

## 3D 작업자 시뮬레이션을 이용한 굴삭기 생산공정 작업자 자세분석

문덕희<sup>1†</sup> · 백승근<sup>1</sup> · 장병림<sup>1</sup> · 이준석<sup>1</sup>

### Posture Analysis of Workers in an Excavator Factory Using 3D Human Simulation

Dug Hee Moon · Seung Geun Baek · Bing Lin Zhang · Jun Seok Lee

#### ABSTRACT

Recently, work-related musculoskeletal disorders (WMSDs) become a hot issue in the industrial fields. To prevent the potential risk of workers, various approaches have been adopted. One of the approaches is to improve the design of product, that of jig (or fixture) and that of workstation in the early stage of the development. 3D simulation technology is known as the powerful method for detecting such problems before constructing the workstation, because it is possible to evaluate the posture of worker using 3D models in a cyber space. It enables to find the unexpected problems and save the time and cost for redesign and rework.

This paper introduces a 3D simulation case study of workers in an excavator factory. 3D models of products, jigs were developed with CATIA. The assembly processes were animated in IGRIP and DPM. Finally the various postures of worker were simulated using Human. As a result, some postures were analysed as the risky jobs and the result of simulation was used to improve the system.

**Key words :** 3D Simulation, Worker, Posture, Virtual Manufacturing

#### 요약

근래에 작업자의 근골격계 질환이 산업현장의 주요한 문제로 등장하였다. 이러한 문제를 줄이기 위하여 다양한 방법들이 사용되고 있는데 그 중의 하나가 제품설계, 치구설계, 작업장 설계를 할 때 작업자의 안전을 최대한 확보하도록 설계단계에서 개선을 하는 것이다. 최근에 급속히 발전하고 있는 3D 시뮬레이션 기술을 사용하면 작업장을 설계하는 단계에서 제품 및 치구의 3D 도면을 이용하여 가상의 작업공간을 구축한 후 작업자의 작업 자세를 사전에 검증해 볼 수 있기 때문에 작업장 구축 후 발생할 수 있는 많은 문제점들을 사전에 검증하여 설계실패비용을 최소화할 수 있다.

본 논문은 3D 작업자 시뮬레이션을 이용하여 굴삭기 공장의 특정한 공정을 대상으로 개선 및 최적화를 하기위한 연구다. 먼저 CATIA를 이용하여 제품과 치구 등 작업장 구축을 위한 3D 모델을 개발하였다. 그리고 IGRIP, DPM, Human 등의 개발도구를 복합적으로 이용하여 작업장에서의 작업내용을 시뮬레이션 할 수 있는 모델을 개발한 후 작업 자세에 대한 분석을 수행하였다. 분석결과는 작업장을 개선하는데 이용하였다.

**주요어 :** 3D 시뮬레이션, 작업자, 작업 자세, 가상생산

\* 이 연구는 교육인적자원부, 산업자원부, 노동부의 출연금으로 수행한 산학협력중심대학육성사업 기술개발과제의 연구 결과임.

2006년 7월 14일 접수, 2006년 9월 2일 채택

<sup>1)</sup> 창원대학교 산업시스템공학과

주 저자 : 문덕희

교신저자 : 문덕희

E-mail; dhmoon@sarim.changwon.ac.kr

## 1. 서 론

제품의 생명주기가 짧아지고, 고객의 요구가 다양해짐에 따라 기업환경은 다품종소량화의 추세가 심화되고 있다. 이러한 급속한 시장변화와 글로벌화 된 시장 환경속에서 기업들은 제품개발주기의 단축, 제조시간의 단축, 원가절감 등에 효과적인 가상생산(Virtual Manufacturing, VM)기술을 도입하고 있다. 가상생산은 제품과 제조 시스템의 물리적 요소, 논리적인 요소 등을 엄밀하게 모델링하고 소재의 특성, 제조방법 등의 데이터를 기초로 실제 제조환경과 흡사한 컴퓨터 모델을 구축하는 것을 말한다. 이러한 가상생산 기술을 이용하여 실제 제조환경을 수정하고 제어함으로써, 실제 생산 활동에서 빈번하게 발생하고 있는 설계변경 시 추가 되는 비용과 시간의 낭비를 최소화 할 수 있다(Iwata 등, 1997). 또한 최근에는 작업자의 작업동작을 가상생산기술을 이용하여 자세를 분석 할 수 있는 3D 작업자 시뮬레이션 소프트웨어들이 많이 개발 되고 있다.

최근 이슈(Issue)가 되고 있는 작업자의 근골격계질환과 같은 직업병을 예방하기 위하여 기업들은 작업자가 수작업으로 일을 하는 공정을 분석하여 작업자 직업병 예방을 위해 작업 자세를 교정하기 위한 치구, 장비, 제품 등의 설계변경을 하는 경우가 많이 발생하고 있다.

