

## 용접기술에 있어서 안전과 보건 - 조선산업의 근골격계 질환을 중심으로 -

박 주 용

### Safety and Health in the Welding Technology - Based on the Musculoskeletal Disorders in the Shipbuilding Industry -

Ju-Yong Park

#### 1. 서 론

용접기술은 거의 전 공업분야에 적용되고 있는 생산 기반기술로서 우리나라의 경우 GDP의 약 50%가 용접 기술 관련 산업에 의한 것으로 보고되고 있으며 용접기술인력도 약 20만명에 이르고 있다. 그렇지만 용접기술은 위험성과 유해성이 큰 기술에 속하여 이에 대한 법적규제가 더욱 강화되는 추세에 있으며 근로자들의 용접기피현상은 나날이 심화되고 있다. 또한 용접으로 인한 안전사고 및 질환으로 해마다 노사의 핵심적 쟁점사항으로 등장하고 있어 용접안전 및 보건위생의 중요성은 크게 부각되고 있다.

용접시 발생 가능한 유해인자로는 감전, 강한 아크광에 의한 시각장애, 용접시 발생하는 용접매연 및 가스에 의한 공기 오염에 따른 건강질환, 화재, 화상, 폭발에 의한 피해 및 소음에 의한 청각장애, 부적절하거나 몸에 피로를 유발하는 용접자세로 인해 발생하는 근골격계 계통의 질환 등과 같은 직접적인 인자들과, 용접시 사용되는 압축가스나 가연성가스에 의한 인자, 용접부의 청정작업시 발생 가능한 인자, 그리고 금속의 취급시에 발생할 수 있는 일반 인자 등 간접적인 인자들을 들 수 있다. 그 중 작업관련성 질환인 근골격계 질환(Musculoskeletal Disorders ; MSDs)은 매년 급증하고 있고, 향후에도 지속적으로 증가할 것으로 예측되고 있다. 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 의학적인 치료를 통해 발병원인을 제거하지 못하는 경

우도 있어, 작업장에서 질환이 재발되는 경우가 많으므로 예방이 가장 중요하다 할 수 있겠다.

용접작업은 이와 같은 많은 안전과 보건상의 문제점들을 가지고 있지만, 정확한 예방책을 따르고 대비책을 세우면 안전한 작업이 가능하다.

#### 2. 용접안전 및 보건위생 관련 법규

산업안전보건에 관련된 법규의 근간은 산업안전보건법이며, 산업안전보건법 시행령, 산업안전보건법 시행규칙, 산업안전기준에 관한 규칙 및 산업보건기준에 관한 규칙 등으로 구성되어 있다. 그 중 근골격계 질환과 관련된 법규는 2002년 에 신설된 산업안전보건법 제 24조 제1항으로 이에 의하면 단순 반복작업 또는 인체에 과도한 부담을 주는 작업에 의한 건강장해를 예방하기 위해서 사업주는 노동부령으로 정한 보건상의 조치를 하도록 되어있다.

산업보건기준에 관한 규칙 제9장 <근골격계 부담작업으로 인한 건강장해의 예방> 편에는 유해요인조사, 작업환경개선, 의학적인 조치, 유해성 주의 및 근골격계 질환 예방프로그램의 수립·시행 등 사업주의 의무가 구체적으로 규정되어 있다. 또한 동 규칙 제9장 제142조 제1호는 "근골격계 부담작업이라 함은 제24조 제1항 제5호의 규정에 의한 작업으로서 작업량·작업속도·작업강도 및 작업장 구조 등에 따라 노동부장관이 정하여 고시하는 작업을 말한다."라고 되어 있으며 노동부 고시 제2003-24호에 의하면 11가지 근골격계 부담작업을 정하여 이 중 한 가지라도 포함되면 유해요인조사 대상이 된다. 즉, 근골격계 질환 관련 법률, 시행규칙, 고시를 통합하면, "사업주는 단순반복작업 또는 인체에 과도한 부담을 주는 11가지 근골격계 부담작업을 하는 경우 건강장해를 예방하기 위하여 필요한 조치를 취하여

야 한다.”로 요약할 수 있다.

### 3. 조선산업에 있어서 근골격계 질환

#### 3.1 근골격계 질환 및 발생원인

근골격계질환이란, 작업 활동이 반복적이며 지속적이고 또는 부자연스러운 작업자세에서 이루어지거나 무리한 힘의 사용, 날카로운 면과의 신체접촉, 진동 및 온도 등의 요인에 의해서 발생하는 건강장해로서 목, 어깨, 허리, 상·하지의 신경·근육 및 그 주변 신체조직 등에 나타나는 질환을 말한다<sup>1)</sup>. 근골격계 질환은 무릎을 굽히거나 쪼그리는 자세, 팔꿈치를 반복적으로 머리 또는 어깨 위로 들어 올리는 자세, 목, 허리, 손목등을 과도하게 구부리거나 비틀는 자세 등의 부적절한 자세로 작업, 중량물을 취급할 때와 같이 과도한 힘을 요구하는 작업, 손이나 무릎을 망치처럼 때리거나 치는 작업, 착암기나 연삭기 등 진동공구를 취급하는 작업, 목, 어깨, 팔, 팔꿈치, 손가락 등을 반복적으로 움직이는 반복 작업 등에 의해 발생한다.

