



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士學位論文

근골격계 부담 작업 개선에 따른
경제적 효과분석



釜慶大學校大學院

安全工學科

金 津 佑

工學碩士學位論文

근골격계 부담 작업 개선에 따른
경제적 효과분석



指導教授：張 聖 祿

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함

2009年 2月

釜 慶 大 學 校 大 學 院

安 全 工 學 科

金 津 佑

金津佑의 工學碩士 學位論文을
認准함



主 審 工學博士 權 五 憲 (인)

委 員 工學博士 愼 晟 佑 (인)

委 員 工學博士 張 聖 祿 (인)

목 차

1. 서 론	1
1.1 연구의 배경 및 필요성	1
1.2 연구 내용	5
2. 배경 이론	7
2.1 근골격계질환	7
2.1.1 근골격계질환의 정의 및 증상	7
2.1.2 근골격계질환의 발생원인	9
2.2 인간공학적 평가프로그램	13
2.2.1 RULA	13
2.2.2 기타 평가 프로그램	23
2.3 Digital Human Modeling(DHM) & Simulation	26
2.3.1 시뮬레이션의 정의 및 디지털 휴먼 모델링	26
2.3.2 DELMIA	28
3. 연구 내용 및 결과	30
3.1 조선업의 대표적인 작업 선정 및 작업분석	30

3.2 근골격계질환자 발생 현황 분석	36
3.3 작업의 유해성과 근골격계질환 상관관계 분석	39
3.4 용접작업 개선사례	41
3.5 작업개선에 의한 경제적 효과 분석	45
 4. 결 론 및 고 찰	 47
 참 고 문 헌	 49
영문요약(Abstract)	



표 목 차

Table 1 근골격계질환의 발생에 영향을 주는 요인	12
Table 2 Posture Score of Group A	15
Table 3 Posture Score of Group B	16
Table 4 Score of Group A	17
Table 5 Score of Group B	18
Table 6 Muscle and Force/Load Score	18
Table 7 Grand Final Score	19
Table 8 조선 산업의 대표적인 작업	31
Table 9 조선 산업의 공정별 분류	34
Table 10 조선 산업의 대표적 단위작업 평가 예	35
Table 11 작업별 근골격계 질환 발생자 분석	37
Table 12 작업의 유해성 및 근골격계질환자 분석	40

그 림 목 차

Fig. 1 년도 별 작업관련 근골격계질환자 수	2
Fig. 2 작업개선 효과 분석	6
Fig. 3 근골격계질환의 증세	8
Fig. 4 Action Level of RULA	20
Fig. 5 RULA scoring sheet	21
Fig. 6 RULA employee assessment worksheet	22
Fig. 7 REBA scoring sheet	24
Fig. 8 Application of Digital Human Modeling	27
Fig. 9 개선 전 용접작업 RULA 평가	42
Fig. 10 RULA의 작업분석 절차	42
Fig. 11 개선된 용접작업의 RULA 평가	43

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 필요성

최근 국내 산업현장에서는 근골격계질환으로 인한 산업재해자수가 급증하는 추세이다. 근골격계질환(Work-Related Musculoskeletal Disorders: WMSDs)이란 특정 신체부위 및 근육의 과도한 사용으로 인해 근육, 관절, 혈관, 신경 등에 발생된 미세한 손상이 누적되어 손, 손목, 팔목, 어깨, 목, 견갑골, 허리 등의 상지에 주로 나타나는 만성적인 건강장애를 말한다.¹⁾ 노동부의 재해통계²⁾에 의하면 년도 별 작업관련 근골격계질환자의 수는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 2001년 1,598명, 2002년 1,827명, 2003년 4,532명, 으 로 꾸준히 증가하다가 2004년 4,112명, 2005년 2,901명으로 잠시 감소하는 추세를 보였지만 2006년부터 산재인증기준이 변경되어 근골격계질환에 사고성 요통이 포함이 되면서 2006년 6,233명, 2007년 7,723명, 2008년 3분기 까지 4,954명으로 급증하는 추세이다. 제조업에서의 근골격계 질환 발병률은 전체 산업의 약 80%를 차지하고 있는데, 특히 조선 산업에서의 작업 관련성 근골격계질환이 급증하고 있는 추세로 조선 산업은 단순반복작업, 중량물취급, 부적절한 자세, 진동 등의 요인으로 인하여, 다른 산업에 비해 근골격계 질환이 많이 발생하고 있다. 조선 산업의 작업 대상물을 작업자

에게 맞추기가 현실적으로 어렵기 때문에 작업자가 쪼그려 앉거나, 팔을 높이 들거나, 허리와 목을 굽히고 옆으로 비틀어야 하는 등의 부적절한 작업 자세를 취한 채 용접, 사상, 도장 등의 작업을 하게 된다. 이러한 작업이 수십 분 동안 지속적으로 이루어짐으로 인해 조선 산업의 작업자가 근골격계질환에 이환될 가능성이 높고, 이로 인한 직·간접 비용손실이 큰 것으로 보고되었다.^{3,4)}



Fig. 1 년도 별 작업관련 근골격계질환자 수

이에 따라 근골격계 질환으로 인해 발생하는 손실의 정량화 및 인간공학 프로그램의 도입으로 거둘 수 있는 경제적 효과를 추정하는 연구가 이루어

지고 있다.⁵⁾

2002년 5월 노동부의 보도 자료에 따르면 2000년 재해통계를 분석하여 근골격계 질환자 1명당 평균 직접 손실액을 29,732,408원으로 제시하였다. 이를 근거로 하여 근골격계 질환자 1인당 손실비용은 질환자 1인당 비용은 약 1억 5천만원인 것으로 보고되었다.⁶⁾ 연도별 조선업 근골격계 질환자로 인한 재해손실비용은 2002년에는 약 480억 원, 2003년에는 약 780억 원, 2004년에는 약 1,115억 원의 손실비용을 추정할 수 있으며, 이를 근거로 장기적으로 분석하면, 2010년 약 4,911억 원, 2014년 약 8,882억 원이 근골격계질환으로 인한 경제적 손실이 발생하는 것으로 추정되었다.⁷⁾

정부에서도 근골격계질환을 효과적으로 대응하고자 이와 관련된 법률을 2002년 개정하였으며,⁸⁾ 이에 따라 사업주는 근골격계질환 예방 의무로서 중량물을 들어 올리는 작업 등 11개 작업에 대해서 매 3년마다 작업량, 작업 자세 등 유해요인 조사⁹⁾를 실시해야 한다.

인간공학 프로그램을 운영할 경우 근골격계질환자수가 30%정도의 감소효과가 기대되며, 근골격계질환 요양 복귀자수가 74.2% 증가하게 되어 근골격계질환자수 감소에 따른 재해손실 비용도 약 123억 원 감소된 것으로 추정하였다.¹⁰⁾

인간공학 프로그램은 유해요인 조사, 작업환경개선, 의학적 관리, 교육·훈련, 평가에 관한 사항 등이 포함된 근골격계질환을 예방·관리하기 위한

종합적인 관리시스템을 말하며, 최근 조선업에서의 근골격계질환 예방을 위한 연구가 활발히 수행되고 있다.^{6,11,12)}

따라서, 본 연구에서는 사전연구에서 이루어진 조선 산업의 대표적인 공정 대한 3D 모델링을 통해 작업개선을 추구하고 작업의 부하를 경감시키는 방안을 모색하여 실제 작업 전 유해성을 제거한 개선방안을 구현할 수 있는 장점이 있는 휴먼 모델링과 시뮬레이션을 이용하여 조선 작업장을 대상으로 작업을 분류하고 작업자의 작업 방법에 대한 정밀분석을 통하여 근골격계질환과 관련한 작업 위험 요인 및 불안전 행동요소들을 파악하고 근골격계 부담 작업의 근골격계 질환 발병율의 상관관계를 분석하고 예방을 위한 인간공학프로그램의 도입을 통하여 인간공학적 작업환경개선안을 도출하여 근골격계질환으로 발생하는 직·간접 손실비용을 경감시키는데 목적이 있다.

1.2 연구 내용

본 연구에서는 국내 D조선사의 실제 작업장에서 이루어지고 있는 작업을 각 대형조선소의 환경안전팀(HSE) 실무 경력 5년 이상의 실무진들의 의견을 종합하여 분류 및 선정하고, 이들 작업에 대한 유해성을 인간공학 평가기법인 RULA로 분석하고, DELMIA 솔루션을 통해 가상의 작업환경에 digital human을 생성하고 Task Simulation을 통해 용접작업자세에 대해 분석하였다. 또한 최근 3년간 재해조사표를 분석하여 작업별 근골격계 질환자 발생빈도를 비사고성 질환과 사고성 질환으로 먼저 분류한 후, 재해일시와 상해부위, 상해종류(질병명) 발생형태별로 근골격계 질환이 발생한 작업을 분류하고, 이를 이용하여 단순반복작업, 부적절한 작업 자세, 중량물 취급, 기계적인 스트레스 및 진동 등의 요인으로 근골격계에 이환이 되는 부담 작업과 근골격계 질환 발병율의 상관관계를 분석하였다. 또한 작업개선에 의해 근골격계질환이 발생한 유해 및 고위험작업이 저위험작업으로 감소하였을 때 근골격계질환으로 인해 발생하는 손실을 어느 정도 경감시킬 수 있는지를 정량적으로 분석하였다. 이를 수행하는 과정은 Fig. 2와 같은 절차를 거쳐 이루어 졌다.

