

## 충청지역 일부 공업고등학교 실습생의 용접흡 및 망간에 대한 노출 평가

이중화<sup>†</sup> · 장지선 · 박종안 · 장봉기

순천향대학교 환경보건학과

## Exposure Evaluation to Total Welding Fume and Manganese at Technical High Schools in Choong-Nam Area

Jongwha Lee<sup>†</sup>, Jisun Jang, Jongan Park, Bongki Jang

Department of Environmental Health Science,  
Soonchunhyang University

### ABSTRACT

Geometric mean of airborne welding fume concentration at technical high schools was 4.80 mg/m<sup>3</sup> (N.D ~35.39 mg/m<sup>3</sup>) and the percentage of samples exceeded TLV of the Korean ministry of labor was 43.6%. Geometric mean of airborne Mn concentration was 0.06 mg/m<sup>3</sup> (N.D ~0.42 mg/m<sup>3</sup>) and the percentage of samples exceeded TLV of ACGIH was 15.4%. In case of airborne Mn concentration, there is a significant difference among schools (P<0.05).

Mn concentrations in blood of the exposed and control groups were 1.84 µg/dl and 1.91 µg/dl, respectively. Mn concentrations in urine of the exposed and control groups were 1.36 µg/l and 0.57 µg/l, respectively. In case of Mn concentrations in urine, there is a significant difference between both groups (P<0.001) and among schools (P<0.05). Mn concentrations in blood and urine of exposed group were not over BEIs of the Korean ministry of labor. Mn levels in blood and urine were not significantly affected by smoking, drinking and residence. There was no correlation between Mn concentration in air and blood, but there was a statistically significant correlation between Mn concentration in air and urine (r=0.323). There was no a statistically significant correlation between Mn concentration in blood and urine.

**key words :** Technical high school, Welding laboratory, Welding fume, Manganese

### I. 서 론

용접공정에서는 다양한 유해인자가 발생되고 있으며, 그로 인해 많은 건강장해가 초래된다. 그 유해인자로는 흡(fume) 및 가스(gas)와 같은 유해물질과 자외선, 소음, 진동, 고온 등과 같은 물리적 인자로 분류할 수 있으며, 건강장해로는 금속열(metal fume fever), 용접공폐증(siderosis), 폐부종, 폐기종, 만성 기관지염, 폐암, 중금속 중독, 유해가스 중독 및 전기성 안염등 매우 다양한 종류가 있다.

우리나라의 용접분진에 대한 허용농도는 노동부(1995)<sup>1)</sup>에서 8시간 시간가중평균농도를 5mg/m<sup>3</sup>으로 정하고 있어, 미국 산업안전보건청 허용기준(OHSA-PELs; Occupational Safety & Health Administration-Permissible Exposure Limit)인 5 mg/m<sup>3</sup>과 같다. 미국 산업안전보건연구소(NIOSH; National Institute for Occupational Safety & Health)에서는 권고 기준으로 분진과 흡 모두 1mg/m<sup>3</sup>으로 정하고 있다. 또한 미국산업위생전문가협회(ACGIH; American Conference of Governmental Industrial Hygienist)에서는 용접흡에 대해 별도로 구분되지 않은 경우 8시간 시간가중평균농도로서 5 mg/m<sup>3</sup>으로 권장하고 있다<sup>2)</sup>.

최근 포항 지역의 건설노동자중 용접공에서 망간

<sup>†</sup>Corresponding author :Department of Environmental Health Science, Soonchunhyang University  
Tel : 041-530-1271, Fax : 041-530-1272  
E-mail : leejong@sch.ac.kr

중독 소견이 있는 것으로 보고되었고, 역학조사를 실시한 결과 망간중독에 의한 직업병으로 인정되었다<sup>3)</sup>. 용접작업 중 망간중독으로 직업병이 인정된 것은 세계적으로 드문 사례로, 용접작업시 발생하는 용접흠에 함유된 망간에 장기간 고농도로 노출되면 망간이 뇌에 축적되어 파킨슨증후군 증상과 같은 운동장애 증상이 초래된다<sup>4)</sup>.

망간에 의한 건강장애는 초기에 식욕부진, 피로감, 두통, 무력감, 수면 장애, 기억력 및 집중력 장애 등의 증상 및 징후가 나타나고, 만성중독의 경우 근육이상, 긴장, 진전, 언어장애, 소자증(小字症) 등의 장애가 나타나며 파킨슨증후군과 유사한 소견이 발생된다.

직업과 관련된 망간 발생원은 주로 망간광, 망간합금 취급, 망간제련, 망간-세라믹, 벽돌 및 화학 공장의 근로자와 망간 흠이 발생하는 용접 작업, 이산화망간을 사용하는 건전지 제조업, 과망간산칼륨 제조업 등이 있다. 유기 망간 화합물인 MMT(methyl-cyclopentadienyl manganese tricarbonyl)는 담황색의 투명한 액체로 가솔린엔진의 노킹방지과 매연 억제제로 휘발유에 첨가물로 이용되고, 석유 연소제, 내연기관 보호제로 쓰이고 있다<sup>5,6)</sup>.

망간은 원자량 54.94, 원자번호 25, 비중 7.4, 용점 1,244-1,260°C, 비등점 2,097°C의 고체로서 용접흠 중의 망간의 함유율은 용접방법과 모재 및 용접봉의 종류에 따라 다소의 차이는 있으나 2.5-9.9%로 보고되고 있다<sup>7)</sup>. 망간은 용접흠 중에 비교적 다량 함유된 중금속으로, 비중격천공을 일으키는 크롬과 함께 용접 근로자에게 있어 그 유해성이 높은 인자로 인정되고 있다.

우리나라에서는 흠의 유해 성분별로 망간은 근로자의 건강 관리상 권고치로 1일 8시간 작업시간 동안의 작업환경 노출기준을 1.0mg/m<sup>3</sup>으로 정하고 있으며, 미국의 ACGIH에서는 노출기준을 0.2mg/m<sup>3</sup>으로 권장하고 있다. 또한 용접 중에 발생하는 유해인자에 대한 근로자의 실질적인 노출상태를 평가하는데 있어 노동부에서는 특수건강진단방법 및 건강관리기준에 생물학적 폭로지수(BEIs; biological exposure indices)로 혈액 및 요 중 망간을 각각 10μg/dl와 10 μg/l로 정하고 있다<sup>8)</sup>.

우리나라의 경우 망간의 유해성에 대한 연구는 망간원석 분쇄사업장에 대한 박정일 등<sup>9)</sup>의 역학조사, 김지용<sup>10)</sup>과 임현술 등<sup>11)</sup>의 망간취급 근로자의 망간 노출 및 망간위해에 관한 연구, 이권섭과 백남원<sup>12)</sup>, 변상훈 등<sup>13)</sup>과 신용철 등<sup>7)</sup>의 용접작업 형태별, 일부업종별, 용접공정에서 발생된 공기 중 흠 조성과 농도

및 영향에 관한 조사연구 등이다. 최근 용접 근로자에게서 망간중독이 인정된 사례가 발생되어 망간의 유해성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>14)</sup>.