조선산업에서는 단순반복 작업은 물론 중량물 취급, 부적절한 자세, 진동 등의 요인으로 인해 다른 산업에 비해 훨씬 심하게 근골격계 질환에 노출되어 있다. 선체를 구성하는 구조물인 선박블록들은 대단히 복잡하고 작업공간이 협소한 경우가 많을 뿐만 아니라 곡블록의 경우에서 많이 볼 수 있는 바와 같이 작업장소가 수평이 아니고 기울어져 있는 곳도 많아 작업자가 쪼그려 앉거나, 팔을 높이 들거나, 허리와 목을 굽히고 옆으로 비틀어야 하는 등의 부적절한 자세를 취한 채 장시간 용접, 마무리 등의 작업을 하게 된다. 게다가 대부분의 블록내의 용접에서 취해야 하는 수직 자세나 위보기 자세의 경우는 통상 팔을 어깨보다 높이 들어 올린 상태에서 길게는 수십 분 동안 지속적으로 용접작업을 해야 하는 등 근골격계 질환을 유발하는 요인을 많이 갖고 있다. Fig. 1은 조선소에서 이루어지는 부적절한 용접 자세의 대표적인 예를 보여주고 있다.

노동부 고시 제2003-24호에는 근골격계 질환을 유



Fig. 1 Examples of unsuitable welding position in the shipbuilding

발할 가능성이 많은 11가지의 근골격계 부담작업의 범위를 고시하고 있으며 그 중 한 가지라도 해당되면 유해요인조사 대상이 되어 사업주는 건강장해를 예방하기 위하여 필요한 조치를 취하도록 하고 있다. 조선산업분야에서의 용접작업은 최소 7-8가지가 해당될 정도로 근골격계의 부담이 큰 작업에 해당된다.

#### 3.2 근골격계 질환의 발생 현황

1996년 한국통신공사 전화교환원의 경견완장해 집단 발생(66명 산재승인)을 계기로 알려지기 시작한 근골격계 질환은 작업관련성 질환으로 최근의 산업재해에서 가장 큰 비중을 차지하고 있으며 발생건수도 Fig. 2에서 보는 바와 같이 급증하고 있다. 이로 인하여 생산성 저하, 근로의욕 저하, 품질 저하 등의 경영손실은 물론 직접 의료비의 부담 등이 급증하고 있다. 또한 근골격계 질환에 대한 직원들의 보상과 작업 개선에 대한 요구가 증가하고 있으며, 최근에는 가장 중요한 노·사간 쟁점사항으로까지 부각되고 있다. 근골격계 질환자를 업종별로 보면 제조업이 전체 발병인원 중 약 80%를 차지하고 있으며, 특히 제조공정에서 용접작업이 대부분을 차지하고 있는 조선산업에서 작업관련성 근골격계 질환이 급증하고 있는 추세이다<sup>2)</sup>.

#### 3.3 근골격계 질환의 예방과 대책

근골격계 질환의 예방과 대책은 최근 근골격계 질환 환자가 급증하면서 2002년 산업안전보건법에 의해 법률적으로 의무화되었으며 유해요인조사, 작업환경개선, 의학적 조치, 유해성 주지, 근골격계 질환 예방 프로그램, 중량물 작업시 특별조치의 6가지로 이루어져 있다<sup>3)</sup>. 이들은 근골격계 질환 유발 가능성이 큰 용접작업장에도 그대로 적용된다.

