

# 컴프레서 제조공정의 인간공학적 개선에 관한 연구

배동철 · 장성록<sup>†</sup>

부경대학교 안전공학과

(2004. 12. 7. 접수 / 2005. 3. 2. 채택)

## Ergonomic Evaluation and Improvement of the Manufacturing Lines of Compressors

Dong Cheol Bae · Seong Rok Chang<sup>†</sup>

Department of Safety Engineering, Pukyong National University

(Received December 7, 2004 / Accepted March 2, 2005)

**Abstract :** The purpose of this paper is to investigate risk factors and ergonomically improve the manufacturing lines of compressors for prevention of work-related musculoskeletal disorders, enhancement of productivity, and worker's satisfaction. We executed questionnaire survey, ergonomic risk factors investigation of manufacturing lines and ergonomic intervention of work methods, workplace and hand tools. The results of the questionnaire showed that 7.9 % of respondents were positive in WMSDs symptom survey. In ergonomic evaluation, the analysis methods such as RULA and NIOSH lifting equation were used and 28 processes in the lines were evaluated to be potentially hazardous. We ergonomically improved the processes to reduce potential WMSDs hazards : manual material handling, carts, work tables, transport methods, working posture and hand tools.

**Key Words :** WMSDs, RULA, NIOSH lifting equation, ergonomic improvement

### 1. 서 론

작업관련 근골격계질환은 최근 사업장의 집단적인 발병, 산업재해자수의 급증 등으로 인하여 산업 안전보건 분야의 주된 문제로 인식되고 있다. 특히, 자동차, 선박 등의 제조업에서 이러한 문제는 노사간의 갈등을 야기하는 주요인으로 작용하여 사회적 이슈로 대두되었다.

선진국에서는 이러한 근골격계질환이 이미 직업병의 상위를 차지하고 있으며 미국의 경우 2000년 241,800건으로 전체직업병의 67%를 차지하였으며, 150~200억불의 보상비용을 포함하여 연간 전체 손실비용이 450~540억불 이상인 것으로 알려져 있다. 또한 유럽의 경우는 유럽 근로자의 약 4천만 명 이상, 노동력의 30%가 근골격계질환에 노출되어 있는 것으로 나타났다<sup>1)</sup>.

국내의 경우는 최근 노동부가 발표한 2003년도 산업재해 통계에서 업무상 질병자수는 9,130명으로 전년도 5,417명에 비해 3,713명(68.5%)이 증가하였으며 이 중에서 작업관련성질환은 2003년에 7,225명으로 전년도 4,066명보다 3,159명(77.7%)이 증가하였다<sup>2)</sup>. 전체 업무상 질병자의 증가분이 작업관련성질환에서 발생했음을 보여준다. 작업관련성 질병 중 뇌·심혈관 질환자는 2,358명으로 전년도 2,056명보다 302명(14.7%)이 증가하였고 신체부담작업으로 인한 질환(경견완장해 등)은 2,906명으로 전년도 1,167명보다 1,739명(149.0%)이 증가하였으며, 요통은 1,626명으로 전년도 660명보다 966명(146.4%) 증가하였다<sup>2)</sup>. 업무상 질병자에 대한 비교표를 Table 1에 나타내었다.

본 연구는 근골격계질환의 예방과 생산성 향상 및 작업자의 만족도 향상을 위해서 컴프레서 제조사의 생산공정의 작업자를 대상으로 한 증상설문조사와 각 공정별 유해요인조사를 실시하였다. 이와 더불어 추출된 근골격계질환 위험성을 줄이기 위한 인간공학적 작업장 개선을 실시하였다.

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.  
srchang@pknu.ac.kr

Table 1. Nonfatal cases logged in Korea

구분	총계	작업병							작업관련성 질병				
		소개	진폐	난청	금속 및 중금속 중독	유기 용제 중독	특정화학 물질중독	기타	소개	뇌·심혈관질환	신체부담 작업	요통	기타
2002	5,417	1,351	915	219	8	48	32	129	4,066	2,056	1,167	660	183
2003	9,130	1,905	1,320	314	19	33	58	161	7,225	2,358	2,906	1,626	335
총 감	3,713	554	405	95	11	-15	26	32	3,159	302	1,739	966	152

## 2. 증상설문조사

컴프레서 제조공정에 종사하는 작업자를 대상으로 근골격계질환과 관련한 설문을 실시하였다. 설문지는 근골격계질환과 관련한 작업특성과 근골격계질환 자각증상에 대한 내용으로 NIOSH 기준 및 한국산업안전공단의 작업관련 근골격계질환 증상 및 위험요인 평가치침을 따랐다<sup>3-5)</sup>.