그러나 현재 망간의 신경장애를 객관적으로 평가하기 위한 방법으로 뇌파검사, 컴퓨터 단층촬영(CT), 자기공명영상(MRI) 등을 이용한 방사선학적 검사 및 신경행동검사가 있으나, 비용면에서 고가이고 해부병리적 이상이 있기 전에는 판별에 한계가 있고, 전문적 지식을 요구하므로 어려움이 따른다. 한편 생물학적 모니터링으로 이용되는 혈액 또는 요 중 망간은 아직까지 작업환경 중 망간 농도나 혈액 및 요 중 망간 농도간의 상관성에 대하여는 다양한 의견들이 제시되고 있다<sup>15,16,17)</sup>. 또한 망간은 체내 존재하는 필수 금속이며, 비교적 짧은 생물학적 반감기로 인해 혈액 및 요의 생물학적 노출지수의 타당성에 대한 연구가 아직 미흡한 실정이다.

국내의 많은 공업고등학교에서 용접실습생들이 용접작업을 하고 있으나, 용접실습실의 작업환경측정이나 실습생들의 유해인자 노출에 대한 평가가 법적으로 규정되어 있지 않을 뿐만 아니라, 그에 대한 연구가 매우 부족한 실정이다. 송치남<sup>18)</sup>이 조사한 바에 따르면 일부 공업고등학교 용접실습실의 국소배기설비에 의한 흠농도 및 망간 농도 감소율은 각각 29%, 5.3%로 효과가 매우 낮은 것으로 나타났다. 또한 본 연구를 수행하기 위한 예비조사에서 공업고등학교의 용접실습실에는 부적절한 국소배기시설이 설치되어 있었으며, 불량한 작업자세 및 실습담당교사와 실습생의 산업보건에 대한 지식결여 등으로 작업환경이 열악하여 건강장애가 나타날 가능성이 큰 것으로 생각된다.

따라서 본 연구에서는 충청남도 소재하는 공업고등학교 중에서 용접과가 설치된 일부 학교를 대상으로 용접실습실의 국소배기설비 및 작업방법(작업 위치, 작업자세 등)을 조사하고, 기중 흠 및 망간 농도를 측정하며, 실습생들을 대상으로 생물학적 모니터링을 시행하여 망간에 대한 노출을 평가함으로써 적절한 실습환경 개선방안을 도출하는데 기초자료를 제공하고자 한다.

## II. 연구 대상 및 방법

### 1. 연구 대상

#### 1) 조사대상자

본 연구의 대상은 충청남도 소재하는 일부 공업고등학교 용접실습생 103명을 노출군으로 하였다. 대조군은 노출군과 같은 연령대에 속하며 같은 지역

Table 1. Distribution of subjects

		Exposed group	Non-exposed group
School	A	18	-
	B	26	-
	C	20	-
	D	22	-
	E	17	-
	F	-	87
Total		103	87

에 소재하는 고등학교 학생 87명을 선정하였으며, 이들은 과거력상 망간에 직접 노출된 경험이 없다고 판단되는 고등학생들이다. 조사대상자의 학교별 학생 수는 표 1과 같다. 단 노출군의 E학교의 경우 용접실습실의 작업환경은 이루어지지 않았다.

## 2) 용접실습실 환경

용접실습실을 대상으로 국소배기설비(hood 형태, hood 개구면에서의 가동상태-smoke tester로 측정, booth의 수, fan의 위치 등) 및 작업방법(작업대의 위치, 작업자세)을 조사하였으며, 담당교사를 통하여 전체 실습생수, 개설된 용접실습시간과 기능사 자격 시험을 위한 준비기간 등을 조사하였다.

## 2. 연구 방법

### 1) 공기 중 용접흡과 망간 농도의 측정 및 측정결과 평가

#### (1) 공기 중 용접흡과 망간 농도의 측정

용접흡 농도와 공기 중 망간 농도를 동시에 측정하기 위하여 직경 37mm, 공극 0.8 $\mu$ m의 MCE filter (Millipore, GN type)를 사용하였으며, 데시케이터에서 24시간 건조시킨 후 무게를 칭량한 여과지를 cassette에 고정하고 개인시료포집기(personal air

sampler, Gilian, USA)에 연결하여 용접작업중인 실습생의 호흡 위치에서 1.6~1.9 l/min으로 9~84분간 시료를 포집한 다음 데시케이터에서 24시간 건조시킨 후 시료를 포함한 여과지의 무게를 칭량하였다. 이 포집시간에는 용접작업과 용접부위 점검작업, 선반작업을 모두 포함되었다. 시료포집 유량은 측정 전 후에 비누거품메터로 유량보정을 실시하였다. 용접 흡량은 시료포집 전, 후의 여과지 중량의 차를 구하여 유량으로 나누어 산출하는 중량분석법에 의하여 계산하였다.

시료내에 함유된 망간의 분석은 NIOSH공정시험법 7300법<sup>20)</sup>에 의해 ashing acid(HNO<sub>3</sub> + HClO<sub>4</sub> = 4 : 1(V/V))와 dilution acid (ashing acid 50ml + 증류수 950ml)로 전처리하였다. 전처리에 사용된 용기는 다른 중금속으로부터 오염을 방지하기 위하여 20% 묽은 질산에 24시간이상 담근 후, 탈이온수로 3회 이상 세척하여 완전건조 후 사용하였으며, 사용된 시약은 질산(동우반도체사, 특급), 과염소산(Junsei, 70%, Japan), Mn 표준용액(Wako, 1000ppm, Japan)이고, 탈이온수는 비저항이 18.2M $\Omega$ /cm의 것을 사용하였다.

채취된 시료는 원자흡수분광광도계(Shimadzu, AA-6501S, Japan)의 Flame법을 사용하였고, 분석

Table 2. Analytical conditions of atomic absorption spectrophotometer for airborne manganese and GFAA condition for the determination of manganese level in blood and urine

Items	Airborne Mn	Mn in blood	Mn in urine
Method	Flame	Flameless	Flameless
Wavelength(nm)	279.5	279.5	279.5
Slit width(nm)	0.2	0.5	0.2
Background correction	D <sub>2</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>2</sub>
Lamp current(mA)	10	10	5
Purge gas	Air-acetylene	Argon	Argon

에 사용된 기기조건은 표 2와 같다.

이때 공기를 통과하지 않은 공시료는 시료와 동일하게 처리한 후 보정하였다.

### (2) 측정결과의 평가

작업환경 중 유해물질의 농도분포는 정규분포보다는 대수정규분포(Lognormal distribution)하는 것으로 알려져 있다. 따라서 용접실습실의 공기 중 용접흡 및 망간농도를 기하평균(GM; Geometric mean)과 기하표준편차(GSD; Geometric standard deviation)로 평가하였다.

용접흡 및 망간 농도가 노출기준을 초과하는지에 대한 평가는 우리나라 노동부고시와 미국산업안전보건청(OSHA; Occupational Safety and Health Administration)에서 채택하고 있는 방법에 따랐다.