근골격계 질환의 예방과 대책은 전술한 바와 같이 법에 상세히 규정되어 있으므로 용접작업이 수반되는 산

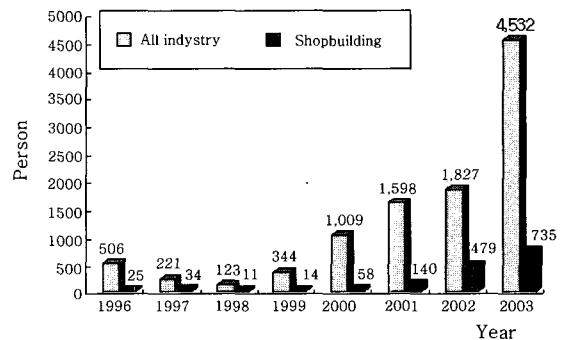


Fig. 2 Change of MSDs Occurrence

업체에서도 법에 규정된 사항을 잘 이행함으로써 효과를 거둘 수 있다. 국내 대부분의 대형 조선소와 자동차 제작업체에서는 한 단계 더 나아가서 근골격계 질환의 예방 및 사후관리를 위한 위원회와 담당 부서를 중심으로 관련 자료를 작성·배포하고 있으며, 작업자들을 대상으로 한 인간공학적인 프로그램을 도입하고 있다. 또한 근골격계 질환 예방을 위한 시설(안전체험관, 건강증진실, Health Zone)과 치료시설(물리치료실, 운동치료실) 운영, 재활·복귀 프로그램 등도 구축하고 있다.

그러나 근골격계 질환 예방을 위해 정부에서는 이를 위한 법률 제정으로, 업계에서는 상술한 바와 같은 다각적인 노력을 기울이고 있지만 근본적인 해결책을 제시하지는 못하고 있다. 이는 작업 시에 발생할 수 있는 작업공간, 작업자세 등 다양한 형태의 근골격계 질환 유해요인이 이미 설계 시에 형성되기 때문이다. 따라서 최근에는 인간공학적인 개념을 도입한 구조물 설계를 통하여 아예 설계과정에서부터 후 공정에서 나타날 수 있는 근골격계 질환 유해요인을 최소화 할 수 있는 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>4-5)</sup>.

#### 4. 근골격계 질환의 인간공학적인 평가와 근골격계 질환 감소를 위한 최근의 연구

##### 4.1 인체모델과 시뮬레이션을 이용한 분석

근골격계 질환의 바람직한 관리 방안은 질병의 발생을 줄이고, 질병을 조기 발견하여 빠른 작업 복귀를 하게 하는 지속적인 체계이기 때문에, 근골격계 질환의 공학적 분석 방안을 개발하여 시행하는 것이 중요하다.

RULA는 McAtamney & Corlett(1993)에 의해서 어깨, 팔목, 손목, 목 등 상지부위에 초점을 맞추어 자세로 인한 작업 부하를 평가하기 위한 방법이다. 근골격계 질환과 관련된 유해인자에 대한 개인작업자의 노출정도를 평가하기 위한 목적으로 개발되었다. 평가대상이 되는 주요 작업요소로는 작업 자세 뿐 아니라 반복수, 정적인 작업, 힘, 작업 자세, 연속작업시간 등이 고려된다. 따라서 비록 RULA 분석 방법이 주로 상지 평가에 편중되어 있으나 전체적인 작업자세 평가도구이며 작업물, 공구 무게까지 고려되어 분석되므로 조선산업의 근골격계 질환 분석방법으로 가장 널리 이용된다.

Fig. 3은 RULA 분석 방법에 의한 점수 산출과정을 나타낸 것이며, Final Score를 찾아가는 방법은 Table 1에 나타나 있다. Final Score는 팔과 손목 분석인 A점수와 목, 허리와 다리 분석인 B점수에 각각 근육부하와 무게/힘 부하를 고려한 C점수와 D점수의 합으로 산출된다.

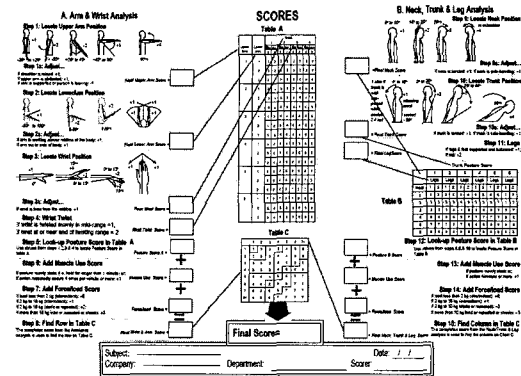


Fig. 3 RULA employee assessment worksheet

Table 1 Final score

| C score/<br>D score | 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 |

Table 2 Action level of RULA final score

| Final score | Action level | Action  |
|-------------|--------------|---|
| 1~2         | 1            | Posture is accessible                                       |
| 3~4         | 2            | Further investigation is needed and changes may be required |
| 5~6         | 3            | Investigation further and changes are required              |
| 7           | 4            | Investigation and changes are required immediately          |

##### 4.2 시뮬레이션 기법을 이용한 근골격계 질환 감소를 위한 연구

인체의 수학적 모델을 제시하고 이를 통해 인간의 작업을 위한 동작을 나타내기 위해 컴퓨터를 이용한 것이 인간공학적인 인체모델(Ergonomics human model)이다. 인체모델은 공학적 작업분석 및 평가를 위해 필요한 기초자료를 얻기 위하여 만들어진 전산화된 인체 모형으로 경비와 인력, 시간을 절약할 수 있는 장점을 갖고 있다. 시뮬레이션 분석기법은 실제 작업환경인 블록(Product)와 각종 설비 및 도구(Resource)를 3차원 가상공간에 구축한 뒤 인체모델인 마네킹에게 실제 공정에 따라 작업하도록 한 후 인간공학적인 평가기법을 사용하여 분석하는 방법이다. Fig. 4는 Fig. 1의 용접작업을 가상공간에서 마네킹에 의해 동일한 작업을 수행하게 하는 인체모델이다.

