

碩士學位論文

철 구조물 제조 사업장에서 공기 중
망간 및 혈액 중 망간농도에 관한 연구

2007年

漢城大學校 安全保健經營大學院

産業保健工學科

産業衛生工學專攻

劉 勳 鍾

碩 士 學 位 論 文

指導教授 朴杜用

철 구조물 제조 사업장에서 공기 중
망간 및 혈액 중 망간농도에 관한 연구

Study on Workers' Exposure to the Manganese and
Their Blood Manganese Levels for the Welders

2006年 12月

漢城大學校 安全保健經營大學院

産業保健工學科

産業衛生工學專攻

劉 勳 鍾

碩 士 學 位 論 文
指導教授 朴杜用

劉勳鍾의 産業衛生工學碩士學位論文을 認准함

철 구조물 제조 사업장에서 공기 중
망간 및 혈액 중 망간농도에 관한 연구

2006年 12月

Study on Workers' Exposure to the Manganese and
Their Blood Manganese Levels for the Welders

위 論文을 産業衛生工學 碩士學位論文으로 提出함

2006年 12月

漢城大學校 安全保健經營大學院

産業保健工學科

産業衛生工學專攻

劉 勳 鍾

심사위원장 _____(인)

심 사 위 원 _____(인)

심 사 위 원 _____(인)

목 차

List of Tables	ii
List of Figures	iii
I. 서 론	1
1. 연구 배경	1
2. 연구 목적	4
II. 연구대상 및 방법	5
1. 연구대상	5
2. 시료 포집 및 분석	7
3. 자료 분석 및 노출기준에 대한 평가	7
III. 연구결과	9
1. 공정별 용접 작업장의 망간 농도	9
2. 공정별 용접 작업장의 혈액 중 망간 농도	11
3. 흡연유무 및 근무경력과 혈액 중 망간 농도와의 관계	12
4. 작업 환경 중 망간 농도와 근로자의 혈액 중 망간농도와의 관계	15
IV. 고 찰	17
1. 망간노출농도에 대한 기준 및 본 연구결과와의 비교	17
2. 혈 중 망간농도에 대한 기준 및 본 연구결과 비교	18
3. 흡연 유무 및 근무경력에 따른 혈액 중 망간농도 비교	19
4. 작업환경 중 망간 농도와 혈액 중 망간농도와의 관계	20
V. 결 론	21
참고문헌	23
ABSTRACT	26

List of Tables

Table 1. Characteristics of surveyed workers an industry	6
Table 2. Concentrations of airborne manganese number of above KPEL and TLV	10
Table 3. Concentrations of blood manganese by type of process ...	11
Table 4. Blood manganese concentrations of the subjects by smoking habit	12
Table 5. Blood manganese concentration by work duration	13
Table 6. Samples of above 1.0 $\mu\text{g}/100\text{ml}$, 2.0 $\mu\text{g}/100\text{ml}$, 3.6 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ in blood manganese Concentration	14

List of Figures

Figure 1. Concentrations of airborne manganese number of above KPEL and TLV.	10
Figure 2. Concentration of blood manganese by type of process. ...	12
Figure 3. Blood manganese concentration of the subjects by smoking habit.	13
Figure 4. Concentrations of blood manganese by work duration.	14
Figure 5. Relationship between airborne manganese concentration and Blood manganese concentration.	16
Figure 6. Relationship between airborne manganese concentration and Blood manganese concentration by type of process ...	16

I. 서 론

1. 연구 배경

용접은 2개의 금속을 결합하여 거의 균질한 접합부를 이루는 한 덩어리의 금속으로 만드는 방법인데 미국용접학회(American Welding Society)에서는 “금속의 국부적인 접합(Localized coalescence of metals)”이라고 정의하고 있다. 이 접합은 열을 필요로 하는 압접, 용접 모재와는 별도의 용접봉 또는 제3의 재료를 사용하는 방법 등이 있는데 그 중 용접에 의한 용접이음이 가장 일반적인 방법이다.

