 평균 및 표준편차(단위: N/kg)

작업동작	배곧은근	배바깥경사근	척주세움근
동작 1	0.39±0.2$^{**,\dagger,\dagger\dagger,\circ\circ,\Phi}$	2.33±0.56**	2.54±0.29**
동작 2	0.44±0.26$^{**,\dagger,\circ\circ}$	2.13±0.90$^{\circ\circ}$	1.61±0.72*,**,†
작업동작	큰볼기근	중간볼기근	넙다리곧은근
동작 1	2.99±1.03$^{\dagger,\circ\circ,\Phi}$	0.48±0.16$^{**,\dagger,\dagger\dagger,\circ\circ,\Phi}$	1.13±1.61$^{**,\dagger,\dagger\dagger,\circ\circ}$
동작 2	2.03±0.61$^{*,\circ\circ}$	0.54±0.27$^{**,\dagger,\dagger\dagger,\circ\circ}$	0.53±0.92$^{**,\dagger,\dagger\dagger,\circ\circ}$
작업동작	넙다리두갈래근	앞정강근	가자미근
동작 1	1.87±1.26$^{**,\dagger,\circ\circ}$	1.01±0.53$^{\dagger,\dagger\dagger,\circ\circ}$	0.39±0.54$^{**,\dagger,\dagger\dagger,\circ\circ,\Phi}$
동작 2	1.54±0.76**,†	0.82±0.36$^{**,\dagger,\dagger\dagger,\circ\circ}$	0.27±0.40$^{**,\dagger,\dagger\dagger,\circ\circ}$

*: 각각의 근육에서 작업동작 1과 유의한 차이가 있음을 의미함
**: 각각의 작업동작에서 큰볼기근과 유의한 차이가 있음을 의미함
†: 각각의 작업동작에서 배바깥경사근과 유의한 차이가 있음을 의미함
††: 각각의 작업동작에서 큰볼기근, 척추세움근, 배바깥경사근, 그리고 넙다리두갈래근과 유의한 차이가 있음을 의미함
○: 각각의 작업동작에서 넙다리두갈래근과 유의한 차이가 있음을 의미함
○○: 각각의 작업동작에서 척추세움근과 유의한 차이가 있음을 의미함
Φ: 각각의 작업동작에서 앞전강근, 넙다리곧은근, 넙다리두갈래근, 배바깥경사근, 그리고 척추세움근과 유의한 차이가 있음을 의미함

본 연구에서 구현된 5개의 3차원 가상 인체 모델 해석 결과로부터 얻은 각각의 세탁기 작업동작에서 발생되는 요추, 엉덩이, 무릎 그리고, 발목 관절에서 표준화된(Normalized) 주요 최대 관절 모멘트에 대한 평균 및 표준편차를 표 3에 정리하였다. 작업동작을 수행할 때 평균적인 값 만을 비교하여 보면, 일반적으로 요추 관절에서 발생되는 관절 모멘트가 가장 컸고, 발목 관절에서 발생되는 관절 모멘트가 가장 작았다. 각각의 작업동작들을 서로 비교하여 보면, 작업동작 2에서 발생되는 요추 및 발목 관절의 관절 모멘트의 크기가 작업동작 1에서의 요추 및 발목 관절의 모멘트 크기보다 상대적으로 유의하게 감소하는 것을 확인할 수 있었다 (p<0.05).

표 3. 세탁기 작업동작을 위하여 요구되는 대표적인 표준화된 최대 관절 모멘트에 대한 평균 및 표준편차(단위: Nm/kg)

작업동작	요추 관절	엉덩이 관절
동작 1	907.3±360.9	553.0±255.5
동작 2	526.8±332.3*	379.2±205.2
작업동작	무릎 관절	발목 관절
동작 1	636.6±718.6	346.6±83.7
동작 2	468.2±419.9	272.7±98.6*

