2006년도 춘계 학술발표대회 발표논문, 2006년 5월, 강원도 삼척

시뮬레이션 기법에 기초한 근골격계 질환 감소를 위한 용접자세 분석

Analysis of Welding Positions for Reduction of Musculoskeletal Disorders Based on Simulation Technique

박 주용*, 송 창섭*, 김 동준**, 민 경철**, 장 성록***, 김 현우***, 차 태인****
*한국해양대학교 해양시스템공학과
**부경대학교 조선해양시스템공학과
***부경대학교 안전공학부
****서울대학교 해양시스템공학연구소

1. 서 론

노동부의 보고에 의하면 최근의 산업재해 증가는 근골격계 질환(Musculoskeletal Disorders ; MSDs)과 같은 작업관련성 질환이 차지하는 비중이 증가하고 있다. 근골격계 질환은 매년 급증하는 추세에 있고, 향후에도 지속적으로 증가할 것으로 예측되고 있다(김동준, 2005). 특히 작업관련성 근골격계 질환의 증가로 인하여 생산성 저하, 근로의욕저하, 품질저하 등의 경영손실은 물론 직접 의료비의 부담과 직원들의 보상 및 작업조건 개선에 대한 요구는 점차 증가하고 있으며, 노·사간의 쟁점사항으로도 부각되고 있는 상황이다. 또한 근골격계 질환이 작업관련성이라고 의심될 경우에는 의학적 치료를 통해 발병원인을 제거하지 못하는 경우도 있어, 작업장에서 질환이 재발되는 경우가 많으므로 예방이 가장 중요하다 할 수 있겠다.

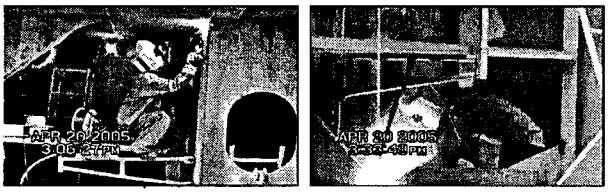
조선 산업의 많은 공정 중 용접작업은 근골격계에 가장 많은 부담을 주는 공정에 속한다. 용접은 선박 생산의 거의 모든 공정에서 이루어지고 있으며 블록이 생산되고 조립되어 짐에 따라 좁은 공간에서 불편한 자세로 용접해야하는 경우가 빈번하다. 본 연구는 선박조립공정에서 나타나는 다양한 용접 자세의 근골격계 질환 발생 위험정도 및 원인을 분석하고 이를 토대로 작업자에게 부담이 적게 되는 작업 환경 개선방안을 제시하여 근골격계 질환을 감소시키는데 그 목적을 두고 있다.

2. 시뮬레이션

인체의 수학적 모델을 제시하고 이를 통해 인간의 작업을 위한 동작을 나타내기 위해 컴퓨터를 이용한 것이 인간공학적 인체모델(Ergonomics human model이다. 본 연구에서는 Ergonomic human model을 위한 범용 소프트웨어로 Delmia V5 HUMAN 사용하였다.

2.1 작업 자세 선정

선박블록 용접시 블록형상의 복잡성과 작업공간의 협소성으로 인해 다양한 용접자세가 나온다. 위보기 용접자세는 그 중 대표적인 불편한 자세로 작업점이 머리 위에 위치하고 작업 시 양팔을 모두 위로 들고 작업을 해야 한다. 따라서 손목, 팔, 어깨, 허리, 목 등에 부담을 주게 된다. 또 다른 용접자세로서 아래 보기 용접자세는 상체와 하체를 밀착시켜 몸을 전체적으로 밑으로 숙여야 하므로 허리에 많은 부담을 주는 자세이다. 본 연구에서는 이 2가지 용접자세를 대상으로 하였다.



(a) Overhead position (b) Flat position

Photo 1 Welding work in various positions in the block

2.2 인간 작업 시뮬레이션

실제 작업환경인 블록(Product)과 각종 설비 및 도구(Resource)를 3차원 가상공간에 구축한 뒤 인체모델인 마네킹에게 실제 공정에 따라 작업하도록 하는 방법으로 시뮬레이션하였다. Fig.1은 Photo 1의 용접작업을 가상공간에서 마네킹에 의해 동일한 작업이 이루어지고 있는 시뮬레이션을 보여주고 있다.

