

조선업 용접공의 용접흡 생애누적노출량을 이용한 환기기능 평가

노동부 산업보건환경과 · 가톨릭대학교 의과대학 예방의학교실 및 산업의학센터

정춘화 · 임현우¹⁾ · 구정완¹⁾ · 박정일¹⁾

— Abstract —

An Evaluation of the Ventilatory Function in Shipyard Welders Using the Lifetime Cumulative Exposure to Welding Fumes

Chun Hwa Jung, Hyeon Woo Yim¹⁾, Jung-Wan Koo¹⁾, Chung-Yill Park¹⁾

*Industrial Health and Environment Division, Ministry of Labor
Department of Preventive Medicine, Industrial Medical Center, The Catholic University of Korea¹⁾*

Objectives: This study was conducted to evaluate the ventilatory function in shipyard welders using the lifetime cumulative exposure to welding fumes.

Methods: Ventilatory function tests were performed on 241 male welders at one large shipyard, exposed to welding fumes for over five years, and was compared to 80 male control subjects. Ventilatory function indices, such as forced vital capacity(FVC), one-second forced expiratory volume(FEV₁), ratio of FEV₁ to FVC(FEV₁%), maximal mid-expiratory flow(MMF), peak expiratory flow rate(PEFR) and maximal expiratory flow at 50 and 75% of expired FVC(FEF₅₀ and FEF₇₅), were obtained by analyzing forced expiratory spiograms and maximal expiratory flow-volume curves that were simultaneously measured by an Impulse ocillometry(IOS) program in the standing position.

Results: FEF₅₀ and FEF₇₅ expressed as a percentage of the predicted values were significantly lower in the exposure group than in the controls, and the MMF tended to decrease. The means of all the ventilatory indices, expressed as percentage of the predicted values, were not significantly increased at the current exposure levels. The MMF, FEF₅₀ and FEF₇₅, expressed as a percentage of the predicted values, were significantly decreased with an increase in exposure duration. Only the FEF₇₅, expressed as a percentage of the predicted value, was significantly decreased with an increase in the cumulative exposure to welding fumes(C1). The FEF₇₅, expressed as a percentage of the predicted value, was significantly decreased with an increase in the cumulative exposure to welding fumes(C2). The above parameters were calculated to consider the current exposure level, exposure duration, application of the ventilatory system, production rate, personal protection device, electrode and welding wire. The MMF and FEF₅₀, expressed as a percentage of the predicted value, tended to decrease. The proportion of workers with abnormal MMF, FEF₅₀ and FEF₇₅ were significantly increased with an increase in the cumulative exposure to welding fumes(C2).

Conclusions: These findings suggested that the MMF, FEF₅₀ and FEF₇₅ are sensitive and practical indices for the evaluation of the ventilatory function of workers exposed to welding fumes, when the lifetime cumulative exposure(C2) is considered as a factor affecting exposure.

Key Words: Ventilatory impairment, Cumulative welding fume exposure, Shipyard welders

〈접수일: 2002년 7월 23일, 채택일: 2002년 9월 25일〉

교신저자: 박 정 일 (Tel: 02-3779-1405) E-mail: cypark@catholic.ac.kr

서 론

용접작업중 발생하는 유해인자는 여러 가지 금속 성분을 포함한 용접흡, 오존, 질소산화물 등의 가스 및 증기가 있으며, 물리적 인자로는 소음, 진동, 열, 전류, 이온화 방사선 및 비이온화 방사선등이 있다(AIHA 1984, Burgess 1995). 또한, 용접은 압력이나 열을 사용하여 접합면에 금속조각을 결합하는 과정으로서 조선업 분야에서 광범위하게 이용되고 있으며 전 세계적으로 약 80만 명이 전일제로 근무하고 있으며 시간제(part time) 근무자는 이보다 훨씬 더 많을 것으로 추정하고 있다(Sferlazza & Beckett, 1991).

우리나라의 경우 조선업에 근무하는 근로자수는 협력업체를 포함하여 약 20만명에 이를 것으로 추정되며 이중 조선업에서 용접과 관련된 용접공이나 용접시에 연마 등에 관련된 근로자는 보통 60%를 차지하고 있으므로 용접공은 약 12만 명으로 추산되고 있으나 이보다 오히려 많을 것으로 추측된다(한국산업안전공단, 1997). 산업의 발달로 많은 수의 용접공이 조선업종을 비롯하여 자동차, 건설, 기계제조업 등 여러분야의 산업에 종사하고 있다. 노동부(2001)의 통계에 의하면 선박 건조 및 수리업의 사업체수와 근로자수는 606개소, 76,630명으로 우리나라 전체 산업인구의 1.3%을 차지하고 있다. 이처럼 용접공 근로자 수가 증가하고 있으며 또한, 용접작업은 조선업에서 필수적인 공정으로 다양한 유해물질에 노출될 수 있고 근무특성상 타 제조업에 비해 작업공간이 선체 안과 블록 안, 탱크 안 등 밀폐된 공간이기 때문에 고농도로 용접흡에 노출될 가능성이 상당히 높아 직업병 발생 가능성이 증가하고 있다.

폐기능 장애에 영향을 미치는 유해인자는 석탄이나 유리규산, 석면, 용접흡 등 다양하다. 폐기능 검사는 직업성 폐질환의 진단과 예후의 판정에 있어서 가장 중요한 검사이며 직업병의 조기발견과 적절한 보상을 지급하기 위하여 사용된다. 때로는 임상적 진단과 치료에도 적용되고 집단에 대한 유해인자에 대한 영향 파악과 역학조사에 이용되고 있다. 석면 폐증이나 면폐증 등 섬유증식증이 심하지 않으나 늦게 발생하는 질환에서는 방사선학적 변화가 오기전에 이미 폐기능 장애가 오기 때문에 폐기능 검사가

중요한 방법이다.

용접공 근로자수의 증가와 더불어 용접흡에 의한 폐기능 장애에 관하여 연구자들에 따라 상반된 견해를 발표하고 있다. 일반적으로 용접흡은 만성 호흡기 질환의 위험인자로 알려져 있고(Sferlazza & Beckett, 1991), 용접공의 폐기능 감소에 대한 연구(Hunnicutt et al., 1964; Fogh et al., 1969; Francis, 1982; Keimig et al., 1983; Akbar-khanzadeh, 1993; Ozdemir et al., 1995; Riitta et al., 1999)가 있었다. 반면에 폐기능 감소와 유의한 관련성이 없다는 연구(McMillan & Heath, 1979; Hayden et al., 1984; Akesson & Skerfving, 1985; Kilburn & Warshaw, 1989; Sobaszek et al., 1998)도 있었다. 또한 용접흡 누적노출량과 폐기능 장애에 관한 노출-반응 관련성에 대한 연구가 있었다(Groth et al., 1989; Rastogi et al., 1991; Bradshaw et al., 1998).