용접기술은 선박, 플랜트, 교량, 철골 건축물 등의 대형 구조물에서 자동차, 철도차량, 항공기나 우주 발사체 등의 수송 기계와 프레스, 굴삭기 등의 산업기계 그리고 냉장고, 컴퓨터 등의 전기, 전자제품과 부품 등에 이르기까지 거의 모든 산업분야와 기기의 제작 및 유지관리에 사용되고 있다. 용접기술은 성형, 체결, 절단, 표면개질 등 생산기술의 모든 방법을 포함하고 있는 기술로서 기계, 금속, 전기, 전자, 화학분야의 지식이 모두 복합적으로 활용되고 있는 총체적 분야이다.(안영호 등, 1998). 용접은 그 유용성 때문에 많이 사용되고 있는 가공기술 중의 하나로 산업화된 국가에서는 총 노동력의 1% 이상이 용접에 종사하고 있으며 제조공정의 80% 이상이 용접공정을 포함하고 있는 것으로 알려져 있다. 또한 아크용접이 총 용접공정 중 60~80%의 비중을 차지하고 있다(김정환, 1997).

용접 근로자에게서 발생될 수 있는 건강장해로는 금속열(metal fume fever), 용접 공폐증(siderosis), 폐부종, 폐기종, 만성기관지염, 폐암, 중금속 중독, 일산화탄소, 오존, 포스젠(phosgene) 가스등에 의한 유해가스 중독, 유해광선 등의 물리적 인자에 의한 건강장해 등 매우 다양하다(ACGIH, 1984; NIOSH, 1988)

용접 작업 시 모재와 용접봉이 가열되어 금속 증기가 공기 중으로 방출되는데, 이때 방출된 금속 증기는 공기 중에서 응축됨으로써 흙으로 형성된다. 흙 발생속도, 발생량 및 조성에 영향을 미치는 주요 요인으로는 용접방법, 용접조건(전류 등), 모재 및 용접봉 조성, 용접봉 직경, 용접속도, 도장 또는 도금에 의한 모재표면의 피복상태 등을 들 수 있다.(ACGIH, 1987; Voitkevich, 1995).

용접흙 중에는 다양한 종류의 금속이 존재하는데, 일반적으로 철(Fe), 망간(Mn), 납(Pb), 아연(Zn), 니켈(Ni), 크롬(Cr), 구리(Cu) 및 카드뮴(Cd) 등으로 알려져 있다(ACGIH, 1984). 그 중 망간(Mn)은 다른 금속에 비해 증기압이 비교적 높아 용접 흙 중 망간(Mn)의 함량이 높게 나타나고 있다(Voitkevich, 1995).

망간은 식물이나 인체에 필요한 금속(essential metals) 중의 하나이지만, 고농도의 흙이나 분진을 흡입한 근로자에게 심각한 건강장해를 일으킨다. 망간분진에 장기간 노출된 경우 표적 장기는 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 중독 증상은 개인에 따른 변이가 심하고, 드물게는 작업환경 농도가 5mg/m³ 이하에서도 망간중독이 발생된 것으로 보고 되고 있다(Saric와 Lucic-Palaic, 1975; Chandra 등, 1981).

WHO(1981)에서는 망간에 의한 중추신경계의 장애가 발생 할 수 있는 농도를 2-5mg/m³라 하였고, 미국 환경청(EPA, 1984)에서는 1mg/m³ 이하에서도 역학연구결과 호흡기계에 영향을 미칠 수 있다고 하였다. 그 외 각 나라마다 그 기준을 정하여 관리하고 있으나 그 기준은 매우 다양하다. 망간 흙에 대해 우리나라의 8 시간가중평균농도는 1.0mg/m³, 단시간노출기준은 3.0 mg/m³이지만, 미국산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)은 8시간 시간가중평균농도

로 0.2mg/m³, 단시간노출기준으로 5.0mg/m³를 권고하였고, 미국국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)은 8 시간가중평균농도 1.0mg/m³, 단시간노출기준 3.0mg/m³를, 미국정부산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)는 8 시간가중평균농도 0.2mg/m³를 권고하였다. 그 외 8 시간가중평균농도로 호주는 1.0mg/m³, 독일은 0.3mg/m³, 영국은 1.0mg/m³을 제시하였다(ACGIH, 1994b).

현재 우리나라에서 CO₂ 아르곤용접공으로 15~20 년간 근무한 근로자가 CO₂ 용접 시 발생된 망간 흙으로 인해 파킨슨증후군 등의 증상을 보여 업무상 재해로 인정된 후 용접공 근로자의 망간 노출에 관한 관심이 지속적으로 높아지고 있다. 그러나 아직 우리나라에서는 망간에 노출된 근로자의 혈중 망간에 관한 연구가 적을 뿐 아니라, 지금까지 국내외에 보고 된 망간의 농도범위에 있어서도 변이가 심한 것으로 알려져 있다.(박정일 등, 1991; 김지용 등, 1994; 양정선, 1997).