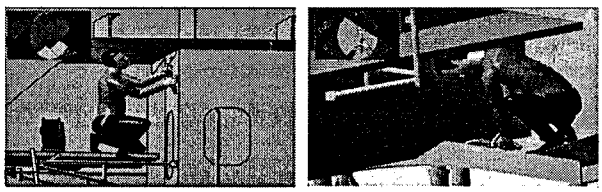


Fig.1 Human modeling of overhead and flat welding position

2.3 인간공학적 분석

인간공학적 분석은 여러 가지가 있으나 본 연구에서 채택한 RULA(Rapid Upper Limb Assessment)분석기법은 McAtamney & Corlett(1993)에 의해 제안된 기법으로 어깨, 팔목, 손목, 목 등 상지부위에 초점을 맞추어 자세로 인한 작업 부하를 평가하기 위한 방법이다.

Fig.2는 RULA 분석 방법에 의한 점수 산출과정을 나타낸 것이다. Table 1의 최종점수(Final score)는 팔과 손목 분석인 A점수와 목, 허리와 다리 분석인 B점수에 각각 근육부하와 무게/힘 부하를 고려한 C점수와 D점수의 합으로 산출되며 최종점수에 대한 평가내용은 Table 1에 나타난 바와 같다.

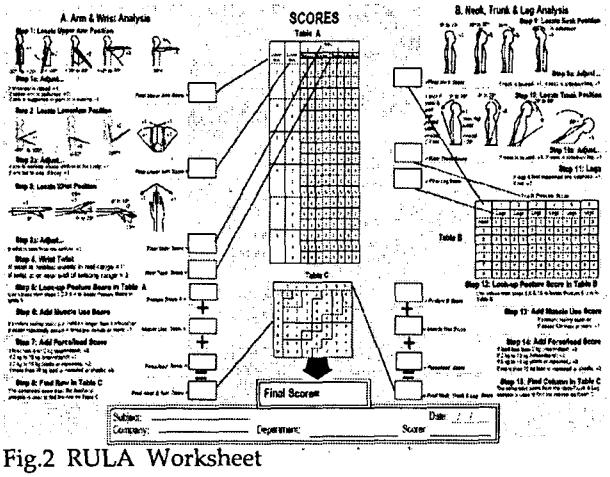


Fig.2 RULA Worksheet

Table 1 Final score of RULA and its evaluation

C점수 / D점수	1	2	3	4	5	6	7
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

Final Score	평가내용
1~2	적절한 작업
3~4	추가적인 관찰 필요
5~6	작업 전환고려
7점	즉시 작업 전환이 필요

3. 용접자세의 작업부하 분석과 개선 사례

3.1 위보기 용접자세

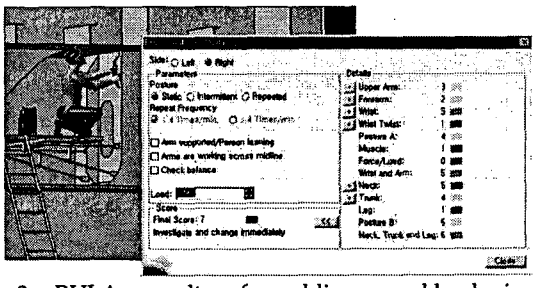


Fig.3 RULA result of welding workload in the overhead position

Fig.3에서 보는 바와 같이 위보기 용접 자세는 비좁은 공간에서 작업이 이루어져 손목과 상완이 3점으로 약간의 무리가 있고 목과 몸통에 꺾임이 있어 상당히 부담되는 자세임을 알 수 있다. Fig.4는 위보기 용접자세 작업 중의 목과 허리 움직임을 그래프로 나타낸 것으로 목을 뒤로 젖히는 경우는 전체 작업시간 동안 4회 나타나며 옆으로 굽히는 경우는 작업이 끝날 때까지 지속적으로 나타남을 알 수 있다. 한편 허리의 경우는 비틀림은 없으나 앞뒤, 좌우로 구부린 채 작업이 이루어진다는 것을 알 수 있다.