하지만, 이들 연구는 단순히 현재의 노출수준에 근무기간을 곱한 누적노출지표를 사용하여 노출평가를 하였으며, 우리나라의 경우에는 용접흡과 폐기능에 관하여 홍영섭 등(1995)과 문태인 등(1996)의 연구이외에는 거의 없는 실정이다. 하지만 이들 연구들도 누적노출량의 정량적 평가가 아닌 근무기간으로 노출평가를 하였다. 현재까지 국내외의 연구 제한점으로는 누적노출량 산출할 때 유사노출군의 개념이 들어간 대표 노출값을 이용하지 않았고 환기 설비, 생산량, 보호구 사용유무, 용접봉 및 와이어등의 여러 요인에 의해 영향을 받는 과거 노출수준 및 양에 대한 추계가 정량적으로 이루어지지 않았다는 점이다.

이에 본 연구는 이러한 제한점을 보완하기 위하여 유사노출군 개념에 의한 대표 노출값을 구한 후 노출에 영향을 미칠 수 있는 요인들을 함께 고려한 정량적 생애 누적노출량을 산출하여 용접공들의 환기가능 장애 정도를 적절하게 평가하기 위하여 수행되었다.

대상 및 방법

1. 연구 대상

연구 대상은 대규모 1개 조선소에 근무하는 원청 근로자 중에서 무작위 방법으로 용접작업 업무에 5

년이상 종사중인 근로자 256명을 노출군으로, 그리고 대조군으로 같은 회사내에서 용접함에 노출된 경험이 없는 사무직 근로자 102명을 대조군으로 설정하였다. 노출군과 대조군 모두에서 과거병력 및 현재증상에 대한 설문조사를 통해 환기기능에 영향을 미칠 수 있는 폐결핵, 만성기관지염, 폐기종, 기관지천식 등 호흡기계 질환이 있는자 27명과 여성근로자 10명을 제외한 노출군 241명 및 대조군 80명 총 321명을 연구대상으로 하였다.

2. 연구 방법

1) 자료수집

사전에 준비한 설문지를 이용하여 폐기능 검사 당일 근로자 연령, 직업력, 흡연력, 보호구 착용여부, 과거병력에 대한 개별 면담을 실시하였고 작업환경조사표를 이용하여 작업공정, 근무부서, 직무, 연도별 생산량, 환기장치 설치여부 및 시기, 보호구 착용여부, 블록내외의 작업비율, 작업공정의 변화, 기타 공학적 대책 등을 조사하였다.

또한, 최근 3년간 작업환경측정 결과를 수집하여 노출양상을 파악하고 사업장의 보건관리자와 장기근속근로자와의 면담을 통해 과거의 작업공정과 직무의 변천 과정을 파악하였고 과거 용접함 노출수준에 영향을 주는 요인에 대한 자료를 수집하였다.

2) 직무-노출 매트릭스(job-exposure matrix ; JEM) 및 유사노출군(similar exposure groups ; SEGs) 설정

대상 사업장의 직무-노출 매트릭스를 구축하기 위해서 먼저 작업장의 기초조사, 즉 개인별 용접업무에 대한 직업력, 작업공정, 작업부서 및 직종, 밀폐공간, 환기시설, 측정방법, 보호구 사용실태, 노동력, 단위작업장 영향, 선박블록 내외 작업, 환경인자 등에 대한 조사를 하였다. 또한, 3년간 작업환경측정 자료와 작업환경조사표를 검토하여 Gerin 등(1993)이 용접공정 노출매트릭스(welding process exposure matrix)로 구분한 것과 같이 동일한 방법으로 분류하였고 관찰법에 의해서 유사노출군을 설정 하였다(Damiano, 1995).

3) 대표값 및 개인별 누적 노출량 산출
대표값을 산출하기 위해서 Damiano(1995)의 통

계학적 표본추출이론을 고찰하였고 6회에서 10회까지 측정값과 평균값의 추정치는 일정하게 유지되므로 유사노출군당 최소한 6회이상의 측정자료가 필요하다.

본 연구에서는 유사노출군의 대표값을 산출하기 위해서 우리나라에서 매년 2회씩 법적 순응여부를 확인하기 위하여 실시하는 작업환경측정 자료를 1998년 하반기부터 2000년 상반기까지 6회 측정자료를 데이터베이스화 하였다. 그리고 작업환경측정 자료를 6회 이상인 경우와 미만인 경우로 나누고 크기가 6회 보다 크고 대수정규분포를 하면 최소분산 불편추정치(MVUE)를, 표본크기가 6회 보다 작거나 6회 보다 크더라도 분포가 정규분포를 하면 평균치를 노출요인의 대표값으로 하였다(Mulhausen & Damiano, 1998).

한편, 유사노출군에 따른 용접함 노출 대표값에 노출년수를 곱한후 이에 과거 용접함 노출 수준에 영향을 미칠수 있는 변수들이 고려된 Rong 등(1990)과 Plato 등(1995 : 1997)이 제시한 수학적 모델(mathematical model)을 이용하여 개인별 생애 누적노출량을 계산하였다. 사용한 수학적 모델은 아래와 같다.

$$Exp = Co \prod_{i=1}^4 \mu_i(t)$$

- Co = current level(geometric mean)
- t = time(calender time)
- μ_1 = multiplier reflecting changes in application ventilatory system
- μ_2 = multiplier reflecting changes in production rate
- μ_3 = multiplier reflecting changes in personal protection device
- μ_4 = multiplier reflecting changes in electrode/welding wire

공식에 적용될 기여인자는 환기시스템 적용여부, 생산율 변화, 개인보호구 착용유무, 용접봉 및 와이어(wire)종류 등 4가지로 구분하였고 용접봉 및 와이어종류를 제외한 기여인자에 대해서는 Dodgson 등(1987)과 Plato 등(1995)이 개발한 기여도(multiplier)를 사용하였고, 용접봉 및 와이어 종류

는 산업위생전문가의 회의등을 통하여 기여도를 정하였다.

본 연구에서는 용접흡 누적노출량을 C1 및 C2로 구분하였으며 이중에 C1은 현재 노출수준×노출기간으로 산출한 값이고, C2는 현재 노출수준 및 노출기간 뿐 아니라 환기시설, 생산량, 보호구 사용, 용접봉 및 와이어 종류등 노출량에 영향을 주는 인자들을 고려하여 산출한 값이다.

4) 폐기능 검사

폐기능 검사는 2001년 8월부터 9월까지 2개월 동안 실시하였으며 노력성 호기곡선(forced expiratory spiogram)과 최대호기기류-용량(maximal expiratory flow-volume)곡선을 Master Screenbody의 Impulse Ocillometry(version 4.1, Germany)를 이용하여 선 자세에서 3회 이상 측정하여 가장 신뢰성 있는 곡선을 택하여 분석하였다.

환기가능 측정치 항목은 노력성 호기곡선으로부터 노력성폐활량(forced vital capacity, FVC), 1초량(one-second forced expiratory volume, FEV₁), 1초율(FEV₁/FVC, FEV₁%) 및 최대중간호기속도(maximal mid-expiratory flow, MMF)를 산출하였고, 최대호기기류-용량곡선으로 부터는 최고호기기류속도(peak expiratory flow rate, PEFr)와 호기 FVC의 50% 및 75% 시점에서는 최대호기기류인 FEF₅₀ 및 FEF₇₅를 산출하였다.

