

인간공학 프로그램에 의한 매선 제작 청정실작업의 에너지소모량 예측 모델

정태은[†]

인덕대학교 메카트로닉스과

Estimation Model of Energy Expenditure of Working in a Clean Room for Manufacturing Embedded Needles by Ergonomic Programs

Tae-Eun Chung[†]

Department of Mechatronics, Induk University

Received 26 October 2015; received in revised form 14 December 2015; accepted 15 December 2015

ABSTRACT

The purpose of this study is to estimate the energy expenditure of working in a clean room for manufacturing embedded needles by ergonomic programs. Embedding needle is one of medical devices and it should be manufactured in a clean room. 3D static strength prediction program was used to analyze the slow movements during embedding needle manufacturing in a clean room. Also the energy expenditure prediction program was used to estimate energy expenditure rates for materials handling tasks to help assure worker safety and health in clean room. The energy expenditures of the tasks were calculated using prediction equations derived from empirical data. The energy expenditure rate of 3.09 kcal/min in a clean room didn't exceed the 3.5 kcal/min action limit guideline for an average 8-hour day set by the National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Energy consumption was calculated on the same working conditions as EEPP program, using an average body weight of female 20 years old to 59 years who would be the candidates of the real workers.

Key Words: Clean room, Energy expenditure rate, Ergonomic programs, Embedded needles, Static strength

1. 서 론

근골격계 질환은 물리적인 중량물 작업, 정적인 자세, 주기적인 구부림과 비틀림, 반복적인 작업 등으로 인해 증가하고 있다. 작업에 의해 통증 등을 유발하는 증상을 작업 관련성 근골격계 질환

(work-related musculoskeletal disorders)이라고 부른다. 근골격계 질환을 진단하기 위해 작업 자세와 관련된 부하의 평가에 OWAS, RULA, REBA, 3D SSPP 등의 프로그램이 사용되고 있다^[1]. 이러한 평가 도구들은 관찰 부위가 전신인지 또는 상지만을 다루는지에 따라 적용 범위가 달라지며, 반복적인 작업자세를 평가하는 목적으로 사용되거나 요추부 추간판 압축력 추정식과 같이 중량물 취급 작업자세 평가 목적으로 사용된다^[2]. 근골격

[†]Corresponding Author, techung@induk.ac.kr
©2016 Society of CAD/CAM Engineers

계 질환의 원인 중 작업자세가 주된 원인이므로 신체의 굴곡, 사지 관절의 굴곡 등 작업자세에 대한 인간 공학적 평가를 실시하는 것은 중요하다. 그러나 근골격계 질환을 정확히 평가하기 위해서는 작업 자세와 인체에 작용하는 하중, 지속 시간과 휴식 간격, 반복하는 횟수 등의 요인을 종합하여 평가할 필요가 있다. 따라서 작업자들의 육체적 부하를 평가하기 위하여 작업 시 소모되는 에너지 소모량을 평가하여 작업자의 능력을 초과하지 않도록 작업을 설계할 필요가 있다.

자동차, 항공 산업 등에서 인간공학 시뮬레이션에 대한 인체 모델링이나 자세 분석^{13,15,16} 또는 인간공학적 설계 지원을 위한 제품 설계 환경 구축¹⁴ 등의 연구는 많이 진행되었으나, 청정실 안에서의 작업에 대한 인간공학 관점의 연구는 드문 실정이며, 주로 청정실 내의 온도, 습도나 방진 효과와 같은 환경에 대한 연구들이 수행되어왔다^{15,16}. 본 연구에서는 청정실 공간에서 매선 생산을 하는 작업에 대해 정적 자세에 대한 인간공학적 평가와 함께 해당 작업에 대한 에너지 소비량 분석을 함께 하여 작업의 적정성 여부를 평가하고자 한다. 한의학에서 안면 성형, 주름이나 탈모 등의 피부 문제 해결의 한 방법으로 매선 요법(needle-embedding therapy)이 사용되고 있으며¹⁷, 매선은 의료기기로 분류되어 불순물이 없는 상태에서 제작되어야 하므로 청정실에서 생산된다. 청정실에 출입하기 위해서는 세척 작업 등을 하므로 한 번 청정실에 출입한 후에는 장시간 작업을 진행하게 된다. 장시간 작업 시 인체의 근골격계에 반복적으로 과도한 부하가 가해지면 근육이나 인대 등의 미세 조직에 손상이 발생하여 작업은 불편함을 유발하고 크게는 통증이나 장애를 발생시키게 된다.