설문은 190명의 응답자가 회수되었다. 분석 결과 평균연령은 30.9세, 평균 근무경력은 10.4년이었으며, 현재 공정에서 작업한 평균 근무경력은 1.6년이었다. 공정특성은 비교적 중량물 취급이 빈번하며 장시간 서서 팔을 과도하게 뻗는 작업 형태로 나타났다.

작업강도에 대한 설문항목에서는 힘들다는 응답자가 50.3%, 견딜 만 하다는 응답자가 49.7%로 나타났다. 현재 수행하고 있는 작업이 힘든 원인에 대한 설문항목에서는 업무량이 많아서라는 응답이 34.6%, 작업이 힘들어서라는 응답이 27.4%로 나타났다. 작업 중 피로가 쌓이거나 힘들 경우 스스로 조절할 수 있는지에 대한 설문항목에서는 조금 조절할 수 있다는 응답이 45.6%였으며 거의 조절할 수 없다는 응답이 37.0%로 나타났다.

근골격계질환의 자각증상에 대한 설문 결과 중간 통증 이상의 통증을 느끼는 신체부위로는 어깨가 25.3%였으며, 목과 손 이 각각 19.5%로 나타났다.

작업자의 자각증상 응답에서 통증 강도, 통증주기, 통증 지속시간 등을 분석하여 각 부위에 통증이 전혀 없거나 약한 통증을 느끼는 자를 “정상자”, 신체부위 중 한 부위 이상 중간통증을 호소하고, 1달에 1번 이상 통증이 발생하며, 한번 통증이 발생하면 1주일 이상 지속되는 경우를 “요주의자”로 추정한다. 특히 1달에 1번 이상 통증이 발생하며, 한번 통증이 발생하면 1주일 이상 지속되고 자각증상이

Table 2. Positive rate of symptoms survey

대상자	유소견자 추정		요주의자 추정		정상 추정	
	인원 (명)	비율 (%)	인원 (명)	비율 (%)	인원 (명)	비율 (%)
190	11	5.8	4	2.1	175	92.1

Table 3. Category of ergonomic evaluation

구분	RULA	즉시 개선 (공정수)	개선 필요 (공정수)	안전 (공정수)
컴프레서 제조 공정	4.63	3	25	47

심한 통증이나 매우 심한 통증을 호소하여 요양이 필요할 정도의 근골격계질환을 앓고 있을 가능성이 높은 사람들을 “유소견자”로 추정한다<sup>6)</sup>. 본 연구에서 분석한 컴프레서 제조공정 작업자들의 유소견자/요주의자 추정비율은 7.9%로 그 내용은 Table 2와 같다.

## 3. 인간공학적 작업장 평가

컴프레서 제조공정에 존재하는 75개의 공정에 대하여 유해요인조사를 실시하였다<sup>7-10)</sup>. 이와 더불어 각 공정에 대해 RULA 분석을 실시하였고, 중량물 취급 작업의 경우 NLE 분석을 실시하였다<sup>11-13)</sup>. 분석결과를 즉시개선, 개선필요, 안전의 3개 그룹으로 분류하여 개선우선순위를 부여하였다.

컴프레서 제조공정의 RULA 분석결과 평균 4.63 점으로 작업자세를 가능한 빨리 개선해야할 공정으로 나타났다. NLE 분석결과 시점은 6.28kg 이하에서, 중점은 4.3kg 이하에서 작업이 이루어져야 하는 것으로 나타났다. 중점의 경우에는 NLE의 수평계수 한계상황으로 인해 적용이 불가능한 공정도 있었다. RULA 및 NLE 분석결과 즉시개선, 개선필요 및 안전공정으로 분류한 공정 수는 다음의 Table 3과 같다.