### 2) 망간의 생물학적 모니터링

용접흡 및 공기중 망간농도에 의한 개인별 인체 노출평가를 위하여 생물학적 모니터링을 실시하였다.

혈액은 연구 대상자의 주정맥에서 1회용 주사기로 채혈하여 항응고제인 sodium-heparine이 처리된 tube(No. 6480, Becton Dickinson사)에 넣어, roll mixer로 30분 정도 교반한 후 냉장 보관하였으며, 요는 채혈 후 종이컵에 일시 요를 받아 혈청분리관에 옮긴 후 밀봉하여 냉동 보관하였다.

분석에 사용한 기기는 흑연로 원자흡수분광광도계(GFAA; Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometer ; Shimadzu, AA-6501S, Japan)

로 내부에는 D2(중수소) 바탕보정장치가 장착되어 있으며, 자동시료주입 장치(ASC-6000, auto sampler)가 부착된 기기를 사용하였고, 분석에 사용된 기기조건은 표 2와 같다.

검량선 작성은 표준물질첨가법(standard addition method)을 이용하였고, 모든 실험은 2회 반복 측정하여 변이계수(coefficient of variation)가 5%를 초과할 경우에는 3회까지 측정하도록 프로그램하였다.

혈액 및 요 중 망간 분석 시에는 pyrolytic coating graphite tube(P/N 206-69984-01, Shimadzu, Japan)를 사용하였으며, purge gas로는 순도 99.99%의 아르곤을 사용하였다.

혈액시료는 충분히 교반한 후 1% 질산 용액에 녹인 1% triton X-100용액으로 10배 희석하였으며, 시료 주입량은 10 $\mu$ l로 하였고, 표준용액 제조는 망간 표준용액을 희석하여 0, 1, 2, 3, 4 $\mu$ g/l 용액을 각각 제조하였다. 요 시료는 낮은 온도에서 서서히 해동시키고 충분히 교반한 후 1% 질산용액에 녹인 0.1% triton X-100용액으로 10배 희석하였으며, 시료 주입량은 10 $\mu$ l로 하였고, 표준용액 제조는 망간 표준용액을 희석하여 0, 1, 2, 3, 4 $\mu$ g/l 용액을 각각 제조하였다.

### 3) 설문조사

노출군에 대하여 흡연여부, 음주여부, 거주지역 및 용접종류, 모재 종류, 용접법의 종류, 보호구 지급여부(용접면, 호흡용 보호구) 등에 관하여 설문조사 하였으며, 대조군에서도 흡연여부, 음주여부, 거주지역

Table 3. General characteristics of subjects

	Exposed group	Non-exposed group
No.(%)		
<b>Smoking</b>		
Yes	58 (61.1)	21 (24.1)
No	37 (38.9)	66 (75.9)
<b>Drinking</b>		
Yes	69 (71.9)	43 (51.8)
No	27 (28.1)	40 (48.2)
<b>Residence</b>		
Urban	37 (39.4)	45 (51.7)
Downtown Area	57 (60.6)	42 (48.3)
<b>Smoking under work</b>		
Yes	46 (93.9)	-
No	3 ( 6.1)	-
<b>Eating inside workplace</b>		
Yes	46 (58.2)	-
No	33 (41.8)	-

등을 조사하였다. 조사대상자의 일반적 특성은 표 3과 같다.

3. 통계처리

조사대상자들에 대한 자료 분석은 SPSS 통계 프로그램(ver. 8.0)과 Microsoft excel(ver. 7.5)을 이용하였다. 각 학교별 용접흡, 공기 중 망간농도와 혈액 및 요 중 망간농도는 분산분석하였고, 흡연여부, 음주여부, 거주지역별과 노출군, 대조군의 차이는 t-test로 비교하였다. 공기중 망간과 혈액 및 요 중 망간함량과의 관계를 알아보기 위하여 상관분석 및 회귀분석을 실시하였다.

III. 결 과

1. 용접실습실의 작업환경

각 학교별로 25~40여명의 학생들이 용접을 전공하고 있었고, 1·2학년부터 용접실습을 시작하였으며, 3학년 때에는 주당 평균 10시간 내외의 용접시간이 개설되어 있었다. 한편 용접기능사 시험을 준비하기 위하여 약 40일 정도 집중적으로 실습을 하는 것으로 조사되었다.

각 학교별 hood의 형태, fan의 위치, 국소배기설비가동상태, 작업대의 위치 및 작업자세를 조사한 결과를 표 4에 나타냈다.

학교별로 20~40여개의 1실 기준으로 실습할 수 있는 booth가 설치되어 있었다. 각각의 booth는 칸막

Table 4. Characteristics of local exhaust system and work conditions

	School			
	A	B	C	D
Hood type	canopy	canopy	canopy	canopy
Position of fan	asymmetric <sup>a</sup>	one-sided <sup>b</sup>	asymmetric <sup>a</sup>	asymmetric <sup>a</sup>
Capture capacity	poor	very poor	poor	poor
Posture of work	bad	bad	bad	bad
Position of work stand	The surface of a wall	The surface of a wall	Center of booth	The surface of a wall
Curtain or door	close	close	open	open

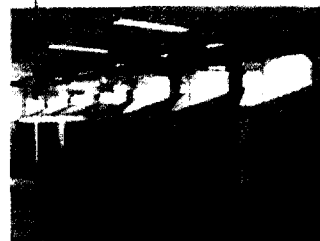
a : Centering around main fan, the number of booths is not even  
 b : Fan is located at the end of a serial booths

Main fan behind booth



App. Fig. 1. Example on the asymmetrical exhaust system.

Main fan



App. Fig. 2. Example of an inappropriate local exhaust system.



App. Fig. 3. Example of a bad position of workstation in booth



App. Fig. 4. Example of a poor welding posture.

이로 구분되어 있고, 각 booth의 중앙 상부에 canopy hood 및 소형팬이 연결되어 있으며, booth의 각 hood는 duct를 통하여 fan이 연결되어 있었다. A, C 및 D 학교의 경우는 fan을 중심으로 용접 booth 수가 좌우 비대칭적으로 설치되어 후드 개구면에서의 제어능이 불량하였으며(부록 그림 1), B학교의 경우의 팬은 연속적으로 연결된 booth의 한쪽 끝에 설치되어 제어능이 극히 불량할 뿐만 아니라 일부 booth에서는 역류하는 현상이 관찰되었다(부록 그림 2). 조사대상 모든 학교에서 일부 실습생들은 booth의 한쪽 벽면에 작업대를 위치시키고 작업을 하기 때문에 발생된 유해물질이 호흡영역을 통하여 booth 상부 중앙의 fan으로 배출되었다(부록 그림 3). 또한 일부 실습생은 용접부위를 하방으로 두고 얼굴을 매우 밀착시켜 용접함으로써 고농도의 유해물질에 노출될 것으로 예상되었다(부록 그림 4).

설문지를 통하여 조사한 용접종류, 모재 종류, 용접봉의 종류 및 보호구 착용여부의 결과를 표 6에 나타냈다.