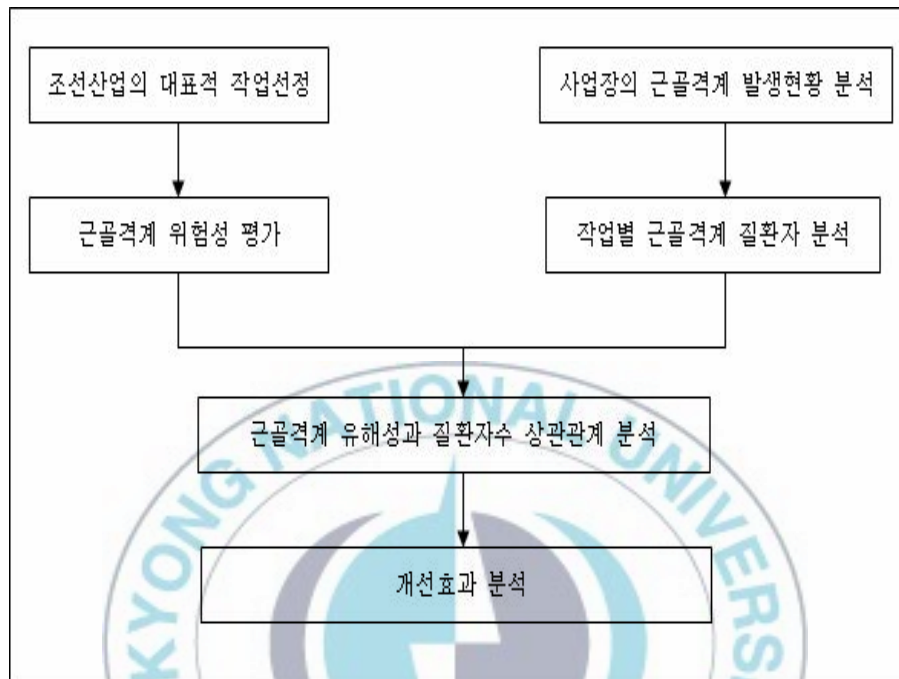


Fig. 2 작업개선 효과 분석

2. 배경 이론

2.1 근골격계질환

2.1.1 근골격계질환의 정의 및 증상

근골격계질환이란 특정 신체부위 및 근육의 과도한 사용으로 인해 근육, 연골, 인대, 관절, 혈관, 신경 등에 미세한 손상이 발생하여 목, 허리, 무릎, 어깨, 팔, 손목 및 손가락 등에 나타나는 만성적인 건강장애로써, 특히 작업에 의해 이러한 증상이 유발되거나 기존의 증상이 악화되는 경우를 근골격계질환이라고 한다.¹³⁾

근골격계질환의 자각증상 기준은 ‘적어도 1주일 이상 또는 과거 1년간 한 달에 한번이상 상지의 관절부위(목, 어깨, 팔꿈치 및 손목)에서 지속되는 하나 이상의 증상들(통증, 쑤시는 느낌, 뻣뻣함, 화끈거리는 느낌, 무감각 또는 찌릿찌릿한 느낌)이 존재하고, 동일한 신체 부위에 유사질병과 사고 병력이 없어야 하고, 증상은 현재의 작업으로부터 시작되어야 한다.’ 라고 미국의 NIOSH(National Institute for Occupational Safety and Health)에서 정의하고 있다.¹⁴⁾ 근골격계 질환의 증세는 매우 다양하며 구분하기가 애매한 경우가 많으나, 특히 통증, 민감함, 쇠약함, 부어오름, 무감각함 등의 증세를 보이게 되는데, 이러한 증세는 일반적으로 Fig. 3과 같이 3 단계로 분류할 수

있다.

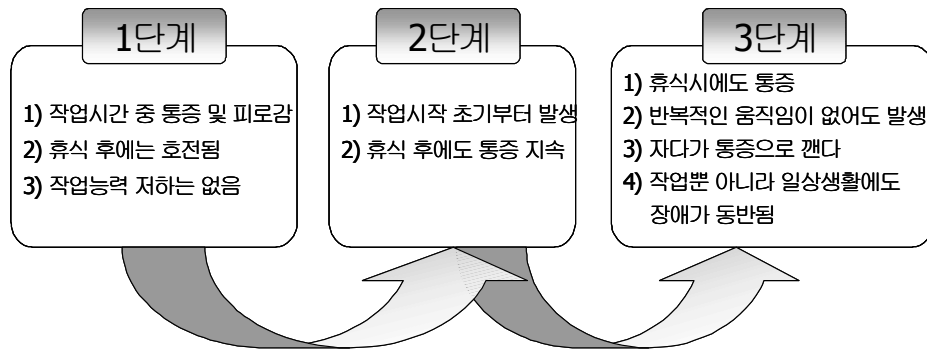


Fig. 3 근골격계질환의 증세 단계

이러한 근골격계질환은 다양한 위험 요인에 의해 발생하는 것으로 알려져 있다. 위험 요인은 단순반복작업, 부적절한 작업 자세, 중량물 취급, 기계적인 스트레스 및 진동 등의 직접적인 요인과 작업자의 나이, 신체조건, 작업습관, 작업 경력, 과거 병력 등의 간접적인 요인 그리고 작업 만족도, 근무 조건 만족도, 작업의 자율적 조절과 관련된 요소, 상사 및 동료들과의 인간관계, 업무적 스트레스 등의 사회 심리적 요인으로 구분된다.¹⁵⁾

2.1.2 근골격계질환의 발생원인¹⁶⁾

근골격계질환은 단순반복 및 작업강도의 강화, 공구사용의 증대 등과 같은 새로운 작업환경의 변화와 함께 작업자의 개인적 특성과 여러 가지 작업조건 특성들이 상호 복합적인 위험요인으로 작용하여 결국 근육, 관절, 혈관, 신경 등에 미세한 손상을 일으키게 된다.

1) 부적절한 자세

지속적으로 불안정한 작업 자세를 취할 경우 근골격계질환의 빈도가 증가하는데, 목을 과도하게 구부릴 경우(45도 이상) 또는 옆으로 비트는 자세, 쪼그리고 앉은 자세, 허리의 과도한 신전 및 굴곡, 비틀 등이 질병 발생위험도가 증가하는 대표적인 부자연스러운 작업 자세라 할 수 있다.

2) 과도한 힘

중량물 취급과 같이 과도한 힘을 요구하는 일은 근육, 건, 인대, 관절에 큰 부담을 주게 되며 취급하는 물체의 중량이 가볍다 하더라도 무게중심까지의 거리가 멀거나 손잡이의 형태가 나쁜 경우에도 신체에 많은 부담을 줄 수 있다. 힘이 들수록 증가된 힘을 유지하는데 필요한 다른 심리적 요구와 더 많은 근육의 힘과 같은 신체적 요구가 증가하게 되며 이러한 형태의 작업이 지속되고, 또한 회복에 필요한 시간이 확보되지 않았을 때는 피

로감뿐만 아니라 근골격계질환을 유발할 수 있다.

3) 반복

유사한 동작이 8시간 작업 기간 동안 빈번하게 반복된다면(예 : 매 몇 초마다), 피로와 근육-건에 대한 부하가 누적되어 근골격계질환의 발생 위험이 급격히 증대된다. 오랜 휴식을 취하는 것보다는 작업 중 잠시 쉬는 것이 건과 근육의 피로를 더 빨리 회복할 수 있다. 같은 작업을 수행하는데 반복적인 동작과 함께 부자연스러운 자세와 힘이 동반 될 경우에는 근골격계질환의 위험이 더욱 증대된다.

4) 작업의 지속시간

이것은 위험요인에 노출되는 시간을 의미한다. 근골격계질환의 발생 위험성이 낮은 요인(자세 또는 작업 방법 등)이라도 장시간에 걸쳐 지속적으로 노출된다면 위험성이 증가하게 된다. 단순한 반복 작업인 경우 근육 조직에는 극히 미세한 손상만이 발생하며, 이러한 미세 손상은 평상시 동작에서는 전혀 문제가 되지 않는다. 그러나 장기간의 연속작업이나 부족한 휴식은 회복에 필요한 충분한 시간을 가질 수 없기 때문에, 이러한 미세 손상이 경우에 따라서는 복원이 불가능한 상태까지 갈 수도 있다. 따라서 작업 중간에 규칙적인 휴식시간이 작업자에게 주어져야 한다.