청정실에서의 매선 제작 시 작업자의 자세에 따라 인체의 관절 부위에 작용하는 하중과 모멘트를 인체근력 측정용으로 사용되는 프로그램인 3D SSPP(Static Strength Prediction Program)로 계산하였다. 또한 청정실에서의 작업에 대한 적정성 여부를 평가하기 위하여 미시간 대학교 인간공학센터에서 개발한 EEP(Energy Expenditure Prediction Program)를 이용하여 청정실에서 매선을 제작할 때의 작업 조건을 입력하여 작업 시 전체 소모 에너지와 작업 에너지 소모율(job energy expenditure rate)을 계산하였다. 또한 국가 기술표준원에서 구축한 한국인 인체표준 정보 데이터베이스를 이용

하여 실제 작업에 투입 될 20세부터 59세까지의 여성의 연령 별 몸무게의 평균값을 이용하여 동일 작업 조건에 대한 에너지 소모량을 예측하기 위한 계산 및 결과 분석을 수행하였다.

2. 인간공학 분석 프로그램

2.1 인체근력측정 프로그램의 이론적 배경

인체근력측정 프로그램인 3D SSPP는 인체를 Fig. 1에서와 같이 각 관절로 구분된 강도 모델(strength model)로 가정하여 정역학 분석을 통해 각 관절에서의 부하와 모멘트를 계산하고, Fig. 2에서와 같이 L5와 S1 디스크에서의 요추 부위에서의 압축력(lumbar disc compression force)을 계산하여 해당 작업이 인체에 무리가 가는지 여부를 판단하게 해준다^{18,91}.

반복 작업이 이루어지는 자동차 조립공장 근로자의 작업내용을 분석하여 상대적으로 위험도가 높은 5개 공정 분석 자료와 작업자의 신체지수를 이용하여 3D SSPP를 이용한 요추부 압력 산출 및 요통 예방 대책에 대한 연구 등이 있었다¹⁰. 또한 기존의 OWAS(Ovako Working Posture Analysis System) 평가 기법을 한국의 조선업과 중공업 작업 현황에 맞게 개발한 S-OWAS 평가 기법에서

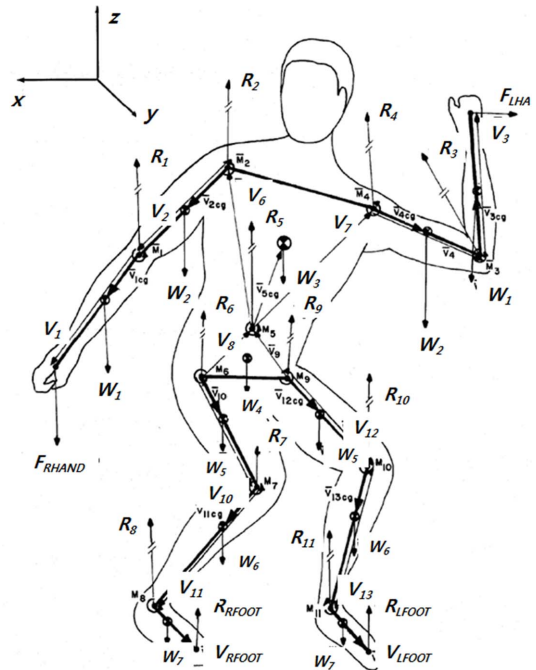


Fig. 1 Diagram of the strength model^{18,91}

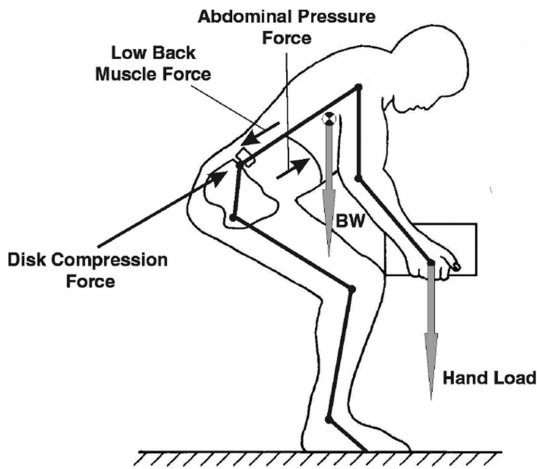


Fig. 2 Simplistic diagram of sagittal model^[9]

작업 자세의 위험 수준을 평가하기 위하여 3D SSPP를 이용하였으며^[11] 해당 프로그램은 정적인 상태에서 근력 측정과 무리한 작업 여부를 판단하는데 널리 사용되고 있다.

2.2 에너지 소모 예측 프로그램의 이론적 배경

작업자의 에너지 소모량을 측정하기 위해 생체 역학적인 방법으로 작업 상태를 관찰하고 간단한 계측을 통해 작업 시 에너지 소모량을 측정할 수 있는 EEPP는 미시간 대학의 인간공학 센터에서 개발되었다. 이러한 신진대사 예측 모델은 작업이 임무 또는 활동 요소로 분할될 수 있다는 가정에 기초를 두고 있다. 각 임무들을 수행하는데 소비되는 에너지는 경험적 데이터로부터 유도된 예측식을 사용하여 계산된다. 이러한 에너지 요구량을 계산하기 위해서는 작업자의 이동 거리, 주기, 임무 수행 자세, 물건을 드는 기술, 임무 수행에 필요한 시간 등의 정보와 성별, 체중 등이 필요하다.