모든 폐용량과 호기기류는 body temperature and pressure saturated with water(BTPS)로 환산하여 표시하였고 또한 예측치에 대한 백분율(% pred.)로도 표시하였다. 예측치를 산출하는데 있어서 최대호기기류-용량곡선의 측정치 항목들과 FVC, FEV₁ 및 MMF는 Knudson 등(1976)의 그리고 FEV₁%는 Hodgkin (1977)의 예측식을 인용하였다.

폐기능에 이상이 있는 장애자를 판정하는데 있어서 폐기능 측정치의 정상범위는 임상에서 일반적으로 예측치의 80%로 정하고 있다. 그러나 본 연구에서는 최대호기기류-용량곡선의 측정치들과 MMF는 평균치에서 1.645배의 추정치의 표준오차(standard error of estimate, SEE)만큼 저하된 수치를 택하였는 바(정치경 등, 1979) 정상범위의 하한선은 예측치의 PEFr은 61.4%, FEF₅₀는 61.1%,

FEF₇₅는 42.2%, MMF는 58.1% 이었다. FVC와 FEV₁은 예측치의 80%를(WHO, 1979 ; 노동부, 1984) 그리고 FEV₁%는 실측치의 75%를 택하였다(Hodgkin, 1977).

5) 용접흡 시료채취 및 분석

용접흡 시료포집을 위해 직경 37 mm 0.8 μm cellulose ester membrane 여과지를 데시케이팅에서 미리 24시간 건조 시킨후 여과지의 무게를 칭량한 다음 three piece cassette에 고정시킨후 개인용 시료 포집펌프(MSA, Escort ELF, USA)에 연결하여 용접작업중인 근로자의 호흡 위치에서 360분 이상 시료를 포집한 다음 데시케이팅에서 24 시간정도 건조시킨후 시료를 포함한 여과지의 무게를 칭량하였다. 시료포집 유량은 2±0.1 lpm으로 하였고 측정 전후에는 비누거품법으로 보정하였다.

용접흡량은 cellulose ester membrane여과지를 이용하여 포집한 시료의 전과후의 여과지 중량의 차를 구하여 유량으로 나누어 산출하였다. 또한 각 작업장 근로자의 작업시간을 고려하여 시간가중 평균농도(TWA)를 구하여 작업장에 노출되는 용접흡량을 계산하였다(NIOSH, 1994).

3. 자료처리 및 통계분석

유사노출군별 용접흡 농도의 정규분포 여부는 Wilk-Shapiro test를 실시하고 이에 따라 대표값을 산술평균 혹은 MVUE 법에 의하여 추정하였다.

용접흡 노출군과 대조군의 일반적 특성 및 폐기능 평균치의 비교는 Student's t-test를 실시 하였고, 용접흡 누적 노출량에 따른 측정치의 예측치에 대한 백분율의 평균치의 비교는 ANOVA Scheffe test를 실시 하였다.

용접흡 노출기간과 누적노출량에 따른 측정치의 예측치에 대한 백분율이 정상범위를 벗어나는 근로자 수의 추세비교는 Cochran의 선형 추세검정(linear trend test)을 하였다.

결 과

1. 대상자들의 일반적 특성

연구대상자들의 평균 연령, 신장, 흡연량은 유의한 차이가 없었지만 체중과, 체표면적은 유의한 차

이를 보였다(P<0.05). 근무기간의 평균은 대조군에서 9.7년, 노출군에서 11.3년이였다(표 1).

2. 대조군과 노출군의 환기기능 검사성적

연구대상자들의 대조군과 노출군에 있어서 환기기능 측정치와 측정치의 예측치에 대한 백분율의 평균

과 표준편차는 표 2와 같다. 환기지수중 FEF₅₀과 FEF₇₅의 측정치와 측정치의 예측치에 대한 백분율의 평균은 노출군이 대조군에 비해 유의하게 낮았으며(P<0.05), MMF는 감소하는 경향을 보였다(표2).

3. 노출수준 및 노출기간에 따른 환기기능

현재 노출수준에 따른 환기지수의 예측치에 대한 백분율의 평균과 표준편차를 산출하여 표 3에 제시하였다. 이 표에서 보는 바와 같이 대조군과 노출군에 있어서 환기지수 모두는 현재 노출수준의 증가에 따라 유의한 차이점은 없었다.

노출기간별 환기지수의 예측치에 대한 백분율의 평균과 표준편차를 산출하여 표 4에서 제시하였다. 7가지 환기지수중 MMF, FEF₅₀ 및 FEF₇₅의 측정치의 백분율은 노출기간이 길수록 유의하게 감소하였으며(P<0.05) 특히, 20년 이상 노출군에서의 감소가 현저하였다.

노출군의 노출수준×노출기간으로 산출한 용접흡

Table 1. General characteristics of the subjects (mean±SD)

	Control group	Exposed group
No. of subject	80	241
Age(yrs)	36.4±7.8	36.1±7.6
Height(cm)	171.9±6.1	171.2±5.2
Weight(kg)	68.7±9.2	66.1±7.9 *
BSA(m ²) [†]	1.80±0.13	1.77±0.11 *
Cigarettes smoking	11.6±5.9(53)	12.2±6.5(156)
Work duration(yrs)	9.7±3.4	11.3±6.2

() : number of current smoker

[†]body surface area * P < 0.05

Table 2. Mean ventilatory indices of the subjects

		(mean±SD)	
Index		Control group	Exposed group
FVC	(liter)	4.8±0.7	4.8±0.6
	(% pred.)	103.5±9.5	104.3±12.1
FEV ₁	(liter)	4.0±0.6	3.9±0.6
	(% pred.)	106.3±10.7	105.6±12.8
FEV ₁ %	(%)	82.8±5.2	81.7±5.3
	(% pred.)	108.3±6.6	106.7±6.5
MMF	(l/sec)	4.2±1.3	4.0±1.3
	(% pred.)	89.0±25.6	84.3±25.4
PEFR	(l/sec)	10.0±1.6	10.3±1.5
	(% pred.)	117.3±17.2	117.4±17.5
FEF ₅₀	(l/sec)	4.8±1.3	4.4±1.1*
	(% pred.)	80.8±21.4	75.1±19.5*
FEF ₇₅	(l/sec)	1.8±0.6	1.6±0.6*
	(% pred.)	58.8±20.6	54.1±20.4*

FVC : forced vital capacity

FEV₁ : forced expiratory volume in one second

FEV₁% : ratio of one-second forced expiratory volume to forced vital capacity

MMF : maximal mid-expiratory flow

PEFR : peak expiratory flow rate

FEF_{50, 75} : maximal expiratory flow at 50, 75 % of expired FVC

% pred. : percent of the predicted value

* P < 0.05

누적노출량(C1)에 따른 환기지수의 예측치에 대한 백분율의 평균과 표준편차를 산출하여 표 5에서 제시하였다. 대부분의 환기지수들이 누적노출량(C1)의 정도에 따른 군간의 차이는 보였으나 일관된 양상은 나타나지 않았으며 C1이 증가함에 따라 최대노출군에서 유의하게($P<0.05$) 감소한 환기지수는 FEF₇₅ 뿐이었다(표3, 4).