5) 진동

인체의 인식 진동범위는 1~400cps이며 피부 진동인식의 최대치는 1,500cps이다. 이 범위 내에서 연속적 또는 장시간 노출되면 진동 장애의 위험을 가지게 된다. 진동의 노출로 인해 근골격계질환의 발생위험성이 증가할 뿐만 아니라 해머, 연마기, 그라인더, 임팩트 렌치 등의 사용으로 인한 국부진동은 손 및 손목의 혈액순환장애를 야기할 수 있으며 버스 및 트럭의 운전이나 큰 기계의 운용에 의한 전신진동은 복부 통증, 구토, 흉통, 호흡곤란과 같은 증상을 일으킬 수도 있다.

6) 기타 요인들

근골격계 질환에 대한 위험 인자들의 형태와 크기에 영향을 줄 수 있는 작업환경에는 다음과 같은 것이 있다.

- 저온
- 날카로운 면과의 반복적인 신체접촉
- 불충분한 휴식
- 체격과 체력 등 개인적 요인
- 류마티스 관절염이나 전신성 루프스 등의 개인 질환
- 정신 심리적 요인 및 사회적 요인

Table 1 근골격계 질환의 발생에 영향을 주는 요인

작업위험요인	개인적 특성요인
- 부적절한 자세 - 과도한 힘의 사용 - 작업의 반복 - 작업의 지속시간 - 접촉 스트레스 - 진동 - 작업환경 - 불충분한 휴식	- 신체조건 - 스트레스 - 사회적 요인 - 심리적 요인

2.2 인간공학적 평가프로그램

근골격계질환 관련 연구들은 발생 및 특성에 관한 연구와 질환 예방에 관한 연구로 나눌 수 있다. 설문조사를 통한 질환의 실태 파악과 유병율, 발병 원인에 관한 연구 등이 발생 및 특성에 관한 연구들의 주된 내용들이고, 질환 예방에 관한 연구들은 질환의 발생 요인인 부적절한 작업환경 및 작업 자세 등의 개선을 위한 인간공학적인 평가 및 분석 등에 중점을 두고 있다.

자세부하를 중심으로 하는 인간공학적 분석 및 평가 도구로서는 RULA(Rapid Upper Limb Assessment), REBA(Rapid Entire Body Assessment), OWAS(Ovako Working Posture Analysis System), NLE(NIOSH Lifting Equation) 등이 있으며, 본 연구에서는 조선업의 작업 및 작업자세의 특성을 고려하여 인간공학 평가프로그램인 RULA를 선정하여 분석하였다.

2.2.1 RULA

RULA는 작업과 관련된 어깨, 팔목, 손목, 목 등의 상지부질환 분석에 초점을 맞추어 작업자세로 인한 작업부하를 쉽고 빠르게 평가하기 위해 영국의 노팅햄 대학에서 개발된 인간공학적인 작업분석 및 평가기법으로 EU

의 VDT 작업장 최소안전보건기준 및 영국의 상지질환 예방지침 기준을 만족하는 보조도구로서 사용되고 있다.¹⁷⁾

RULA는 부하수준을 정의하고 이를 근거로 작업부하를 분석하며, 단위 시간당 동작의 횟수가 많아지거나 근력이 필요한 정적인 작업이 많아질수록 보다 큰 힘이 요구되거나 나쁜 작업자세가 많을수록 작업부하가 증가하는 것으로 가정한다. 자세분류별 부하수준을 평가할 때 작업 부하에 영향을 주는 인자들은 매우 많지만, RULA가 평가하는 작업부하 인자들은 동작의 횟수, 정적인 근육작업, 힘, 작업자세 등이 있다.

RULA를 이용해서 작업부하를 평가하는 과정은 크게 3단계로 나뉘어진다. 첫 번째 단계는 작업 자세를 관찰해 기록하는 단계이고, 두 번째 단계는 기록한 작업자세로부터 포괄적인 값을 결정하는 단계이며, 마지막 단계는 이 값들을 바탕으로 작업부하 수준(action level)을 결정하는 단계이다.

① 1단계 : 작업 자세 기록

신체 부위별로 크게 A, B 두 그룹으로 나누고 각 그룹별로 작업 자세, 근육, 힘에 대해 평가한다. 그룹 A에서는 상완(upper arm), 전완(lower arm), 손목(wrist), 손목 비틀림(wrist twist)의 자세를 평가하고, 그룹 B에서는 목(neck), 상체(trunk), 다리(leg) 자세를 평가한다. 그룹 A, B의 작업 자세 기록방법은 먼저 작업자의 작업을 3주기(cycle)이상 관찰하고, 작업

중 가장 빈번하게 행해지는 자세나 작업 부하가 가장 많이 걸리는 자세를 선택한다. 다음으로 각 신체 부위별 자세에 따라 Table 2와 Table 3을 이용하여 그 자세에 적절한 값들을 평가지(scoring sheet)에 기입한다.

Table 2 Posture Score of Group A

Body Parts	Score	Work Posture
Upper Arm	1	20° Extension to 20° of Flexion
	2	Extension Greater Than 20° or 20°~45° of Flexion
	3	45°~90° of Flexion
	4	90° or More of Flexion
	+1	If Shoulder is Raised or Upper Arm is Abducted
	-1	If Leaning or Supporting the Weight of the Arm
Lower Arm	1	60°~100° Flexion
	2	Less Than 60° or More Than 100° Flexion
	+1	If Working Across the Midline of the Body or Out to the Side
Wrist	1	If in a Neutral Position
	2	0°~15° in Either Flexion or Extension
	3	15° or More in Either Flexion or Extension
	+1	If Wrist is in Either Radial or Ulnar Deviation
Wrist Twist	1	If Wrist is in Mid-Range of Twist
	2	If Wrist is at or Near the End of Range of Twist

Table 3 Posture Score of Group B

Body Parts	Score	Work Posture
Neck	1	0°~10° Flexion
	2	10°~20° Flexion
	3	20° or More Flexion
	4	If in Extension
	+1	If Neck is Twisting or Side-Bending
Trunk	1	When Sitting and Well Supported with a Hip-Trunk Angle of 90° or More
	2	0°~20° Flexion
	3	20°~60° Flexion
	4	60° or More Flexion
	+1	If Trunk is Twisting or Side-Bending
Leg	1	If Legs and Feet are Well Supported and in an Evenly Balanced Posture
	2	If Legs and Feet are not Supported or the Weight is Unevenly Balanced

② 2단계 : 작업 자세 번호 조합

작업자세의 기록이 끝나게 되면 각 그룹의 값들을 하나의 값으로 표현한다. 그룹 A와 B 각각의 종합 부하수치는 Table 4와 Table 5에서 구하고, 각각 Score A, Score B라고 한다. Score A, B의 점수가 산출되면, Table 6을 이용하여 근육에 과도하게 걸리는 부하와 무게/힘의 사용에 의한 부하를 고려하여 Score C, D를 구한다.

Score C = Score A + 그룹 A의 근육 부하 + 무게/힘 부하

Score D = Score B + 그룹 B의 근육 부하 + 무게/힘 부하

Table 4 Score of Group A

Score A		Wrist							
Upper Arm	Lower Arm	1		2		3		4	
		Wrist Twist		Wrist Twist		Wrist Twist		Wrist Twist	
		1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	1	2	2	2	2	3	3	3
	2	2	2	2	2	3	3	3	3
	3	2	3	3	3	3	3	4	4
2	1	2	3	3	3	3	4	4	4
	2	3	3	3	3	3	4	4	4
	3	3	4	4	4	4	4	5	5
3	1	3	3	4	4	4	4	5	5
	2	3	4	4	4	4	4	5	5
	3	4	4	4	4	4	5	5	5
4	1	4	4	4	4	4	5	5	5
	2	4	4	4	4	4	5	5	5
	3	4	4	4	5	5	5	6	6
5	1	5	5	5	5	5	6	6	7
	2	5	6	6	6	6	7	7	7
	3	6	6	6	7	7	7	7	8
6	1	7	7	7	7	7	8	8	9
	2	8	8	8	8	8	9	9	9
	3	9	9	9	9	9	9	9	9

Table 5 Score of Group B

Score B	Trunk											
Neck	1		2		3		4		5		6	
	Leg		Leg		Leg		Leg		Leg		Leg	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	3	2	3	3	4	5	5	6	6	7	7
2	2	3	2	3	4	5	5	5	6	7	7	7
3	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	7
4	5	5	5	6	6	7	7	7	7	7	8	8
5	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8
6	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9

Table 6 Muscle and Force/Load Score

	Score	Work Posture
Muscle Use	1	• Mainly Static, eg Held for longer than 1 min • Repeated more than 4 times/min
Force/Load	0	• No Resistance or less than 2kg Intermittent Load or Force
	1	• 2~10kg Intermittent Load or Force
	2	• 2~10kg Static Load • 2~10kg Repeated Load or Force
	3	• 10kg or more Static Load • 10kg or more Repeated Loads or Forces • Shock or Forces with a Rapid Build-Up

③ 3단계 : 총괄적인 작업 부하 결정

Score C, D가 산출되고 나면, 마지막으로 Table 7을 이용하여 전체적인 작업부하 수준을 결정하는 총괄적인 부하점수(grand final score)를 구한다. 이렇게 도출된 총괄부하점수를 이용하여 실제로 작업부하가 어느 정도인지를 Fig. 4에서와 같이 4단계로 나타낸다.