특히 건설 중장비 제조공정은 제품의 크기가 크고 무거우며, 철판 및 프레임이 두껍기 때문에 작업자의 작업 환경이 열악한 편이다. 따라서 이러한 작업자의 작업 자세를 보완하기 위해서 치구, 장비, 제품 등의 설계변경이 뒤따라야 할 경우가 많이 발생하고 있다. 하지만 문제가 되는 공정의 작업 자세를 보완하기 위하여 무턱대고 치구, 장비, 제품의 설계를 변경할 수 없을 뿐더러 설계변경의 시행착오로 인한 시간과 비용을 무시할 수 없는 것이 사실이다. 따라서 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 가상생산 기법을 도입하여 실제와 차이가 없는 작업장을 구성하고 작업자의 작업 자세를 3D 작업자 시뮬레이션을 이용하여 사전 분석/평가 할 수 있다. 이러한 사전 분석을 통하여 새로운 치구 및 장비를 개발 하고 이것을 가상현실에 적용시켜 사전 분석 해봄으로써 작업자의 작업 자세를 보완하기 위해 소요되는 시간과 비용을 최소화 하면서 효과적인 대안을 찾아 낼 수 있을 것이다.

이 논문은 건설중장비의 한 종류인 굴삭기 생산 공정을 대상으로 작업장 개선을 다룬 사례연구다. 특히 3D 작업자 시뮬레이션 기법을 이용하여 최근 이슈가 되고 있는 직업병의 하나인 근골격계질환을 예방하기 위한 작업자

의 작업 자세를 분석/평가해보고 문제가 발생할 수 있는 해당공정의 작업대를 개선한 내용을 소개하도록 한다.

## 2. 관련연구

### 2.1 가상생산

가상생산 기술은 그 사용 범위에 따라 설계중심(Design-centered), 통제중심(Control-centered), 생산중심(Production-centered)의 3가지로 나눌 수 있다(Lawrence Associates Inc, 1994). 설계중심의 가상생산은 제품이나 장비 등의 설계단계에서 설계자에게 제품설계정보를 제공하여 설계상에서 발생할 수 있는 각종 문제점들을 사전에 점검하여 고품질의 제품을 설계하는 것으로서 3D CAD 관련 기술이 대표적인 설계중심의 가상생산 기술이다.

통제중심의 가상생산은 실제 생산에서의 공정의 프로세스를 검증하여 최적화된 운영을 목표로 하여 가상 모형에서 단위기계에서의 공정(가공, 프레스, 용접, 도장 등)에 대한 검증을 하기 위한 것이다. 또한 통제중심의 가상생산은 이러한 특정한 공정상에서 작업을 하는 작업자의 작업공정도 포함하며, 이를 위하여 최근에는 인간공학을 가상생산기술을 이용하여 분석하기 위한 소프트웨어들이 많이 개발 되고 있다.

생산중심 가상생산은 배치계획, 생산능력평가, 버퍼분석, 물류시스템 설계, 라인밸런싱 등을 주요 분석 대상으로 하며 제품계획기간동안 가상모형을 활용하여 여러 가지 생산 대안들을 빠르고 쉽게 평가하여 자재의 흐름과 생산현장을 최적화시키기 위하여 생산과정을 시뮬레이션 하는 것이다. 이중 국내에서는 설계 중심의 가상생산은 전반적인 산업체에 보급되어 활용되어지고 있지만 통제중심 및 생산중심의 가상생산의 적용은 자동차업계와 조선업계를 제외하고는 아직까지 그 활용도가 미비한 실정이다(문덕희 등, 2006).

### 2.2 근골격계질환

부적절한 작업 자세는 근골격계질환의 주요 원인으로 지적되고 있다(나석희 등 (2004), Grandjean과 Hunting (1997)). 이러한 부적절한 작업 자세를 평가하기 위한 방법으로 유해요인정밀조사 기법이 많이 사용되고 있다. 유해요인정밀조사 기법은 사용이 간단하면서 비용이 저렴하고, 작업 자세 부하에 대해 신뢰할 수 있는 정보를 얻을 수 있다는 장점이 있다(나석희 등 (2004), Genaidy 등 (1994)). 대표적인 유해요인정밀조사 기법으로는 OWAS, PLAS, REBA, RULA, SI 등이 있다.