4. 누적노출량(C2)에 따른 환기가능

노출수준 및 노출기간 뿐 아니라 환기시설, 생산량, 보호구 사용 및 용접봉 종류등 노출량에 영향을 주는 인자들을 고려하여 산출한 용접흄 누적노출량(C2)에 따른 대조군과 노출군의 측정치의 예측치에 대한 백분율의 평균과 표준편차는 표 6와 같다. C2가 증가함에 따라 최대노출군에서 유의하게 감소한 환기지수는 FEF₇₅이었으며 MMF 및 FEF₅₀는 감소

하는 경향을 보였다.

측정치의 예측치에 대한 백분율이 정상범위를 벗어나는 근로자 수를 용접흄 누적노출량(C2)에 따라 비교하면 표 7와 같다. 7가지 환기지수중 MMF, FEF₅₀ 및 FEF₇₅는 용접흄 누적노출량(C2)이 증가함에 따라 환기가능이 비정상적인 근로자 비율이 유의하게 증가하였다($P<0.05$). 노출군 전체에 있어서 정상범위를 벗어나는 근로자 비율은 FEF₇₅, FEF₅₀, MMF 및 FVC 각각 27.7%, 24.0%, 20.6% 및 9.0%의 순이었다(표5, 6, 7).

고 찰

용접흄은 누적영향을 미치는 인자로 알려져 있으나 정확성과 신뢰성이 낮은 폐기능 검사로 장해정도를 평가하여야 하며 노출정도와 검사와의 관련성을

Table 3. Mean ventilatory indices expressed as percent of the predicted by current exposure level (mean±SD)

Index	Control group (n=80)	Current exposure level(mg/m ³)			F value*	Pr>F
		< 5 (n=34)	5-<10(n=69)	10≤(n=138)		
FVC	103.5±9.6	100.6±12.6	103.8±10.8	105.6±12.5	2.02	0.1110
FEV ₁	106.3±10.8	101.9±11.3	105.5±11.1	106.7±13.9	1.30	0.2448
FEV ₁ %	108.3±6.7	106.7±5.6	106.7±5.6	106.8±7.2	1.18	0.3173
MMF	89.0±25.7	82.9±21.9	86.0±25.4	83.9±26.4	0.81	0.4907
PEFR	124.3±17.2	114.7±14.1	118.5±15.6	117.4±19.2	3.54	0.0150
FEF ₅₀	80.9±21.4	73.7±16.1	77.7±21.8	74.2±19.1	2.19	0.0892
FEF ₇₅	58.9±20.6	55.9±20.4	56.7±20.4	52.4±20.5	1.87	0.1344

* based on ANOVA test () : number of the subject

Table 4. Mean ventilatory indices expressed as percent of the predicted by exposure duration (mean±SD)

Index	Control group (n=80)	Exposure duration(yrs)			F value*	Pr>F
		< 10(n=123)	10-<20(n=95)	20 ≤ (n=23)		
FVC	102.9±9.6	99.5±10.4	105.6±10.7	108.5±8.1	5.90	0.0006
FEV ₁	105.5±12.0	102.0±11.7	106.1±11.5	106.0±9.5	1.73	0.1599
FEV ₁ %	108.3±6.6	107.0±6.1	106.8±7.0	104.7±6.2	2.02	0.1109
MMF	88.9±28.0 ^a	87.4±25.5 ^b	83.5±25.7	70.8±19.0 ^{a,b}	3.85	0.0099
PEFR	123.3±17.2 ^a	115.5±15.8 ^a	117.0±17.3	121.2±20.6	3.78	0.0109
FEF ₅₀	80.5±22.6 ^a	76.3±19.3	74.8±21.2	69.5±19.4 ^a	3.13	0.0261
FEF ₇₅	58.8±21.0 ^a	58.9±19.7 ^{b,c}	51.7±21.0 ^b	40.0±10.7 ^{a,c}	9.03	<.0001

* based on ANOVA test () : number of the subject

a, b, c : group with the same letter were significantly different($P<0.05$) by Scheffe test.

Table 5. Mean ventilatory indices expressed as percent of the predicted by cumulative welding fume exposure(C1) (mean±SD)

Index	Control group (n=80)	Cumulative welding fume exposure(C1)(mg/m ³)			F value*	Pr>F
		50<(n=65)	50-<100(n=78)	100≤(n=98)		
FVC	103.5±9.6	100.8±12.2	102.3±10.9	108.4±11.9	3.45	0.0765
FEV ₁	106.3±10.8	102.9±11.5	104.7±11.6	108.3±14.2	2.91	0.0345
FEV ₁ %	108.3±6.7	107.0±5.7	106.9±6.4	106.4±7.2	1.34	0.2600
MMF	89.0±25.7	85.5±24.5	89.5±25.2	79.5±25.6	3.00	0.0309
PEFR	124.3±17.2 ^a	116.7±14.8	114.7±16.9	119.9±19.4	4.51	0.0041
FEF ₅₀	80.9±21.4	75.6±18.9	77.4±20.1	73.1±19.5	2.34	0.0738
FEF ₇₅	58.9±20.7 ^a	58.2±21.0 ^b	58.7±19.4 ^c	47.8±19.4 ^{a,b,c}	6.64	0.0002

† : current exposure level × exposure duration

* based on ANOVA test () : number of the subject

a, b, c : group with the same letter were significantly different(P<0.05) by Scheffe test

Table 6. Mean ventilatory indices expressed as percent of the predicted by cumulative welding fume exposure(C2)[†] (mean±SD)

Index	Control group (n=80)	Cumulative welding fume exposure(C2)(mg/m ³)			F value*	Pr>F
		< 50(n=79)	50-<100(n=91)	100≤(n=71)		
FVC	103.5±9.6	101.8±11.9	103.9±11.8	107.8±12.0	3.70	0.0121
FEV ₁	106.3±10.8	103.8±10.6	105.9±12.9	107.5±14.8	1.21	0.3047
FEV ₁ %	108.3±6.7	106.9±5.3	106.9±6.9	106.3±7.2	1.29	0.2790
MMF	89.0±25.7	86.6±23.1	86.7±24.5	78.9±28.4	2.20	0.0880
PEFR	124.3±17.2 ^a	116.5±15.1	115.8±16.5 ^a	120.2±20.9	4.13	0.0068
FEF ₅₀	80.9±21.4	76.3±17.6	75.8±18.9	73.0±22.2	1.99	0.1149
FEF ₇₅	58.9±20.7 ^a	57.3±20.3 ^b	57.2±19.1 ^c	46.7±20.9 ^{a,b,c}	5.65	0.0009

† : current exposure level×exposure duration×multiplier of affecting factors

* based on ANOVA test () : number of the subject

a, b, c : group with the same letter were significantly different(P<0.05) by Scheffe test

확립되어 있지 않으므로 용접흡 노출 근로자의 경우 정확한 노출량을 산정하는 것은 중요하다.