Table 7 Grand Final Score

	Score D							
		1	2	3	4	5	6	7+
Score C	1	1	2	3	3	4	5	5
	2	2	2	3	4	4	5	5
	3	3	3	3	4	4	5	6
	4	3	3	3	4	5	6	6
	5	4	4	4	5	6	7	7
	6	4	4	5	6	6	7	7
	7	5	5	6	6	7	7	7
	8+	5	5	6	7	7	7	7

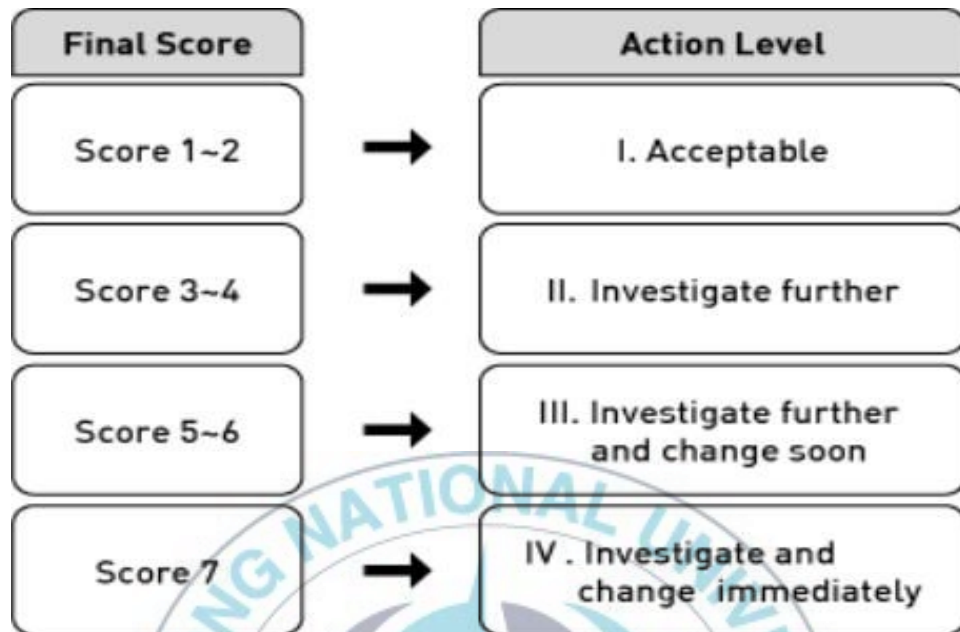


Fig. 4 Action Level of RULA

단순히 RULA의 작업부하수준으로 모든 것을 결정하는 것은 부적절해 보이지만, 실제 작업이 어느 정도 위험한지 그리고 작업부하수준이 커질수록 작업자에게 장애를 가져올 위험성이 커진다는 것을 쉽게 파악할 수 있는 장점을 RULA는 가지고 있다. Fig. 5는 RULA 기법에 의한 전체적인 작업자세의 평가절차를 보여주고 있다. Fig. 6는 RULA 사용 시 사용하는 평가시트의 예를 나타낸 것이다.

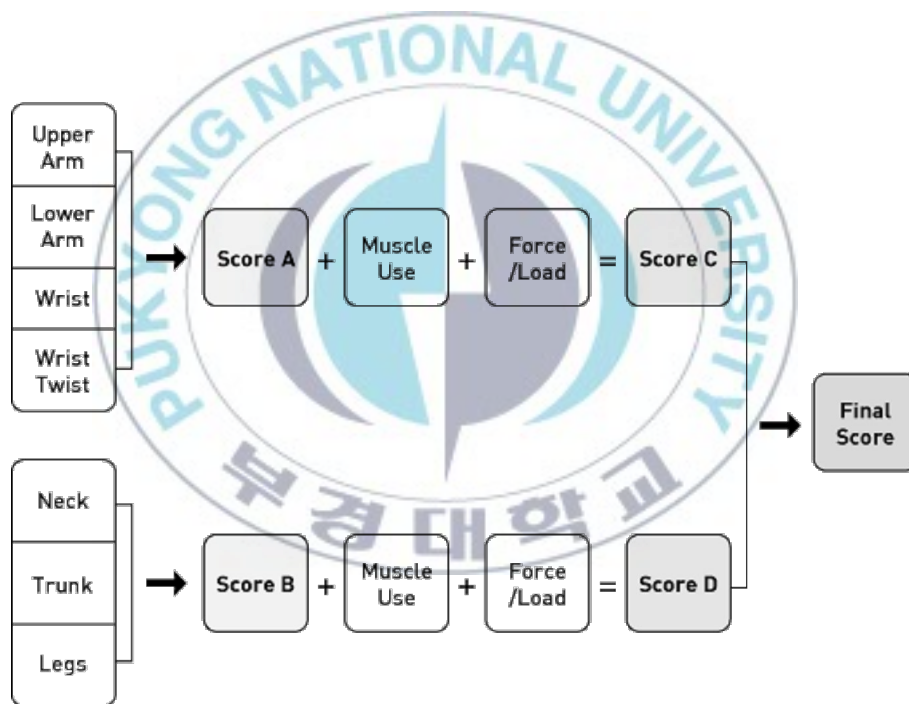


Fig. 5 RULA scoring sheet

Complete this worksheet following the step-by-step procedure below. Keep a copy in the employee's personnel folder for future reference.

A. Arm & Wrist Analysis

Step 1: Locate Upper Arm Position

Step 1a: Adjust...

If shoulder is raised: +1;
If upper arm is abducted: +1;
If arm is supported or person is leaning: -1

Final Upper Arm Score =

Step 2: Locate Lower Arm Position

Step 2a: Adjust...

If arm is working across midline of the body: +1;
If arm out to side of body: +1

Final Lower Arm Score =

Step 3: Locate Wrist Position

Step 3a: Adjust...

If wrist is bent from the midline: +1

Final Wrist Score =

Step 4: Wrist Twist

If wrist is twisted mainly in mid-range = 1;
If twist at or near end of twisting range = 2

Wrist Twist Score =

Step 5: Look-up Posture Score in Table A

Use values from steps 1, 2, 3 & 4 to locate Posture Score in table A

Posture Score A =

Step 6: Add Muscle Use Score

If posture mainly static (i.e. held for longer than 1 minute) or;
If action repeatedly occurs 4 times per minute or more: +1

Muscle Use Score =

Step 7: Add Force/load Score

If load less than 2 kg (intermittent): +0;
If 2 kg to 10 kg (static or repeated): +2;
If more than 10 kg load or repeated or shocks: +3

Force/load Score =

Step 8: Find Row in Table C

The completed score from the Arm/Wrist analysis is used to find the row on Table C

Final Wrist & Arm Score =

SCORES

Table A

Upper Arm	Lower Arm	Wrist			
		Wrist	Wrist	Wrist	Wrist
1	1	1	2	3	4
2	2	2	3	4	5
3	3	3	4	5	6
4	4	4	5	6	7
5	5	5	6	7	8
6	6	6	7	8	9
7	7	7	8	9	10
8	8	8	9	10	11
9	9	9	10	11	12

Table B

1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
2	3	4	5	6	7
3	4	5	6	7	8
4	5	6	7	8	9
5	6	7	8	9	10
6	7	8	9	10	11
7	8	9	10	11	12
8	9	10	11	12	13
9	10	11	12	13	14

Table C

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

Final Score =

B. Neck, Trunk & Leg Analysis

Step 9: Locate Neck Position

Step 9a: Adjust...

If neck is twisted: +1; If neck is side-bending: +1

Final Neck Score =

Step 10: Locate Trunk Position

Step 10a: Adjust...