작업에 대한 평균 신진대사 에너지 소모율은 각 임무에서의 에너지 요구량과 다양한 인체의 자세를 유지하는데 필요한 에너지를 더한 합계의 평균값으로 예측할 수 있다^[12].

$$E_{job} = E_{basal} + \sum(E_{taskj}/T_{taskj}) \quad (1)$$

E_{job} : average energy expenditure rate of the job (kcal/min)

E_{basal} : metabolic energy expenditure rate necessary to maintain basal metabolism and posture (kcal/min)

E_{taskj} : net metabolic energy expenditure rate of the j^{th} task in steady state (kcal)

T_{taskj} : time duration of the j^{th} task (min)

식 (1)의 첫 번째 항은 자세를 유지하는데 필요한 에너지와 관련이 있으며 성별, 체중, 자세와 관련이 있다. 식 (1)의 두 번째 항은 전체 작업을 구성하는 각각의 직무가 요구하는 에너지 소모량을 나타낸다.

작업 강도를 평가하는 방법으로 작업 중 에너지 소모량(energy expenditure)을 정량화하는 방법이 사용되고 있으며, 심박동수로 측정된 에너지 소모량(EEHR: estimated energy expenditure by heart rate) 측정방법이 보편적으로 사용되고 있다^[13,14]. 그러나 이 방법은 사전에 측정 대상의 육체적 능력을 측정해야 하고, 작업 중에 심박동수 측정기를 부착해야 하며, 측정 대상 1인당 전문가가 2일 이상 관찰과 측정을 해야 하므로 상당한 연구기간과 비용이 소요된다^[14].

국내에서 EEPP와 EEHR로 측정된 에너지 소모량에 대한 상관관계에 대한 연구 등이 수행된 바 있으며, EEPP가 심박동수 측정방법에 의한 에너지 소모량에 비해 낮게 예측되는 경향이 있으나, 규칙적 작업 및 남성 작업자에 대해서는 타당성이 있다는 연구 결과가 있었다^[14]. 따라서 본 연구에서는 청정실 구축 단계에서 바로 적용하기 위하여 EEPP를 이용한 에너지 소비량을 측정하는 방법을 채택하였다.

3. 청정실에서의 매선 제작 작업 분석

3.1 적용 대상의 제한 사항

본 연구는 매선 제작을 위한 공장을 만드는 초기 단계에서 소수 인원이 청정실 내에서 처음 작업을 시작하면서 해당 작업의 부하나 에너지 소비를 분석하기 위한 목적으로 실시되었다. 따라서 많은 작업자들로부터 데이터를 얻을 수 있는 조건이 아니었으며, 작업자 한 사람을 대상으로 측정 및 분석을 실시하였다. 이로부터 얻어진 결과는 향후 생산 라인을 확대하였을 경우에 작업량과 투입 인원 등을 선정하는 기본 자료로 활용하고자 한다.

3.2 작업 자세에 따른 인체의 부하 분석

의료용 실인 매선 제작 작업은 특성 상 주로 앉

은 상태에서 이루어지며 제품을 이동시킬 때 걸거나 옮기는 작업이 이루어진다. 매선 제작에 필요한 부품 박스를 이동하거나 최종적으로 만들어진 매선 상자를 이동할 경우에 가장 큰 부하가 발생할 수 있다. 매선은 10개가 하나의 팩에 포장되며 100개의 팩을 한 상자에 포장하여 판매한다. 한 박스의 질량에 해당하는 16 kg을 양손으로 균등하게 들 경우를 가정하여 작업자의 오른손과 왼손에 가해지는 하중을 각각 78.5 N으로 입력하였다.

작업자는 실제 작업에 참여한 남자 성인의 신체 조건에 따라 키 172 cm, 몸무게 63.5 kg을 입력하였다. 작업 자세는 약간 몸통을 구부린 자세이며, 몸통과 다리 및 양 손의 위치는 대칭인 상태에 대해 계산을 수행하였다.

입력한 인체의 자세를 위와 아래에서 바라본 모습이 Fig. 3에 나와 있다. 모든 자세는 대칭인 조건을 입력하였다. 한편 Fig. 4는 옆에서 바라본 모습과 상자를 든 인체를 경사면에서 바라본 모습이다.

팔과 다리의 분할 각은 Fig. 5에 나와 있는 대로 좌우 대칭 조건을 설정하였으며, 몸통은 앞으로 52° 기울어진 상태이다. 손의 각도는 Fig. 6에 나온 바와 같이 수평으로 119°, 수직으로 -41°이며 회전은 없는 상태이다.