용접 근로자의 노출을 정확히 평가하고 적절히 관리함으로써 근로자 건강을 보호할 수 있고, 직업병 역학연구에서 타당도 높은 노출평가를 통하여 용접흡과 질병과의 연관성에 대한 연구를 성공적으로 수행할 수 있다. 역학적 연구에서 노출에 대한 정보는 대부분 노출자료의 양, 노출자료의 특이도와 정밀도에 의존하게 된다(Seixas & Sheppard, 1996). 이상적으로 근로자 개개인들마다 특이하고 계량화된 노출값을 추정하고, 시간에 따른 노출량의 가중치를 고려하여 누적노출량을 계산하고(Seixas et al., 1993), 이 노출 값과 질병빈도를 비교함으로써 연구

결과를 이끌어야 한다. 즉, 정확한 노출평가를 하여야 노출-반응(exposure-response) 관계의 계산이 가능하게 된다.

질병의 원인에 대한 연구에서 과거 노출을 평가할 때 노출변수를 고용여부로 하거나 혹은 노출, 비노출로 단순구분하였다(Stewart et al., 1991). 한편 최근에는 노출평가에서 차별적 정보편의가 없는 직무-노출매트릭스가 개발되면서 직무를 저, 중, 고노출로 구분하는 반 정량적 평가(semiquantitative assessment)를 하였다(Susi & Schneider, 1995 ; Astrakianakis et al., 1998). 하지만, 이러한 노출의 구분이 문헌고찰에 의하면 산업위생전문가의 관찰에 의해 이루어 지도록 되어있다. 그러나 실제

Table 7. Number with abnormal ventilatory function by cumulative welding fume exposure(C2)[†]
(mean±SD)

Index	Control group (n=80)		Cumulative welding fume exposure(C2)(mg/m ³)						Subtotal(n=241)	
	N	%	< 50(n=79)		50-<100(n=91)		100 ≤(n=71)		N	%
			N	%	N	%	N	%		
FVC	7	8.8	4	5.1	9	9.9	9	12.7	29	9.0
FEV ₁	0	0.0	1	1.3	2	2.2	1	1.4	4	1.3
FEV ₁ %	0	0.0	1	1.3	1	1.1	2	2.9	4	1.3
MMF*	11	13.8	11	13.9	18	19.8	26	36.6	66	20.6
PEFR	0	0.0	0	0.0	0	0.0	1	1.4	1	0.3
FEF ₅₀ *	13	16.3	14	17.7	24	26.4	26	36.6	77	24.0
FEF ₇₅ *	12	15.0	22	27.9	21	23.8	34	47.9	89	27.7

[†] : current exposure level×exposure duration×multiplier of affecting factors

() : number of the subject

abnormal ventilatory indicis were as follow :

FVC, FEV₁ : less than 80% of predicted value

FEV₁% : less than 75% of predicted value

MMF, PEFR, FEF₅₀, FEF₇₅ : below 1.645 standard error of estimate of predicted value

* : P < 0.05 by Cochran's linear trend test

로 노출수준을 자신의 경험에 비추어 저, 중, 고노출으로 구분할 경험 혹은 능력을 갖춘 전문가가 드물고, 실제 노출을 구분할 수 있다 할지라도 사회적으로 그 타당성을 인정받기가 힘들며 저, 중, 고노출의 범주사이에 양적 연관성을 만족스럽게 알지 못한다는 제한점이 있다(Nicas et al., 1991). 반면에 유사노출군을 설정하고 직무-노출매트릭스에 노출 대표값을 넣어주는 정량적 평가(quantitative assessment)는 산업위생 모니터링에 사용하는 단위의 값으로 구분할 수 있는 가장 이상적인 접근법이다(Mulhausen & Damiano, 1998).

본 연구에서는 정량적 평가의 기초작업으로 유사노출군을 설정하고 최근 3년 동안 작업환경측정자료를 토대로 노출평가를 하였다. 선행연구에서도 유사노출군 설정시 작업환경측정자료를 활용하였다(Kromhout et al., 1993; Heederik & Hurley, 1994; Rappaport et al., 1995; Lyles et al., 1997).

그러나 실제 조선업 용접작업자의 경우 작업 방법이 다양하고 비반복적인 작업으로 유사노출군 설정이 어렵다. 이 경우 접근 방법중의 하나가 공정, 직종, 직무 수준으로 작업분석이 이루어지고, 이를 토대로 유사노출군을 설정하는 것이 일반적인 방법이며, 좀더 자세히 직무를 구분하는 것은 오히려 노출

변이를 좀더 크게 하는 잘못을 범할 수 있다(노영만 등, 2001).

본 연구에서는 유사노출군을 작업부서-직무로 설정하였다. 그 이유는 첫째, 연구대상 사업장은 작업 공정 대신에 작업부서로 나누고 있었으며, 둘째, 용접근로자들이 입사후 현재까지 대부분 동일한 작업부서로 배치되어 있었고 셋째, 직무는 용접, 취부 두 가지로 구분하였는데 이것은 서로 독립적으로 작업을 수행한다는 점을 고려 하였다.

유사노출군은 22개군으로 분류하였고 노출근로자가 1명도 포함되지 않는 2개군은 대상에서 제외하여 20개군으로 설정 하였다. 이중에서 8개군은 작업부서로 유사노출군이 설정되지 않아서 직-반으로 더욱 세분화 하여 대표값 분석을 실시 하였다. 대표값 산출은 작업환경측정자료가 대수정규분포를 하는 13개군에 대해서는 최소분산불편추정법(MVUE)으로 분석하였고, 정규분포를 하는 7개군에 대해서는 산술평균으로 분석하였다.

과거 노출 농도를 추정하는 모형은 통계적 모형(statistical model)과 수학적 모형(mathematical model)이 있다. 통계적인 모형 중에 다중선형회귀 모형(multiple linear regression model)은 주로 손실된 기록을 추정하는데 유용한 방법이다. 이 방법은 연도별 기록이 어느 정도 존재할 때 이를 나열

하여 농도와 연도 사이에 선형의 관계를 가정하여 내삽하거나 외삽하여 농도를 구하는 것이다. 그러나 현재의 노출 수준과 변수를 고려하여 전혀 기록이 없는 과거의 노출수준을 추정하는 데는 합당하지 않다. 왜냐하면 한 사업장의 노출 수준이 시간이 흐른다고 해서 무조건 감소하는 것은 아니기 때문이다. 따라서 농도의 변화와 그의 원인에 대한 고려가 동시에 이루어지는 수학적 모형이 실제 사업장의 농도를 더 잘 반영하는 것으로 알려져 있다(Rong et al., 1990; Plato et al., 1995 ; 1997). 따라서 본 연구에서도 수학적 모형을 이용하여 과거노출을 정량적으로 평가하였다.