If trunk is twisted: +1; If trunk is side-bending: +1

Final Trunk Score =

Step 11: Legs

If legs & feet supported and balanced: +1;
If not: +2

Final Leg Score =

Table B

1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
2	3	4	5	6	7
3	4	5	6	7	8
4	5	6	7	8	9
5	6	7	8	9	10
6	7	8	9	10	11
7	8	9	10	11	12
8	9	10	11	12	13
9	10	11	12	13	14

Step 12: Look-up Posture Score in Table B

Use values from steps 9, 10 & 11 to locate Posture Score in Table B

Posture B Score =

Step 13: Add Muscle Use Score

If posture mainly static or;
If action 4 minutes or more: +1

Muscle Use Score =

Step 14: Add Force/load Score

If load less than 2 kg (intermittent): +0;
If 2 kg to 10 kg (static or repeated): +2;
If more than 10 kg load or repeated or shocks: +3

Force/load Score =

Step 15: Find Column in Table C

The completed score from the Neck/Trunk & Leg analysis is used to find the column on Chart C

Final Neck, Trunk & Leg Score =

Subject: _____ Date: ____/____/____

Company: _____ Department: _____ Scorer: _____

Fig. 6 RULA employee assessment worksheet

2.2.2 기타 평가 프로그램

① REBA

REBA는 예측이 힘든 다양한 자세에서 이루어지는 서비스산업에서 작업자의 작업 자세를 평가하기 위한 자세분석 기법으로, 위험인자에 대한 전신의 부담 정도와 작업자의 노출 정도를 분석·평가하기 위한 목적으로 개발되었다.¹⁸⁾

REBA는 작업자의 동작을 관찰하여 각 신체부위별 점수를 부여한 후 점수 코드 체계를 이용하여 근골격계질환의 유해 정도를 1~15점으로 분류하고 0~4 단계의 조치수준을 산출하는 기법이다. 정적이거나 급속히 변하는 불안정한 자세를 평가할 수 있도록 고안되어 있어 환자를 돌보는 간호사들에게 적합한 평가기법인 것으로 알려져 있다. Fig. 7은 REBA에 의한 전체적인 작업자세 평가절차를 보여주고 있다.

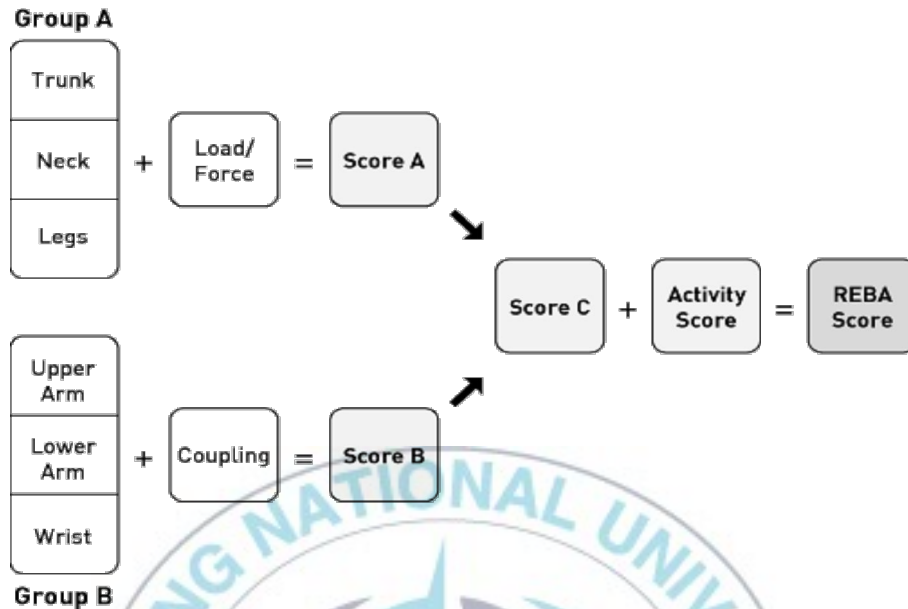


Fig. 7 REBA Scoring Sheet

② OWAS

OWAS는 철강업에서 작업자들의 부적절한 작업 자세를 정의·평가하기 위한 목적으로 핀란드의 철강 회사인 Ovako사와 FIOH(Finnish Institute of Occupational Health)가 1970년대 중반에 개발한 작업자세 평가기법이다. 특별한 도구를 필요로 하지 않고 현장에서 기록 및 해석을 수행할 수 있어 간편하게 작업 자세를 평가할 수 있는 기법으로 알려져 있다.¹⁹⁾

OWAS는 녹화된 작업자의 작업 장면을 일정간격으로 정지시켜 작업자의 자세를 일정 간격으로 관찰하고 허리, 팔, 다리 그리고 하중/힘에 해당하는 OWAS 코드를 기록하고 분석하는 것을 기본으로 한다. 작업 자세 측

정 간격은 작업의 특성에 따라 달라질 수 있으며, 작업자세가 자주 바뀌는 작업의 경우에는 5~10초 이내의 짧은 측정 간격을 사용한다.

③ NLE

NLE는 주어진 작업조건에서의 인력운반 작업, 특히 들기작업시 안전하게 작업할 수 있는 권장무게한계(Recommended Weight Limit, RWL) 계산과 들기지수(Lifting Index, LI)가 권장무게한계의 몇 배인지를 쉽게 산출하기 위해 개발된 인간공학적 평가기법이다. NLE에서는 들기지수가 1 이하면 요통의 발생위험이 낮다고 평가하며, 작업의 위험성을 예측하고 인간공학적인 작업방법의 개선을 통해 작업자의 직업성 요통을 사전에 예방하기 위해 1991년 미국의 NIOSH에서 개발하였다.²⁰⁾

이 평가 기법은 인체 역학적인 작업부하, 작업자세로 인한 부하 및 생리적 측면의 작업부하를 모두 고려하였으나, 반복적인 작업 자세와 밀기, 당기기 등과 같은 작업들에 대한 평가에는 어려움이 있다.

2.3 Digital Human Modeling(DHM) & Simulation

2.3.1 시뮬레이션의 정의 및 디지털 휴먼 모델링

Simulation이란 어느 시스템이나 공정기능을 다른 수단을 활용하여 모의 구현함을 의미한다. 시스템이나 공정기능을 표현하기 위하여 모델을 사용하게 되는데, 모델이란 모델의 대상을 직접 접촉하지 않고도 이에 관련한 정보를 교환할 수 있도록 하는 상징화된 언어의 집합이다. ‘상징’이라는 단어가 내포하듯이 모델링은 그 대상의 모든 측면을 표현할 수 없으며, 함축화 하는 절차를 반드시 수반한다.²¹⁾

DHM은 Fig. 8에서와 같이 가상의 작업환경에 실제 작업자의 작업과 동일하게 행하는 가상의 마네킹을 만들어서 작업자 및 작업동작을 가상공간에서 유사하게 구현하는 것을 말한다.

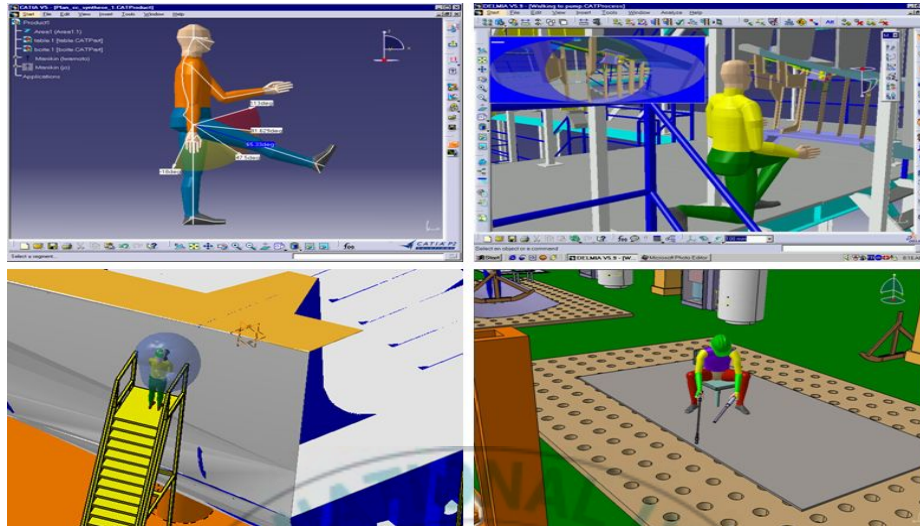


Fig. 8 Application of Digital Human Modeling

DHM은 독립적인 인체모형을 모델링하기 위해서 CATIA (Computer-graphic Aided Three-dimensional Interactive Application)²²⁾ 등의 기존 CAD 소프트웨어와 함께 사용될 수 있으며, 이는 기존의 CAD 시스템에 즉시 이용 가능한 인체 모형을 첨가하는 효과가 있게 되며 사용자가 원하는 체형의 가상 작업자를 즉시 불러 동작거리, 시야, 작업 공간 등에 관한 분석을 함으로써 주변 환경을 설계하거나 시뮬레이션을 수행할 수 있게 한다.^{23,24)}

2.3.2 DELMIA

DELMIA(Digital Enterprise Lean Manufacturing Interactive Application)는 3차원 디지털 매뉴팩처링 솔루션을 제공하는 프로그램이다. 자동차, 항공, 조선, 전기전자, 소비재, 기계조립 등 모든 제조 산업을 대상으로 공정계획에서부터 일반 조립 프로세스와 공장 시뮬레이션에 이르는 디지털 매뉴팩처링 솔루션을 제공한다. 이러한 DELMIA 솔루션은 디지털 목업(Digital Mock-up)을 통해 매뉴팩처링 프로세스의 설계나 검증을 수행한다.²⁵⁾

DELMIA 솔루션에서 지원하는 기능 중에 하나인 Human Solution은 가상의 작업환경에 digital human을 생성하여 실제 작업과 유사하게 구현할 수 있다. 그리고 인체변수 편집을 통해 실제 작업자와 유사한 체격 및 신체 특징을 가진 digital human을 생성할 수 있으며, Task Simulation을 통해 작업자와 만들어지는 제품, 설비 간에 관계를 미리 파악하는 것이 가능하다. 또한 작업으로 인해 발생할 수 있는 작업자의 불편함이나 근골격계 질환의 발생을 예방하기 위해 인간공학적 분석 기법인 RULA²⁶⁾, NLE(Lift/Lower)^{20,27)}, Pushing-Pulling-Carrying²⁸⁾을 Human Posture Analysis에서 제공하고 있다. 그러므로 작업장 설계나 설비 등의 문제로 발생할 수 있는 근골격계질환을 설계 초기에 예방할 수 있고, 작업자를 고려한 작업장 환경을 구현할 수 있다.