3D SSPP 프로그램으로 평가한 해석 결과가 Fig. 7에 요약되어 나와 있다. 이 결과에서 작업에 무리

가 없는지를 판단하는 중요 인자는 3차원 요추 압축력(3D low-back compression force)이며 미국 산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)에서 권고하는 요추 압축력의 한계 값은 3400 N이다. 해석한 작업의 경우에는 요추 압축력이 2580.5 N으로 요추 압축력의 한계 값의 76%에 해당하여 해당 작업이 인체에 무리가 없음을 알 수 있다. 매선 작업에는 크게 무게가 많이 나가는 재료나 공구를 다루지 않기 때문에 이러한 결과는 미리 예측한 바와 같다. 3D

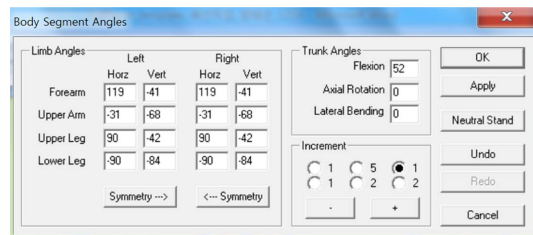


Fig. 5 Body segment angles and trunk angles

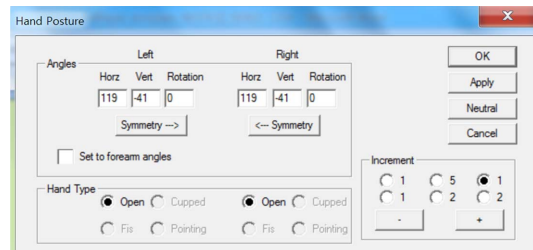


Fig. 6 Hand posture

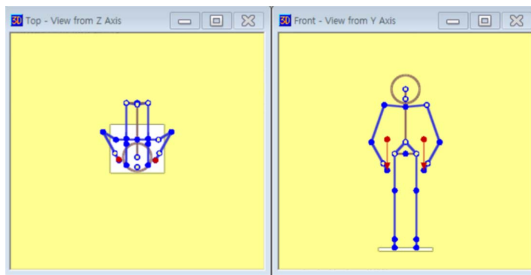


Fig. 3 Top view (left) and front view (right)

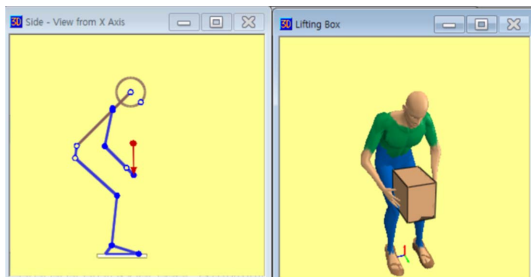


Fig. 4 Side view (left) and oblique view (right)

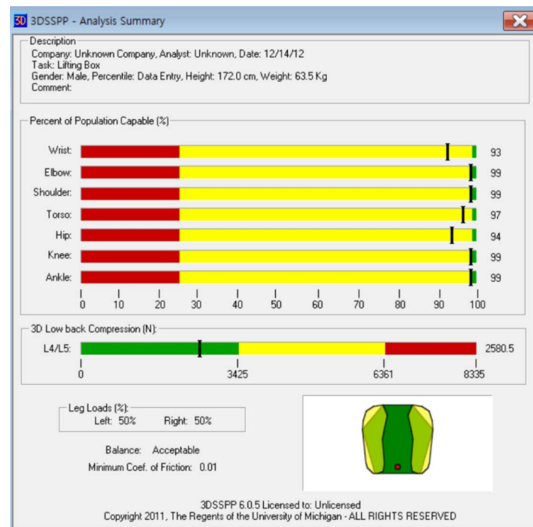


Fig. 7 Analysis summary

	Left			Right		
	X	Y	Z	X	Y	Z
Hand:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Wrist:	-4.6	2.6	0.0	-4.5	-2.6	-0.1
Elbow:	-19.5	10.8	0.0	-19.0	-10.8	-0.3
Shoulder:	-13.1	0.2	0.0	-11.9	-0.2	-0.1
L4/L5:	-142.9	-0.0	0.3			
L5/S1:	-153.7	0	0.3			
Ischial Tuberosities:	---	---	---	---	---	---
Hip:	-81.6	0	0.2	-78.7	0.0	0.2
Knee:	25.1	0	0.2	26.8	0.0	0.2
Ankle:	10.1	0.0	0.2	10.4	0	0.2
Heel of Foot:	0.0	0	0.1	0.0	0	0.1
Front of Foot:	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0

Fig. 8 Moments due to body weight and loads

3DSSPP - Forces

Description:
 Company: Unknown Company, Analyst: Unknown, Date: 12/14/12
 Task: Lifting Box
 Gender: Male, Percentile: Data Entry, Height: 172.0 cm, Weight: 63.5 Kg
 Comment:

Force (N) -- Due to Body Weight and External Applied Loads

	Left			Right		
	X	Y	Z	X	Y	Z
Hand:	0.0	0.0	-78.5	0.0	2.3	-78.4
Wrist:	0.0	0.0	-82.3	0.0	2.3	-82.3
Elbow:	0.0	0.0	-93.1	0.0	2.3	-93.1
Shoulder:	0.0	0.0	-111.0	0.0	2.3	-111.0
L4/L5:	0.0	2.3	-463.9	---	---	---
L5/S1:	0.0	2.3	-482.0	---	---	---
Forward Seat Edge:	---	---	---	---	---	---
Ischial Tuberosity:	---	---	---	---	---	---
Backrest:	---	---	---	---	---	---
Hip:	0.0	-0.8	-275.4	0.0	3.0	-275.4
Knee:	0.0	-0.8	-354.6	0.0	3.0	-354.6
Ankle:	0.0	-0.8	-381.1	0.0	3.0	-381.1
Heel of Foot:	0.0	-0.4	-352.7	0.0	1.5	-352.6
Front of Foot:	0.0	-0.4	-37.3	0.0	1.5	-37.3

3DSSPP 6.0.5 Licensed to: Unlicensed
 Copyright 2011, The Regents of the University of Michigan - ALL RIGHTS RESERVED

Fig. 9 Forces due to body weight and applied loads

SSPP 프로그램에서는 이 밖에도 Fig. 8에서 보는 바와 같이 인체의 몸무게와 외부 작용 하중에 의한 모멘트의 값들이 계산된다. 한편 인체의 몸무게와 외부 작용 하중에 의해 각 관절에서 발생하는 하중의 값은 Fig. 9에 나와 있다.

3.3 청정실 작업의 에너지 소모량 분석

의료용 실인 매선 제작 작업 조건을 바탕으로 미국의 미시건 대학 인간공학센터에서 개발한 EEPP 버전 2.0.6을 이용하여 작업 조건을 입력하였다. 작업자의 몸무게는 63.5 kg이며 작업자의 조건은 남자 성인이다. 청정실에서 작업하는 모습의 사진이 Fig. 10, 11, 12에 나와 있으며, 각각 서서 작업하기, 서서 굽힌 자세에서 작업하기(가운데 작업자), 앉은 자세에서 작업하기의 모습이 나와 있다.

한방에서 미용의 목적이나 주름 개선용으로 사



Fig. 10 Standing task in a clean room



Fig. 11 Standing bent task in a clean room



Fig. 12 Sitting task in a clean room

용되는 의료용 실은 매선이라고 부르며, 주사 바늘에 매선을 삽입하고 일정 길이만큼 나오게 하여 고정한 후에 주사를 닫는 작업으로 매선 키트의 제작이 완성된다. 제작 공정은 비교적 간단하나 장력에 따른 매선 실의 팽창이나 훼손 여부를 판별하는 작업이 추가로 필요하다. 또한 매선 키트 10개를 하나의 팩으로 포장하는 작업이 추가된다. 매선 키트는 봉합사 주사기의 형태이며 평균 포장지

에 담겨서 상품으로 판매된다. EEPP 프로그램의 입력 조건을 설정하기 위해서는 우선 작업을 요소별로 분류하여야 하는데 매선 작업은 비교적 공정이 간단하기 때문에 서있기, 서서 굽히기, 앉기의 3가지 작업 자세로 요약할 수 있다.

매선 작업의 자세는 서있기(standing) 5%, 서서 굽히기(standing bent) 15%, 앉기(sitting) 80%로 구성되었다. 매선 제작 상세 작업은 걷기(walk), 운반하기(carry), 수작업(hand work)로 구성되었다. 의료기기를 생산하는 작업이므로 모든 작업은 청정실에서 이루어지며 4시간 연속 작업에 주기 지속 시간은 20분으로 설정하였다.

상세한 작업 설정 조건은 Table 1에 나와 있다. 걷기, 운반하기, 수작업에 대한 주기, 시간, 소모 에너지 등이 나와 있다. 상세 작업 중 걷기(walk)는 평평한 경로를 걷는 경우로 설정하였으며, 운반하기(carry)는 매선 작업에 사용하는 재료의 무게를 고려하여 한 손이나 양 손에 0.3 kg(0.66 lb)의 짐을 운반하는 경우로 설정하였다. 대부분의 작업은 수작업(hand work)으로 이루어져 있다. Table 2에는 총 자세 에너지, 총 요소 에너지, 사이클 에너지, 총 작업 에너지, 총 작업 에너지 소모율의 값이 정리되어 있다. 총 에너지 소모율은 작업 시 해당 작업 수행의 강도를 평가하는 기준으로 사용된다.

작업자의 몸무게는 63.5 kg(140 lb)이며 이 작업자가 해당 상세 작업을 수행하면서 소비한 총 에

너지 소모량은 740.93 kcal로 계산되었다. 또한 작업의 피로도를 판별하는데 기준이 되는 에너지 소모율은 3.09 kcal/min로 계산되었다. 이러한 결과 값은 미국 질병통제관리국 산하에 있는 산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety Health, NIOSH)^[16]에서 하루 평균 8시간 작업 시 가이드라인으로 제시하는 3.5 kcal/min의 값의 88%에 해당하는 값이며, 따라서 해당 작업은 작업자에 무리가 되지 않는 적절한 작업이라고 판단할 수 있다.