#### 4. 개선 방안

작업 스트레스를 평가하여 각각의 작업요소와 대응시킨 인간공학 원리를 응용한 기술적 해결방안(작업 자세 및 작업방법, 인력운반, 수공구, 부재의 취급, 환경조건)을 통하여 근골격계질환의 위험성을 최소화하도록 하였다. 작업자의 육체적 스트레스 중 상체부분에 가해진 작업 스트레스는 작업 자세 및 방법, 수공구, 부재의 취급, 인력운반, 환경조건에 대한 인간공학적 해결방안을 이용하였다. 하체부분에 받는 작업 스트레스는 작업 자세 및 방법, 인력운반에 대한 인간공학적 해결방안을 이용하여 스트레스를 최소화하였다. 또한, 척추부분에 받는 작업 스트레스는 인력운반, 작업 자세 및 작업방법, 부재의 취급, 운반구, 환경조건에 대한 인간공학적 해결방안을 이용하여 근골격계질환의 위험성을 최소화하도록 하였다. 근골격계질환의 위험성을 기술적 해결방안으로 최소화하지 못할 경우 관리적 해결방안(작업 확대, 작업교대, 작업휴식 반복주기, 교육, 스트레칭)을 통하여 근골격계질환의 위험성을 최소화하였다.

본 연구에서 사용된 인간공학적 개선방안을 간단히 분류하면, 공학적 해결방안으로서 각종 치공구 개선, 작업대 및 부품 적치대 개선, 운반용 대차 개선, 작업방법 및 작업환경 재설계 등으로 나눌 수 있다. 이러한 재설계는 작업대의 높이를 조절할 수 있으며, 신체 부위를 중립으로 유지할 수 있고, 반복, 진동, 힘 그리고 환경적인 요소를 줄일 수가 있다.

주요 개선 내용은 중량물 취급, 대차, 작업대 및 이송방법 개선, 작업 자세/방법 및 치공구로 세분화하였다.

##### 4.1. 중량물 취급 개선

부품의 조립 후 완성품을 팔레트에 적재하는 공정에서 컴프레서의 무게가 30Kg 이상으로 중량물 취급 작업이 발생하고 있다. RULA 평가결과 7점, NLE 평가결과 들기 작업의 한계를 초과하여 즉시 개선이 필요한 공정으로 나타났다. 따라서 에어 밸런스를 설치하여 작업자 어깨와 허리의 부담을 경감시켰다. 개선 전 하나씩 인력 운반하여 적재하는 작업형태를 한번에 2개 이상 운반이 가능토록 한 사례이다. 개선 전후 그림을 다음의 Fig. 1과 2에 나타내었다.



Fig. 1. Photograph before the improvement of heavy material handling

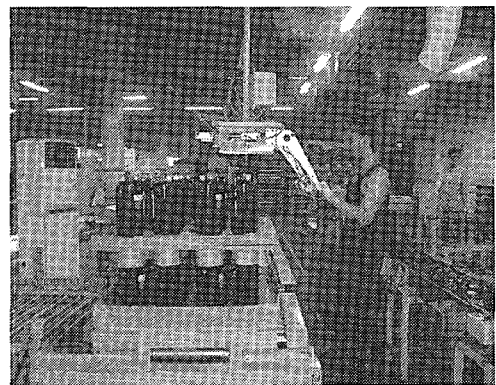


Fig. 2. Photograph after the improvement of heavy material handling

##### 4.2. 대차 개선

컴프레서 내에 들어가는 베어링을 세척 후 건조하는 공정에서, 기존의 대차는 세척기 내로 바로 투입이 가능한 재질이 아니기 때문에 별도의 세척용기에 재적재하여 투입하고 있다. 중량물 취급과 불안정한 작업자세로 인해 허리와 어깨, 손/손목 등에 부담을 주는 공정이었다. 대차 하단에 롤러를 부착하여 세척기 투입용 대차로 적재된 박스를 밀어서 한번에 투입이 가능토록 개선한 사례이다. 개선 전후 그림을 다음의 Fig. 3과 4에 나타내었다.