컴퓨터상에서 구축된 가상의 작업환경은 P. P. R(Product, Process, Resource)로 이루어져 있다. Product는 생산하고자 하는 물품이나 중간단계의 물품들을 modeling하는 것을 의미하고, Resource는 변화가 없는 설비나 주변 환경을 modeling하는 것을 의미하며, digital human도 Resource에 해당된다. 그리고 Process는 Product와 Resource로 이루어진 가상 작업 공정의 전체 흐름을 의미한다.

본 연구에서는 실제 작업 전 유해성을 검정할 수 있는 장점이 있는 DELMIA를 이용하여 실제 작업자의 신체치수가 동일한 digital human을 생성하고 실제 작업장과 동일한 Task Simulation을 구축하여 작업의 유해성 평가뿐만 아니라 작업의 유해성을 제거한 개선작업을 제시하고 인간공학적 평가 프로그램(Human Activity Analysis)을 이용하여 평가하고, 인간공학적 평가 프로그램에 사용된 평가기법과 동일한 기법으로 실제 작업자의 자세를 평가하는데 적용하였다.

3. 연구 내용 및 결과

3.1 조선업의 대표적인 작업 선정 및 작업분석

본 연구에서는 각 대형조선소의 환경안전팀(HSE) 실무 경력 5년 이상의 실무진들의 의견을 종합하여 조선 산업의 대표적인 작업으로 도장, 의장, 기계의장, 특수용접, 심출, 발판, 절단, 자동용접, 전기공사, 관철, 용접, 사상, 취부조립, 관철취부, 중장비, 배관, 측량, 신호, 운반, 후판성형으로 분류하고 구체적인 작업 130개를 Table 8과 같이 선정하였다.

이와 같이 추출된 작업을 공정별로 분류하여 보면 Table 9와 같다.

Table 8 조선 산업의 대표적인 작업

공정명	작업파일명	일련번호	공정명	작업파일명	일련번호
관철	관철설치 취부1	31	운반	부재운반	74
관철	관철설치 취부2	32	운반	운반	109
관철	배관설치	28	의장	배관설치	71
관철	배관조립	30	의장	선행배관	69
관철	파이프조립	29	의장	핸드레일 및 배관	70
관철	파이프취부	81	의장	TIG용접	22
기계 의장	멀티튜브 포설	23	일반 용접	대조립용접 (아래보기)	39
기계 의장	판넬커넥트	3	일반 용접	수동CO ₂ 용접	64
도장	바텀 스프레이	83	일반 용접	오토캐리	35
도장	스프레이	1	일반 용접	용접1	67
도장	스프레이	86	일반 용접	용접2	68
도장	스프레이	101	일반 용접	주관용접	36
도장	외관2회도장	21	자동 용접	오토캐리	80
도장	터치업(남)	85	자동 용접	오토캐리	90
도장	터치업(여)	84	자동 용접	자동용접	111
도장	페인트믹싱	87	자동 용접	캔츄리용접	78
도장	페인팅	46	자동 용접	SAW용접	6
발판	발판작업	48	전기 공사	케이블단말	8
발판	발판해체	26	전기 공사	케이블포설	7
발판	시스템발판	27	절단	강재자동절단	61

공정명	작업파일명	일련번호	공정명	작업파일명	일련번호
배관	배관제작	42	절단	반자동절단	5
배관	배관제작	50	절단	외판절단	72
사상	대조립 사상	34	절단	자동절단	103
사상	블럭사상	47	절단	자동절단	122
사상	사상	91	절단	자동절단	127
사상	사상	105	절단	절단	120
사상	사상	110	절단	플라즈마절단	73
사상	사상	123	절단	플라즈마절단	88
사상	사상	124	절단	LUG 반자동절단	60
사상	사상	128	절단	NC절단	4
사상	사상	129	중장비	지게차 운전	41
사상	사상 (선자세)	15	중장비	지게차운전	20
사상	사상 (아래보기)	14	중장비	크레인 운전	40
사상	사상작업	49	중장비	크레인운전	54
사상	사상작업	56	중장비	크레인운전	59
사상	소조립 사상	33	취부	대조립 평블럭 취부	38
사상	소조립사상	45	취부	대조립취부	19
사상	소조립사상	52	취부	론지 자동취부	37
수동 용접	수동용접 (아래보기)	77	취부	부채취부	76
수동 용접	용접 (아래보기)	79	취부	부채취부	89
신호	신호수1	63	취부	선각취부	126
신호	신호수2	65	취부	선각취부1	114
심출	블록세팅	25	취부	선각취부2	115
용접	라다블럭 내부용접	92	취부	선각취부3	119

공정명	작업파일명	일련번호	공정명	작업파일명	일련번호
용접	블록의장 수동용접	13	취부	선미블럭 취부	97
용접	블록의장 자동용접	12	취부	소부재취부	16
용접	용접	104	취부	소부재취부	17
용접	용접	106	취부	소조립	43
용접	용접 (선자세)1	57	취부	소조립 부재취부	75
용접	용접 (선자세)2	58	취부	소조립취부	44
용접	용접 (아래보기)	53	취부	소조립취부	51
용접	코밍용접	10	취부	조립취부	108
용접	파이프 서포터용접	9	취부	주관취부	18
용접	파이프용접	99	취부	취부	82
용접	펌프시트 용접	11	취부	취부1	93
용접	필렛수정 용접	94	취부	취부2	96
용접	CO ₂ 용접1	112	취부	취부3	98
용접	CO ₂ 용접2	113	취부	취부4	107
용접	CO ₂ 용접3	116	취부	취부절단	102
용접	CO ₂ 용접4	117	취부	파이프취부	2
용접	CO ₂ 용접5	118	측량	측량	55
용접	CO ₂ 용접6	121	특수 용접	텍빔용접	62
용접	CO ₂ 용접7	125	특수 용접	Fit Up	24
용접	CO ₂ 용접8	130	후판 성형	곡직작업	95
운반	부재운반	66	후판 성형	곡직작업 (히팅)	100

Table 9 조선 산업의 공정별 분류

공정	작업수	공정	작업수
스프레이	9	용접	31
의장	4	사상	16
기계외장	2	취부조립	23
특수용접	2	관절취부	3
심출	1	증장비	4
발판	4	배관	2
절단	11	측량	1
자동용접	5	신호	2
전기공사	2	운반	3
관절	3	후판성형	2

Table 9에서 선정된 대표 작업에 대한 근골격계질환 유해성을 평가하기 위하여 인간공학적 평가 프로그램에 사용된 평가기법과 동일한 인간공학 평가기법인 RULA를 이용하여 선정된 대표작업의 단위작업들을 평가하고 그 평가 결과는 Table 10과 같다.

Table 10 조선 산업의 대표적 단위작업 평가 예

작업명	RULA 분석		작업명	RULA 분석	
	점수	Level		점수	Level
스프레이	7	4	파이프 서포터용접	7	4
선행배관	6	3	사상	7	4
멀티튜브 포설	7	4	선각취부	7	4
Fit Up	7	4	관절설치 취부2	7	4
블록세팅	5	3	크레인운전	5	3
발판작업	7	4	배관제작	5	3
자동절단	7	4	측량	2	1
자동용접	6	3	신호수1	4	2
케이블단말	7	4	부재운반	6	3
배관설치	6	3	곡직작업	5	3

3.2 근골격계질환자 발생 현황 분석

D조선사의 최근 3년간 근골격계질환자 자료를 이용하여 작업별 근골격계질환자 발생빈도를 비사고성 질환과 사고성 질환으로 먼저 분류한 후, 재해일시와 상해부위, 상해종류(질병명), 발생형태별로 근골격계질환자 추이를 분류하고 작업에 의한 근골격계질환 이환이 규명된 작업자 258명을 인간공학 평가기법인 RULA 점수별로 분류하여 Table 11과 같이 작업별로 정리하였다.



