

용접 근로자의 혈액 및 요중 망간 농도

대한산업보건협회

최호춘 · 김강운 · 안선희 · 현대우

— Abstract —

Manganese Concentration in Blood and Urine of Manganese Exposed Welding Workers

Ho-Chun Choi, Kangyoon Kim, Sun-Hee An, Dae-Woo Hyun

Korean Industrial Health Association, Seoul, Korea

Blood and urine samples were taken from 447 welders exposed to manganese containing welding fumes and 127 office workers not exposed to welding fumes as a control.

The air samples were analyzed by flame atomic absorption spectrophotometer(Varian 30A, Australia), and blood and urine samples were analyzed by flameless atomic absorption spectrophotometer(Z-8100, Hitachi, Japan). Data were evaluated in accordance with type of industry, smoking habits, and work duration.

The results obtained were as follows:

1. The limit of detection(LOD) levels of manganese in blood and urine were 0.11 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ and 0.14 $\mu\text{g}/\text{l}$, respectively. Our results of manganese concentration were shown within ± 2 standard deviation which was the upper and lower warning limit(UWL or LWL) on quality control chart.
2. The airborne concentrations of manganese in welding workplaces were 0.067 mg/m^3 showing differences by type of industry; 0.017 mg/m^3 in automobile assembly and manufacturing industries, 0.084 mg/m^3 in steel heavy industries and 0.180 mg/m^3 in shipyards.
3. The blood manganese concentrations showed differences by type of industry showing the highest values of 1.70 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ in shipyards, 1.24 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ in automobile assembly and manufacturing industries and 1.11 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ in steel heavy industries. Urinary manganese concentration corrected by urinary creatinine concentrations was 0.34 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinine in automobile assembly and manufacturing industries, 0.43 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinine in steel heavy industries and 0.48 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinine in shipyards. There were no difference urinary manganese concentrations by type of industry.

4. The overall blood manganese concentration was 1.26 $\mu\text{g}/100\text{ml}$, and urinary manganese concentration was 0.35 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinine in welders. In contrast to these values, blood and urinary manganese concentrations were lower in control group showing 0.73 $\mu\text{g}/100\text{ml}$, and 0.28 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinine, respectively.
5. Smoking habits did not seem to affect on blood and urinary manganese concentrations both in welders and office workers.
6. Blood manganese concentrations were significantly higher in welder who had worked longer than 10 years than in welder who had worked less than 10 years.
7. The blood manganese concentrations were significantly correlated to airborne manganese concentrations ($r=0.318$, $n=64$), work duration ($r=0.425$, $n=538$), and cumulative exposure indices (CEI) ($r=0.354$, $n=64$).

Key Words : Manganese in blood, Urine and airborne, Work duration, Cumulative exposure index (CEI), Welder

서 론

망간은 식물이나 인체에 필요한 금속(essential metals) 중의 하나이지만, 고농도의 흡이나 분진을 흡입한 근로자에게 심각한 건강장해를 일으킨다. 망간분진에 장기간 노출된 경우 표적장기는 중추신경계와 폐이다. 만성적인 망간중독의 초기증상은 감정 불안정, 신경과민, 정신적 흥분 등이며, 중독증상이 진행된 단계에서는 타액분비과다와 발한 등의 자율장해(autonomic disturbance)가 발생된다(Klawans 등, 1970; Chandra 등, 1974). 망간에 대한 중독증상은 개인에 따른 변이가 심하고, 드물게는 작업환경 농도가 5 mg/m^3 이하에서도 망간중독이 발생된 것으로 보고되고 있다(Saric와 Lucic-Palaic, 1975; Chandra 등, 1981).

망간에 의한 신경장해를 평가하기 위한 방법으로 설문지를 이용한 조사방법, 신경전도속도, 유발전위, 뇌파검사와 같은 신경생리검사, 컴퓨터 단층촬영(CT)이나 자기공명영상(MRI) 등을 이용한 방사선학적 검사 및 신경행동검사 등이 있다(이경재 등, 1995). 설문지를 이용한 조사방법은 이용이 간편하고 고농도 노출군의 선별검사방법으로 유용하지만 만성증상에는 비특이적이기 때문에 평가에 어려움이 있으며, 신경생리검사나 방사선학적 검사는 객관적인 방법이긴 하나 비용면에서 고가이고, 해부병리적이상이 있기 전에는 선별에 한계가 있고, 고도의 전문적 지식을 요구하므로 어려움이 따른다. 또 신경

행동검사는 WHO-NCTB(neurobehavioral core test battery)를 이용하여, 감정측면도 검사(profile of mood scale), 단순반응시간(simple reaction time), 숫자부호화(digit symbol), 숫자암기(digit span), 손민첩성검사(santa ana), 시각기억검사(benton visual retention test), 목적점찍기(pursuit aiming test) 등 7개 항목을 조사하는데, 상대적인 경제성, 간편성, 문화적 차이의 극복 등으로 여러 연구에서 많이 이용되고 있다(WHO, 1986b).

WHO(1981)에서는 망간에 의한 중추신경계의 장해가 발생할 수 있는 농도를 2-5 mg/m^3 라 하였고, 미국 환경청(EPA, 1984)에서는 1 mg/m^3 이하에서도 역학연구결과 호흡기계에 영향을 미칠 수 있다고 하였다. 그 외 각 나라마다 그 기준을 정하여 관리하고 있으나 그 기준은 매우 다양하다. 망간흡에 대해 우리 나라의 8 시간 가중평균농도는 1.0 mg/m^3 , 단시간노출기준은 3.0 mg/m^3 이지만, 미국산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)은 8 시간가중평균농도로 0.2 mg/m^3 , 단시간노출기준으로 5.0 mg/m^3 를 권고하였고, 미국국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)은 8 시간가중평균농도 1.0 mg/m^3 , 단시간노출기준 3.0 mg/m^3 를, 미국정부산업위생전문가협의회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)는 8 시간가중평균농도 0.2 mg/m^3 를 권고하였다. 그 외 8 시간가중평균농도로

호주는 1.0 mg/m³, 독일은 0.3 mg/m³, 영국은 1.0 mg/m³을 제시하였다(ACGIH, 1994b).

망간에 의한 중추신경계 장애를 진단하기 위하여 위의 설문지조사, 신경생리검사, 방사선학적인 검사, 신경행동검사방법이 이용되고 있으나, 대부분 특수건강진단에 활용되는 것은 아니며 간편하게 활용할 수 있는 생물학적인 모니터링 항목으로 혈액 또는 요중 망간이 활용될 수 있지만, 아직까지 작업 환경 중 망간 농도나 신경학적인 장애와 혈액 및 요중 망간 농도간의 상관성에 관하여는 아직도 의견이 다양한 것으로 알려져 있다. 과거 대부분의 연구들(Horiuchi 등, 1970; Buchet 등, 1976; Tsalev 등, 1977; Roels 등, 1987)은 작업 환경 중 망간의 노출정도를 혈중 망간 농도가 반영하지 못한다고 보고하였다. 그러나 Horiuchi 등(1970), Smyth 등(1973), Chandra 등(1981)은 작업 환경 중 망간 농도와 요중 망간 농도사이에 유의한 상관관계가 있다고 하였고, Järvisalo 등(1992)은 개인에 따른 분석(individual basis)에서 두 인자간의 상관관계가 없고, 그룹별 분석(group basis)에서 요중 망간 농도가 대조군보다 유의하게 높았다고 보고하였다. 또 신경학적 증상(neurological symptom)과 관련하여 Horiuchi 등(1970)은 혈중 망간과 유의한 상관관계를 보였다고 보고한 반면, Jonderko 등(1971), Smyth 등(1973)은 유의한 상관관계가 없다고 하였다.

최근 우리 나라에서 CO₂ 아크용접공으로 10 년간 근무한 근로자가 CO₂ 용접시 발생된 망간흡으로 인해 망간중독으로 판정받은 후, 용접공 근로자의 망간 노출에 관한 관심이 높아지고 있다. 그러나 아직 우리 나라에서는 망간에 노출된 근로자 및 대조군의 혈액 및 요중 망간에 관한 연구가 적을 뿐 아니라, 지금까지 국내외에 보고된 망간의 농도범위에 있어서도 변이가 심한 것으로 알려져 있다(박정일 등, 1991; 김지용 등, 1994; 양정선, 1997). 망간은 인체내 미량으로 존재하여 분석시 오류를 범하면 정상인 및 노출 근로자에 대한 변화양상을 알 수가 없다.