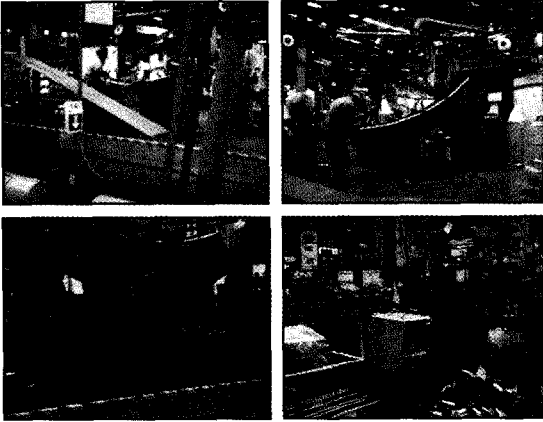


그림 2. 대상 공정 선정

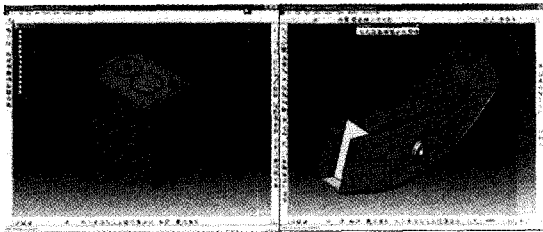


그림 3. 제품의 3D 모델

본 논문에서는 이 중 RULA와 REBA를 이용하여 작업자 작업 자세 분석을 하고자 한다. McAtamney와 Corlett(1993)은 근골격계질환과 관련된 위험인자에 대한 작업자의 노출정도를 평가하기 위한 목적으로 RULA를 개발하였는데, 어깨, 팔목, 손목, 목 등 상지(Upper Limb)에 초점을 맞추어서 작업자세로 인한 작업부하를 쉽고 빠르게 평가하기 위하여 만들어진 기법이다. 이 도구는 EU의 VDU 작업장의 최소안전 및 건강에 관한 요구 기준과 영국(UK)의 직업성 상지질환의 예방지침의 기준을 만족하는 보조도구로 사용되고 있을 정도로 그 분석 기법이 과학적으로 입증 되었다.

반면에 REBA는 Hignett와 McAtamney(2000)에 의해 개발되었다. REBA는 상지작업을 중심으로 한 RULA와 비교하여 간호사 등과 같이 예측하기 힘든 다양한 자세에서 이루어지는 서비스업에서의 전체적인 신체에 대한 부담정도와 위험인자에의 노출정도를 분석하기 위한 목적으로 개발되었다.

표 1. V5와 EM-Human의 기본적인 분석 기법

DELMIA V5-Human	EM-Human
RULA Analysis	NIOSH Analysis
Postural Score Analysis	OWAS Analysis
Carry Analysis	Hand-Arm Force Analysis

### 2.3 3D 작업자 시뮬레이션 소프트웨어

3D 작업자 시뮬레이션을 위한 개발도구로는 Dassault Systems의 DELMIA에서 제공하는 V5-Human과 UGS의 EM-Engine에서 제공하는 EM-Human이 널리 사용되고 있다. 이 이외에도 Safe-Work이라는 소프트웨어도 보편적으로 사용되고 있다. 나종관과 박민용(2005)는 Safe-Work을 이용하여 소형부품을 조립하는 자동화시스템에서 근무하는 작업자의 작업자세 개선에 대한 연구를 수행하였다. 하지만 Safe-Work는 V5-Human 이나 EM-Human에 비해 제품이나 치구 등 작업장 설계에 관련된 3D 모델과 통합시켜 연동하는 기능이 떨어진다고 하겠다.

이러한 3D 작업자 시뮬레이션 소프트웨어를 사용하면 작업자의 정적인 작업 자세분석뿐만 아니라 동적인 상태의 작업자 움직임을 한눈에 볼 수 있다는 장점이 있다. 이러한 동적인 작업 자세 분석은 기존의 정적인 작업 분석에서 미처 발견하지 못하는 나쁜 작업 자세들을 찾을 수 있으며, 유해요인정밀조사 기법인 RULA, OWAS 등을 제공해줌으로써 기존의 분석방법에 의해 시간과 비용을

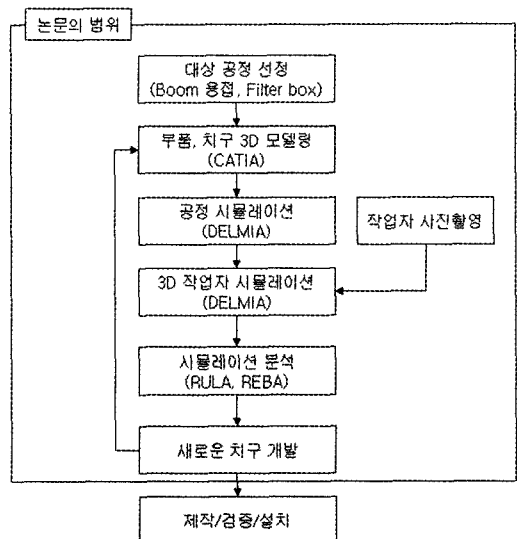


그림 1. 연구 추진 흐름도

절약할 수 있다.

표 1은 V5-Human과 EM-Human에서 제공하고 있는 기본적인 작업자의 작업 자세 분석기법들이다. 표 1에서 알 수 있듯이 V5-Human은 작업자가 작업을 할 때 취하는 자세(posture)를 중심으로 작업자 평가방법의 기능을 기본적으로 제공하며 EM-Human은 무게 등의 작업자 외적인 요인에 중점을 둔 작업자 평가방법의 기능을 기본적 으로 제공한다.

### 3. 연구내용

#### 3.1 연구 범위

그림 1은 연구 진행 과정을 보여주고 있다. 먼저 대상 공정을 선정 한 후 부품 및 치구, 공구 등을 3D 설계프로그램인 CATIA V5를 이용하여 3D CAD로 설계를 한다. 이렇게 설계한 모델을 PLM 설계프로그램인 DELMIA V5에서 이용하여 공정 시물레이션 및 3D 작업자 시물레이션을 통한 작업자 작업 자세 분석을 통해 작업자의 작업 자세가 문제가 되는 공정을 찾아보고자 한다.

#### 3.2 대상 공정 선정

이 논문은 굴삭기의 공정 중 Boom Center Box의 가접 및 본접을 하는 3개의 용접공정과 상부 Filter Box의 일부 조립공정을 연구 대상으로 하였다. 이 공정들은 부품의 무게와 크기가 크며, 자동화를 하기에는 아직까지 여러 가지 어려움이 있어서 사람이 직접 작업을 하는 공정들이다. 그림 2는 논문의 대상 공정을 나타내고 있다.