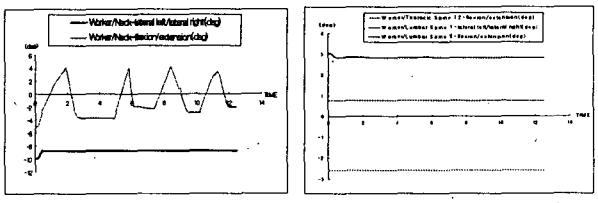


Fig.4 Moving angle of neck and waist in the overhead welding position

이 경우는 블록 내 용접을 위해 설치된 지지대가 높게 설치되어 용접 공간이 좁아지고 따라서 구부린 자세로 작업을 할 수 밖에 없었다. 이 지지대를 현 위치보다 600mm 아래로 설치하면 Fig.5와 같이 선 자세에서 위보기 자세 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 관찰을 필요로 하는 자세로 개선되었다.

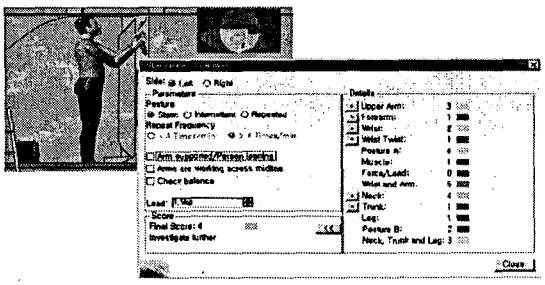


Fig.5 RULA result of welding workload in the improved overhead position

부담이 크게 줄어 든 목과 허리부분의 움직임을 자세히 살펴보면 Fig.6의 왼쪽그림에서 목을 젖히는 각도가 항상 0도 이상이고 옆으로 굽히는 각도는 작업시간 동안 0도로 유지함을 알 수 있다. 이것은 목이 뒤로 젖혀지거나 옆으로 굽혀지지 않음을 뜻한다. 그리고 Fig.6의 오른쪽 그림에서 허리 움직임에 따른 각도는 앞뒤, 좌우, 비틀림 모두 0도로 일정하므로 허리가 굽혀지거

나 비틀어지지 않은 자세로 작업하고 있음을 나타낸다.

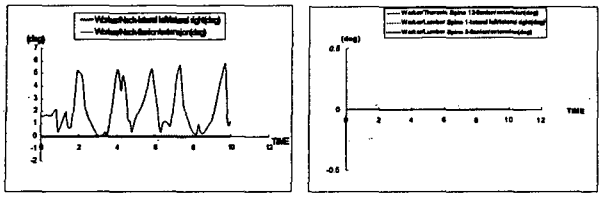


Fig.6 Moving angle of neck and waist in the improved overhead position

3.2 아래보기 용접자세

Fig.7의 왼쪽 그림은 아래보기 자세로 좁은 공간에서 몸을 웅크리고 쪼그려 앉아 용접하는 자세이다. 이 자세는 팔과 손목의 분석에서 5점, 그리고 목과 허리 및 다리 분석에서 5점씩을 받았다. 이는 쪼그려 앉은 용접 자세가 팔과 손목, 허리에 부담을 많이 주기 때문이다.

Fig.7의 오른쪽 그림은 용접작업 중의 허리 각도의 변화를 나타낸 것으로 작업 진행 동안 항상 20도로 굽혀져 있음을 보여주고 있다. 따라서 이 자세는 허리에 많은 부담을 주고 있다는 것을 알 수 있다. 이 자세의 최종 점수는 6점으로 작업 자세의 변경이 고려되어야 한다.