그러므로 본 연구에서는 일정량의 망간을 첨가한 혈액 및 요의 내부표준시료를 제조하여 일별 및 실험자간의 분석오차를 최소화하여 정확도 및 정밀도를 향상시키고자 하였으며, 조선업, 금속관련 제조업, 자동차 부품 및 조립업 근로자들을 대상으로, 업종별

및 망간에 노출된 적이 없는 사무직 근로자와 비교하여 기중, 혈액 및 요중 망간에 폭로된 정도를 알고자 하였으며, 흡연유무 및 근무경력에 따라서도 비교하였다. 특히 WHO(1986a)에 근거한 혈중 망간농도의 정상범위에 대한 초과율이 어느 정도인지 비교 분석하여 우리나라 용접집에 노출된 용접 근로자의 망간에 대한 생물학적 감시농도가 적절한지 또한 노출정도는 문제점이 없는지 보고자 하였다.

연구대상 및 방법

1. 연구 대상

본 연구는 용접작업장에서 발생하는 망간 농도를 파악하기 위하여 18개 사업장을 선정하였으며, 용접작업에 종사하고 있는 근로자 341 명에 대하여 개인 시료 포집 방법을 이용하여 작업 환경 중 망간 농도를 측정하였다.

용접 근로자의 혈액 및 요중 망간 농도를 파악하기 위해 작업환경을 측정한 18개 사업장 중 5개 사업장과 자동차 제조업 사업장 1개를 포함한 총 6개 용접사업장에서 남자 근로자 447명을 대상으로 1997년 7월부터 1998년 4월까지 조사하였다. 대조군은 망간에 노출된 적이 없는 사무직 남자 근로자 127 명을 대상으로 하였다. 망간에 노출되고 있는 용접작업 근로자에 대해 나이, 흡연유무, 근무경력, 용접용 헬멧의 사용여부, 호흡보호구의 사용여부, 작업장의 환기상태 등을 조사하였고, 대조군에 대해서도 나이, 흡연유무 등을 조사하였다(Table 1).

용접 근로자의 평균연령은 43.6 세, 대조군은 35.9 세였고, 용접 근로자의 평균 근무경력은 14.7 년이었다. 용접작업 근로자의 흡연자, 비흡연자 및 무 응답자는 각각 267 명(59.7 %), 157 명(35.1 %), 23 명(5.1 %)였고, 대조군에서는 흡연자 및 비흡연자가 각각 75 명(59.1 %), 52 명(40.9 %)이었다.

작업습관에 관한 설문에서 대부분 용접작업 근로자의 작업장소는 옥내 318 명(71.1 %)였고, 옥외가 42 명(9.4 %), 옥내와 옥외를 오가면서 작업하는 근로자가 19 명(4.3 %), 설문에 응답하지 않은 근로자가 68 명(15.2 %)였다. 용접헬멧의 착용여부에 대한 조사에서는 헬멧을 손에 들고 작업하는 근로자가 111 명(24.8 %), 헬멧을 착용하고 작업하

Table 1. Characteristics of manganese exposed and control groups

Characteristics	Exposed group	Control group
No. of samples	447	127
Mean age(yrs)	43.6±10.7	35.9±11.3
Mean work duration(yrs)		
Response	14.7±8.7(n=411)	
No response	(n= 36)	
Smoking, persons(%)		
Yes	267(59.7)	75(59.1)
No	157(35.1)	52(40.9)
No response	23(5.1)	
Working site, persons(%)		
Indoor	318(71.1)	
Outdoor	42(9.4)	
Indoor+outdoor	19(4.3)	
No response	68(15.2)	
Helmet wearing habits, persons(%)		
Taking in hand	111(24.8)	
Wearing	197(44.1)	
No wearing	43(9.6)	
No response	96(21.5)	
Wearing respiratory protective mask, persons(%)		
Always	222(49.7)	
Sometimes	48(10.7)	
No use	62(13.9)	
No response	115(25.7)	

는 근로자가 197 명(44.1 %), 착용하지 않은 근로자는 43 명(9.6 %)였으며, 설문에 응답하지 않은 근로자가 96 명(21.5 %)이었다. 호흡보호구의 착용 여부에 대한 조사에서는 222 명(49.7 %)이 호흡보호구를 착용한다고 하였고, 가끔 착용한다고 응답한 근로자가 48 명(10.7 %), 전혀 착용하지 않는 근로자가 62 명(13.9 %), 응답하지 않은 근로자가 115 명(25.7 %)이었다.

본 연구에서 χ^2 검정결과 흡연과 비흡연군간에 유의한 차가 없었으며, t-test 결과 연령은 유의한 차를 보였으나 연령과 혈중 망간농도간의 유의한 상관성을 발견하지 못하였으므로 근로자의 혈중 및 요중 망간농도에 연령이나 흡연에 의한 혼동오차(confounding bias)는 없는 것으로 평가하였다.

2. 시료 포집 및 분석

용접이 행해지고 있는 사업장 근로자의 호흡기 위치에 개인용 시료 포집기(MSA, Gillian, U.S.A.)

를 장착하여 유속 약 2 l/min으로 포집하였다. 측정 전·후에 비누거품을 이용하여 유량 보정을 실시하였고, 시료 포집에 사용된 여과지는 37-mm mixed cellulose ester membrane filter(pore size=0.8 μ m)였다.

분석은 NIOSH 7300 방법에 따라 전처리하였으며, 기중 망간분석은 불꽃 원자흡광광도계(flame atomic absorption spectrometry, Varian 30A, Australia)를 이용하였다. 혈액 및 요중 망간 분석을 위해 채취된 혈액 및 요시료는 분석전까지 냉동 보관한 후 분석하였으며, 표준물 첨가법을 이용하여 검량선을 작성한 후 비불꽃 원자흡광광도계(flameless atomic absorption spectrometry, Z-8100, Hitachi, Japan)로 분석하였다. 분석시 바탕 보정은 Zeeman을 이용하였다. 전혈 상태로 채취된 혈중 망간에 대한 분석은 매질 개선제(matrix modifier)로 1.25 % $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 를 사용하였으며, 1 % Triton X-100으로 10배 희석한

후 10 μ 를 흑연로에 주입하였다. 흑연로에서의 온도조건은 건조단계 60-120 $^{\circ}$ C (70 초), 회화단계 500-900 $^{\circ}$ C (35 초), 원자화단계 2500 $^{\circ}$ C (5 초)였다. 요중 망간 분석은 매질개선제로 0.025 % $Mg(NO_3)_2$ 를 사용하였고, 1 % Triton X-100으로 2.5배 희석하여 흑연로에 10 μ 주입하였다. 흑연로에서의 온도조건은 건조단계 60-140 $^{\circ}$ C (70 초), 회화단계 500-1400 $^{\circ}$ C (35 초), 원자화단계 2500 $^{\circ}$ C (5 초)였다. 요중 망간분석은 일시 요를 사용하였으며, 요 비중값과 요중 크레아티닌농도를 이용하여 보정하였다.

3. 통계 분석

자료 분석은 마이크로소프트 엑셀 97과 SAS (version 6.12) 통계프로그램을 이용하였고, 작업 환경 중 망간 농도, 혈액 및 요중 망간 농도의 대표 값과 산포도는 Shapiro-wilk test 후 기하평균 및 기하표준편차로 나타났다. 분석농도가 검출한계 이하인 경우는 검출한계농도를 대입하였다. 용접작업장의 업종별, 흡연 유무별, 근무경력에 따른 혈액 및 요중 망간 농도의 차이 등 변수에 따른 농도의 유의성 검정은 χ^2 검정, t-test 및 ANOVA를 실행하였다. ANOVA 실행에 따른 다중비교는 SNK

(Student-Newman-Kuels test)를 이용하였다. 혈중 망간농도와 기중 망간농도, 근무경력 및 누적 노출지수(cumulative exposure index, CEI= work duration(months) \times airborne manganese concentration(mg/m^3))와의 상관관계를 알아보기 위하여 회귀분석을 실시하였다.