#### 3.3 부품, 치구 3D 모델링

그림 1에서 제시한 연구진행 순서에 따라 선정된 연구 대상 공정에 대하여 제품(부품 포함) 및 치구, 공구 등을 CATIA V5를 이용하여 3D CAD로 모델링하였다.

그림 3은 용접 및 조립 대상인 Center box와 상부 Filter Box의 3D 모델이며, 그림 4는 이 제품들을 용접 및 조립하기 위한 작업장의 3D 모델이다.

#### 3.4 3D 작업자 시물레이션

CATIA에서 만들어진 모델링된 제품과 치구의 3D 모델은 DELMIA V5에서 그대로 사용이 가능하다. DELMIA V5에는 DPM(Digital Processes for Manufacturing), IGRIP, Ergonomics Design & Analysis 등 다양한 도구들이 포함되어 있다. 먼저 각종 치구들의 동작(Kinematics)은 IGRIP에 있는 ‘Device Building’ 이라는 기능을 이용하여 그림 5과 같이 구현하였는데 이 단계에서 제품과 치

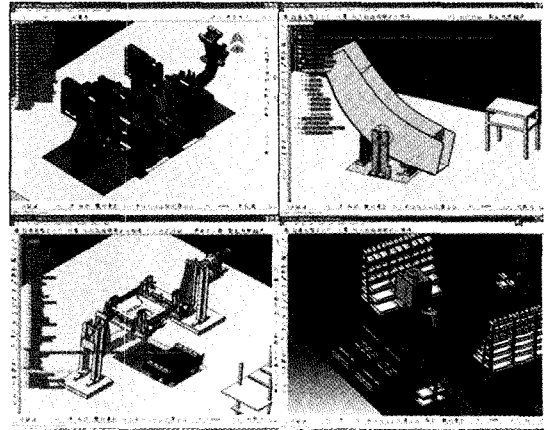


그림 4. 작업장의 3D 모델

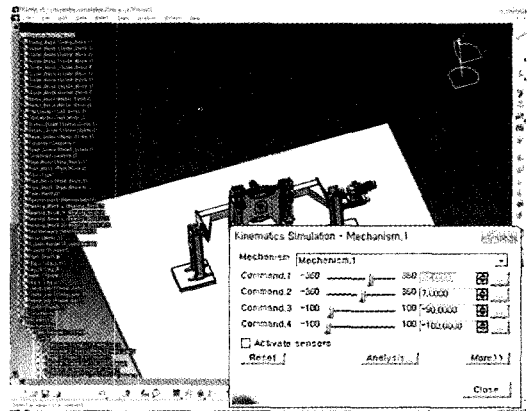


그림 5. 치구의 Kinematics 정의

구들의 간섭 등을 검토하였다.

그 후 작업자가 부품을 하나씩 조립(혹은 용접)하여 제품을 완성시켜 가는 과정을 모델링하기 위해서 DPM에 있는 ‘Assembly Process Simulation’ 기능을 활용하였다. 이 기능을 활용하면 각 부품들이 치구에 하나씩 순차적으로 장착되어 해당공정의 최종 제품이 조립되는 과정을 구현할 수 있다.

다음 단계로 작업자의 작업내용을 3D 모델로 개발하였다. 이 작업은 Ergonomics Design & Analysis에 있는 ‘Human Task Simulation’ 기능을 이용하여 구현하였다. 이를 구현하기 위해 현장에서 작업자의 동작을 촬영한 후 마네킹을 이용하여 실제와 동일한 작업자 동작을 모델링 하였다. 그림 6은 실제 작업자의 모습이며, 그림 7은 마네킹을 이용하여 실제 작업자의 모습을 3D 모델로 구현한