Table 11 작업별 근골격계 질환 발생자 분석

공정명	작업명	RULA 분석		근골격계 질환자 수
		점수	Level	
취부	선각취부	7	4	5
의장	관철설치취부	7	4	3
용접	오토캐리	7	4	3
용접	Fit Up	7	4	14
사상	사상(위보기)	7	4	3
발판	발판	7	4	3
발판	발판해체	7	4	1
도장	스프레이	7	4	22
취부	대조립 취부	6	3	8
의장	배관설치	6	3	19
의장	선행배관	6	3	1
운반	부재운반	6	3	41
용접	러더블럭 내부용접	6	3	1
용접	블록의장 수동용접	6	3	12
용접	파이프용접	6	3	2
용접	CO2용접	6	3	15
발판	시스템발판	6	3	1
도장	터치업	6	3	6
후관성형	곡직작업	5	3	1

공정명	작업명	RULA 분석		근골격계 질환자 수
		점수	Level	
취부	대조립 평블럭 취부	5	3	22
취부	부재취부	5	3	1
취부	주판취부	5	3	9
증장비	지게차 운전	5	3	18
절단	플라즈마절단	5	3	2
절단	LUG반자동절단	5	3	2
의장	케이블포설	5	3	5
심출	블록세팅	5	3	1
배관	배관제작	5	3	1
취부	룬지 자동취부	4	2	1
취부	선미블럭취부	4	2	2
취부	소부재취부	4	2	9
취부	파이프취부	4	2	1
절단	강재자동절단	4	2	1
절단	반자동절단	4	2	1
의장	배관조립	4	2	4
용접	TIG용접	4	2	1
신호	신호수	4	2	9
사상	대조립 사상	4	2	3
절단	외판절단	3	2	1
용접	블록의장 자동용접	3	2	1
사상	사상(아래보기)	3	2	1
용접	주판용접	2	1	1

3.3 작업의 유해성과 근골격계질환 상관관계 분석

RULA로 평가한 작업을 등급별로 분류하였을 때 Final score 7점에 해당하는 14개의 작업 중에 8개의 작업이 근골격계질환이 발생하였고 그에 해당하는 근골격계질환자수는 54명으로 한 작업당 평균 3.9명이 해당이 된다. 또한 Final score 6점에 해당하는 31개의 작업 중에는 10개의 작업이 근골격계질환이 발생하였고 그에 해당하는 근골격계질환자수는 106명으로 한 작업당 평균 3.4명이 해당이 되며, Final score 5점에 해당하는 33개의 작업 중에 10개의 작업에서 근골격계질환이 발생하였다. 그에 해당하는 근골격계질환자수는 62명으로 한 작업당 평균 1.9명이 발생하여 위험작업군인 Final score 5~7점에 해당하는 작업당 질환자수는 222명에 78개의 작업이 해당되어 한 작업당 평균 2.9명의 근골격계질환자가 발생하였다. 저위험작업군인 Final score 1~4점에 해당하는 작업수의 근골격계질환 발생 작업수, 질환자수를 분류·비교하면 저위험작업군에서는 작업당 질환자수는 36명에 52개의 작업이 해당되어 한 작업당 0.7명의 근골격계질환자가 발생한 것을 Table 12에서 볼 수 있다.

Table 12 작업의 유해성 및 근골격계질환자 분석

RULA score	작업수	근골격계질환 발생 작업	근골격계질환 자수	작업당 평균 근골격계질환 자수	비고
7	14	8	54	3.9	위험 작업군 작업당 평균 2.9명 근골격계질환자 발생 $222/78=2.9$
6	31	10	106	3.4	
5	33	10	62	1.9	
4	35	10	32	0.9	저위험 작업군 작업당 평균 0.7명 근골격계질환자 발생 $36/52=0.7$
3	14	3	3	0.2	
2	3	1	1	0.3	
1	0	0	0	0	
합계	130	42	258		

이와 같이 RULA 등급별로 보았을 때 고위험작업에 속하는 작업들이 근골격계질환 발생율도 저위험작업보다 높은 것으로 나타났으며, 질환자수 같은 경우 RULA score 6점과 5점이 7점보다 많이 나타나서 더 위험한 작업이라고 판단이 될 수 있지만 작업수에서도 차이가 나고 그에 속한 인원수가 틀리기 때문에 질환자수가 많다고 더 위험하다고 판단하기는 어렵다.

3.4 용접작업 개선사례

인체모델링 시뮬레이션을 활용하여 협소공간에서 위보기 용접작업을 개선하였을 경우 Fig. 9의 개선전에는 비좁은 공간에서 위보기 용접으로 손목은 부자연스럽게 비틀어서 작업하기 때문에 손목에서 4점, 작업하는 동안 지속적으로 상완을 든 자세를 유지하므로 상완에서 3점과 팔과 손목평가에서는 6점을 받았다.

또한 목을 젖히고 몸통을 약간 비튼 자세를 유지하고 있어 각각 4점과 4점이 부과되고 목과 몸통 다리 평가에서는 7점과 근육사용과 힘에 대한 점수를 Fig. 10의 RULA 작업분석절차로 평가하여 최종점수 7점이 부과되었다. 이는 즉각적인 작업환경의 개선과 위험요인의 분석이 요구되고 정밀조사와 즉각적인 자세를 개선해야하는 단계가 개선전에는 나타났다.



Fig. 9 개선 전 용접작업 RULA 평가

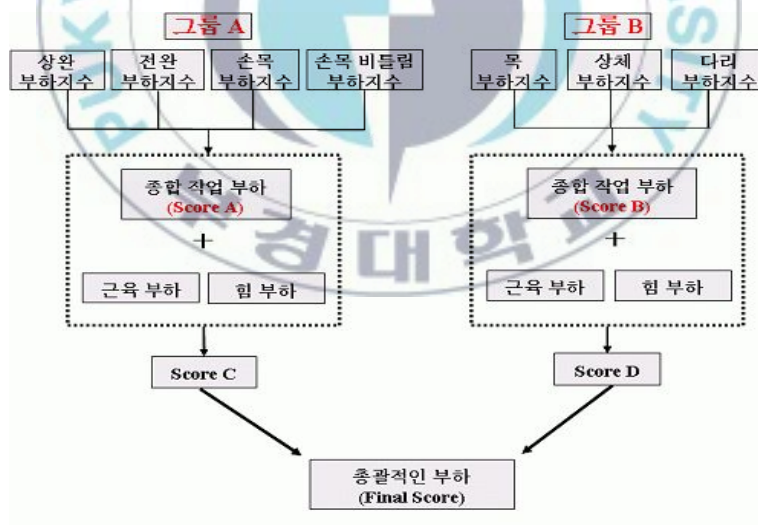


Fig. 10 RULA의 작업분석 절차

이는 작업자의 작업공간이 충분히 확보되지 못했기 때문에 작업자의 목과 허리를 비롯한 하지 부분에 근골격계 부담이 컸다고 판단이 되어 블록 내용접을 위해 설치된 발판을 현 위치보다 600mm 아래로 설치하면 Fig. 11와 같이 선자세에서 위보기 용접이 가능하게 되고 목과 허리를 펴는 효과를 얻을 수 있다. 이렇게 개선된 자세의 작업부하 분석을 살펴보면 전체적으로 손목 비틀림이 줄어들어 팔과 손목부분에서 5점, 허리에서 부담이 크게 줄어 목과 허리, 다리부분에서 3점을 받아 최종 점수는 4점으로 추가적인 관찰이 필요로 하는 자세로 개선되었다.



Fig. 11 개선된 용접작업의 RULA 평가

본 연구에서는 위보기 용접작업에 대해 작업환경을 변경하면서 동시에 부자연스런 작업자세를 개선하여 고위험작업을 저위험작업으로 개선하였다. 이로 인해 개선적용 전에 작업의 부담을 평가할 수 있었으며 시간, 개선 시 발생하는 비용적인 부분에 대해서도 효과적인 방안으로 제시 가능하다고 판단된다.



3.5 작업개선에 의한 경제적 효과 분석

인간공학 프로그램의 절차에 따라 조선 산업의 작업 중 근골격계질환이 발생하였거나 RULA평가 위험작업군(Action category 3,4)으로 분류된 위험작업에 대하여 작업을 개선하였다. 작업 개선은 부자연스런 자세, 작업 도구, 작업환경 등을 제거 시켜 줌으로써 위험작업군을 저위험작업으로 개선하였다. D사의 근골격계 질환자 분석 자료를 바탕으로 근골격계질환 위험작업으로 분류된 작업을 저위험작업군(Action category 1,2)으로 개선할 경우 Table 12에서 보는 바와 같이 위험작업군은 작업 당 평균 2.9명의 근골격계질환자가 발생하였으며, 저위험작업군은 작업 당 평균 0.7명의 근골격계질환자가 발생하여 근골격계 질환 평균 발생자수가 2.2명 줄어드는 효과를 거둘 수 있을 것으로 추정된다. 2002년 노동부 자료에 의하면 근골격계 질환자 1명 당 약 평균 직접손실액은 약 3,000만원이며, Heinrich 재해손실비용 모델 방식을 적용하면 근골격계질환자 1명 당 약 1억 5천만원의 손실이 발생하고 있다. 이 위험작업들을 저위험작업으로 개선했을 경우 평균 질환자 발생수가 2.2명 줄어드는 효과 즉 2.2명 의 근골격계질환 감소 시 약 3.3억원의 재해비용 감소효과가 발생한다고 추정할 수 있다.