용접의 종류는 총 응답자 중 78.3%가 피복금속 아크용접(SMAW; shielded metal arc welding)이며, 그 밖에 이산화탄소 아크용접(CO<sub>2</sub> gas shielded arc welding)과 가스용접이 있었다. 각 학교별로도 70.0% 이상이 피복금속 아크용접을 행하고 있었다. 아크용접은 직류용접(DC arc welding)을 시행하였다. 모재의 종류로 총 응답자 중 81.0%가 연강을 사용하고 있으며, 용접봉으로는 대부분 KS E 4316(83.3%)을 사용하고 있었다.

## 2. 용접실습실의 용접흡 및 망간농도

공업고등학교 용접실습생 각자에게 personal air sampler를 착용시켜 채취한 공기 시료 중의 용접흡 농도 및 공기 중 망간농도를 측정된 결과는 표 6과 같다. 용접흡 및 기중 망간농도의 기하평균은 각각  $4.80 \pm 2.57$ (불검출~35.39)mg/m<sup>3</sup>,  $0.06 \pm 3.64$ (불검출~0.42)mg/m<sup>3</sup>를 나타냈다.

각 학교별 용접흡 농도는 D학교가 6.58mg/m<sup>3</sup>로 가장 높았으며, 학교별 용접흡 농도는 유의한 차이가 없

Table 5. Welding types, kinds of base metal and welding rod, and supplied personal protector

School	No.(%)			
	A	B	C	D
<b>Welding type</b>				
SMAW	17 (94.4)	20 (76.9)	14 (70.0)	14 (73.7)
Others	1 ( 5.6)	6 (23.1)	6 (30.0)	5 (26.3)
<b>Base metal</b>				
Mild steel	14 (82.4)	19 (79.2)	16 (84.2)	15 (79.0)
Others	3 (17.6)	5 (20.8)	3 (15.8)	4 (21.1)
<b>Welding rod</b>				
KS E 4316	14 (87.5)	20 (83.3)	18 (94.7)	13 (68.4)
Others	2 (12.5)	4 (16.7)	1 ( 5.3)	6 (31.6)
<b>Personal protector</b>				
Welding face shield	(100.0)	(100.0)	(100.0)	(100.0)
Respiratory mask	-	-	-	-

SMAW : Shielded metal arc welding

MAG : Metal active gas welding, CO<sub>2</sub> welding

Table 6. Results of total welding fume and airborne manganese concentration at technical high schools

School	No.	Total welding fume		No.	Airborne Mn	
		GM ± GSD			GM ± GSD	
A	15	4.75 ± 2.61		15	0.10 ± 3.17	
B	9	5.08 ± 1.95		16	0.08 ± 2.32	
C	12	2.77 ± 2.36		16	0.03 ± 2.74	
D	20	6.58 ± 2.69		18	0.04 ± 5.20	
Total	56	4.80 ± 2.57		65	0.06 ± 3.64	
Significance		N.S			P<0.05	

N.S : Not Significant

Table 7. Sample numbers of exceeding TLV : concentration of total welding fume and airborne manganese

School	Violation	Possible overexposure	Compliance	No.(%)
	LCL>1	UCL>1, LCL≤1	UCL≤1	Total
Total fume	31 (46.3)	2 (3.0)	34 (50.7)	67 (100.0)
A	9 (60.0)	0 (0.0)	6 (40.0)	15
B	6 (37.5)	0 (0.0)	10 (62.5)	16
C	3 (18.7)	1 (6.3)	12 (75.0)	16
D	13 (65.0)	1 (5.0)	6 (30.0)	20
Airborne Mn	0 (0.0)	0 (0.0)	65 (100.0)	65 (100.0)

Table 8. Results of biological monitoring of manganese

School	Blood(μg/dl)		Urine(μg/ℓ)	
	No.	Mean ± SD	No.	Mean ± SD
A	17	1.96 ± 0.54	17	2.15 ± 1.41
B	25	1.83 ± 0.52	25	1.35 ± 1.17
C	19	1.85 ± 0.60	17	1.03 ± 0.95
D	18	1.58 ± 0.33	14	0.92 ± 0.66
E	17	2.01 ± 0.62	4	1.12 ± 0.73
Total	96	1.84 ± 0.54	77	1.36 ± 1.16
Non-exposed group	56	1.91 ± 0.39	29	0.57 ± 0.66
ANOVA among the schools		N.S	P<0.05	
t-test between exposed and non-exposed group		N.S	P<0.001	

N.S: Not significant

으나, 기중 망간농도는 A 학교가 0.10mg/m<sup>3</sup>으로 가장 높고, B학교 0.08mg/m<sup>3</sup>, D학교 0.04mg/m<sup>3</sup>, C학교 0.03mg/m<sup>3</sup>로 학교별 유의한 차이가 있었다(P<0.05).

표 7에서는 용접 흡 농도와 공기 중 망간 측정농도가 노출기준을 초과하는지에 대한 판단을 한 결과로 용접흡은 전체 67개 시료 가운데 31개 (46.3%)가 노출기준을 초과하였고, 노출기준을 초과 할 가능성이 있는 시료는 2개(3.0%)였으며, 노출기준 미만은 34개(50.7%)였으며, 망간의 경우 전체 시료 65개 가운데 모두가 노출기준 미만으로 평가되었다. 각 학교별 용접흡 노출기준 평가를 살펴보면, D학교의 경우가 65.0%가 노출기준 초과로 타 학교에 비하여 가장 높았으며, A학교 60.0%, B학교 37.5%, C학교 18.7% 순으로 가장 낮았다.

3. 망간의 생물학적 모니터링

노출여부와 학교별 혈액 및 요 중 망간농도는 표 8 와 같다.

노출여부에 따라 혈액 중 망간농도의 산술평균치는 노출군 1.84(기하평균 1.76, 범위 : 0.87~3.21)

μg/dl, 비노출군 1.91(기하평균 1.88, 범위 : 1.05~3.07)μg/dl으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났으나, 요 중 망간농도의 산술평균치는 노출군이 1.36

(기하평균 0.93, 범위 : 0.134~5.144)μg/ℓ로 비노출군의 0.57(기하평균 : 0.36, 범위 : 0.005~3.00)μg/ℓ에 비해 유의하게 높았다(P<0.001).

각 학교별 혈액 중 망간농도의 산술평균치는 E학교가 2.01μg/dl로 가장 높았으며, A학교 1.96μg/dl, C학교 1.85μg/dl, B학교 1.83μg/dl, D학교 1.58μg/dl 순이었으나 학교간에 유의한 차이는 없었다. 요 중 망간농도는 A 학교가 2.15μg/ℓ로 가장 높았으며 B, E, C, D학교 순으로 각각 1.35μg/ℓ, 1.12μg/ℓ, 1.03μg/ℓ, 0.92μg/ℓ로서 학교별로 유의한 차이가 있었다(P<0.05).