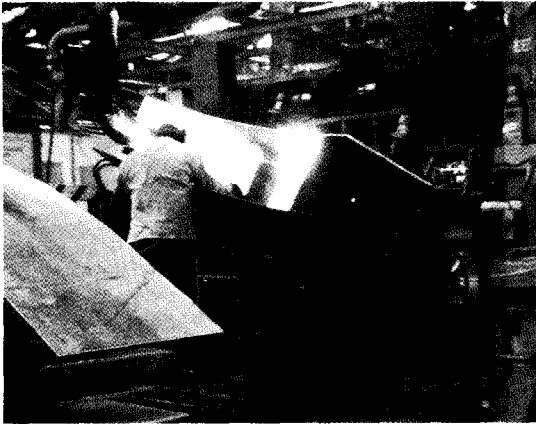


그림 6. 실제 작업자 작업 자세

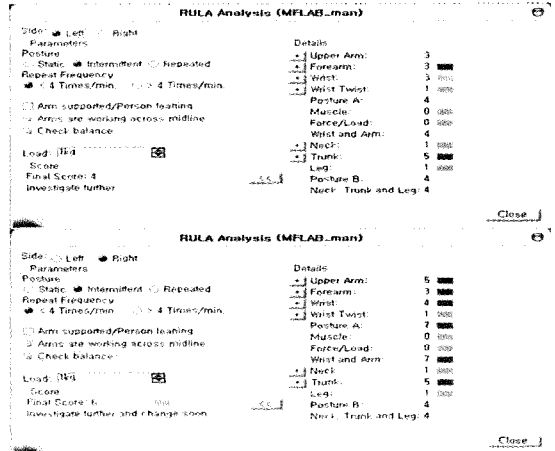


그림 8. RULA 분석 결과 사례

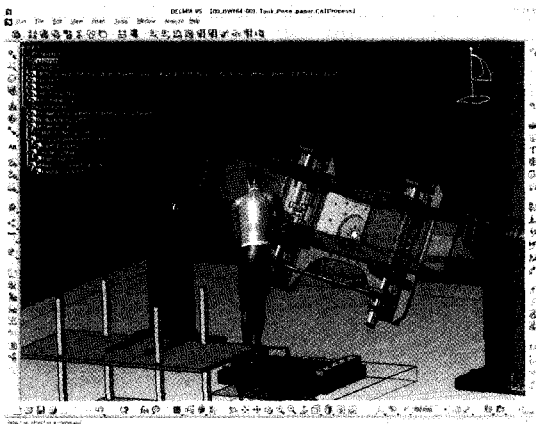


그림 7. 3D 작업자 자세의 3D 모델

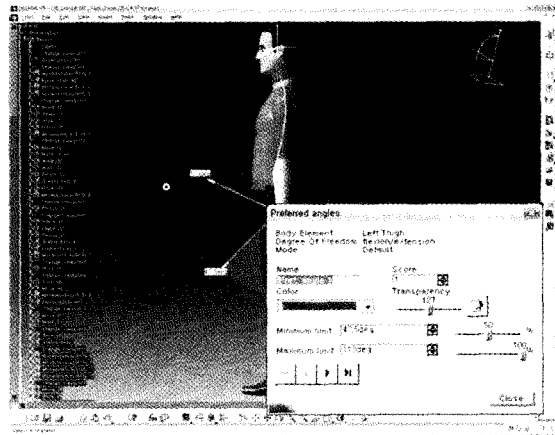


그림 9. Edits Preferred Angles 메뉴화면

모습이다. 이러한 방법으로 이 연구의 대상인 Center Box의 가접 및 본접 공정, Filter Box의 조립공정의 전 과정을 3D 작업자 시뮬레이션 모델을 개발 하였다.

### 3.5 3D 작업자 작업 자세 분석

우선 완성한 시뮬레이션의 모델을 바탕으로 동적인 작업 상태를 분석하였다. 이 과정에서는 가상의 작업자(마네킹)가 이동 및 작업을 할 때 작업자의 작업 자세에 대한 각 부위별 정보를 색깔로 표현을 해준다. 이러한 분석을 통하여 올바르지 않는 작업 자세를 찾고, 이렇게 찾은 동작에 대해서는 좀 더 자세한 분석을 실시하였다.

Ergonomics Design & Analysis에는 'Human Activity Analysis'라는 기능이 있는데, 여기에서는 기본적으로 RULA분석기법을 제공해 준다. 그림 8은 그림 7에 있

는 작업자 자세를 RULA를 이용하여 분석한 결과다. 그 결과 자세에 문제가 있는 것으로 판명되었다.

그림 8에 있는 RULA 분석결과에서는 각 부위별로 위험도를 한눈에 알아 볼 수 있게 색깔로 표시되어 나타난다. 초록색은 안정적인 자세이며, 노랑, 주황, 빨간색으로 갈수록 작업자세가 위험한 수준에 노출 되었다는 정보를 나타내며, 또한 각 부위별 점수를 최소 위험 수준인 즉 안정상태의 점수 0점에서 그 부위의 최고 위험 수준인 점수까지 나타내어 준다. 예를 들어 RULA에서 Upper Arm 최고의 위험 수준일 경우 Score는 6점이며, Wrist는 최고 4점 까지 반영된다.

하지만 RULA분석기법은 앞서서도 밝힌 바와 같이 상

지 중심의 분석기법이다. 따라서 본 논문에서는 다양한 자세에서 이루어지는 작업자의 전체적인 신체에 대한 부담 정도와 위해인자에의 노출 정도를 분석하기 위한 목적으로 개발된 REBA 분석기법을 RULA 분석기법과 병행하여 활용하였다. REBA 분석을 위하여 'Human Posture Analysis' 기능을 사용하였다. 그림 9는 마네킹의 각 신체 부위별 자세에 대하여 REBA 기준에 맞는 점수를 인위적으로 부여하는 과정으로, Edits Preferred Angles이라는 메뉴에서 수행한다.