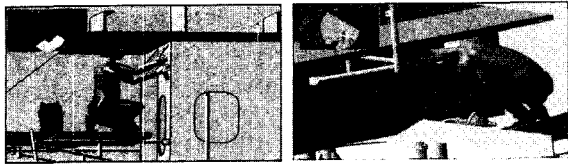


Fig. 4 Human models of welder

#### 4. 결 론

최근 급격하게 증가하고 있는 작업자의 근골격계질환은 조선소의 생산성뿐만 아니라 경영에까지도 심각한 영향을 가져오고 있다. 각 조선소들은 근골격계질환의 감소를 위해 많은 노력을 기울이고 있으나 좀 더 나은 작업환경 및 산업재해 인정을 요구하는 작업자들과의 대립은 노사 간의 심각한 쟁점 상황이 되고 있다. 현재는 근골격계질환의 발생을 예방하기 위하여 작업자들을 대상으로 하는 인간공학 프로그램 도입, 담당 부서를 중심으로 하는 관련 자료 작성·배포, 안전체험관·건강증진실 구축 등의 발생예방 대책을 마련하여 시행하고 있으며 또한 물리치료실·운동치료실 등의 치료시설 운영과 재활·복귀 프로그램 등 발생한 근골격계질환의 치료도 병행하고 있다.

근골격계 질환 감소를 위한 근원적인 대책은 치료보다는 예방대책에 있으며 이를 위한 다양한 연구가 이루어지고 있으며 특히 시뮬레이션 분석기법에 바탕한 연구방법은 분석결과의 정확성과 객관성으로 인해 주목받고 있다. 기존의 근골격계에 미치는 영향에 대한 설문조사나 직접 문서를 이용한 조사방법은 작업자의 심리적, 정서적 판단이 영향을 크게 미쳐 객관성을 입증하기 어려워 근원적인 대책마련이 쉽지 않았다. 하지만 기존의 인간공학적 평가기법에 3차원 인체모델을 이용한 시뮬레이션 분석기법은 작업환경과 작업자의 자세를

가상환경에서 시각적으로 재현하여 분석함으로써 근골격계 질환 발생 위험도를 '조속한 작업자세 변경 요망', '즉시 작업 전환'과 같이 공학적으로 표현한다. 또한, 평가를 받은 자세를 작업환경과 그에 따른 작업 자세를 변경한 후 다시 모델링하고 시뮬레이션하여 재분석함으로써 작업환경 및 자세 개선이 근골격계 부담을 얼마나 줄일 수 있는가를 수치적으로 확인 할 수 있다.

현재 주요 조선소를 중심으로 이러한 3차원 시뮬레이션 기법을 활용한 근골격계 질환 감소 방안이 활발히 연구되고 있어 근골격계 질환에 대한 획기적인 해결책이 나올 수 있을 것으로 생각된다.

#### 참 고 문 헌

1. Kroemer, K.H.E., "Cumulative trauma disorders: Their recognition and ergonomics measures to avoid them", *Applied Ergonomics*, 20-4 (1989), 274-280
2. 김홍태 : "조선업 근골격계질환에 대한 공학적 접근 방안", *대한조선학회지*, 40-3 (2003), 36-46
3. 노동부 : 근골격계부담작업으로 인한 건강장해의 예방, 산업보건기준에 관한 규칙, 제9장(제142조-제152조)
4. 민경철, 김동준, 박주용, 최동환, 장성록, 오현수, 차태인 : "조선산업에서 Human Modeling & Simulation을 이용한 작업자세분석 적용가능성 연구", *대한조선학회 추계학술대회 논문집*, 256~261, 2005
5. 차태인, 정성원, 최양렬, 이장현, 신종제, 박주용 : "Digital Human 모델링을 이용한 조선산업에서의 작업자세 개선 방안", *대한조선학회 춘계학술대회 논문집*, 422~429, 2004



- 박주용(朴珠用)
- 1956년생
- 한국해양대학교 해양시스템공학부
- 용접 및 생산자동화
- e-mail: jypark@hanara.kmaritime.ac.kr