3.4 작업자 변경에 따른 에너지 소모량 예측

초기 공장 설립 단계에서 청정실에서의 매선 제작 과정에 투입된 에너지 소모량 조사 대상은 22세, 키 172 cm, 몸무게 63.5 kg인 남성이었다. 그러나 양산 시 투입될 생산 인원은 경기도에 소재한 공장 인근에 거주하는 여성 인력들이며, 이에 대한 에너지 소모량을 예측할 필요가 있었다. 인체치수에 대한 정보는 국가 기술표준원에서 구축한 한국인 인체표준 정보 데이터베이스를 활용하였다^[17]. 실제 작업에 투입된 남성 작업자와 가장 유사한 3차원 인체형상 데이터를 얻기 위하여 연령 20~24세, 키 172 cm, 몸무게 63~64 kg인 남성을 검색 조건으로 입력하여, ID 6_1617 남성의 치수 데이터와 전신 스캔 데이터를 확보하였다^[17]. 이 남성은 22세이고, 키는 171.68 cm, 몸무게 63.7 kg이며, 전신 스캔 형상을 Rapidform Basis 소프트

Table 1 Task information

Type	Frequency	Force (kg)	Time (min)	Distance (mm)	Energy (kcal)
Walk	20	-	0.02	914 (3 ft)	0.59
Carry	20	0.3 (0.66 lb)	0.02	914 (3 ft)	0.69
Hand Work	15	-	10	-	30.00

Table 2 Summary of expended energy

Calculated items	Value
Total posture energy (kcal)	30.46
Total elements energy (kcal)	31.28
Cycle energy (kcal/cycle)	61.74
Total task energy (kcal/min)	740.93
Total energy rate (kcal/min)	3.09

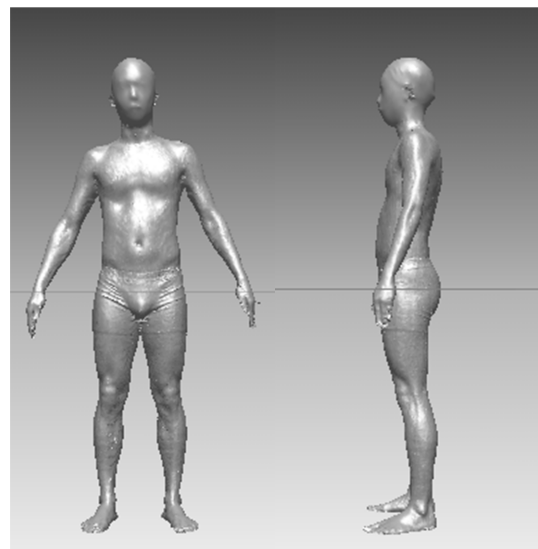


Fig. 13 3D scan data of ID 6_1617 man

Table 3 Weight measurement data from Size Korea^[17]

Versus age	No. of measurement	Average (kg)	Standard deviation
20~24	298	53.12	6.77
25~29	313	53.42	6.94
30~34	337	55.80	7.44
35~39	353	56.03	7.54
40~49	374	57.22	7.74
50~59	350	58.99	7.56

웨어에서 STL 파일 형태로 나타낸 모습이 Fig. 13에 나와 있다.

작업에 따른 에너지 소모량은 몸무게, 자세, 작업 속도 등의 여러 변수가 있으나, 본 연구에서는 자세 등 작업 조건은 모두 동일하다고 가정하고, 연령 대 별로 표준 몸무게 변화에 따른 에너지 소모량과 에너지 소모율의 변화를 살펴 보았다. Table 3은 2010년 6차 한국인의 인체측정 데이터 중에서 여성의 연령대 별 몸무게의 자료이다. 한국인 여성 20세부터 59세까지 연령 별 몸무게의 평균값

을 이용하여 동일 작업 조건에 대한 에너지 소모량 등을 EEPP 프로그램으로 계산하였다.

Table 4에는 작업 여성의 연령대 별 평균 몸무게 값을 입력하였을 때 EEPP에서 계산된 에너지 값과 에너지 소모율을 나타내었으며, 실제 작업에 투입한 22세 남성의 결과와 비교하였다. 작업자의 몸무게 변화에 따른 각 항목의 변화를 비교하기 위하여 실제 작업에 투입한 남성의 데이터를 기준으로 하여 정규화(normalization)한 데이터를 Table 5에 나타내었다.