4. 흡연, 음주여부 및 거주지에 따른 혈액 및 요 중 망간함량

용접실습생의 흡연여부, 음주여부 및 거주지에 따른 혈액 및 요 중 평균 망간농도는 표 9과 같다. 흡연 여부에 따른 혈액 및 요 중 망간농도는 비흡연자의 경

Table 9. Blood and urine manganese concentration by smoking, drinking and residence of exposure group

	Blood		Urine	
	No.	Mn conc. ( $\mu\text{g}/\text{dl}$ )	No.	Mn conc. ( $\mu\text{g}/\ell$ )
<b>Smoking</b>				
Yes	58	$1.83 \pm 0.59$	48	$1.29 \pm 1.13$
No	36	$1.85 \pm 0.47$	27	$1.47 \pm 1.26$
Significance		N.S		N.S
<b>Drinking</b>				
Yes	69	$1.86 \pm 0.55$	55	$1.25 \pm 1.01$
No	26	$1.80 \pm 0.54$	21	$1.65 \pm 1.49$
Significance		N.S		N.S
<b>Residence</b>				
Urban	37	$1.93 \pm 0.54$	25	$1.02 \pm 0.87$
Rural	56	$1.76 \pm 0.53$	49	$1.48 \pm 1.21$
Significance		N.S		N.S

우 다소 높았으나, 유의한 차이는 없었으며, 음주여부와 거주지역별에 따른 혈액과 요 중의 망간농도도 유의한 차가 없었다.

#### 5. 기중 망간농도와 혈액 및 요 중 망간함량간의 관련성

기중과 혈액 중 망간농도간의 상관성은 상관계수가 0.177로 유의한 상관관계를 보이지 않았으나, 요 중 망간농도의 경우 기중 망간농도와  $r=0.323$ 의 유의한 상관관계를 보였다( $P<0.05$ ). 또한 혈액과 요 중 망간농도간의 상관성은 상관계수가 0.016으로 유의한 상관관계를 보이지 않았다.

그림 1은 공기중 망간농도와 요 중 망간농도와의

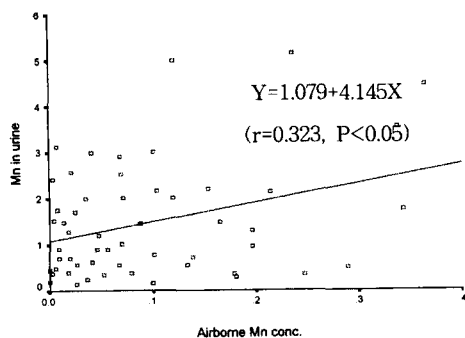


Fig. 1. Relationship between airborne manganese concentration and manganese concentration in urine.

관계를 나타낸 것으로써 회귀 방정식은 요 중 망간농도( $\mu\text{g}/\ell$ )= $1.079 + 4.145 \times$ 기중 망간농도( $\text{mg}/\text{m}^3$ )와 같이 나타났다.

#### IV. 고 찰

용접은 2개 이상의 금속 재료를 열이나 압력을 가해 서로 접합시키는 금속 가공 방법으로 크게 용접(fusion welding), 압접(pressure welding), 납땜(soldering brazing) 등 세 종류로 구분되는데 그 중 흔히 말하는 용접은 주로 용접을 말한다.

우리나라는 과거 30년동안 중화학 공업을 육성 발전시킴으로써 조선업, 건축업 등의 모든 기간 산업체에서 용접업무가 크게 증가하게 되었으나, 이와 더불어 우리가 원하지 않는 유해환경에 의하여 건강장해 유발이라는 부작용도 감수하지 않으면 안되었다. 용접작업시 발생하는 유해환경 요인으로 용접흡, 각종 중금속 등의 입자상 물질과 자외선 등의 유해광선 및 일산화질소, phosgene 등의 유해가스가 있다. 특히 용접흡을 다량 흡입함으로써 호흡곤란, 기침, 흉통 등을 일으키고, 각종 중금속 중독을 일으킬 수 있어 용접작업에 대한 각별한 보건관리가 요청된다.

최근 국내에서 용접근로자에서 망간중독 소견이 있다는 내용이 보고되어, 용접 근로자들에게서 망간 노출 실태와 그로 인한 건강장해를 파악함으로써 용접작업에서의 망간으로 인한 건강장해 가능성을 평가하고 그 예방대책을 세우려는 연구가 활발히 진행



되고 있는 실정이다. 그러나 망간중독의 개인적 감수성 차이가 강한 것과 생물학적 반감기가 짧고, 중독이 어느 정도 진행되면 노출이 중단되어도 회복되지 않고 평생장해를 입게 됨을 고려하여 볼 때, 망간중독의 조기발견이 중요시되고 있다.

현재 우리나라에서는 공업고등학교에서 용접을 전공하는 학생들이 많으나 작업환경측정 및 유해인자에 대한 노출평가 조사가 법적으로 규정되어 있지 않은 상태이기 때문에 작업환경관리에 많은 문제점이 있는 것으로 생각된다. 공업고등학교의 용접실습실을 대상으로 작업환경을 조사한 결과 부적절하게 판단되는 국소배기설비(canopy형 후드, 비대칭형 실바등)가 설치되어 있어 유해물질이 발생원에서 효과적으로 제거되지 않았으며, 심하게는 국소배기설비가 가동되지 않거나 역류하는 경우도 있었다. 일부 실습생들은 booth의 한쪽 벽면에 작업대를 위치시키고 작업을 하기 때문에 발생된 유해물질이 호흡영역을 통하여 booth 상부 중앙의 fan으로 배출되었으며, 작업 위치가 hood 개구면으로부터 멀리 떨어져 있어 유해물질이 효과적으로 제거되지 않았다. 또한 담당교사와 실습생의 산업보건학적 지식결여로 호흡용 보호구를 착용하지 않은 상태에서 작업을 하거나, 부적절한 자세로 작업함으로써 용접흡 등 유해인자에 과다하게 노출될 것으로 조사되었다. 또한 실습 도중에 흡연이나 간식을 하는 등 개인위생에도 많은 문제점이 있는 것으로 나타났다.

따라서 공업고등학교의 용접실습생의 건강보호와 용접에 의한 망간중독의 조기발견 및 예방대책을 수립하기 위해서는 실습실의 작업환경측정, 실습생들의 용접흡 및 공간에 대한 노출평가, 담당교사와 실습생에 대한 산업보건학적 교육이 필요하다고 판단되어졌다.

본 연구에서 용접실습실의 작업환경을 측정된 결과 용접흡 농도의 기하평균은 4.80(불검출~35.39) mg/m<sup>3</sup>이었으며, 학교별로 유의한 차이가 없었다. 용접흡의 경우에 노동부 기준인 5mg/m<sup>3</sup>로 노출기준 초과를 평가하였을 때 46.3%가 기준을 초과하였다. 각 학교별로는 D학교의 노출기준 초과율이 65.0%로 가장 높았으며, C학교가 노출기준 초과율 18.7%로 가장 낮았다.