용접공의 흡연을 고려한 최초의 단면조사는 Hunnicutt 등(1964)이 100명의 60세 이상인 10년 이상의 용접경력자들을 대상으로 연구한 결과 FVC를 제외한 FEV₁, MMF, MEF_R는 대조군에 비하여 10%의 수준에서 유의하게 감소한다고 하였다. 용접흡 노출과 폐기능에 대하여 Peter 등(1973)이 61명의 조선소 용접공을 대상으로 한 연구에서 FVC, FEV₁, PEFR는 예측치의 85%, 79% 및 84%로 감소하였다고 하였다. 또한, 홍영습 등(1995)의 연구에서는 피복아크용접군과 CO₂아크용접군의 FVC, FEV₁, FEV₁%, MMF는 대조군보다 유의하게 저하되었으며, 특히 MMF는 더욱 현저하였다. 문태인 등(1996)의 연구에서도 FVC를 제외한 FEV₁, FEV₁%, MMF 노출군이 대조군보다 유의하게 저하되어 있었으며 특히 MMF는 대조군에 예측치는 90.5% 이었으나 노출군이 78.2%로서 FEV₁, FEV₁%보다 큰 폭으로 저하된다는 연구를 발표한 바 있다.

본 연구에서는 FEF₅₀과 FEF₇₅의 측정치와 측정치의 예측치에 대한 백분율의 평균에서 노출군이 대조군에 비해 유의하게 낮았으며, MMF는 낮은 경향을 보여 상기 연구자들의 견해와 유사하였다. 이와 같은 결과는 노출군과 대조군 사이에 흡연량에 큰 차이가 없는 점으로 보아 용접흡 노출에 의한 것이라고 할 수 있다. 즉 용접흡 노출은 환기기능 저하와 연관이 있는 것으로 생각된다.

수동식 금속아크 용접시 직경이 0.3~0.6 μm인 호흡성 부유 입자가 발생하여 소기도나 폐포에 침착하여 만성폐색성폐질환의 전단계인 소기도 질환을 일으킨다고 한다(Macklem, 1972; Dahlqvist et

al., 1989). 소기도 질환을 찾아내는데 있어서 최대 호출기류용량곡선 지수들중 피검자의 호출 노력보다는 폐의 기계적 성질에 의하여 영향을 받는 노력-무관성부위(Hyatt & Flath, 1966)의 지수인 FEF₅₀이나 FEF₇₅ 그리고 노력성 호기곡선으로부터 산출한 MMF, FEF₇₅₋₈₅가 가장 예민한 지수이나 (Leuallen & Fowler, 1955; 홍영습 등, 1995; 문태인 등, 1996) 이 지수들은 변이성이 크기 때문에 이용에는 제한점이 따르는 반면에 FEV₁은 변이성이 작기 때문에 폐기능 장애를 평가하는데 보다 유용한 지수이나 이는 피검자의 호출 노력에 의하여 영향을 받는 노력-의존성 부위의 지수이어서 소기도 질환을 예민하게 반영하지 못하는 단점이 있다.

Oxhoj 등(1979)은 비흡연 아크 용접공의 폐쇄용적(closing volume)과 폐쇄용량(closing capacity)이 유의하게 증가하여 소기도에 이상이 있음을 보고하였으며, Kilburn와 Warshaw(1989)는 정상인에 비하여 용접공은 흡연군이나 비흡연군의 경우 FVC와 FEV₁는 유의한 감소가 없으나 MMF나 FEF₇₅₋₈₅는 유의하게 감소하여 장기간의 용접흡과 가스에 노출된 용접공들은 소기도 기류 저하를 일으킨다고 하였다. 또한 Keimig 등(1983)이 91명의 용접공을 대상으로 한 연구에서 FVC와 FEV₁은 정상대조군과 유의한 차가 없었으나 MMF는 통계적으로 유의성은 없지만 저하하는 경향을 나타낸다고 하였으며, 홍영습 등(1995)도 131명의 피복 아크용접공과 152명의 CO₂ 아크용접공을 대상으로 한 연구에서는 정상대조군에 비하여 FVC, FEV₁, FEV₁% 보다는 MMF가 큰 폭으로 유의하게 감소하였으며 폐기능 지수의 정상범위 이하인 용접공의 빈도도 MMF가 가장 많았다고 하였다. 문태인 등(1996)의 연구에서도 노출군에 있어서 환기지수의 정상범위 이하인 대상자는 MMF가 가장 높게 나타났다.

본 연구에서도 누적노출량(C₂)의 증가에 따라 환기 지수중 MMF, FEF₅₀ 및 FEF₇₅가 비정상적인 근로자의 비율에서 현저하게 높았다. 결론적으로 환기 지수중 MMF, FEF₅₀, FEF₇₅는 소기도의 폐쇄 정도와 폐기능의 장애도를 평가하는데 있어서 노력성 호기곡선의 분석자료 중 가장 예민하다는 여러 연구들(Leuallen & Fowler, 1955; McFadden & Linden, 1972; 정치경 등, 1981; 홍영습 등, 1995; 문태인 등, 1996)의 성적과 일치하는 것으로

생각된다.

폐기능지수와 용접흡 노출기간과의 관계에 대하여 홍영섭 등(1995)은 환기지수의 정상범위 이하인 용접공의 빈도는 FVC, FEV₁, FEV₁%은 노출기간과 연관은 없었으나 MMF는 용접기간 증가에 따라 정상범위 미만인 근로자수에서 유의한 증가를 나타낸다고 하였으며, Killburn 과 Warshaw(1989)는 15년 이상 용접흡에 장기간 노출되면 소기도 기류의 저하가 온다고 하였다. 문태인 등(1996)의 연구에서도 환기지수의 평균에 있어서 대조군과 비하여 FVC은 노출기간과 유의한 차가 없었으나 FEV₁은 노출기간 20년 이상군에서 유의하게 감소하였고 FEV₁%과 MMF는 9년 이하인 군에서부터 유의하게 감소하였다. 특히 MMF는 노출기간에 따라서 현저하게 감소하는 경향을 보였으나 환기지수의 정상범위 이하인 근로자의 빈도에서는 FVC, FEV₁은 노출기간이 20년 이상군에서 현저히 증가하였으나 FEV₁%, MMF는 노출기간 증가에 따라 증가하고 폐기능 저하는 용접흡 노출기간과 연관이 있다고 할 수 있다. 본 연구에서는 7가지 환기지수중 MMF, FEF₅₀ 및 FEF₇₅의 예측치의 백분율은 노출기간이 길수록 유의하게 감소하였으며 특히, 20년 이상 노출군에서의 감소가 현저하였다. 그러나 Ozdemir 등(1995)의 연구에서 노출기간이 20년 이상군과 이하군에서 FVC, FEV₁, FEV₁%, PEF, MMEF은 유의한 차가 없어 상반된 견해도 있었다.

노출수준×노출기간으로 산출한 용접흡 누적노출량(C1)이 증가함에 따라 최대노출군에서 유의하게 감소한 환기지수는 FEF₇₅이었고, 반면에 노출수준, 노출기간, 환기시설, 생산량, 보호구사용, 용접봉 및 와이어 종류 등의 변수들을 고려하여 산출한 용접흡 누적 노출량(C2)이 증가함에 따라 유의하게 감소한 환기지수는 FEF₇₅이었으며 MMF 및 FEF₅₀은 감소하는 경향을 보였다. 또한 환기지수중 MMF, FEF₅₀ 및 FEF₇₅의 경우 C2가 증가함에 따라 비정상적 환기기능을 보인 근로자 비율이 유의하게 증가하였다. 이와같은 결과로 볼때 C1보다는 C2로 노출평가를 하는 것이 타당하다고 생각되며 다만, C2로 노출평가를 할 때는 과거의 노출 자료의 작성이 잘 되어야 하고, 과거의 노출수준에 영향을 줄 수 있는 다양한 기여인자에 대한 기록이 정확하게 되어야 한다는 선행조건이 필요하다.