이와 같이 고위험작업들을 저위험작업으로 개선하였을 경우 고위험작업에서 발생하는 재해와 그에 해당되는 재해비용은 감소시킬 수 있지만, 그에

대한 환경개선 및 설비를 추가하였을 때 작업개선으로 인한 재해감소비용
과 비교가 이루어 저서 경제적으로 이익이 발생하는지 추후연구가 필요하
다.



4. 결론 및 고찰

2002년부터 산업안전보건법을 개정하여 근골격계 질환 예방을 위한 노력을 기울이고 있음에도 불구하고, 근골격계 질환자가 증가하고 있다. 그로 인해 근골격계 질환으로 인한 재해 손실비용도 증가하고 있는 추세이다. 이에 사업장에서는 인간공학 프로그램 도입으로 근골격계 질환의 유해성을 줄이는 작업 개선을 통하여 생산성 향상과 비용 절감, 안정성 확보 등을 이루고 있다.

이에 본 연구는 국내 D조선사의 작업장에서 이루어지고 있는 작업을 각 대형조선소의 환경안전팀(HSE) 실무 경력 5년 이상의 실무진들의 의견을 종합하여 분류하고, 선정된 이들 작업에 대한 유해성을 인간공학 평가기법인 RULA로 분석하고, DELMIA 솔루션을 통해 가상의 작업환경에 digital human을 생성하고 Task Simulation을 통해 용접작업자세에 대해 분석하였다. 또한 최근 3년간 재해조사표를 분석하여 작업별 근골격계질환자 발생빈도를 비사고성 질환과 사고성 질환으로 먼저 분류한 후, 재해일시와 상해부위, 상해종류(질병명) 발생형태별로 근골격계 질환이 발생한 작업을 분류하고, 이를 이용하여 단순반복작업, 부적절한 작업 자세, 중량물 취급, 기계적인 스트레스 및 진동 등의 요인으로 근골격계에 이환이 되는 부담 작업과 근골격계 질환 발병율의 상관관계를 분석하였다. 또한 근골격계부

담작업을 개선함으로써 근골격계 질환으로 발생하는 손실을 어느 정도 경감시킬 수 있는지를 정량적으로 분석하였다.

그 결과 국내 D조선사의 경우 1개의 근골격계 질환 부담 작업을 저위험 작업으로 개선함으로써 근골격계질환자는 2.2명이 줄어드는 효과와 비용적인 측면에서는 약 3억 3천만원의 손실을 경감시킬 수 있을 것으로 추정하였다. 이러한 재해비용의 감소 효과에 대한 정량적 평가는 각 사업장에서 근골격계질환 예방 및 작업환경 개선을 하기 위한 인간공학 프로그램의 적극적인 도입을 위한 기초 자료로 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

하지만, 본 연구에서 분석한 자료는 근골격계질환자의 직무력에 대한 고려가 이루어지지 않고 재해발생시점의 작업을 기준으로 분석하여서 근골격계질환 발생의 직접적인 요인을 분석하기는 어려웠다. 따라서 추후연구를 통해 작업자의 직무이력관리 및 인간공학 프로그램의 도입이 동시에 이루어진다면 재해발생원인을 조기에 예방되어 질것이라고 판단된다. 그리고 설비 추가 등의 환경개선을 통해 재해감소비용 대비 설비추가비용의 비교가 이루어진다면 경제적 효과분석 자료의 신뢰성이 높아 질 것으로 생각된다.

참고문헌

- 1) 장성록, 산업인간공학, 다솜출판사, pp. 306~316, 2004
- 2) 노동부, 산업재해통계분석(2001-2008년 3분기)
- 3) 이윤희, 이상도, “조선업 산업재해예방을 위한 안전의식 실태조사”, 한국 산업안전학회지, 제13권, 제1호, pp.119~130, 1998
- 4) 정민근, 이인석, “작업관련성 근골격계 질환 예방을 위한 인간공학적 접근”, 산업안전기술지, 제3권, 제1호, pp. 11~17, 2003
- 5) 김유창, 이관석, 장성록, 최은진, “한국에서의 근골격계질환 경제성 분석”, 대한인간공학회 창립 20주년 기념 학술대회 논문집. pp/233~238, 2002
- 6) 김유창, “근골격계질환 예방관리 프로그램 현황과 문제점”, 안전광장, pp.94~95, 2005.10
- 7) 최은진, “한국 조선업에서 작업과 관련된 근골격계질환의 경제성분석에 대한 연구”, 동의대학교, 석사학위논문, 2003
- 8) 노동부, 산업안전보건법 제24조, 2002
- 9) 한국산업안전공단, 근골격계부담작업 유해요인조사 지침(H-30-2003), 2003
- 10) 김유창, 장성록, “근골격계질환 예방을 위한 조선업종에서 인간공학프로그램의 운영과 효과에 관한 연구” 한국안전학회 제21권 제6호, pp.101~105, 2006
- 11) 김유창, 이관석, 장성록, 임현교, 우동필, “인간공학프로그램 적용사례에 관한 연구”, 대한인간공학회 추계학술대회 논문집, 2004

- 12) 오순영, 표연, 유운식, 정병용, 이동경, 나 건, “조선업종의 인간공학 프로그램 구축 사례”, 대한인간공학회 춘계학술대회 논문집, pp.196~199, 2005.10
- 13) Kroemer, K.H.E., "Cumulative trauma disorders: Their recognition and ergonomics measures to avoid them", Applied Ergonomics, Vol. 20, No 4, pp. 274~280, 1989
- 14) Hales, T.R., Sauter, S.L., Peterson, M.R., Fine L.J., Putz-Anderson, V., Schleflier, L.R., Ochs, T.T. and Bernard, B.P., "Musculoskeletal disorders among visual display terminal users in a telecommunication company", Ergonomics, Vol. 37, No. 10, pp. 1603~1621, 1994
- 15) OSHA, 1996, Draft Ergonomics Standard.
- 16) 충북대학교 산업과학기술연구소, A자동차 근골격계질환 예방을 위한 인간공학의 응용 보고서, 2003
- 17) McAtamney & Corlett, RULA-A Rapid Upper Limb Assessment Tool, COPE Occupational Health and Ergonomic Services Ltd., Nottingham, U.K.2 1992
- 18) Hignett S. and McAtamney L., "Rapid Entire Body Assessment (REBA)", Applied Ergonomics, Vol 31, No 2, pp. 201~205, 2000
- 19) Karhu O., Kansi P, and Kuorinka, I., "Correcting working postures in industry: A practical method for analysis", Applied Ergonomics, Vol 8, No 4, pp. 199~201, 1977
- 20) Waters, T.R., Putz-Anderson, V. and Garg, A., Applications Manual

- for the Revised NIOSH Lifting Equation, U.S. Department Health and Human Services, Ohio, ppl 4~35, 1994
- 21) 윤석준, 시뮬레이션과 시뮬레이터, 선학사, 2003
- 22) 이석순, 황영진, 김효진, CATIA V5 기초 Ver. 5.11, 과학기술, 2004
- 23) 신종계, 김훈주, "조선작업공정과 디지털 휴먼", 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp. 234~238, 2005
- 24) 손유식, 김유창, "Simulation을 이용한 조선 작업의 인간공학적 분석", 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp. 239~244, 2005
- 25) <http://www.delmia.com/solutions/html/frameset.htm>
- 26) McAtamney, L. and N.Corlett., E., "RULA: A rapid upper limb assessment tool", Ergonomics for all, pp. 286~291, 1994
- 27) Chaffin, D. B., G. Andersson,. B. Martin, Occupational Biomechanics, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., pp. 292~297, 1999
- 28) Snook, S. H. and Ciriello, V. M., "Design of Manual Handling Tasks: Revised Tables of Maximum Acceptable Weights and Forces", Ergonomics, 1991

Economic Effect Analysis for Improvement of Musculoskeletal Burdened Works

Jin Woo Kim

Department of Safety Engineering, Graduate School,
Pukyong National University

Abstract

Recently, the number of workers suffering from Work-Related Musculoskeletal Disorders(WMSDs) is increasing in domestic industry fields.

Specially, direct and indirect losses of cost are presented highly in shipbuilding industries

Therefore, studies for getting economic effect by using ergonomics programs and for making quantification of losses occurred by workers suffering from WMSDs are now processing.

In this study, we have chosen various works by accessing bad conditions in shipbuilding industry works and recent workers suffering from WMSDs (2004-2006) from the famous a shipbuilding

company.

On the basis of that, we have analyzed correlation between bad conditions in works and workers suffering from WMSDs.

Therefore, we have analyzed how much we could reduce losses by in proving workloads in shipbuilding industries.