공기 중 망간농도는 0.06(불검출~0.42)mg/m<sup>3</sup>이었으며, 학교별로 유의한 차이가 있었다(P<0.05). 우리나라 노동부의 노출기준으로 초과 여부를 평가하였을 때 기준초과는 없었다. 그러나 ACGIH 기준인 0.2 mg/m<sup>3</sup>으로 평가하였을 때 65개 시료 중 15.4%에 해

당하는 10개 시료가 노출기준을 초과하였다. 이것은 노동부가 노출기준을 제정할 당시에 ACGIH TLV인 1mg/m<sup>3</sup>을 그대로 채택하여 지금까지 적용하고 있으나, 최근에 ACGIH는 망간흡에 의한 신경계와 생식장해를 예방하기 위해 TLV를 0.2mg/m<sup>3</sup>로 낮추었기 때문이다. 따라서 현재의 기준을 그대로 적용하여 단순히 법적 기준 준수여부를 판정할 때에는 문제가 없으나, 건강보호가 목적이려면 ACGIH에서 권장하고 있는 노출기준을 적용하여 작업환경을 관리하는 것이 바람직하다고 생각되어진다.

한편 본 연구에서 용접실습실을 대상으로 측정된 용접흡 농도는 4.80mg/m<sup>3</sup>로 김광중과 송기창<sup>21)</sup>의 모조선업의 도크 공장의 12.00mg/m<sup>3</sup>, 대조립 공장의 9.42mg/m<sup>3</sup> 및 선각 공장의 8.97mg/m<sup>3</sup>에 비해 매우 낮은 수준이나, 이권섭과 백남원<sup>22)</sup>의 자동차 차체 생산공장의 작업공정에서 3.11mg/m<sup>3</sup>과 변상훈 등<sup>13)</sup>의 선박수리업의 홀더 작업에서 3.78mg/m<sup>3</sup>, 신용철 등<sup>7)</sup>의 자동차 제조업에서 3.4mg/m<sup>3</sup>에 비해 높은 수준이었으며, 광영순과 백남원<sup>22)</sup>이 보고한 모조선소의 용접흡 농도인 5.2mg/m<sup>3</sup>과 비슷하였다. 공기 중 망간농도는 0.06mg/m<sup>3</sup>로, 광영순과 백남원<sup>22)</sup>의 용접방법 및 모재 급속을 고려하지 않은 전 작업상의 결과인 0.3mg/m<sup>3</sup>과 변상훈 등<sup>13)</sup>의 콘테이너 제조업의 용접공정에서의 0.11mg/m<sup>3</sup> 및 이권섭과 백남원<sup>22)</sup>의 피복 아크용접 중의 망간농도인 0.21mg/m<sup>3</sup>에 비해 낮은 수준이었으며, 신용철 등<sup>7)</sup>의 자동차 제조공정 중 피복 아크용접의 0.08mg/m<sup>3</sup>과 유사하였다.

노출군의 생물학적 모니터링 중 혈액의 망간함량은 1.84(기하평균 1.76, 범위 : 0.87~3.21)μg/dl로 분석 방법별로 살펴보면, 본 연구와 유사한 방법으로 노출군의 혈액 중 망간을 분석한 이영세<sup>18)</sup>의 1.08μg/dl, 황인담과 유일수<sup>23)</sup>의 1.26μg/dl 및 산업안전공단<sup>3)</sup>의 1.46μg/dl와 비슷하였으며, 김지용<sup>10)</sup>의 외부대조군, 즉 망간을 포함한 신경독성을 나타내는 물질을 사용하지 않는 생산근로자의 1.56μg/dl와도 유사하였다. 그러나 임현술 등<sup>11)</sup>의 노출군 및 대조군에서의 6.94μg/dl와 3.94μg/dl에 비교하여 낮게 나타났다. 습식회화법으로 전처리한 전진희의 도시와 농촌지역의 7.9μg/dl 및 7.1μg/dl에 비해서도 낮게 나타났으나,鈴木泰夫<sup>24)</sup>의 정상인 전혈중 망간농도는 0.86~1.45μg/dl로 본 조사 성적과 유사하였다. 또한 Zeeman 보정법에 의한 Sabbioni 등<sup>25)</sup>의 0.87μg/dl 보다는 약 2배 높게 나타났다.

노출군의 요 중 망간함량은 1.36(기하평균 : 0.93, 범위 : 0.13~5.14)μg/l로 분석 방법별로 살펴보면,

MIBK로 추출한 황인담과 유일수<sup>23)</sup>의 금속업체와 비금속업체의 남자 대상자들의 요 중 망간농도인 1.60  $\mu\text{g}/\ell$ 와 1.35  $\mu\text{g}/\ell$ 와 유사하게 나타났으나, David 등<sup>26)</sup>의 요 중 망간함량 3.0  $\mu\text{g}/\ell$ 는 본 조사 성적보다 약 3배 높았다. 국내에서는 본 연구와 분석방법이 비슷한 임현술 등<sup>11)</sup>의 연구에서는 대조군으로 선택된 여성 근로자의 요 중 망간농도인 기하평균 0.70  $\mu\text{g}/\ell$ 과 유사하게 나타났으나 노출군의 4.12  $\mu\text{g}/\ell$  보다는 낮게 나타났으며, 김지용<sup>10)</sup>의 노출군의 6.92  $\mu\text{g}/\ell$ 는 본 조사 성적보다 약 7배 높게 나타났으나 내부대조군과 외부대조군의 요 중 망간농도인 1.54  $\mu\text{g}/\ell$ 와 1.75  $\mu\text{g}/\ell$ 와 유사하였다. 이영세<sup>18)</sup>의 대조군과 노출군의 7.4  $\mu\text{g}/\ell$ 와 7.0  $\mu\text{g}/\ell$ 는 김지용<sup>10)</sup>의 노출군과 유사하였다. Zeeman 보정법에 의한 Sabbioni 등<sup>25)</sup>의 1.02  $\mu\text{g}/\ell$ 와 유사하였다. 본 연구에서는 노출군과 대조군에서 요 중의 평균 망간농도가 약 3배 차이가 나타났다음을 알 수 있으며, 이는 Symth 등<sup>15)</sup>의 연구결과와 유사하다.

노동부에서는 특수건강진단방법 및 직업병 관리기준에 생물학적 노출지수(BEIs; Biological Exposure Indices)로 혈액 및 요 중 망간을 각각 10  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 와 10  $\mu\text{g}/\ell$ 로 정하고 있다. 용접실습생들의 혈액 중 망간농도의 범위는 0.87~3.21  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로 노출지수를 초과하는 학생은 없었으며, 요 중 망간농도의 범위도 0.13~5.14  $\mu\text{g}/\ell$ 로 노출지수를 초과하는 학생은 없었다. 그러나 본 연구를 수행한 시점이 기능사 자격시험을 준비하기 위하여 실습을 강화하는 중간기간(40일 정도의 강화기간 중에서 2~3주가 지난 기간)이었기 때문에 실습 말기에 측정할 경우에는 노출이 더 많을 것으로 생각된다.