그림 8의 RULA 분석결과를 보면 몸의 왼쪽과 오른쪽의 평가점수가 각각 4점과 6점으로, 오른쪽의 자세는 즉시 개선해야 할 정도로 좋지 않은 자세임을 알 수 있다. 반면에 그림 6에 있는 작업자 자세에 대한 REBA 분석은 그림 10의 Postural Score Analysis를 통하여 수행한다. 그림 10은 그림 9에서 정의한 REBA 점수를 이용하여 각 신체 부위별 점수를 계산한 것이다. 하지만 이렇게 계산한 점수를 이용하여 REBA 점수를 얻기 위해서는 여기에 나타나지 않은 추가 점수를 고려해야 할 필요가 있다. 우선 다리에 대한 점수는 REBA에서 요구하는 다리의 각도를 Postural Score Analysis에 정의하기 위한 기준이 불확실하여 그림 11과 같이 직접 계산하였다. 또한 REBA 평가 워크시트의 그룹 A인 목, 허리, 다리에 대한 각각의 점수에 관하여 그림 10에 나타나지 않은 힘/무게(Load/Force)의 점수를 추가하여 그룹 A에 대한 최종 점수를 산출하며, 같은 방법으로 그룹 B인 위쪽 팔, 아래쪽 팔, 손목 자세에 관한 점수에 대하여 치구의 손잡이(Coupling) 상태에 따른 추가점수를 합산하여 그룹 B에 대한 최종 점수를 계산하였다. 마지막으로 이렇게 구한 그룹 A, 그룹 B를 이용하여 최종 REBA 점수를 계산할 수 있다. 각 부위별 기본 점수 및 추가 점수에 대한 값은 표 2에 자세히 나타나 있다.

표 2는 각 부위별 최종 REBA 점수를 나타낸 것이다.

표 2. 각 부위별 REBA Score

분석대상	점수	기본 점수	추가 점수	최종 점수
Upper Arm(L)	3	-	3	
Upper Arm(R)	3	2	5	
Lower Arm(L)	2	-	2	
Lower Arm(R)	2	-	2	
Wrist(L)	2	-	2	
Wrist(R)	2	1	3	
Trunk	2	2	4	
Neck	1	2	3	
Leg(L)	1	1	2	
Leg(R)	2	-	2	

여기서 기본 점수는 그림 9에서 정의한 각 신체 부위별 각도에 대한 REBA 점수를 그림 10을 통하여 계산한 것이며, 그림 9에서 정의한 각도에 대한 점수 이외에 고려해야 할 각종 posture에 대한 점수, 예를 들어 허리의 뒤틀림, 혹은 목의 뒤틀림 등에 대한 추가 점수를 반영한 것으로, 기본점수와 추가점수를 더하여 각 부위별 최종 REBA 점수를 계산하였다.

표 2의 값을 REBA 분석표에 대입하여 총 점수를 계산한 결과 오른쪽은 10점, 왼쪽은 9점으로 나타났으며, 이것은 RULA를 이용한 평가와 마찬가지로 작업 자세를 즉시 개선해야 할 정도로 좋지 않은 것으로 나타났다.

위의 분석 절차를 이용하여 그림 2에 제시된 각 작업공정에 대하여 작업 자세에 대한 분석을 실시하였다. 그림 12는 현재 설치되어있는 치구 및 공구로 작업자가 작업을 하는 모습이며, 이러한 사진 등의 영상자료를 이용하여 지금 진행되고 있는 작업장의 시설이 작업자의 작업 자세에 어떠한 영향을 주는가를 알아보려고 하였다. 표 3은 분석결과다.

RULA의 경우 5점 이상 REBA의 경우 8점 이상일 경우 작업자세가 위험한 수준임을 감안할 때 표 3의 작업자

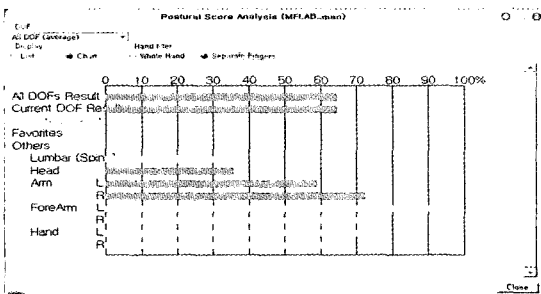


그림 10. Postural Score Analysis

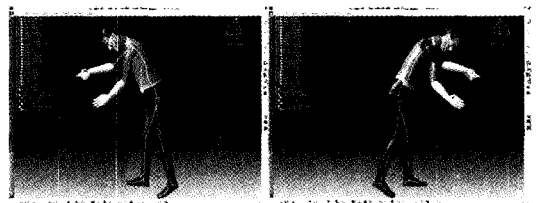


그림 11. Legs Score 계산

세 분석표를 보면 전체적으로 작업자세가 좋지 않은 것으로 나타났다. 이 결과만을 단순히 본다면 운영 중인 설비를 잠정적으로 모두 개선해야한다는 결론을 내릴 수 있을 것이다. 하지만 위의 결과는 전체 공정의 일부분이며 또한 작업시간이 상당히 짧은 자세일 수도 있다. 또한 설비 및 치구의 문제보다는 작업자 본인의 올바르지 못한 자세에서 비롯되는 결과일 수도 있으므로 좀 더 다양한 시각에서 결과를 해석할 필요성이 있다.