본 연구에서는 용접흡 누적노출량(C2)이 증가함에 따라 노력-무관성(effort independent)부위(Hyatt & Flash, 1966)의 환기지수인 MMF, FEF₅₀ 및 FEF₇₅는 20.6%, 24.0%, 27.7%로서 비정상적인 근로자 비율이 유의하게 증가하였는데, 이것은 폐색성 환기장애와 연관이 있다고 할 수 있으며 환기기능 장애를 선별하거나 조기에 찾아 내는데 있어서 소기도의 기능을 보다 예민하게 나타내 주는 것으로 알려진(Mead et al., 1967) MMF, FEF₅₀ 및 FEF₇₅의 측정이 보다 더 유용한 것으로 생각된다.

본 연구의 제한점으로는 첫째, 대규모 1개 조선소의 용접작업에서 용접흡 노출되고 있는 근로자 241명을 대상으로 하였기 때문에 선택편견이 작용했을 가능성이 있어 이 노출군이 전체 조선업 근로자를 대표하기에는 어려움이 있으며, 둘째, 과거 용접흡 노출 측정값을 추정하기 위하여 적용한 기여인자와 기여도는 몇몇 문헌에서 제시하고 있지만 향후 많은 연구를 통하여 정확한 기여도의 산출이 필요하고, 셋째, 폐기능 환기지수의 예측치는 국내에서 몇몇 연구들이 이루어졌으나 서구인을 대상으로 한 예측치를 사용했다는 점이다.

그럼에도 불구하고 이 연구는 용접근로자를 대상으로 유사노출군 설정 및 대표값을 산출하고 과거의 노출량에 영향을 줄 수 있는 변수들을 적용하여 산출된 누적노출량(C2)을 이용하여 환기기능 변화를 관찰하였으며 환기기능 평가시 유용한 환기지수를 알아보는데 의의가 있다 하겠다.

요 약

목적: 조선업 용접공들의 용접흡 생애 누적노출량을 이용하여 그들의 환기기능을 평가하기 위하여 본 연구를 실시하였다.

방법: 1개 대규모 조선소에서 용접흡에 5년이상 노출된 남자근로자 241명과 대조군으로 사무직 남자 근로자 80명을 대상으로 개인별 생애 누적노출량을 산출하였고 환기기능으로서 노력성폐활량(FVC), 1초량(FEV₁), 1초율(FEV₁%), 최대중간호기속도(MMF), 최고호기류속도(PEFR)와 호기 FVC의 50%, 75% 시점에서의 최대호기류인 FEF₅₀, FEF₇₅를 얻고져 노력성 호기곡선과 최대호기류-

용량곡선을 측정하여 분석한 결과는 다음과 같았다.

결과: FEF₅₀과 FEF₇₅의 예측치에 대한 백분율(% pred)의 평균은 노출군이 대조군보다 유의하게 감소하였고 MMF는 감소하는 경향을 보였다. 현재의 노출수준 증가에 따라 감소하는 유의한 환기지수는 없었다. 환기지수 중 MMF, FEF₅₀ 및 FEF₇₅는 노출기간이 길수록 유의하게 감소하였다. 노출수준×노출기간으로 산출한 용접흡 누적노출량(C1)이 증가함에 따라 최대노출군에서 유의하게 감소한 환기지수는 FEF₇₅ 뿐이었다. 노출수준, 노출기간, 환기시설, 생산량, 보호구사용, 용접봉 및 와이어 종류 등의 변수들을 고려하여 산출한 용접흡 누적 노출량(C2)이 증가함에 따라 최대노출군에서 유의하게 감소한 환기지수는 FEF₇₅이었으며 MMF 및 FEF₅₀은 감소하는 경향을 보였다. 또한 환기지수중 MMF, FEF₅₀ 및 FEF₇₅의 경우 생애 누적노출량(C2)이 증가함에 따라 비정상적 환기기능을 보인 근로자 비율이 유의하게 증가하였다.

결론 : 본 연구결과는 노출 관련 요인들을 고려하여 산출한 생애 누적노출량(C2)을 이용하여 용접흡에 노출된 근로자들의 환기기능을 평가하는데 있어서 MMF, FEF₅₀ 및 FEF₇₅가 유용한 지수이었다.

참고문헌

노동부. 진폐증의 판정기준. 노동부 예규 제98호, 1984.
 노동부. 노동통계연감. 2001.
 노영만, 임현우, 김석일, 박효만, 정재열, 박숙경, 김현욱, 정치경, 이원철, 김정만, 김수근, 고상백, Karl Siber, 김은아, 최정근. 조선업의 작업환경측정결과를 이용한 노출평가의 문제점과 해결방안-유사노출군을 중심으로. 한국 산업위생학회지 2001;11(2):126-134.
 문태인, 구정완, 정치경. 용접흡이 환기기능에 미치는 영향. 대한산업의학회지 1996; 8(3):383-391.
 정치경, 김정만, 이원철, 조규상. 방직공장 근로자들의 면 폐증에 대한 조사. 한국의 산업의학 1981;20:23-31.
 정치경, 이세훈, 조규상. Forced end-expiratory flow의 평가. 한국의 산업의학 1979;18:33-41.
 한국산업안전공단. 산업안전보건대회 세미나-용접작업관리 대책. 1997 : 69-77.
 홍영습, 김병권, 김성률, 담도은, 김정만, 정갑열. 용접흡 폭로 근로자의 폐기능에 관한 연구. 예방의학회지 1995;28:43-57.
 Akbarkhanzadeh F. Short-term respiratory function change in relation to workshift welding

fume exposure. Int Arch Occup Environ Health 1993;64:393-397.
 Akesson B, Skerfving S. Exposure in welding of high nickel alloy. Int Arch Occup Environ Health 1985;56:111-117.
 American Industrial Hygiene Association(AIHA). Welding health and safety, resource manual. 1984 : 5-7.
 Astrakianakis G, Anderson JTL, Band PR, Keefe AR, Bert JL, Le N, Fang R. Job-exposure matrices and retrospective exposure assessment in the pulp and paper industry. Appl Occup Environ Hyg 1998;13(9):663-670.
 Bradshaw LM, Fishwick D, Slater T, Pearce N. Chronic bronchitis, work related respiratory symptoms, and pulmonary function in welders in New Zealand. Occup Environ Med 1998;55:150-154.
 Burgess WA. Recognition of health hazards in industry-A review of materials and processes. 2nd ed. New York : John Wiley & Sons Inc., 1995:169-179.
 Dahlqvist M, Alexandersson R, Nielsen J, Hedenstierna G. Single and multiple breath nitrogen washout closing volume and volume of trapped gas for detection of early airway obstruction. Clin Physiol 1989 ; 9 : 389-398.
 Damiano J. Quantitative exposure assessment strategies and data in the aluminum company of America. Appl Occup Environ Hyg 1995;10(4) : 289-298.
 Dodgson J, Cherrie J, Groat S. Estimates of past exposure to respirable man-made mineral fibres in the European insulation wool industry. Ann Occup Hyg 1987 ; 4B : 567-582.
 Fogh A, Forst J, Georg J. Respiratory symptoms and pulmonary function in welders. Ann Occup Hyg 1969 ; 12 : 213-218.
 Francis T. A study of the immediate effects of welding fume on pulmonary function. J R Nav Med Serv 1982 ; 68 : 136-144.
 Gerin M, Fletcher A, Gray C, Winkelmann R, Boffetta P, Simonto L. Development and use of a welding process exposure matrix in a historical prospective study of lung cancer risk in European welders. Int J Epidemiol 1993 ; 22 (2) : 22S-28S.
 Groth S, Lyngenbo O, Olsen O, Rossing N. Occupational lung function impairment in never-