4. 결론 및 검토

수동 물자 취급 노동자에게 발생되는 근골격계 질환은, 작업환경에서 형성되는 다양한 원인들(예: 작업자세 및 동작, 작업도구 및 작업대상물의 무게, 형태, 그리고 사용빈도, 작업노출시간 등)이 근골격계에 복합적으로 영향을 미쳐 발현되는 질환이다. 따라서 수동 물자 취급 노동자에게 발생되는 근골격계 질환의 근원적인 예방을 위해서는 작업동작에 영향을 미치는 주요 근육과 관절에서의 근력 및 관절 모멘트가 작업시간 동안 어떻게 변화되는지에 대한 연구가 필수적이다. 이러한 관점에서, 일반적으로 근골격계 질환 예방을 위한 조치사항과 준수사항 등을 정량적으로 제시 · 평가하기 위하여 현재 많이 사용되고 있는 설문 조사 및 REBA 수행은 한계점을 가지고 있다고 판단된다. 즉, 기존의 설문조사 및 REBA 수행 결과만을 바탕으로 작업환경을 개선하여 육체 노동으로 인한 근골격계 질환을 예방하고자 하는 데에는 한계점이 있을 것으로 사료된다. 이러한 이유는 설문조사의 경우 그 결과가 주로 답변자의 주관적 · 정성적인 결과론적인 사실에만 기반하였기 때문이다. 또한 REBA의 경우에 있어서도 그 결과가 작업 중 발생되는 연속적이지 않은 특정 작업자세에 대한 인체 관절 각도와 가해지는 하중만을 측정 · 분석하여 간략히 예측된 결과이기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 REBA 수행 외에 3차원 동작 분석을 함께 수행하여, 작업시간 동안 주요 근육과 관절에서의 근력 및 관절 모멘트의 변화를 동시에 분석하였다라는 점에 그 의의가 있을 것이라 사료된다. 또한 생체역학적 방법론을 인간공학적 관점에 접목하여, 육체 노동(본 연구에 있어서는 세탁기 사용 작업)으로 인하여 발생할 수 있는 근골격계 질환의 예방을 위하여, 개선된 작업환경(본 연구에 있어서는 세탁기 투입구 높이)의 정량적인 효과 분석과, 추가적으로 고려해야 할 사항에 대하여 조사하였다라는 점에 그 의의가 있을 것이라 판단된다.

REBA 수행 결과, 작업자세 1에서는 손목과 팔 부위 및 경부, 상체 그리고 하체 부위에서 통증이 발생될 확률이 높음을 확인할 수 있었으며, 반면 작업자세 2에서는 작업자세 1의 결과와 비교하여 동일 부위에서 통증이 발생될 확률이 낮음을 확인할 수 있었다. 이것은 개선된 높이의 세탁기를 사용하여 세탁 작업을 수행할 경우, 작업자의 근골격계 질환 발생 가능성이 일반 세탁기를 사용하여 세탁 작업을 수행하는 경우보다 상대적으로 낮아질 수 있음을 의미한다. 이러한 결과는 기존의 정성적인 평가(설문 조사 등)를 통해 도출한 결과 보다 좀 더 세부적으로 세탁기 사용 시 어떠한 작업자세가 인체 어느 부위에 문제점을 야기 시킬 수 있을지에 대한 정보를 주었다. 그러나 앞서 언급된 것처럼 세탁기 사용 동안, 근육과 관절에서의 근력 및 관절 모멘트가 어떻게 변화하는지에 대하여서는 판단할 수 없는 한계점이 있었다.

세탁 동작 시에 통증과 불편함을 많이 느끼는 등 부위와 하체 부위를 중점적으로 측정 · 분석한 3차원 동작 분석 결

과는 REBA 수행 결과와 일치하였으며, REBA를 이용하여서는 확인할 수 없었던 작업동작 동안의 각 관절 및 근육들에서의 세부적인 관절 모멘트와 근력 변화에 대한 정보를 제공하였다. 3차원 동작 분석 결과, 작업동작 1에서의 요추 및 하지 관절의 움직임과 관련된 근력 및 관절 모멘트의 크기는 작업동작 2에서의 근력 및 관절 모멘트의 크기보다 높게 측정되었다. 즉, 세탁기 작업자세 2와 관련된 작업동작 2의 경우, 등 및 하체 부위에서의 근골격계 질환 발생 가능성이 작업동작 1보다 상대적으로 낮음을 확인할 수 있었다.

따라서 이러한 결과들로부터, 본 연구는 제시된 세탁기의 우수성에 대한 평가로 개선된 높이의 세탁기를 사용하는 것이 반복적인 세탁 작업을 수행하는 경우에 발생할 수 있는 근골격계 질환 발생 가능성을 효과적으로 감소시킬 수 있을 것이라 결론 내릴 수 있었다. 또한 무릎 또는 요추 관절의 움직임과 관련된 관절 모멘트와 근력을 효과적으로 감소시킬 수 있는 방향으로의 추가적인 세탁기 디자인 및 작업동작의 개선이 이루어 질 수 있다면, 반복적인 세탁 작업으로 인한 근골격계 질환의 발생 가능성을 더욱 효과적으로 감소시킬 수 있을 것이라 판단된다. 첨부적으로, 본 연구에서 고려한 인체공학적 · 생체역학적 방법 및 본 연구의 결과를 물자 취급 작업에서 많이 발생하는 들기와 내려놓기 작업에 응용한다면, 그러한 작업으로 인하여 발생할 수 있는 근골격계 질환의 발생 가능성 또한 효과적으로 예방시킬 수 있을 것이라 사료된다.

참고 문헌

Sue Hignett, Lynn McAtamney, "Rapid Entire Body Assessment (REBA)," Applied Ergonomics, 31(2): 201-205, 2000.

Mahon, T. A., "Ballistic walking," Journal of Biomechanics, 13: 49-57, 1978.

Zeevi, Dvir, "Muscle Testing Interpretation and Clinical Applications," Churchill Livingstone N.Y. U.S.A., 52-53, 1995.