연구결과

1. 혈액 및 요중 망간 분석에 대한 검출한계 및 정확도

혈액 및 요중 망간의 검출한계 산출은 아래 식에 의하여 (Benett와 Rothery, 1983) 흡광도 값을 계산하여 이에 해당하는 농도를 검출한계로 정하였다.

$$Abs = 2 \times SD$$

(Abs : absorbance, SD: blank 6회 측정시 표준편차)

본 연구에서 혈액 및 요중 망간의 검출한계는 각각 0.11 $\mu g/100ml$, 0.14 $\mu g/l$ 로 나타났다.

또 근로자들의 혈액 및 요중 망간 분석시마다 시험관 내 (*in vitro*)에서 제작된 시료를 망간에 노출

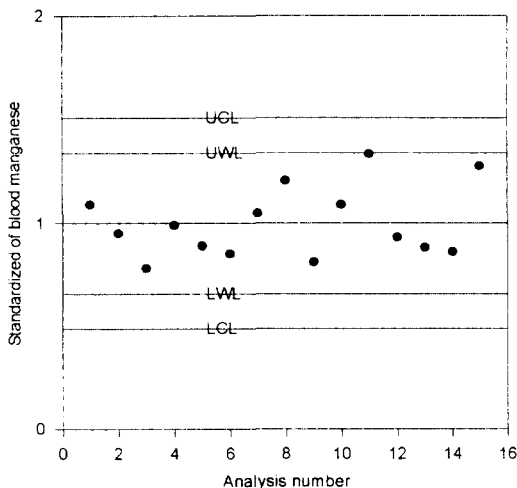


Fig. 1. Result of internal quality control in blood manganese. UCL: upper control limit, LCL: lower control limit, UWL: upper warning limit, LWL: lower warning limit

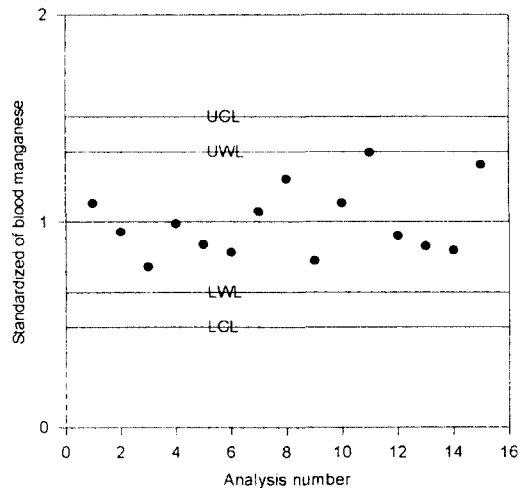


Fig. 2. Result of internal quality control in urinary manganese. UCL: upper control limit, LCL: lower control limit, UWL: upper warning limit, LWL: lower warning limit

Table 2. Concentrations of airborne manganese and number of above KPEL and TLV

Type of industry	N	Concentrations of airborne Mn(mg/m ³)			No. of above KPEL' (%)	No. of above TLV' (%)
		GM ¹⁾	GSD ²⁾	Range		
Automobile assembly & manufacturing	94	0.017	3.644	0.005-0.472	0(0.0)	5(5.3)
Steel heavy industry	148	0.084	6.781	0.005-4.173	21(14.2)	47(31.8)
Shipyard	99	0.180	6.303	0.005-6.847	19(19.2)	51(51.5)
Total	341	0.067***	7.112	0.005-6.847	40(11.7)	103(30.2)

¹⁾ KPEL: Korean permissible exposure level(1.0 mg/m³) (the Ministry of Labor, 1998)

²⁾ TLV: threshold limit value(0.2 mg/m³) (ACGIH, 1996)

¹⁾ GM: geometric mean ²⁾ GSD: geometric standard deviation(unitless)

*** P<0.001

된 근로자의 혈액 및 요 시료와 같이 분석하여 본 실험실의 내부정도관리에 활용하여 정확도를 향상시켰으며, 그 결과는 Fig. 1, 2와 같다. 본 연구를 위해 매회 분석시마다 측정된 시료는 표준편차의 ± 2 배인 경고한계(upper or lower warning limit)내의 안정된 결과를 보였다. 또한 외부정도관리를 위해 1년에 2회 시행되는 한국산업안전공단 산업보건 연구원의 특수건강진단기관의 분석정도관리(선택항목)에 참여하여 혈중 망간에 대한 정확성을 유지하도록 하였다.

2. 업종별 용접 작업장의 망간 농도

18개 용접사업장에서 측정된 341개 시료의 작업 환경 중 망간 농도는 기하평균농도가 0.067 mg/m³였고, 그 중 자동차 부품 조립 및 제조업에서 0.017 mg/m³, 금속관련 제조업에서 0.084 mg/m³, 조선업에서 0.180 mg/m³로(Table 2) 업종간에 유의한 차이를 보였으며(P<0.001), 다중비교결과 발생하는 농도는 조선업이 가장 높았고, 금속관련 제조업, 자동차 부품 조립 및 제조업 순이었다.

우리 나라의 작업 환경 중 망간흡 노출 기준은 1.0 mg/m³이며(노동부, 1998), 이 농도를 초과하는 시료는 금속관련 제조업이 148개 시료 중 21개(14.2%), 조선업은 99개 시료 중 19개(19.2%)로, 전체 341개 중 40개(11.7%)였다. 자동차 부품 조립 및 제조업은 1 mg/m³을 초과하는 시료가 없었다. 반면 ACGIH(1996) TLV 0.2 mg/m³을 초과하는 시료는 자동차 부품조립 및 제조업 5개(5.3

%), 금속관련 제조업 47개(31.8%), 조선업 51개(51.5%)로 우리 나라 노출기준보다 초과된 시료수가 약 2 배 이상 현저히 증가된 것을 알 수 있었다.

3. 업종별 용접 근로자와 대조군의 혈액 및 요중 망간 농도

총 용접 근로자 447 명과 대조군 127 명의 혈액 및 요중 망간 농도는 Table 3과 같았다. 망간에 노출된 용접 근로자의 혈중 망간 농도는 1.26 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 였으며, 요중 망간 농도는 요 비중으로 보정한 농도는 0.84 $\mu\text{g}/\text{l}$, 요중 크레아티닌으로 보정한 농도는 0.35 $\mu\text{g}/\text{g creatinine}$ 이었다. 반면 대조군의 혈중 망간 농도는 0.73 $\mu\text{g}/100\text{ml}$, 요중 망간 농도는 요비중과 요중 크레아티닌 보정 결과 각각 0.69 $\mu\text{g}/\text{l}$, 0.28 $\mu\text{g}/\text{g creatinine}$ 이었다. 혈중 망간 농도는 망간에 노출된 용접작업 근로자와 대조군간에 유의한 차이를 보였으며(P<0.001), 요 비중으로 보정한 경우는 유의한 차이가 관찰되지 않았으나, 크레아티닌으로 보정한 요중 망간 농도도 용접 근로자와 대조군간에 유의한 농도 차이를 보였다(P<0.05).