- smoking Danish welders. *Scand J Soc Med* 1989 ; 17 : 157-64.
- Hayden SP, Pincock AC, Hayden J, Tyler LE, Cross KW, Bishop JM. Respiratory symptoms and pulmonary function of welders in the engineering industry. *Thorax* 1984 ; 39 : 442-447.
- Heederik D, Hurley F. Workshop summary-occupational exposure assessments : investigating why exposure measurements vary. *Appl Occup Environ Hyg* 1994 ; 9(1) : 71-73.
- Hodgkin. *Respiratory care : a guide to clinical practice* 1977.
- Hunnicutt TN, Cracovaner DJ, Myles JT. Spirometric measurements in welders. *Arch Environ Health* 1964 ; 8 : 661-669.
- Hyatt RE, Flash RE. Relationship of air flow to pressure during maximal expiratory effort in man. *J Appl Physiol* 1966 ; 21 : 477-482.
- Keimig DG, Pomrehn PR, Burmeister LF. Respiratory symptoms and pulmonary function in welders of mild steel : a cross-sectional study. *Am J Ind Med* 1983 ; 4 : 489-499.
- Kilburn KH, Warshaw RH. Pulmonary functional impairment from years of arc welding. *Am J Ind Med* 1989 ; 87 : 62-69.
- Knudson RJ, Slatin RC, Lebowitz MD, Burrows B. The maximal expiratory flow-volume curve: normal standards, variability, and effects of age. *Am Rev Respir Dis* 1976 ; 113 : 587-600.
- Kromhout H, Symanski E, Rappaport SM. A comprehensive evaluation of within- and between workers components of occupational exposure to chemical agents. *Ann Occup Hyg* 1993 ; 37 : 253-270.
- Leuallen EC, Fowler WS. Maximal midexpiratory flow. *Am Rev Tuberc* 1955 ; 72 : 783-794.
- Lyles RH, Kupper LL, Rappaport SM. A lognormal distribution-based exposure assessment methods for unbalanced data. *Ann Occup Hyg* 1997 ; 41(1) : 63-76.
- Macklem PT. Obstruction in small airways. A challenge to medicine. *Am J Med* 1972 ; 52 : 721 - 724.
- McFadden ER, Linden DA. A reduction in maximal mid expiratory flow rate: a spirographic manifestation of small airway disease. *Am J Ind Med* 1972 ; 18 : 725-733.
- McMillan GH, Heath Y. The health of welders in naval dockyard: acute changes in respiratory function during standardized welding. *Ann Occup Med* 1979 ; 31 : 43-60.
- Mead J, Turner JM, Macklem PT, Little JB. Significance of the relationship between lung recoil and maximum expiratory flow. *J Appl Physiol* 1967 ; 22 : 95-108.
- Mulhausen JR, Damiano J. A strategy for assessing and managing occupational exposure. 2nd ed. Virginia : AIHA Press, 1998.
- National Institute for Occupational Safety and Health. NIOSH manual of sampling and analytical method. 4th ed. Cincinnati : 1994.
- Nicas M, Spear RC, Simmons BP. Environmental versus analytical variability in exposure measurements. *Am Ind Hyg Assoc J* 1991 ; 52(12) : 553 - 557.
- Oxhoj H, Bake B, Wedel H. Effects of electronic arc welding on ventilatory lung function. *Arch Environ Health* 1979 ; 34 : 211-217.
- Ozdemir O, Numanoglu N, Gonullu U, Savas I, Alper D, Gurses H. Chronic effects of welding exposure on pulmonary function tests and respiratory symptoms. *Occup Environ Med* 1995 ; 52 : 800-803.
- Peter JM, Murphy RLH, Ferris BG. Pulmonary function in shipyard welders. *Arch Environ Health* 1973 ; 26 : 28-31.
- Plato N, Gustavsson P, Krantz S, Smith TJ, Wasterhclm P. Fiber exposure assessment in the swedish rock wool and slag wool production industry in 1938-1990. *Scand J Work Environ Health* 1995 ; 21 : 345 - 352.
- Plato N, Gustavsson P, Krantz S. Assessment of past exposure to man-made vitreous fibers in the swedish prefabricated house industry. *Am J Ind Med* 1997 ; 32 : 349 - 354.
- Rappaport SM, RH Lyles, LL Kupper. An exposure assessment strategy accounting for within- and between- workers sources of variability. *Ann Occup Hyg* 1995 ; 39 : 469-495.
- Rastogi SK, Gupta BN, Husain T, Mathur N, Srivastava S. Spirometric abnormalities among welders. *Environ Res* 1991 ; 56 : 15-24.
- Riitta EP, Slater T, Cheng S, Fishwick D, Bradshaw, Kimbell-Dunn M, Dronfield L, Pearce N. Two year follow up of pulmonary function values among welders in New Zealand. *Occup Environ Med* 1999 ; 56 : 328-333.
- Rong CY, Tan WY, Andjelkovich DAA, Levine

- RJ. A deterministic mathematical model for quantitative estimation of historical exposure. *Am Ind Hyg Assoc J* 1990 ; 51 : 194-201.
- Seixas NS, Robin TG, Becker M. A novel approach to the characterization of cumulative exposure for the study of chronic occupational disease. *Am J Epidemiol* 1993 ; 137 : 463-471.
- Seixas NS, Sheppard L. Maximizing accuracy and precision using individual and grouped exposure assessment. *Scand J Work Environ Health* 1996 ; 22 : 94-101.
- Sferlazza SJ, Beckett WS. The respiratory health welders. *Am Rev Respir Dis* 1991 ; 143 : 1134-1148.
- Sobaszek A, Edme JL, Boulenguez C, Shirali P, Mereau M, Robin H, Haguenoer JM. Respiratory symptoms and pulmonary function among stainless steel welders. *JOEM* 1998 ; 40 : 223-229.
- Stewart PA, Zey JN, Horning R, Herrick RF, Dosemeci M, Zaubst D, Pottern LM. Exposure assessment for a study of workers exposed to acrylonitrile. *Appl Occup Environ Hyg* 1991 ; 11 : 1312 - 1321.
- Susi P, Schneider S. Database needs for a task-based exposure assessment model for construction. *Appl Occup Environ Hyg* 1995 ; 10(4) : 394 - 399.
- WHO. Environmental health criteria for vegetable dust. Geneva : WHO, 1979.