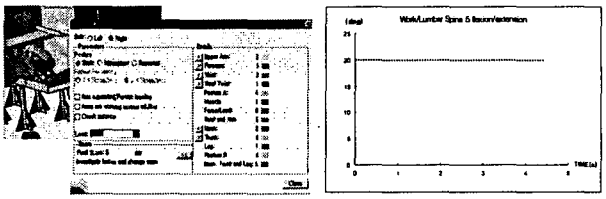


Fig.7 RULA result of welding workload and moving angle of waist in the flat position

이 자세의 경우 작업공간을 보다 충분히 확보하기 위해 머리 위의 발판을 절단하고 블록 밖에서 작업이 가능하도록 Fig.8의 왼쪽 그림과 같이 바닥에 가로, 세로 각 1000mm, 높이 130mm의 발판을 놓아 용접사가 서서 용접이 가능하도록 자세를 변경하여 작업부하 분석을 해 본 결과 다음과 같이 개선된 결과를 얻었다.

발판 위에 서서 작업하기 때문에 다리는 펴고 허리는 약간만 굽힌 자세로 용접이 가능하였다. 팔과 손목 부분은 4점, 목과 허리 및 다리부분은 2점을 얻어 최종 점수가 3점이 되었고 이는 좀 더 관찰을 필요로 하는 자세로 근골격계 부담이 현저히 줄었음을 알 수 있었다.

가장 많은 변화를 보인 허리의 움직임을 나타낸 Fig.8의 오른쪽 그래프를 살펴보면 개선 전에는 허리를 약 20도로 계속 굽힌 채 작업했던 것에 비해 개선 후에는, 작업시점에서는 약 17.5도로 굽힌 자세였으나 작업이 진행됨에 따라 용접부가 용접사와 가까워져서 허리가 서서히 펴지는 자세로 작업이 이루어짐을 알 수 있었다.

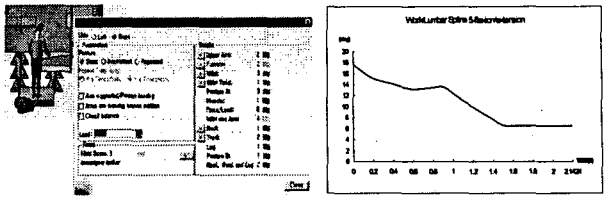


Fig.8 RULA result of welding workload and moving angle of waist in the improved flat position

4. 결 론

1) 작업자세가 근골격계에 미치는 영향에 대한 조사는 통상 설문조사나 문서로 이루어졌기 때문에, 작업자의 심리적, 정서적 판단으로 인해 객관성을 입증하기 어려웠다. 하지만, 본 연구에서는 용접사의 자세변화에 따른 작업강도를 인간공학적 분석기법과 시뮬레이션을 이용하여 수치적으로 표현함으로써 정확하고 객관적인 결과를 얻을 수 있었다.

2) 작업자세의 전환 평가를 받은 용접자세는 작업자가 포함된 작업공정의 모델링과 시뮬레이션을 이용하여 가능한 작업환경의 변경 및 보조물 활용 등을 통해 근골격계 질환을 유발하는 작업강도를 줄일 수 있었다.

3) 추후 연구에서는 시뮬레이션의 장점을 적극 활용하여 단순히 작업 환경만을 개선하는데 그치지 않고 작업 순서의 변경 등을 포함한 공정변경까지 고려함으로써 용접사의 근골격계 질환 감소를 위한 다양한 방법에 대해 연구를 지속할 예정이다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2004-000-10113-0)의 지원으로 수행된 연구 결과의 일부이며 과제수행에 도움을 주신 한진중공업 관계자분들에게 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 김동준 : "생산공정 Simulation을 통한 조선산업의 근골격계질환 감소 방안 연구 연차보고서", 2005년도 과학기술부 기초과학연구사업, 2005.
2. 김홍태 : "조선업 근골격계질환에 대한 공학적 접근방안", 대한조선학회지, 제40권 제3호. pp36~46, 2003.
3. 민경철, 김동준, 박주용, 최동환, 장성록, 오현수, 차태인 : "조선산업에서 Human Modeling & Simulation을 이용한 작업자세분석 적용가능성 연구", 대한조선학회 추계학술대회논문집, pp256~261, 2005.
4. 차태인, 정성원, 최양렬, 이장현, 신종계, 박주용 : "Digital Human 모델링을 이용한 조선산업에서의 작업자세 개선 방안", 대한조선학회 춘계학술대회 논문집, pp422~429, 2004.