업종별 용접 근로자의 혈액 및 요중 망간 농도는 자동차 부품 조립 및 제조업 근로자의 혈중 망간 농도와 요중 비중 보정 및 크레아티닌 보정 망간 농도가 각각 1.24 $\mu\text{g}/100\text{ml}$, 0.80 $\mu\text{g}/\text{l}$, 0.34 $\mu\text{g}/\text{g creatinine}$ 였고, 금속관련 제조업 근로자는 각각 1.11 $\mu\text{g}/100\text{ml}$, 1.14 $\mu\text{g}/\text{l}$, 0.43 $\mu\text{g}/\text{g creatinine}$, 조선업 근로자는 각각 1.70 $\mu\text{g}/100\text{ml}$, 0.99 $\mu\text{g}/\text{l}$, 0.48 $\mu\text{g}/\text{g creatinine}$ 으로, 업종별 혈중 망

Table 3. Concentrations of blood and urinary manganese in control and exposure groups by type of industry

Groups	Type of industry	N	Mn in blood ($\mu\text{g}/100\text{ml}$)			Mn in urine($\mu\text{g}/\text{l}$) adjusted to a sp. gr. ¹⁾			Mn in urine ($\mu\text{g}/\text{g}$ creatinine)		
			GM	GSD	Range	GM	GSD	Range	GM	GSD	Range
	Automobile assembly & manufacturing	373	1.24	1.56	0.28-5.26	0.80	2.49	0.13-51.36	0.34	2.66	0.03-20.06
Exposure	Steel heavy industry	39	1.11	1.72	0.31-2.97	1.14	2.75	0.15-15.77	0.43	3.16	0.02-7.76
	Shipyard	35	1.70	1.45	0.83-4.33	0.99	2.16	0.15-5.45	0.48	2.55	0.08-3.98
	Total	447	1.26	1.58	0.28-5.26	0.84	2.50	0.13-51.36	0.35	2.71	0.02-20.06
Control		127	0.73	1.59	0.11-2.14	0.69	2.21	0.06-5.74	0.28	2.55	0.02-5.66
F value of among types of industries			9.51***			3.27			3.01		
F value of between exposure and control group			142.11***			4.83			6.05*		

1) sp. gr.: specific gravity

* $P < 0.05$, *** $P < 0.001$

Table 4. Blood and urinary manganese concentrations of the subjects by smoking habit

Groups	Smoking habits	N	Mn in blood ($\mu\text{g}/100\text{ml}$)			Mn in urine($\mu\text{g}/\text{l}$) adjusted to a sp. gr. ¹⁾			Mn in urine ($\mu\text{g}/\text{g}$ creatinine)		
			GM	GSD	Range	GM	GSD	Range	GM	GSD	Range
Exposure	Smoking	267	1.23	1.60	0.28-4.33	0.80	2.39	0.13-51.36	0.32	2.59	0.02-20.06
	Nonsmoking	157	1.30	1.50	0.41-5.26	0.94	2.75	0.13-15.77	0.42	2.95	0.03-7.76
	F value		1.56			3.16			7.32**		
Contr	Smoking	75	0.70	1.66	0.11-2.02	0.68	2.09	0.10-5.74	0.27	2.37	0.04-5.66
	Nonsmoking	52	0.77	1.46	0.40-2.14	0.70	2.38	0.06-4.59	0.29	2.82	0.02-3.25
	F value		1.22			0.02			0.37		

1) sp. gr.: specific gravity

** $P < 0.01$

간 농도는 유의한 차이를 보였으며($P < 0.001$), 다중 비교결과 조선업의 혈중 망간농도가 유의하게 높았다. 그러나 요중 망간 농도는 유의한 차이가 없었다($P > 0.05$).

4. 근로자의 흡연유무와 근무경력이 혈액 및 요중 망간 농도에 미치는 영향

망간흡에 노출된 용접 근로자 및 대조군의 흡연유무에 따른 혈액 및 요중 망간 농도에 대한 차이를 살펴본 결과(Table 4) 망간흡에 노출된 근로자의 혈중 망간 농도는 흡연자와 비흡연자가 각각 1.23

$\mu\text{g}/100\text{ml}$, 1.30 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 로 유의한 차이가 없었으며($P > 0.05$), 비중 보정한 요중 망간 농도도 각각 0.80 $\mu\text{g}/\text{l}$, 0.94 $\mu\text{g}/\text{l}$ 로 흡연 유무간 유의한 차이가 없었다($P > 0.05$). 그러나 요중 크레아티닌에 의해 보정한 요중 망간 농도는 각각 0.32 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinine, 0.42 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinine으로 망간에 노출된 근로자에서 흡연자와 비흡연자간에 유의한 차이를 보였다($P < 0.01$).

대조군에서 혈중 망간 농도는 흡연자와 비흡연자가 각각 0.70 $\mu\text{g}/100\text{ml}$, 0.77 $\mu\text{g}/100\text{ml}$, 비중 보정한 요중 망간 농도가 0.68 $\mu\text{g}/\text{l}$, 0.70 $\mu\text{g}/\text{l}$, 요중

Table 5. Concentrations of blood manganese concentration by work duration in exposed workers

Work duration (yrs)	N	Mn in blood ($\mu\text{g}/100\text{ml}$)			Multiple comparison	Mn in urine ($\mu\text{g}/\text{l}$) adjusted to a sp. gr. ¹⁾			Mn in urine ($\mu\text{g}/\text{g}$ creatinine)		
		GM	GSD	Range		GM	GSD	Range	GM	GSD	Range
<10	122	1.05	1.70	0.28-4.33	B F=	1.01	2.21	0.15-15.77	0.39	2.58	0.02-7.76
10 \leq - <20	176	1.35	1.52	0.31-5.26	A 13.59***	0.78	2.55	0.13-10.69	0.34	2.72	0.03-4.45
20 \leq	113	1.33	1.41	0.50-3.47	A	0.82	2.86	0.03-51.36	0.35	2.86	0.03-20.06

1) sp. gr.: specific gravity

*** P<0.001

Table 6. Samples of above 1.0 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ and 2.0 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ in blood manganese concentration

Groups	Work duration (yrs.)	N	No. of above 1.0 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ ¹⁾ of blood Mn (%)	No. of above 2.0 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ ²⁾ of blood Mn (%)
Exposure	<10	122	65(53.3)	13(9.8)
	10 \leq - <20	176	134(76.1)	34(14.8)
	20 \leq	113	101(89.4)	11(4.4)
	Sub total	411	300(73.0)	58(10.5)
Control		127	29(22.8)	2(1.6)

1) 1.0 $\mu\text{g}/100\text{ml}$: Lauwerys & Hoet(1993)2) 2.0 $\mu\text{g}/100\text{ml}$: WHO(1986a)

크레아티닌에 의해 보정한 망간 농도가 0.27 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinine, 0.29 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinine으로 모든 항목에서 흡연자와 비흡연자간에 유의한 차이가 없었다 (P>0.05).

망간흡에 노출되고 있는 용접 근로자의 근무경력 과 혈액 및 요중 망간 농도간의 관계를 알아보기 위하여 총 447 명의 근로자 중 근무경력에 응답한 411 명을 대상으로 10 년 미만, 10 년 이상-20 년 미만, 20 년 이상의 3 군으로 나누어 농도를 비교하였다(Table 5). 혈중 망간농도는 10 년 이상 근무한 근로자가 10 년 미만의 근로자보다 유의하게 높았다(P<0.001). 그러나 요중 망간 농도는 요비중에 의한 보정 및 요중 크레아티닌에 의한 보정결과 모두에서 세 경력군간에 유의한 차이를 보이지 않았다 (P>0.05).

혈중 망간 농도의 정상치로 WHO(1986a)는 2 $\mu\text{g}/100\text{ml}$, Lauwerys와 Hoet(1993)은 1 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 를 권고하였는데, 이 기준을 근거로 근무경력에 따른 세 군의 혈중 망간 농도가 초과되는 근로자수를 살펴본 결과(Table 6) 1 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 을 초과하는 근로자

는 근무경력이 10 년 미만, 10 년 이상 20 년 미만, 20 년 이상에서 각각 65 명(53.3 %), 134 명(76.1 %), 101 명(89.4 %)으로 근무 경력에 따라 1.0 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 을 초과하는 근로자수가 증가하는 경향을 보였으며, 총 300 명(73.0 %)이 초과하였다. 2 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 를 초과하는 근로자수는 각각 13 명(9.8 %), 34 명(14.8 %), 11 명(4.4 %)로 총 58 명(10.5 %)이 초과하였다. 대조군에서 1.0 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 를 초과하는 근로자는 29 명(22.8 %), 2 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 를 초과하는 근로자수는 2 명(1.6 %)으로 망간에 노출된 군에 비해 적었다. 그러나 우리 나라 혈중 망간의 선별한계인 10 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 를 초과하는 근로자는 한명도 없었다.