또한 표 3을 보면 각 작업 자세에 대한 RULA와 REBA의 결과가 반드시 일치 하지 않음을 알 수 있다. 예를 들어 그림 12의 (b) 자세에 대한 RULA의 평가는 작업 자세를 즉시 수정해야 할 정도의 매우 위험한 수준인 반면에 REBA의 결과는 작업 자세를 조금 더 관찰해볼 필요가 있을 정도의 위험 수준으로 나타난다. 또한 RULA는 오른쪽의 자세가 왼쪽의 자세보다 좋지 않은 것으로 나타나는 반면 REBA는 왼쪽의 자세가 더 좋지 않은 것으로 나타났다. 이렇게 같은 자세에 대한 두 분석 기법의 결과가 서로 다르게 나오는 것은 두 분석기법이 적용하는 각

자세에 대한 가중치의 비중이 서로 다르기 때문인 것으로 나타났다. 즉, RULA의 경우 분석의 대상이 상지 중심으로 가중치가 치중해 있는 반면 REBA의 경우는 RULA에 비해 허리와 다리의 비중에 대한 가중치가 상대적으로 높기 때문에 서로 다른 결과가 나타남을 알 수 있다. 따라서 작업자의 자세 분석을 위한 분석기법의 선택은 그 작업장의 특성에 맞게 선택하여야 하며, 하나의 분석 기법 보다는 몇 가지의 분석기법을 이용하여 다양한 측면에서의 분석이 필요할 것이라고 생각 된다.

### 3.6 3D 작업자 작업환경에서의 작업개선

3D 작업자 시뮬레이션을 통하여 현재 가동 중인 작업장을 분석해본 결과 4가지 공정 모두 작업자의 좋지 않은 작업 자세가 있는 것으로 판명되어 작업장을 개선해야 한다는 결론에 도달했다. 각 공정에 대하여 다양한 개선안이 제시되었는데 본 논문에서는 그림 6의 작업 자세를 개선하기 위한 방법에 대해 간단히 소개하기로 한다.

실제로 그림 6의 공정에 설치되어있는 치구에는 나머지 다른 3공정에 비해 작업자의 편의를 위한 상하운동기능, 회전기능 등이 장착되어 있다. 하지만 RULA와 REBA를 통한 3D 작업자 자세 분석에서는 즉시 개선이 필요할 정도의 위험 수준인 것으로 나타났다. 이러한 결과는 그림 6을 3D 작업자 모델로 구현한 그림 13을 보면 알 수 있다. 즉 기존의 작업장에서는 작업자가 올라서서 작업을 하는 작업대가 너무 협소하여 특정작업을 위해서는 허리를 무리하게 돌려서 작업을 해야 한다거나 작업대에서 떨어질 위험성도 존재하는 것으로 분석되었다.