##### 4.3. 작업대 및 이송방법 개선

도장공정으로 운송하기 위해 용접공정에서 나온 컴프레서를 인력으로 잡아당기고 팔을 뻗어 jig 고리에 거는 방식으로 작업하고 있다. 작업대 자체의 간섭으로 인해 작업 시 안전작업영역(comfort zone)을 벗어나는 문제가 발생하여 작업대를 재설계하고



Fig. 3. Photograph before the improvement of cart

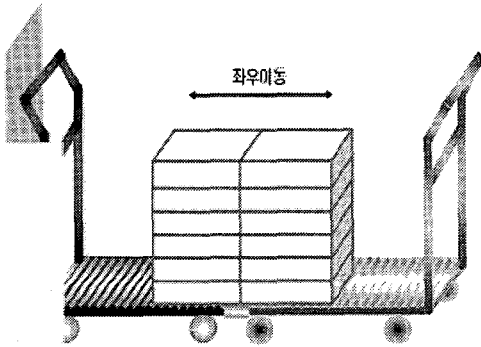


Fig. 4. Sketch after the improvement of cart

이송방법을 개선하였다. 작업대의 접촉되는 부분을 절단하여 용접공정에서 나온 컴프레서를 jig에 걸때 안전작업영역에서 작업이 이루어지도록 개선하였다. 용접공정에서 나온 컴프레서를 자동반송기를 통해 밀어주면 plate형 컨베이어를 통해 작업자 앞까지 이송이 된다. 개선 전후 그림을 다음의 Fig. 5와 6에 나타내었다.

#### 4.4. 작업자세/방법 개선

기존의 컴프레서 체결 시 인력으로 중량물을 취급하고 있으며, 특히 Jig에 올리거나 내리는 작업은 가장 위험한 공정으로 나타났다. 작업 시 팔의 들어 올림, 과도한 뻗침, 부적절한 자세 발생 등이 나타나고 있어 작업자세와 작업방법 자체의 개선이 필요하였다. Jig 형태를 개선하여 컴프레서를 들지 않고 jig 하단부에 체결할 수 있도록 개선하였다. 용접라인 2개소에서 각각 하단부에 체결된 상태로 운송되고, 도장라인에 투입되기 전에 2개의 jig가 체결되도록 개선하였다. 개선 전후 그림을 다음의 Fig. 7과 8에 나타내었다.