5. 작업 환경 중 망간 농도와 근로자의 혈액 및 요중 망간 농도와의 관계

본 연구에서 작업 환경 중 망간 농도와 혈액 및 요중 망간 농도를 동시에 측정할 수 있었던 근로자는 총 64 명이였다(Table 7). 64 명에 대하여 작업 환경 중 망간 농도와 혈중 망간 농도간의 상관관계

Table 7. The regression equations of airborne, urinary manganese to blood manganese and airborne manganese to urinary manganese(n=64)

Dependent variable(Y)	Independent variable(X)	Y=b*X+A	Correlation coefficient(r)
Log(MnB ^A)	Log(MnA ^C)	Y= 0.082X+0.285	0.318*
Log(MnB)	Log(MnU) [†]	Y=-0.084X+0.024	-0.139
Log(MnU ^B)	Log(MnA)	Y= 0.016X-0.888	0.038

* P<0.05

A: MnB: manganese in blood, B: MnU: manganese in urine, C: MnA: manganese in air

† Urinary manganese concentration adjusted to a urinary creatinine

Table 8. The regression equations of cumulative exposure index(CEI) and work duration to blood manganese

Dependent variable(Y)	Independent variable(X)	N	Y=b*X+A	Correlation coefficient(r)
Log(MnB ^A)	Log(CEI)	64	Y=0.075X-0.058	0.354**
Log(MnB)	WD [†]	538	Y=0.002X-0.150	0.425***

** P<0.01

*** P<0.001

A: MnB: manganese in blood

† WD work duration

를 살펴 본 결과 $\text{Log(MnB)}=0.082 \times \text{Log(MnA)}+0.285$ ($r=0.318$, $P<0.05$)로 유의한 상관관계를 보였다. 요중 망간 농도는 작업 환경 중 망간 농도나 혈중 망간 농도와 유의한 상관관계를 보이지 않았다 ($P>0.05$).

6. 혈중 망간농도와 근무경력 및 누적노출지수(cumulative exposure index)간의 관계

혈중 망간농도는 근무경력과 누적노출지수와 유의한 상관이 있었으며, 그에 따른 회귀 방정식은 혈중 망간과 근무경력간 $\text{Log(MnB)}=0.002 \times \text{WD}-0.150$ ($r=0.425$, $P<0.001$)였고, 혈중 망간과 누적노출지수간 $\text{Log(MnB)}=0.075 \times \text{Log(CEI)}-0.058$ ($r=0.354$, $P<0.01$)를 보였다(Table 8).

고 찰

망간은 일반 환경 중에도 존재하여 자연적으로도 노출되는데, 음용수 중에는 5-25 $\mu\text{g/l}$, 토양에는 550-900 mg/kg 정도 함유되어 있다. 일반인에게 망간은 주로 음식물로 섭취되며 그 양은 하루 2 μg 이하이다(WHO, 1981). 직업적으로 노출되는 망간의

80-90 % 정도는 제철 및 제련에서 환원제, 강도·경도 강화제 등의 용도로 사용되고, 그 외 건전지 제조, 비료, 동물 사료, 세라믹, 용접봉의 피복제 등에 사용된다. 또 유기망간화합물은 내연기관의 연소 향상제, 노킹 방지제로 사용된다.

최근 CO₂ 아크용접공으로 10년간 근무한 근로자가 CO₂ 용접흡 중 망간 흡입에 의한 중독으로 직업병 판정을 받은 후 용접공 근로자의 망간노출에 관한 관심이 높아지고 있다. 일반적으로 용접봉과 모재에 망간이 함유되어 있기 때문에 용접 근로자는 망간에 노출될 가능성이 많다.

망간 노출에 따른 망간 흡입은 단기간의 생물학적 반감기(short biological half-life)를 가지고 있는데 이는 인체의 망간 흡입량과 축적량에 의존한다. 망간 배설은 두 단계로 이루어지며, 빠른 속도(rapid phase) 반감기는 약 4일 정도이고, 늦은 속도(slow excretion) 반감기는 약 39일 정도인 것으로 알려져 있다(Tslev와 Zaprianov, 1983). 그러나 망간에 대한 연구보고는 많지 않으며, 정상인 및 직업적으로 망간에 노출된 근로자들의 개인차가 심하다.

또한 혈액 및 요중 망간분석은 현재 비불꽃 원자

흡광광도계를 이용하여 분석하고 있는데, $\mu\text{g}/\text{l}$ 단위의 미량 농도분석이기 때문에 같은 시료일지라도 일별 차이가 있을 뿐 아니라 실험자간의 분석오차가 존재하게 된다. 그러므로 본 연구에서는 일정량의 망간을 첨가한 혈액 및 요 내부표준시료를 제조하여 일별 및 실험자간의 분석오차를 최소화함으로써 정밀도를 향상하고자 하였으며, 망간흡에 노출된 447명의 용접 근로자 혈액 및 요중 망간 농도를 직업적으로 망간에 노출되지 않은 127명의 사무직 근로자와 비교하였으며, 업종별, 흡연유무, 근무경력 등에 어떤 영향이 있는지 고려하였다. 또한 망간에 노출된 근로자의 기중 망간 농도와 혈액 및 요중 망간 농도의 상관관계를 보고자 하였다.

혈액 및 요중 망간 분석은 생체내 다른 금속과 마찬가지로 비불꽃 원자흡광광도계에서 분석시 여러 가지 방해작용이 일어나므로 이를 최소화하기 위한 다양한 방법을 사용하였다. 본 연구에서는 생체시료의 바탕보정에 적당하다고 알려진 polarized zeman에 의한 바탕보정을 사용하였고, 화학적 방해작용의 최소화를 위해 매질개선제(matrix modifier)를 사용하였다. 매질개선제로 혈중 망간분석시 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, 요중 망간분석시 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 를 사용하였으며, 매 시료분석시마다 시험관내(in vitro)에서 제조된 혈액 및 요중 망간 시료를 이용하여 본 연구를 위한 내부정도관리에 활용하였다.

망간 취급사업장에 대한 외국 연구보고에 의하면 Johnson과 Melius(1980)는 $0.004\text{--}0.19\text{ mg}/\text{m}^3$ 로 낮은 농도를 보였고, Roels 등(1987)은 $0.07\text{--}8.61\text{ mg}/\text{m}^3$, Roels 등(1992)은 $0.046\text{--}10.84\text{ mg}/\text{m}^3$, Matczak과 Chmielnicka(1993)은 스텐레스 스틸 용접에서 기중 망간 농도가 $0.13\text{ mg}/\text{m}^3$, Richard(1994)는 기중 망간 농도가 철 구조물 용접시 $0.73\text{ mg}/\text{m}^3$, 철도 용접시 $0.32\text{ mg}/\text{m}^3$ 의 망간흡이 발생된다고 하여 본 연구의 기하 평균농도 $0.067\text{ mg}/\text{m}^3$ 와 비슷한 결과를 보였다. 국내보고에서는 이권섭과 백남원(1994)은 자동차 차체 생산공장 용접 근로자의 망간 농도가 $0.085\text{ mg}/\text{m}^3$, 변상훈 등(1995)은 선박 건조업 $3.39\text{--}30.71\text{ mg}/\text{m}^3$, 선박수리업 $2.05\text{--}8.11\text{ mg}/\text{m}^3$, 콘테이너 제조업 $1.42\text{--}5.12\text{ mg}/\text{m}^3$, 자동차 부품제조업 $1.50\text{--}2.55\text{ mg}/\text{m}^3$, 신용철 등(1997)은 조선업 $1.1\text{ mg}/\text{m}^3$, 금속관련 제조업 $0.99\text{ mg}/\text{m}^3$, 자동차 제조업 $0.12\text{ mg}/\text{m}^3$ 였으며, 광영순과 백남원

(1997)은 조선업의 기중 망간 농도가 밀폐공간 $0.05\text{--}10.1\text{ mg}/\text{m}^3$, 개방된 공간 $0.001\text{--}4.2\text{ mg}/\text{m}^3$ 를 보고하여 본 연구 결과보다 높은 결과를 나타냈다. 이는 국내에서 이루어진 대부분의 용접관련 연구가 한국산업안전공단을 중심으로 수행되어 용접으로 인한 작업환경 농도가 높았던 사업장에서 이루어졌기 때문이 아닌가 생각된다.