작업자의 체중에 따른 각 항목의 변화를 살펴보면, 정규화된 전체 자세 에너지는 정규화된 체중의 변화와 거의 일치하는 것을 알 수 있다. 이는 식 (1)의 작업 에너지 산출 식의 첫 번째 항인 기초 물질대사와 자세를 유지하기 위한 물질대사에너지 항은 성별, 체중, 작업 자세와 관련된 값이기 때문에, 체중 변화와 유사한 결과가 나온 것으로 판별된다. 전체 요소 에너지 항목은 변화가 거의 없으며, 체중과 무관함을 알 수 있다. 전체 사이클 에너지는 체중 증가와 함께 증가함을 알 수 있고,

Table 4 Calculation result of expended energy and total energy rate according to versus age

Versus age	Weight (kg)	Total posture energy (kcal)	Total element energy (kcal)	Cycle energy (kcal/cycle)	Total task energy (kcal)	Total energy rate (kcal/min)
20~24	53.12	25.48	31.16	56.64	679.72	2.83
25~29	53.42	25.63	31.16	56.79	681.44	2.84
30~34	55.80	55.8	31.18	57.75	695.39	2.90
35~39	56.03	56.03	31.18	58.06	696.72	2.90
40~49	57.22	57.22	31.20	58.65	703.80	2.93
50~59	58.99	58.99	31.22	59.52	714.25	2.98
Reference Male	63.50	30.46	31.28	61.74	740.93	3.09

Table 5 Normalized results of expended energy and total energy rate according to versus age

Versus age	Normalized weight (kg)	Normalized total posture energy (kcal)	Normalized total element energy (kcal)	Normalized cycle energy (kcal/cycle)	Normalized total task energy (kcal)	Normalized total energy rate (kcal/min)
20~24	0.836535	0.836507	0.996164	0.917396	0.917388	0.915858
25~29	0.841260	0.841431	0.996164	0.919825	0.919709	0.919094
30~34	0.882362	0.878858	0.996803	0.935374	0.938537	0.838511
35~39	0.882362	0.882469	0.996803	0.940395	0.940332	0.838511
40~49	0.901102	0.901182	0.997442	0.949951	0.949887	0.948550
50~59	0.928976	0.929087	0.998082	0.964043	0.963964	0.964440
Reference Male	1	1	1	1	1	1

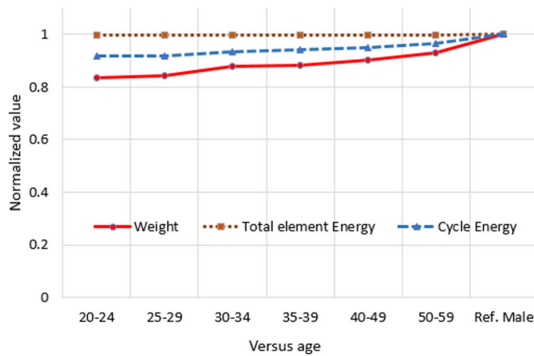


Fig. 14 Normalized value of weight, total element energy and total cycle energy

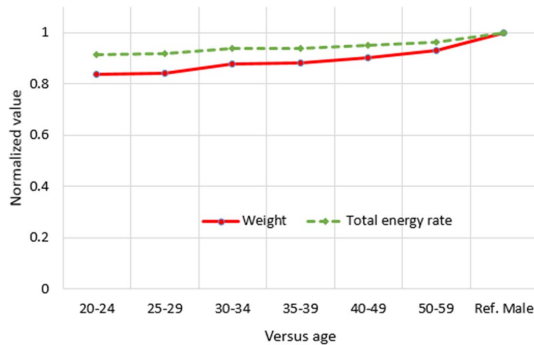


Fig. 15 Normalized value of weight and total energy rate

이러한 변화 추세를 Fig. 14에 해당 에너지 항목과 체중 변화를 연령대 별로 비교하였다. Fig. 15에는 연령대 별 체중 변화와 최종적인 에너지 소모율의 변화를 나타내었다. 한국인 여성의 몸무게는 20대에서 50대로 연령이 증가하며, 20대에서 30대로 변화면서 증가 폭이 뛰는 것을 알 수 있으며, 이러한 추세는 전체 에너지 소모율 변화에서도 유사하게 나타났다. 작업에 실제 투입된 남성과 20~24세 여성을 비교하면, 몸무게는 16.3% 감소하였으며, 이때 전체 에너지 소모율은 3.90에서 2.83 kcal/min로 8.4% 감소하였다.

4. 결 론

근골격계 질환을 예방하기 위한 대책으로 생산 공장에서 일하는 작업자에 대해 인간공학적 측면에서 작업 자세에 대한 연구가 많이 이루어져 왔다. 반도체공정 작업이나 의료기기 생산은 청정실에서 이루어짐에 따라 한 번 작업 시 연속적으로 작업을 수행해야 하는 청정실 작업에 대한 인간공

학적 분석이 요구되고 있다.

이러한 추세에 맞춰서 의료기기인 매선 제작에 있어 작업자의 자세와 세부 작업 요소에 대해 인체의 정적 강도와 에너지 소모량에 대한 분석을 수행하였다. 특히 본 연구는 대량 생산을 시작하기 전에 소수 인원에 의한 시험 생산을 하는 단계에서 해당 작업의 강도와 작업량 선정을 하기 위해 인간공학 프로그램을 이용하여 작업 자세와 에너지 소모량에 대한 분석을 실시하였다. 해당 작업에서 인체에 무리한 자세는 없는 것으로 판단되었으며, 측정된 에너지 소모율은 하루 평균 작업의 가이드라인을 넘지 않는 것으로 계산되었다.