기도형, "우리나라 근골격계 질환의 추이와 산업체 안전담당자의 인식 실태 조사," 대한인간공학회, 22(4): 79-90, 2003.

김수정, 김은지, "한국 맞벌이 가구에서 가사 노동과 경제적 의존의 관계," 41(2): 147-174, 2007.

김은하, "가사 노동의 대안적 개념화를 위한 탐색적 연구," 한국사회학회 사회학대회 논문집, 61-63, 2006.

김철홍, 김승남, 이준엽, 윤덕기, 조성애, "자동차공장 작업자의 근골격계 질환 실태에 관한 연구: Part I," 대한인간공학회 춘계학술대회논문집, 1: 157-161, 2000.

노동부, "산업재해 현황분석: 산업재해보상보험법에 의한 업무상 재해를 중심으로," 2005.

서승록, 임완희, "단순반복작업시 누적외상에 관한 연구," 대한인간공학회 학술대회논문집, 2: 1-9, 2000.

송복희, 윤한경, 정관태, "노인 사용자를 고려한 전자레인지의 유니버셜 디자인," 대한인간공학회, 19 (1): 37-48, 2000.

안계춘, "한국 인구의 노령화와 특성," 한국사회학회, 29: 717-732, 1995.

윤훈용, 송미진, "산업 현장에서의 한국과 미국의 근골격계 질환 현황 분석," 대한인간공학회 춘계학술대회논문집, 10: 468-472, 2006.

이수진, 권현주, "Aging in Place를 지원해주는 유니버셜 디자인 욕실 설비 및 제품 특성 분석 연구," 대한건축학회, 23(12): 125-134, 2007.

이구형, 김대구, 박민용, 신원경, "인체측정자료와 3차원 컴퓨터 인체모형을 이용한 세탁기 외부규격 결정," 대한인간공학회 1: 155-160, 1998.

이원섭, 유희천, "인간공학적 제품설계를 위한 종합적이고 체계적인 사용성 평가 방법 개발," 대한산업공학회, 2007.

한국산업안전공단, "근골격계 질환 예방 개선사례(전자제품 제조업)," 2004.

한국산업안전공단, "여성 근로자 보건관리지침개발(2차년도) 중 여성 근로자의 건강장해 요인과 영향분석," 2004.

한국산업안전공단, "직종별 근골격계 질환 예방 매뉴얼(호텔업종의 세탁작업)," 2006.

한국여성정책연구원, "산업과 직업의 여성 비율," 2007.

홍승권, "모바일 폰 한글 입력방식의 유니버셜 디자인에 관한 연구," 대한인간공학회, 26(3): 117-124, 2007.

◐ 저자 소개 ◑

❖ 조 영 근 ❖ cyk012@cabe.yonsei.ac.kr
연세대학교 의공학과 학사
현 재: 연세대학교 의공학부 석사과정
관심분야: 생체역학, 전산모의해석, 인간공학

❖ 최 희 석 ❖ biomecha.yonsei.ac.kr
대전대학교 컴퓨터공학과 학사
현 재: 연세대학교 의공학부 석사과정
관심분야: 생체역학, 인간공학

❖ 김 현 동 ❖ grandijer@cabe.yonsei.ac.kr
연세대학교 의공학과 학사
현 재: 연세대학교 의공학부 석사과정
관심분야: 생체역학, 전산모의해석, 인간공학

❖ 최 현 호 ❖ h2choi@cabe.yonsei.ac.kr
연세대학교 의공학과 석사
현 재: (주)유엔아이 연구원
관심분야: 생체역학, 전산모의해석, 인간공학

❖ 윤 종 인 ❖ jyoun@cu.ac.kr
University of Texas Austin, Department of Biomedical Engineering 박사
현 재: 대구카톨릭대학교 의공학과 교수
관심분야: 의광학, 인간공학

❖ 김 영 호 ❖ younhokim@yonsei.ac.kr
Biomedical Engineering, The Univ. of Iowa 박사
현 재: 연세대학교 의공학과 교수 (의료공학연구원 부원장)
관심분야: 생체역학, 재활공학, 인간공학

❖ 신 태 민 ❖ tmshin@yonsei.ac.kr
연세대학교 전자공학과 박사
현 재: 연세대학교 의공학과 교수
관심분야: 의용전자, 인간공학

❖ 김 한 성 ❖ hanskim@yonsei.ac.kr
Dept. of Mechanical Eng., The Univ. of Manchester Institute of Science and Technology 박사
현 재: 연세대학교 의공학과 교수
관심분야: 생체역학, 전산모의해석, 재활공학, 인간공학

❖ 임 도 형 ❖ dli349@yonsei.ac.kr
School of Biomedical Engineering, Science, and Health Systems, Drexel University 박사
현 재: 한국생산기술연구원 실버기술개발단
관심분야: 생체역학, 전산모의해석, 재활공학, 인간공학

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2008년 08월 19일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2008년 10월 21일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2008년 11월 19일