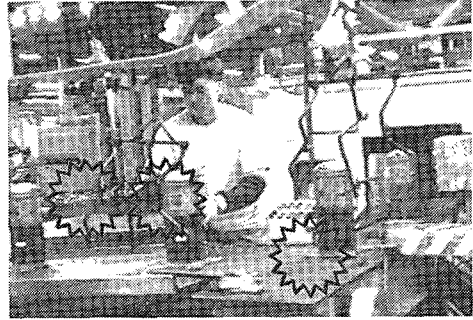


Fig. 5. Photograph before the improvement of work table & transport method

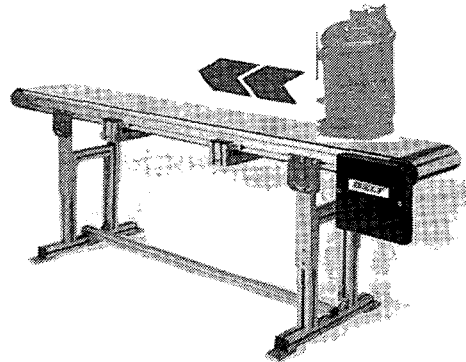


Fig. 6. Sketch after the improvement of work table & transport method

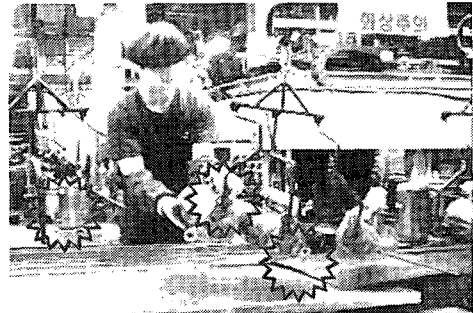


Fig. 7. Photograph before the improvement of working posture & method

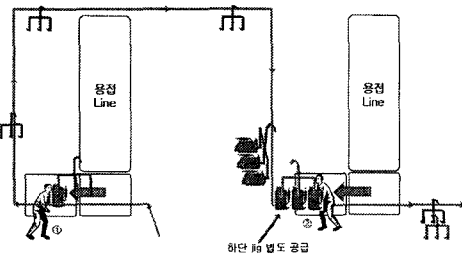


Fig. 8. Sketch after the improvement of working posture & method

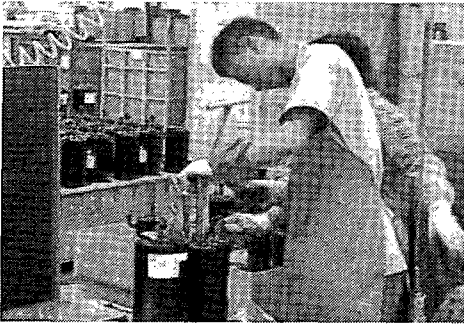


Fig. 9. Photograph before the improvement of hand tool

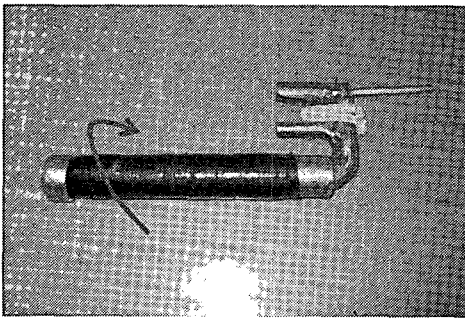


Fig. 10. Photograph after the improvement of hand tool

#### 4.5. 치공구 개선

컴프레서에 부품을 조립하는 작업으로 조립작업 시 공간이 부족하였다. 그로 인해 부품을 장착할 때 손가락 및 손목에 접촉 스트레스와 손목의 비틀림이 발생하는 공정이었다. 이를 제거하기 위해 컴프레서 내부에 들어가는 작은 부품을 걸어서 투입 가능한 수공구를 자체 제작하였다. 개선 전후 그림을 다음의 Fig. 9와 10에 나타내었다.

### 5. 결론

현장조사, 설문증상조사, 면담 및 인간공학적 작업환경 분석 등을 통해 파악한 컴프레서 작업장의 75개 공정에 대해 유해요인조사를 실시하였다. 그 결과를 토대로 장비/설비적 측면, 작업장 조건과 환경적 요인, 보조도구, 관리적 요인, 작업자 요인 등을 포함하여 작업장 개선을 실시하였다.

컴프레서 작업장은 주로 중량물을 인력으로 운반하거나 취급하는 것이 문제가 되어 중량물 취급방법 및 취급 시 정상 작업역(comfort zone)에서 작업이 이루어지도록 개선하였다.

개선 실시에 따른 인간공학적 평가 결과, RULA 분석은 개선 전 평균 4.63점에서 개선 후 평균 3.44점으로 감소하였다. NLE (RWL) 분석 결과도 시점은 개선 전 6.28kg에서 21.08kg으로 증가되었으며, 중점 또한 4.3kg에서 20.35kg으로 증가하여 전체적인 작업공정이 저 위험작업으로 전환되었다.

본 연구에서 제시한 개선안은 인간공학적 위험요소의 감소를 통해 작업자의 작업능률 향상과 생산성 증대를 가져올 것으로 기대되며, 동종 업종에서의 인간공학적 작업장 관리에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

### 참고문헌

- 1) BLS, WORKPLACE INJURIES AND ILLNESSES IN 2000, 2001.
- 2) 노동부, 2003 산업재해 분석, 2004.
- 3) NIOSH, Elements of Ergonomics Program, 1997.
- 4) 한국산업안전공단, 근골격계질환 예방을 위한 OSHA Ergonomic Program, 2000.
- 5) Occupational Safety and Health Administration, OSHA Draft Ergonomic Standard, 1996.
- 6) Zenz, C., et al., Occupational medicine 3rd edition, Mosby, 1993.
- 7) 한국산업안전공단, 작업관련 근골격계질환의 증상 및 위험요인 평가지침(H-28-2002), 2002.
- 8) 한국산업안전공단, 근골격계부담작업 유해요인 조사지침 (H-30-2003), 2003.
- 9) 노동부, 근골격계부담작업의 범위, 2003.
- 10) 노동부, 근골격계질환 예방업무 편람, 2004.
- 11) McAtamney, L. & Corlett, E. N. RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders, Applied Ergonomics, Vol. 24, No. 2. 91~99, 1993.
- 12) Thomas R. Waters, Vern Putz- Anderson, Arun Garg, APPLICATIONS MANUAL FOR THE REVISED NIOSH LIFTING EQUATIONS, Cincinnati, OH: DHHS (NIOSH) Publication NO. 94~110, 1994.
- 13) Janet, C. Haartz, Applications manual for the revised NIOSH lifting Equation, U.S. Department of Health and Human Services, 1994.