청정실에서의 매선 제작을 위한 설립 초기 공장에서 작업한 20대 남성 작업자에 대해 작업 시 작용하는 하중에 대한 분석과 전체 공정에 대한 에너지 소모율을 구하였으며, 향후 작업을 수행하게 될 연령대 별 여성에 대해 한국인의 표준 측정데이터를 이용하여 에너지 소모율을 구하였으며, 각 에너지 항목별로 체중 변화에 따른 영향을 고찰하였다. 청정실에서의 작업에 대한 인간공학적 평가 절차는 해당 작업량을 가감하는 근거로 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 2013학년도 인덕대학교 학술연구비에 의해 수행된 과제임을 밝힙니다.

References

1. Kee, D.H. and Park, K.H., 2005, Comparison of Posture Classification Schemes of OWAS, RULA and REBA, *Journal of the KOSOS*, 20(2), pp.127-132.
2. Yang, S.H. and Jeon, S.H., 2001, Comparison of the Ergonomic Evaluation Tools for the Working Postures, *J. of Korean Association of Security and Safety*, 4(1), pp.41-48.
3. Myung, S.H. and Lee, J.W., 2003, Analysis and Visualization of the Human Simulation Using Commercial Solution, Proceedings of the Society of CAD/CAM Engineers Conference.
4. Song, Y.J. and Lee, K.W., 2005, Integrated Product Design Environment to Support the Human-Centered Design, Proceedings of the Society of CAD/CAM Engineers Conference, pp.87-96.
5. Lee, Y.S. and Kim, K.A., 1999, A Study on

- the Thermal Comfort of Clean Room Gloves, *J. of the Korean Society of Living Environmental System*, 6(2), pp.17-23.
6. Editorial Department of Korea Air Cleaning Association, 1997, International Standard of Technology for Cleanrooms and Associated Controlled Environments (ISO14644-1, ISO 14644-2), *Air Cleaning Technology*, 10(4), pp.19-20.
 7. Lee, K.S., Ko, M.K., Lee, J.H., Kim, M.J. and Hong, K.E., 2011, The Effect of Facial Embedding Therapy on Skin Elasticity and Moisture Content, *The Journal of Korean Acupuncture & Moxibustion Society*, 28(5), pp.111-119.
 8. Chaffin, D.B., Andersson, G.J. and Martin, B.J., 2006, Occupational Biomechanics, 4th Edition, J. Wiley & Sons, Inc., New York.
 9. The University of Michigan, Center for Ergonomics, 2011, 3D Static Strength Prediction Program, Version 6.0.5. User's Manual
 10. Lee, C.J., Chun, Y.U., Choi, Y.H. and Cho, A., 2002, Causes and Preventive Measures for Low Back Pain Industrial Accidents Suffered by Automobile Assembly Workers, Fall Conference of the Ergonomics Society of Korea, pp.119-123.
 11. Kim, Y.C. and Kim, D.S., 2012, Development of New Method for Whole-Body Working Postures: K-OWAS, *J. of the Ergonomics Society of Korea*, 31(1), pp.165-170.
 12. The University of Michigan, Center for Ergonomics, 2011, Energy Expenditure Prediction Program™, Version 2.0.
 13. Woo, J.H., Kang, D.M., Shin, Y.C., Kim, M.O., Son, M.J., Kim, B.W., Cho, B.M. and Lee, S.I., 2006, Energy Expenditure of Male Blue Collar Workers, *J. of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene*, 16(1), pp.183-192.
 14. Kang, D.M., Woo, J.H., Lee, Y.H., Cho, B.M. and Lee, S.I., 2004, Validity of the Energy Expenditure Prediction Program to Evaluate Energy Expenditure During Work”, *Korean J. of Occupational and Environmental Medicine*, 16(3), pp.303-315.
 15. Jung, M.K., Lee, K.W., Cho, H.D., Kim, T.W., Yanzhao, M. and Lee, S.H., 2007, Digital Human Modeling for Human-centered CAD System, *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, 12(6), pp.429-440.
 16. Kim, J.N., Jeong, S.H. and Jee, H.S., 2008, Part Assembly Sequences for Human Assembler Posture, *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, 13(5), pp.391-402.
 17. <http://sizekorea.kr/>



정 태 은

1986년 서울대학교 기계공학과 학사
 1988년 서울대학교 기계설계학과 석사
 1993년 서울대학교 기계설계학과 박사
 1993년~1999년 고등기술연구원 책임연구원
 2007년~2008년 University of British Columbia, Visiting Associate Professor
 1999년~현재 인덕대학교 메카트로닉스과 교수
 관심분야: CAD/CAM Education, Biomechanics, Human Modeling, Modelling & Simulation