실습생들의 흡연과 음주여부 및 거주지는 혈액 및 요 중 망간농도에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으며, 김지용<sup>10)</sup>과 임현술 등<sup>11)</sup> 및 이영세<sup>18)</sup>도 유사한 결과를 보고하였다. Roels<sup>16,17)</sup>는 폐활량계를 이용하여 조사한 결과 망간노출과 흡연사이에 상승효과가 없다고 보고하였고, 노출군과 대조군 사이의 중후에도 통계적 유의성이 없다고 보고하였다. 전진호<sup>27)</sup>의 연구보고에서 거주지역별로 혈액 중 망간함량에는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다.

현재 망간의 생물학적 노출지수로 혈액 및 요 중 망간함량의 유효성에 대하여는 많은 논란이 있다. 이영환과 정문호<sup>28)</sup>는 직업적 노출 정도와 혈액 중 망간함량은 상관성이 희박하다고 보고하였으며, 이것은 망간의 항상성 기전에서 기인되는 것이라고 하였다. 또한 망간의 배설이 담즙을 통해 이루어지기 때문에 요

중 망간함량을 직업적인 망간 노출량의 지표로 이용하는 것은 문제가 있다고 보고하였다. 그러나 파킨슨 증후군의 원인 조사에서 망간중독일 때는 EDTA에 의한 착화유발시험에서 요 중 망간량의 현저한 증가를 보여 진단에 용이하다고 밝히고 있다. Roels 등<sup>17)</sup>, 김지용<sup>10)</sup>, 최호춘 등<sup>29,30)</sup>에 의하면 공기 중 망간농도는 근로자의 혈액이나 요 중 망간농도와 상관이 높은 것으로 나타났다. 반면 미국 산업위생전문가협회(ACGIH)에서는 작업환경 중 노출농도 및 대사과정 등에 의한 상호관련성의 미비로 혈액 및 요 중 망간을 생물학적 노출지수로 추천하지 않았다. Symth 등(1973)의 경우도 배출경로로 보아 요는 직업적 노출을 정확히 나타낼 수 없다고 하였으며, 혈액 중 망간농도와 노출과의 상관성도 약하다고 보고하였다. 이렇듯 현재까지 망간에 대한 생물학적 노출기준으로 혈액 및 요는 그 기준이 모호하며, 대사과정에서 일단 망간이 체내에 들어오면 혈액을 통하여 매우 쉽게 흡수되어 그 대부분이 담즙을 통하여 대변으로 배설되고, 요 중으로는 정상인에서 섭취량의 0.1~0.3%가 배설되어 노출지표로 가장 좋은 시료는 대변이라 생각되어지나<sup>31)</sup>, 이에 관한 연구는 계속되어질 필요가 있다고 고려되어진다.

본 연구에서는 용접작업실과 혈액 및 요 중 망간노출량을 측정된 결과 혈액과 요 중 망간농도간에는 유의한 상관관계가 없었으며, 기중 망간농도와 혈액 중 망간농도간에도 유의한 상관관계가 없었으나, 기중 망간농도와 요 중 망간농도의 상관계수는 0.323으로 유의한 상관관계가 있었다( $P < 0.05$ ). 이 결과는 망간 흡 노출에 대한 신체내 노출량을 평가하기 위해 대상자의 혈액보다는 요 중 망간함량을 측정하는 것이 더 유효하다는 것을 보이고 있다.

이상의 결과에서 보면 공업고등학교의 용접실습실 작업환경에서 용접흡의 경우 46.3%가 노출기준을 초과하였고, 공기 중 망간의 경우에는 ACGIH 기준인 0.2  $\text{mg}/\text{m}^3$ 으로 평가하였을 때 15.4%가 노출기준을 초과하고 있어, 작업환경의 관리가 불량하며, 이로 인해 실습생들에 있어 건강장해가 초래될 수 있을 것으로 생각된다. 따라서 용접실습생의 건강보호와 용접에 의한 망간중독의 예방 및 조기발견을 위하여 적절한 국소배기설비의 설치, 작업방법(작업위치, 작업자세 등)의 변경, 담당교사 및 실습생의 교육 등 전반적인 대책이 강구되어야 할 것으로 판단된다.

공업고등학교 용접실습실의 전반적인 대책으로는 담당교사와 실습생의 산업보건 교육을 통한 유해인자에 대한 정보와 노출에 따른 건강장해를 주지시키

는 한편, 두꺼운 용접봉을 사용함으로써 흡 발생량을 줄이고, 호흡용 보호구를 지급하여 실습생들로 하여금 반드시 착용하게 한다. 실습생들은 과다한 전류 및 전압의 사용을 금지, 발생원예의 안전 밀착 등의 부적절한 자세를 교정, 발생된 용접흡이 호흡기를 통과하지 않게 작업대 위치를 조정, 작업 중 흡연이나 간식을 피하는 등의 개인위생을 지킴으로써 유해물질의 노출을 최소화하여야 한다. 공학적인 대책으로는 정압손실을 고려한 hood 및 duct 설계, 포획속도를 고려한 fan의 용량 설정, 용접실습실에 적합한 hood 선택(현재 설치된 canopy형 후드는 용접작업에 적합하지 않으며, 용접작업에 적합한 후드로는 freely-suspended open hood, cross-draft table, down-draft table, enclosing hood 등이 권장되고 있음<sup>32)</sup>), 국소배기설비의 정상적 가동을 위한 지속적인 유지·관리 등을 들 수 있다. 그러나 고등학교 용접실습실에 적합한 국소배기설비에 대하여는 좀 더 구체적인 연구가 필요하다고 사려된다.

V. 결 론

공업고등학교의 용접흡과 실습생들의 망간에 대한 노출을 평가하기 위하여 충청남도 소재하는 일부 공업고등학교의 용접실습생 87명을 노출군으로 선정하고, 망간에 직접 노출된 경험이 없다고 판단되는 학생 103명을 대조군으로 선정하여, 용접실습실의 작업환경측정, 혈액과 요 중 망간 측정 및 설문조사를 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 용접실습실에 설치된 국소배기설비는 불합리한 설계 및 부적절한 후드 선정(canopy형) 등으로 용접 과정에서 발생하는 유해물질을 효과적으로 제거하지 못하였으며, 부적절한 작업대 위치 선정, 작업자세의 불량, 보호구의 지급 부족 등으로 유해인자에 과다하게 노출될 가능성이 높았다.
2. 용접흡의 기하평균 농도는 4.80mg/m<sup>3</sup>이었으며, 우리나라 노출기준(5mg/m<sup>3</sup>)을 초과하는 시료는 46.3%이었다. 기중 망간의 기하평균 농도는 0.06mg/m<sup>3</sup>로 나타났으며, 우리나라 노출기준(1mg/m<sup>3</sup>)을 초과하는 시료는 없었으나 15.4%가 ACGIH의 노출기준을 초과하였다. 기중 망간농도는 각 학교별로 유의한 차이가 있었다(P<0.05).
3. 혈 중 망간농도의 산술평균치는 노출군 1.84μg/dl 및 비노출군 1.91μg/dl로 나타났다. 요 중 망간농도의 산술평균치는 노출군이 1.36μg/l로 비노출군의 0.57μg/l에 비해 유의하게 높았으며(P<0.001),

학교별 요 중 망간농도는 유의한 차이가 있었다(P<0.05).