우리나라의 작업 환경 중 망간흡 노출농도는 $1\text{ mg}/\text{m}^3$ 이며(노동부, 1998), 이 농도를 초과하는 시료는 금속관련 제조업이 14.2% , 조선업 19.2% 로 노출기준을 초과하는 시료는 11.7% 였다. 자동차 부품 조립 및 제조업은 기중 망간 농도가 낮아 노출기준을 초과하는 시료가 없었다. 반면 ACGIH(1996)의 TLV $0.2\text{ mg}/\text{m}^3$ 를 초과하는 시료는 자동차 부품 조립 및 제조업 5.3% , 금속관련 제조업 31.8% , 조선업 51.5% 로 우리 나라 노출농도를 기준으로 했을 때보다 초과된 시료수가 약 2배 이상 많았다. 용접공의 망간 노출농도는 조선업과 금속관련 제조업 근로자가 많이 노출되고 있는 것으로 보이며, 자동차 부품조립 및 제조업의 용접 근로자는 망간 노출농도가 상대적으로 낮았다.

Roels 등(1987)은 기중 망간 농도 $0.07\text{--}8.61\text{ mg}/\text{m}^3$ 에서 혈액 및 요중 망간 농도가 각각 $0.10\text{--}3.59\text{ }\mu\text{g}/100\text{ml}$, $0.06\text{--}140.6\text{ }\mu\text{g}/\text{g creatinine}$, 양정선(1997)은 기중 망간 농도 $0.36\text{ mg}/\text{m}^3$ 에서 각각 $1.37\text{ }\mu\text{g}/100\text{ml}$, $0.78\text{ }\mu\text{g}/\text{g creatinine}$ 로 본 연구와 비슷한 결과를 보였으나, Elias 등(1989)은 용접공의 요중 망간 농도가 $3.00\text{--}5.23\text{ }\mu\text{g}/\text{g creatinine}$, 박정일 등(1991)은 기중 망간 농도가 $0.3\text{--}3.3\text{ mg}/\text{m}^3$ 일 때 각각 $3.1\text{--}9.9\text{ }\mu\text{g}/100\text{ml}$, $0.5\text{--}110.0\text{ }\mu\text{g}/\text{l}$, Roels 등(1992)은 기중 망간 농도가 $0.046\text{--}10.84\text{ mg}/\text{m}^3$ 일 때 각각 $0.81\text{ }\mu\text{g}/100\text{ml}$, $0.84\text{ }\mu\text{g}/\text{g creatinine}$, Chia 등(1993)은 근로자의 평균근무경력이 7.4년일 때 각각 $2.53\text{ }\mu\text{g}/100\text{ml}$ ($1.5\text{--}9.25\text{ }\mu\text{g}/100\text{ml}$), $6.1\text{ }\mu\text{g}/\text{l}$ ($7.7\text{--}17.9\text{ }\mu\text{g}/\text{l}$), 김지용 등(1994)은 $0.60\text{ mg}/\text{m}^3$ 의 기중 망간 농도에서 각각 $3.16\text{ }\mu\text{g}/100\text{ml}$, $6.92\text{ }\mu\text{g}/\text{l}$, Lucchini 등(1995)은 기중 망간 농도 $0.009\text{--}0.65\text{ mg}/\text{m}^3$ 에서 각각 $0.4\text{--}1.8\text{ }\mu\text{g}/100\text{ml}$, $0.7\text{--}7.0\text{ }\mu\text{g}/\text{l}$ 였고, 본 연구에서는 자동차 부품조립 및 제조업의 기중 농도 $0.017\text{ mg}/\text{m}^3$ 에서 혈액 및 요중 망간농도가 각각 $1.24\text{ }\mu\text{g}/100\text{ml}$, $0.80\text{ }\mu\text{g}/\text{l}$, $0.34\text{ }\mu\text{g}/\text{g creatinine}$ 을 나타냈으

며, 금속관련 제조업에서 기중 0.084 mg/m³일 때 1.11 $\mu\text{g}/100\text{ml}$, 1.14 $\mu\text{g}/\text{l}$, 0.43 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinine, 조선업에서 0.180 mg/m³시 1.70 $\mu\text{g}/100\text{ml}$, 0.99 $\mu\text{g}/\text{l}$, 0.48 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinine을 나타내, 조선업 근로자의 혈중 망간농도가 다른 업종보다 유의하게 높았다.

반면 망간에 직업적으로 노출된 적이 없는 대조군에 대한 혈중 망간 농도는 0.73 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ (0.07-2.14 $\mu\text{g}/100\text{ml}$)으로 Roels 등(1987)의 0.01-1.31 $\mu\text{g}/100\text{ml}$, Minoia 등(1990)의 0.71-1.05 $\mu\text{g}/100\text{ml}$, Roels 등(1992)의 0.68 $\mu\text{g}/100\text{ml}$, 양정선(1997)의 0.80 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 와 비슷한 결과를 보였으며, Järvisalo 등(1992)의 1.04 $\mu\text{g}/100\text{ml}$, Chia 등(1993)의 2.33 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ (1.73-3.01 $\mu\text{g}/100\text{ml}$), 김지용 등(1994)의 1.56 $\mu\text{g}/100\text{ml}$, Lucchini 등(1995)의 0.4-1.8 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 는 본 연구보다 높았다. 대조군의 요중 망간 농도는 요비중과 요중 크레아티닌 보정결과 각각 0.06-5.74 $\mu\text{g}/\text{l}$, 0.02-5.66 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinine이었다. 한편 Roels 등(1987)은 0.01-5.04 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinine, Järvisalo 등(1992)은 0.31 $\mu\text{g}/\text{l}$, Roels 등(1992)은 0.09 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinine, 양정선(1997)은 0.15 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinine을 보고하여 본 연구와 비슷한 결과를 보였으며, Elias 등(1989)은 2.50 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinine, Minoia 등(1990)은 0.12-1.90 $\mu\text{g}/\text{l}$, Chia 등(1993)은 0.7-9.6 $\mu\text{g}/\text{l}$, 김지용 등(1994)은 1.75 $\mu\text{g}/\text{l}$, Lucchini 등(1995)은 0.7-7.0 $\mu\text{g}/\text{l}$ 로 본 연구 결과보다 높았다. 이는 과거에 비해 현재 정상인의 혈중 및 요중 망간농도가 감소되었다고도 예측할 수 있지만, 그보다는 최근 발달된 분석기구나 분석기법에 기인된 결과로 생각되어진다.

근로자의 흡연이 혈액 및 요중 망간 농도에 영향을 미치는지 알아보기 위해, 흡연자와 비흡연자간의 망간농도를 비교하였다. 본 연구의 조사대상에서 흡연자는 용접 근로자와 대조군이 각각 59.7%, 59.1%, 비흡연자는 각각 35.1%, 40.9%였다. 용접 근로자나 대조군 그룹 모두에서 흡연 유무간에 유의한 차이는 없는 것으로 나타났다. 요중 크레아티닌으로 보정한 요중 망간 농도는 유의한 차이를 보였으나, 이는 분석시 방해물질로 작용하는 칼륨(potassium)이나 나트륨(sodium)이 많이 함유된 요의 고유 성질 및 미량농도의 망간 분석에서 오는

결과로 생각된다.

혈액 및 요중 망간 농도에 관한 연구에서 많은 연구자들은 근로자에게 노출되는 기중 망간 농도와 혈액 및 요중 망간 농도와 상관계수에 대해 관심을 보였다. Tanaka와 Lieben(1969), Horiuchi 등(1970), Smyth 등(1973)은 요중 망간 농도가 최근의 망간노출을 반영한다고 하였고, 우리나라에서도 박정일 등(1991), 김지용 등(1994)은 요중 망간 농도가 근로자의 망간노출을 잘 반영한다고 하였으나, Smyth 등(1973)은 혈중 망간과 작업 환경 중 망간사이에 유의한 상관계수가 없다고 보고하였다. 또 Roels 등(1987, 1992)은 그룹별 기중 망간노출 농도와 요중 망간 농도간에 상관($r=0.83$)이 있다고 하였다.