그림 14는 그림 13의 문제점을 해결하기 위한 대안으

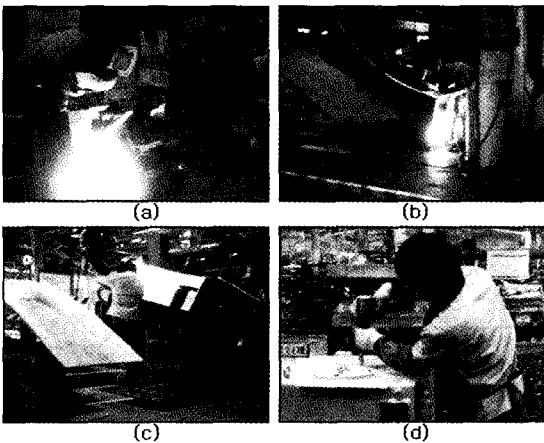


그림 12. 각 공정의 작업 Pose

표 3. 작업자세 분석표

공정	점수	RULA		REBA	
		왼쪽	오른쪽	왼쪽	오른쪽
a		4	4	8	8
b		6	7	6	5
c		3	3	5	5
d		6	7	4	7

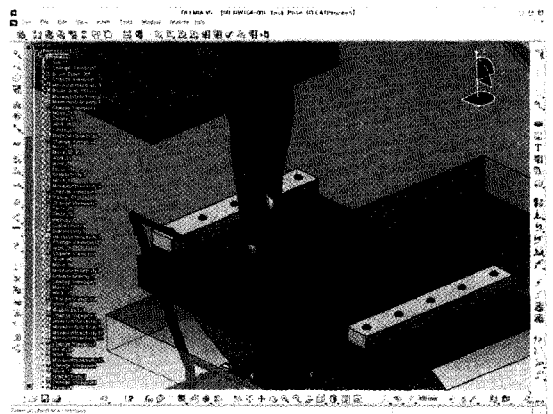


그림 13. 기존 작업자세의 문제점 분석



그림 14. 설계개선후의 작업 자세 분석

로 작업대를 조금 더 확장하여 작업자가 작업대 위에서 작업을 안정적으로 할 수 있도록 한 것이다. 3D 시뮬레이션 모델에서 설계 변경 결과 기존의 작업대 보다 좌우로 각각 약 250mm 정도 작업대를 길게 늘였을 경우 다른 작업공정에 영향을 주지 않으며 작업자의 작업 자세에 문제가 되는 기존의 작업 또한 개선 될 수 있는 것으로 나타났다. 이 과정에서 작업대 상판을 교체하는 방안이 검토되었으나 기존에 설치된 구조물의 특성(작업대는 상하운동을 하기 때문에 하강시에 작업장 바닥과 간섭이 발생함)을 고려하여 날개형태의 보조발판을 부착하기로 하였다. 이 보조발판은 하강시에는 접힐 수 있도록 설계되어 있어 간섭을 피할 수 있으며, 작업자의 작업자세와는 무관하다. 이렇게 개선된 설비를 3D 작업자 시뮬레이션을 통한 작업자 분석 결과 RULA 점수는 왼쪽과 오른쪽이 모두 3점으로 추후 관찰을 통하여 자세를 변경해 줄 필요가 있는 정도의 위험 수준으로 나타났으며, REBA 점수는 왼쪽과 오른쪽이 각각 2점과 4점으로 오른쪽의 자세가 중간정도의 위험 수준, 즉 RULA와 비슷한 추후 관찰을 통한 자세를 변경해 줄 필요가 있는 정도의 위험으로 나타났다. 이 결과를 통하여 작업대의 확장으로 인한 작업자의 작업 자세 위험도가 많이 감소했음을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 논문은 3D 작업자 시뮬레이션을 이용하여 굴삭기 생산 공정 개선 및 최적화를 하기위한 연구다. 먼저 CATIA를 이용하여 두 종류의 부품을 3D 모델로 개발하였고, 이들 부품을 생산하는 공정 4개를 선택하여 치구를 3D 모델로 개발하였다. 그 후 부품이 조립(용접)되는 과정과 작

업자의 작업 자세를 3D 시뮬레이션 모델로 개발하여 작업장의 시뮬레이션 모델로 통합하였다.

그리고 작업자의 작업 자세를 분석하기 위하여 RULA라는 분석방법을 사용하였으며, 동시에 REBA라는 다른 유형의 분석방법을 병행하였다. 그 결과 RULA와 REBA의 분석결과가 일치하지 않는 경우도 있었지만 전체적으로 유사한 결론을 얻을 수 있었다.

이러한 3D 작업자 시뮬레이션은 작업 자세에 대한 동적인 분석을 가능하게 해준다. 또한 문제가 되는 공정의 작업 자세를 보완하기 위한 치구, 장비, 제품의 설계 변경을 사전에 검토해 봄으로써 시간과 비용을 최소화 하면서 효과적인 설계변경의 대안을 찾을 수 있을 것으로 기대된다.

#### 참 고 문 헌

1. 나석희, 문찬영, 기도형, 정민근 (2004), "최대 자세 지속시간을 이용한 OWAS, RULA, REBA 와 PLAS의 평가", 2004년 대한산업공학회추계학술대회는논문집, pp.1-8.
2. 나종관, 박민용 (2005), "소형 부품 자동화 조립시스템의 근골격계질환 예방을 위한 인간공학적 개선안 연구", Journal of the Ergonomics Society of Korea, Vol.24, No.2, pp.57-63.
3. 문덕희, 조현일, 백승근 (2006), "굴삭기공장의 로봇용접 작업장 설계에 대한 3D 시뮬레이션 사례 연구", 한국시뮬레이션학회논문지, 15권, 1호, pp.51-58.
4. Genaidy, A. M., Al-Shedi, A. A. and Karwowski, W. (1994), "Postural stress analysis in industry.", *Applied Ergonomics*, Vol.25, No.2, pp.77-87.
5. Grandjean, E. and Hunting, W. (1997), "Ergonomics of posture—Review of various problems of standing and sitting posture", *Applied Ergonomics*, Vol.8, No.3, pp.135-140.
6. Hignett, S. and McAtamney, L. (2000), "Rapid Entire Body Assessment(REBA)", *Applied Ergonomics*, Vol.31, No.2, pp.201-205.
7. Iwata, K., Onosato, M., Teramoto, K. and Osaki, S. (1997), "Virtual manufacturing systems as advanced-information infrastructure for integrating manufacturing resources and activities" *Annals of the CIRP*, Vol.46, No.1, pp.335-338.
8. Lawrence Associates Inc. (ed) (1994), Virtual Manufacturing User Workshop, Ohio, (Technical report).
9. McAtamney, L. and Corlett, E. N. (1993), "RULA: A Survey Method for the Investigation of Work-related Upper Limb Disorders", *Applied Ergonomics*, Vol.24, No.2, pp.91-99.





**문 덕 희** (dhmoon@sarim.changwon.ac.kr)

1984 한양대학교 산업공학과 공학사  
1986 한국과학기술원 산업공학과 공학석사  
1991 한국과학기술원 산업공학과 공학박사  
1990~현재 창원대학교 산업시스템공학과 교수

관심분야 : Facilities Planning, 시뮬레이션 응용, Scheduling



**백 승 근** (skyarare@hanmail.net)

2005 창원대학교 산업시스템공학과 공학사  
2005~현재 창원대학교 대학원 산업시스템공학과 석사과정

관심분야 : 3D 시뮬레이션 모델링, 공장 Layout 설계



**장 병 림** (zhangbinglin@gmail.com)

2004 중국 하북과기대학 산업공학과 학사  
2005~현재 창원대학교 대학원 산업시스템공학과 석사과정

관심분야 : 3D 시뮬레이션 모델링



**이 준 석** (jsrang@gmail.com)

2006 인제대학교 시스템경영공학과 공학사  
2006~현재 창원대학교 대학원 산업시스템공학과 석사과정

관심분야 : 3D 시뮬레이션 모델링