4. 흡연여부, 음주여부, 거주지역별로는 혈액 및 요 중 망간농도에 유의한 영향을 주지 않았다.
  5. 기중 망간농도와 혈액 중 망간농도간에는 유의한 상관관계가 없었으나, 기중 망간농도와 요 중 망간농도의 상관계수는 0.323으로 유의한 관계가 있었다(P<0.05). 혈액과 요 중 망간농도간의 상관계수는 0.016으로 유의성이 인정되지 않았다.
- 이상의 결과로 볼 때 공업고등학교의 용접실습실을 대상으로 정기적인 작업환경측정이 이루어지지 않은 상태에서 용접실습이 행해지고 있었으며, 국소배기설비의 성능불량, 미흡한 보호구 지급 등으로 유해물질에 과다 노출되고 있었다. 따라서 실습생들의 건강보호를 위하여 공학적 대책 및 산업보건학적 교육이 필요할 것으로 판단되었다.

참고문헌

- 1) 노동부 : 화학물질 및 물리적인자의 노출기준, 고시 제 97-65호, 1995.
- 2) ACGIH(American Conference of Governmental Industrial Hygienist) : 2001 TLVs and BEIs, Cincinnati, ACHIH, 2001.
- 3) 한국산업안전공단 산업보건연구원 : 망간 역학조사 최종보고서, 직진연 98-5-6, 1998.
- 4) Gorell J, Johnson C, Rybicki B, Peterson E, Kortsha G : Occupational exposure to metals as risk factors for Parkinson's disease, Neurology, 48(3),650-658, 1997.
- 5) Sons JW : Patty's industrial hygiene and toxicology, Vol 2, 1996.
- 6) Klaassen C, Amdur M, Doull J : Casarett and Doull's toxicology, The basic science of poisons, 5th edition, McGraw-Hill, New york, pp717-718, 1996
- 7) 신용철, 이광용, 박승현, 이나루, 정지연 : 용접공정에서 발생된 공기중 흡의 조성과 농도에 영향을 미치는 요인에 관한 연구, 한국산업위생학회지,7(2), 181-195, 1997.
- 8) 노동부 : 근로자 특수건강진단 방법 및 직업병관리 기준, pp325-329, 1989.
- 9) 박정일, 노영만, 구정완, 이승한 : 원광분쇄작업장에서의 망간폭로, 대한산업의학회지, 3(1), 111-118, 1991.
- 10) 김지용 : 일부 망간취급 근로자의 망간 폭로 및 건

- 강위해에 관한 연구, 석사학위논문 서울대학교 보건대학원, 1994.
- 11) 임현술, 김지용, 정해관, 정회경 : 망간취급 여성근로자의 망간폭로 및 건강위해에 관한 연구, 예방의학회지, 28(2), 406-420, 1995.
  - 12) 이권섭, 백남원 : 용접작업 형태별 공기중 용접흡 농도와 금속 성분에 관한 조사 연구, 한국산업위생학회지, 4(1), 71-80, 1994.
  - 13) 변상훈, 박승현, 김창일, 박인정, 양정선 : 일부 업종의 용접흡 분석 및 폭로농도에 관한 연구, 산업위생학회지, 5(2), 172-183, 1995.
  - 14) 정호근 : 망간 중독, 산업보건 통권 제 110호, pp2-20, 1997.
  - 15) Symth L, Ruhf R, Whitman N, Dugan T : Clinical manganism and exposure to manganese in the production and processing of ferromanganese alloy, *Journal of Occupational Medicine*, 15(2), 101-109, 1973.
  - 16) Roels H, Ghyselen P, Buchet J, Cenlemans E, Lauwerys R : Assessment of the permissible exposure level to manganese in workers exposed to manganese dioxide dust, *Br J Ind Med*, 49(1), 25-34, 1992.
  - 17) Roels H, Lauwerys R, Genet P, Sarhan M, Cenlemans E : Epidemiological survey among workers exposed to manganese, *Am J Ind Med*, 11, 297-305, 1987.
  - 18) 이영세 : 철강 용접작업자의 크롬 및 망간 피폭평가와 보건관리 대책에 관한 연구, 박사학위논문, 계명대학교대학원, 1999.
  - 19) 송치남 : 아크 용접 전류에 따른 흡 발생률과 흡 및 중금속 농도의 분석, 석사학위논문, 한국교원대학교 대학원, 1998.
  - 20) NIOSH(National Institute for Occupational Safety & Health) : Manual of analytical methods, Vol. 1, 7300-1 U.S DHHS (NIOSH) Publication No. 84-100, NIOSH, Cincinnati, Ohio, 1984.
  - 21) 김광중, 송기창 : 모 조선업 작업장의 공기중 용접흡 농도에 관한 조사, 한국산업위생학회지, 1(1), 68-72, 1991.
  - 22) 광영순, 백남원 : 모조선소의 밀폐된 작업장에서의 공기중 용접흡 및 중금속 농도에 관한 조사 연구, 한국산업위생학회지, 7(1), 113-131, 1997.
  - 23) 황인담, 유일수 : 이리 공업단지의 공장 공기중 중금속 함량 및 근로자의 혈액, 요, 모발 중의 중금속에 관한 조사, 한국환경위생학회지, 18(1), 77-83, 1992.
  - 24)鈴木泰夫 : マンガンの経口的 過利攝取に關する研究, 第2報, マウスにおける臓器内のマンガン蓄積の増大よりみた投與限界量について, *西國醫誌*, 30, 32-45, 1974.
  - 25) Sabbioni E, Apostoli P, Minoia C : In applicazioni dell'ETA AAS seeman nel laboratorio chimicoe tossicologico, Vol 2, *Matrici Biologiche*, pp 371-400, 1990.
  - 26) David G, Ormer V, William C, Purdy W : The determination of manganese in urine by atomic absorption spectrometry, *Analytica Chimica Acta*, 64, 93-105, 1973.
  - 27) 전진호 : 도시 및 농촌지역 가임연령 여성들의 혈중 미량금속원소의 함량에 관한 조사, 예방의학회지, 17(1), 95-106, 1984.
  - 28) 이영환, 정문호. 금속과 사람. 신광출판사, pp212-226, 1993.
  - 29) 최호춘, 김강운, 안선희, 박화미, 김소진 : 용접사업장 근로자의 흡 및 금속 노출농도에 대한 평가와 혈중 금속농도, 한국산업위생학회지, 9(1), 56-72, 1999.
  - 30) 최호춘, 김강운, 안선희, 현대우 : 용접근로자의 혈액 및 요중 망간 농도, 대한산업의학회지, 10(4), 534-547, 1998.
  - 31) Tsalev D. : Atomic absorption spectrometry in occupational and environmental health practice. Vol 2, CRC Press, Floride, pp 117-125, 1995.
  - 32) 조석호 : 산업환경공학, 동화기술, 1994.