그러나 양정선(1997)은 기중 망간 농도를 반영할 수 있는 인자는 혈액 및 요중 모두 가능하나 분석상의 문제점이나 시료채취상의 오염문제 등을 이유로 혈중 망간 농도가 망간노출에 대한 설명에 적당하다고 보고하였다. 본 연구에서는 64 명에 대하여 작업 환경 중 망간 농도와 혈중 망간 농도간의 유의한 상관계수($r=0.3183$)를 보였다. 그러나 요중 망간 농도는 작업 환경 중 망간 농도나 혈중 망간 농도와 유의한 상관이 없었다.

용접 근로자의 평균 근무경력 14.7 년으로 다른 업종에 비해 근무경력이 오래된 편으로 근무 경력을 10 년 미만, 10 년-20 년, 20 년 이상으로 나눌 때 10 년 이상 근로자의 혈중 망간농도가 10 년 미만의 근로자보다 약 30 %정도 높아 유의한 차를 보였으며, 혈중 망간농도와 근무경력간에 유의한 상관을 보였다. 근무경력이 10 년 이상인 군에서 혈중 망간 농도가 노출기간에 의한 영향을 받고 있는 것으로 보여진다. Tsalev 등(1977)은 근무경력에 따라 혈중 망간 농도가 증가된 증거를 발견하지 못했다고 보고하였으나, 반면 Jonderko 등(1971)은 4 년 이상 망간에 노출된 근로자의 경우 혈중 망간 농도가 증가한다고 하였다. 정상인에 대한 혈중 망간농도는 연구자마다 차이가 있지만, 대표적인 기준으로 WHO(1986a)는 2 $\mu\text{g}/100\text{ml}$, Lauwerys와 Hoet(1993)은 1 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 를 제안하였다. 본 연구에서 이 기준과 비교해 보면 근무경력에 따라 1.0 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 를 초과하는 근로자수가 53.3%, 76.1%, 89.4%로 근무경력에 따라 혈중 망간농도가 증

가하는 경향을 볼 수 있다.

Roels 등(1987, 1992)은 근무경력 및 기중 농도에 의한 CEI와 혈액 및 요중 망간 농도간에 유의한 상관관계가 없다고 하였으나, Lucchini 등(1995)은 상관계수가 각각 0.6, 0.4로 유의한 상관관계가 있다고 하였다. 본 연구에서는 혈중 망간 농도와 근무경력간에 유의한 상관($r=0.4249$)을 보였으며, CEI 간에도 유의한 상관($r=0.3542$)이 있었으나, 요중 망간 농도와는 유의한 상관이 없었다. 그러므로 혈중 망간 농도는 기중 농도와 유의한 상관성뿐 아니라 망간에 노출된 과거력도 어느 정도 반영한다고 보여진다.

요중 망간분석은 요중에 존재하는 칼륨과 나트륨 등이 방해작용을 일으켜 분석변이가 심하고, 시료 중 망간 농도가 혈액에 비해 낮기 때문에 분석이 까다로운 항목 중의 하나이다. 또한 기중 농도와 유의한 상관여부, 근무경력 및 CEI간의 상관여부로 보아 작업 환경 중 용접 근로자에게 노출된 망간 농도를 반영할 수 있는 생물학적인 인자는 요중 망간이 아닌 혈중 망간이 가능성이 있는 것으로 생각된다.

ACGIH(1996)는 작업 환경 중 망간흡의 TLV-TWA로 0.2 mg/m^3 를 권고하였는데, 이는 망간에 노출된 남자근로자의 폐나 중추신경계에서 잠복기의 잠재적 악영향(adverse effect)을 감소시키기 위한 목적으로 재설정되었으나, 우리나라의 노출기준은 과거 ACGIH(1994)의 TLV인 1 mg/m^3 을 그대로 적용하고 있는 실정이다. 또한 혈액 및 요중 망간 농도에 있어서 ACGIH는 기중 노출농도와 역학조사, 노출기간, 대사과정 등에 대한 상호관련성의 자료미비로 인해 생물학적인 노출인자로 정하고 있지 않지만, 혈중 망간의 선별농도로 Lauwerys와 Hoet(1993)는 $1.0 \text{ } \mu\text{g}/100\text{ml}$, WHO(1986a)는 $2.0 \text{ } \mu\text{g}/100\text{ml}$ 로, 요중 망간은 Watanabe 등(1978)과 Lauwerys와 Hoet(1993)은 $3.0 \text{ } \mu\text{g}/\text{l}$, WHO(1986a)는 $2 \text{ } \mu\text{g}/\text{l}$ 를 제시하고 있다. 우리나라는 선별한계로 혈중 망간 $10 \text{ } \mu\text{g}/100\text{ml}$, 요중 망간 $10 \text{ } \mu\text{g}/\text{l}$ 를 제시하고 있는 실정이다(노동부, 1994). 망간에 의한 의학적·임상학적 조건도 관련되어 생물학적 감시농도에 대한 참고치 및 선별 한계 농도가 정해져야겠지만, 본 연구 결과에서도 나타났듯이 망간 노출을 어느 정도 반영한다고 보여지므로 혈중 망간 농도를 측정하여 근로자의 건강영향을 예측할 수 있는 자료로 활용될 수 있다고 생각된다. 그러나

망간흡의 노출기준을 초과한 근로자수는 총 341 명 중 40 명(11.7 %)이었던 반면, 혈중 망간 농도가 $10 \text{ } \mu\text{g}/100\text{ml}$ 를 초과하는 근로자는 한명도 없었다. 이는 우리나라의 혈중 망간농도에 대한 선별기준이 너무 높게 설정되어 있지 않나 생각된다. 앞으로 이런 유해물질에 대한 노출기준이나 생물학적 감시지표를 설정하는데 있어 보다 신중을 기한다면, 세계적인 연구결과 등을 근거로 한 재검토 및 우리나라에서 발생한 망간중독 사례, 근로자들의 작업환경 상태, 임상적·역학적 조건에 관련된 보다 많은 연구 등이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

결 론

망간에 노출된 용접 근로자 447 명과 비폭로군인 사무직 근로자 127 명을 대상으로 비불꽃 원자흡광 광도계를 이용하여 혈액 및 요중 망간 농도를 측정하였으며, 근로자들의 업종별, 흡연유무별, 근무경력에 영향을 있는지 비교하였다. 또한 용접 근로자 64 명에 대하여 작업 환경 중 망간 노출농도와 혈액 및 요중 망간 농도간의 상관관계를 검토한 결과는 다음과 같다.

1. 혈액 및 요중 망간의 검출한계는 각각 $0.11 \text{ } \mu\text{g}/100\text{ml}$, $0.14 \text{ } \mu\text{g}/\text{l}$ 였으며, 시험관 내에서 제작된 혈액 및 요중 망간 시료를 근로자의 혈액 및 요 시료와 같이 분석한 결과 매회 분석시 측정된 표준편차는 ± 2 배인 경고한계내였다.
2. 용접작업장의 기중 망간 농도(0.067 mg/m^3)는 업종별로 자동차 부품 조립 및 제조업, 금속관련 제조업, 조선업이 각각 0.017 mg/m^3 , 0.084 mg/m^3 , 0.180 mg/m^3 로 유의한 차이가 있었으며, 우리나라 노출기준에 대한 초과율은 각각 0.0 %, 14.2 %, 19.2 %로 총 11.7 %였다.
3. 혈중 망간농도는 자동차 부품 조립 및 제조업, 금속관련 제조업 및 조선업이 각각 $1.24 \text{ } \mu\text{g}/100\text{ml}$, $1.11 \text{ } \mu\text{g}/100\text{ml}$, $1.70 \text{ } \mu\text{g}/100\text{ml}$ 로 업종별 유의한 차이가 있었고, 요중 망간은 각각 $0.34 \text{ } \mu\text{g}/\text{g creatinine}$, $0.43 \text{ } \mu\text{g}/\text{g creatinine}$, $0.48 \text{ } \mu\text{g}/\text{g creatinine}$ 으로 유의한 차이가 없었다. 대조군의 혈액 및 요중 망간은 각각 $0.73 \text{ } \mu\text{g}/100\text{ml}$, $0.28 \text{ } \mu\text{g}/\text{g creatinine}$ 으로 폭로군의 $1.26 \text{ } \mu\text{g}/100\text{ml}$, $0.35 \text{ } \mu\text{g}/\text{g}$

creatinine과 유의한 차이가 있었다.

4. 용접 근로자와 대조군에서 흡연유무에 따라 혈액 및 요중 망간 농도에 영향을 미치지 않았다.

5. 혈중 망간은 근무경력이 10-20 년군의 1.35 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 과 20 년 이상군의 1.33 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 이 10 년 미만의 1.05 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 보다 유의하게 높았다.

6. 혈중 망간농도는 기중 망간농도($r=0.3183$, $n=64$), 근무경력($r=0.4249$, $n=538$) 및 누적노출지수($r=0.3542$, $n=64$)와 유의한 상관이 있었다.

인용문헌

곽영순, 백남원. 모 조선소의 밀폐된 작업장에서의 공기중 용접흄 및 증금속 농도에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1997; 7(1): 107-126.

김지용, 임현술, 정해관, 백남원. 일부 망간취급 근로자의 망간폭로 및 건강위해에 관한 연구. 대한산업의학회지 1994; 6(1): 98-112.

노동부, 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준(고시 제 97-65호). 노동부, 1998.

노동부, 한국산업안전공단. 근로자건강진단실시기준. 교육자료 보건 95-3-6. 1994.

박정일, 노영만, 구정완, 이승한. 원광분쇄작업장에서의 망간폭로. 대한산업의학회지 1991; 3(1): 111-118.

변상훈, 박승현, 김창일, 박인정, 양정선, 오세민, 문영한. 일부 업종의 용접흄 분석 및 폭로농도에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1995; 5(2): 172-183.

신용철, 이광용, 박승현, 이나루, 정지연, 박정근, 박정근, 오세민, 문영한. 용접공정에서 발생된 공기중 흄의 조성 과 농도에 영향을 미치는 요인에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1997; 7(2): 181-195.

양정선. 망간 기중 폭로량과 혈액 및 요중 망간농도와의 관계. 심포지움자료, 센터 97-8-11. 한국산업안전공단 산업보건연구원, 1997: 53-65.

이경재, 이세훈, 김형아, 이원철, 장성실, 박정일, 정치경. 신경독성물질에 폭로되지 않은 제조업체 여성근로자의 신경행동검사 수행능력범위. 예방의학회지 1995; 28(4): 911-923.

이권섭, 백남원. 용접작업 형태별 공기중 용접흄 농도와 금속성분에 관한 조사연구. 한국산업위생학회 1994; 4(1): 71-80.

ACGIH. 1994 TLVs and BEIs. Cincinnati, ACGIH, 1994a.

ACGIH. Documentation of TLVs and BEIs. Cincinnati, ACGIH, 1994b.

ACGIH. 1996 TLVs and BEIs. Cincinnati, ACGIH, 1996.

Bennett PA, Rothery E. Introducing Atomic Absorption Analysis. Varian Publication. Mulgrave, 1983: 74.

Buchet JP, Lauwerys R, Roels H. Determination of manganese in blood and in urine by flameless atomic absorption spectrophotometry. Clin Chim Acta 1976; 736: 481-486.

Chandra SV, Seth PK, Mankeshwar JK. Manganese poisoning: Clinical and biochemical observations Environ Rep 1974; 7: 374-380.

Chandra SV, Shkla GS, Srivastava RS, Singh H, Gupta VP. An exploratory study of manganese exposure to welders. Clin Toxicol 1981; 18: 407-416.

Chia SE, Foo SC, Gan SL, Jeyaratnam J, Tian CS. Neurobehavioral functions among workers exposed to manganese ore. Scand J Work Environ Health 1993; 19(4): 264-270.

Elias Z, Mur J-M, Pierre F, Gilgenkrantz S, Schneider D, Baruthio F, Dani re M-C, Fontana J-M. Chromosome aberrations in peripheral blood lymphocytes of welders and characterization of their exposure by biological samples analysis. J Occup Med 1989; 31(5): 477-483.

Horiuchi K, Horiguchi S, Shinagawa K, Utsunomiya T, Tsuyama Y. On the significance of manganese contents in the whole blood and urine of manganese handlers. Osaka City Med J 1970; 16: 29-37.

Järvisalo J, Olkinuora M, Kiilunen H, Kivisto P, Ristola A, Tossavanen, Aitio A. Urinary and blood manganese in occupationally nonexposed populations and in manual metal arc welders of mild steel. Int Arch Occup Environ Health 1992; 63(7): 495-501.

Jonderko G, Kujawska A, Langauer-Lewowcka H. Problems of chronic manganese poisoning on the basis of investigations of workers at a manganese alloy foundry. Int Arch Arbeitsmed 1971; 28: 250-264.

Jonson P, Melius J. Health Hazard evaluation report No. HHE-79-88-768 at U.S. Steel Tubing Specialist Center, Gary Indiana. In: Hazard Evaluation and Field Studies. Cincinnati, NIOSH, 1980; 23.

Klawans H, Ilahi MM, Shenker D. Theoretical implications of the use of L-dopa in parkinsonism. Acta Neorol Scand 1970; 46: 409-411.

Lauwerys RR, Hoet P. Industrial Chemical

- Exposure-Guidelines for Biological Monitoring. 2nd ed. Boca Raton, CRC press, 1993: 71-74, 289-305.
- Lucchini R, Selis L, Folli D, Apostoli P, Mutti A, Vanoni O, Iregren A, Alessio L. Neurobehavioral effects of manganese in workers from a ferroalloy plant after temporary cessation of exposure. *Scand J Work Environ Health* 1995; 21: 143-149.
- Matczak W, Chmielnicka J. Relation between various chromium compounds and some other elements in fumes from manual metal arc stainless steel welding. *Brit J Ind Med* 1993; 50: 244-251.
- Minoia C, Sabbioni E, Apostoli P, et al. Trace element reference values in tissues from inhabitants of the European Community. I. A study of 46 elements in urine, blood and serum of Italian subjects. *Sci Total Environ* 1990; 95: 89-105.
- Richard E. Manganese exposure during welding operations. *Appl Occup Environ Hyg* 1994; 9(8): 537-538.
- Roels HA, Lauwery RR, Genet P, Sarhan MJ, de Fays M, Hanotiau I, Buchet J-P. Relationship between external and internal parameters of exposure to manganese oxide and salt producing plant. *Am J Ind Med* 1987; 11: 297-305.
- Roels HA, Ghyselen P, Buchet JP, Cenlemans E, Lawerys RR. Assessment of the permissible exposure level to manganese in workers exposed to manganese dioxide dust. *Brit J Ind Med* 1992; 49: 25-34.
- Saric M, Lucic-Palaic S. Possible synergism of exposure to airborne manganese and smoking habit in occurrence of respiratory symptoms. In Walton WH editor. (ed) *Inhaled Particles W*. Oxford: Pergamon Press, 1975: 773-779.
- Smyth LT, Ruhf RC, Whitman NE, Dugan T. Clinical manganese in the production and processing of ferromanganese alloy. *J Occup Med* 1973; 15(2): 101-109.
- Tanaka S, Lieben J. Manganese poisoning and exposure in Pennsylvania. *Arch Environ Health* 1969; 19: 674
- Tsalev DL, Langmyhr FJ, Gunderson. Direct atomic absorption spectrometric determination of manganese in whole blood of unexposed individuals and exposed workers in a Norwegian manganese alloy plant. *Bull Environ Contam Toxicol* 1977; 17: 660-666.
- Tsalev DL, Zaproanov ZK. Atomic absorption spectrometry in occupational and environmental health practice. Vol. 1. Analytical aspects and health significance. Florida, CRC press, 1983: 153-158.
- US-EPA. Health Assessment Document for Manganese. Final report. Cincinnati: 1984.
- Watanabe T, Tokunaga T, Iwahana M, Tati M, Ikeda M. Determination of urinary manganese by the direct chelation-extraction method and flameless atomic absorption spectrophotometry. *Brit J Ind Med* 1978; 35: 73-77.
- WHO. Environmental Health Criteria 17. Geneva: WHO, 1981
- WHO. Disease caused by manganese and its toxic compounds. in *Early Detection of Occupational Health*. Geneva: WHO, 1986a: 69-73.
- WHO. Operational Guide for the WHO Neurobehavioral Core Test Battery. Geneva, Switzerland, WHO, 1986b.