용접근로자들에게 산업안전보건법 시행규칙에 의해 특수건강진단을 실시하고 있으나 망간은 선택항목으로 규정되어 있어 실제 용접 작업을 하고 있는 작업자들에 있어 특이 증상이 나타나지 않는 한은 규정된 검사항목만을 실시하고 있는 실정이다. 이러한 현실에서 망간에 폭로된 환자 중 3.1%에서 파킨슨증후군, 1.9%에서 편측진전마비, 9.3%에서 신경증상이상 등 합계 14.3%에서 중독증상이 발생하고, 그 중 약 45%가 퇴직 후 5년 이후에 발병하는 것으로 알려져 있어 용접 근로자의 망간 흙 폭로에 관한 예방관리가 절실히 필요한 시점이다. 따라서 본 연구는 망간노출기준 및 관리에 필요한 기초 자료를 제공하기 위하여 철 구조물을 용접하는 근로자에 대한 공기 중 망간노출농도수준과 혈중 망간 농도수준에 대하여 기초 자료를 제공하기 위하여 수행하였다.

2. 연구 목적

망간에 의한 중추신경계 장애를 진단하기 위하여 설문지 조사, 신경생리검사, 방사선학적인 검사, 신경행동검사방법이 이용되고 있으나, 대부분 특수건강진단에 활용되는 것은 아니며 간편하게 활용할 수 있는 생물학적 모니터링 항목으로 혈액 또는 요 중 망간이 활용될 수 있지만, 아직까지 작업 환경 중 망간 농도나 신경학적인 장애와 혈액 및 요 중 망간 농도간의 상관성에 관하여는 아직도 의견이 다양한 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 동일업종인 철 구조물 제조 사업장에서 CO₂ 아크 용접 시 발생하는 작업환경 중의 망간과 혈액 중 망간의 농도를 비교하여 그 상관성을 알아보았으며, WHO(1986a)에 근거한 혈액 중 망간 농도의 정상범위에 대한 초과율이 어느 정도인지 비교 분석하여 우리나라 용접 흡에 노출된 용접 근로자의 망간에 대한 생물학적 감시농도가 적절한지 여부를 검토하였다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구대상

본 연구는 용접작업장에서 발생하는 망간 농도를 파악하기 위하여 대전, 충남에 소재한 교량 및 철 구조물을 제조하는 5개 사업장 7개 협력사업장의 6개부서(기술 및 품질관리, 절단, 자동용접, 취부용접, 판넬용접, Box용접)를 선정하였으며, 용접작업에 직·간접적으로 종사하고 있는 근로자 109명에 대하여 개인시료 포집방법을 이용하여 작업 환경 중 망간 농도를 측정하였다.

용접 근로자의 혈액 중 망간 농도를 파악하기 위해 작업환경을 측정한 5개 사업장 7개 협력사업장에서 남자 106명(내국인 78명, 외국인 수생 28명)과 여자 3명에 대하여 2006년 3월부터 2006년 11월까지 조사하였다. 망간에 노출되고 있는 용접작업자에 대해 나이, 흡연유무, 근무경력, 용접용 헬멧의 사용여부, 호흡보호구의 사용여부, 용접형태, 취급 용접봉 및 모재 등을 조사하였다. (Table 1). 용접 근로자의 평균연령은 38.5 세였고, 용접근로자의 평균 근무경력 6.7년이었다. 용접작업 근로자의 흡연자, 비 흡연자 및 무 응답자는 각각 63 명(57.8 %), 46 명(42.2 %), 12 명(11 %)이었다.

작업습관에 관한 설문에서 대부분 용접작업 근로자의 작업장소는 옥내가 77 명(70.6 %)이었고, 옥외가 12 명(11 %), 그리고 옥내와 옥외를 오가면서 작업하는 근로자가 11명(10.1 %)이었다. 조사 대상 중 설문에 응답하지 않은 근로자는 9 명(8.3 %)이었다.

용접헬멧의 착용여부에 대한 조사에서 헬멧을 손에 들고 작업하는 근로자가 42 명(38.5 %), 헬멧을 착용하고 작업하는 근로자가 18 명(16.5 %), 착용하지 않은 근로자는 24 명(22 %), 그리고 35명은 설문

응답하지 않았다.

Table 1. Characteristics of surveyed workers an industry

Characteristics	N
No. of samples	109
Age(yrs)	38.46+7.57
Mean Work duration(yrs)	6.69+5.31(n=98) (n= 11)
Smoking, N(%)	
Yes	63(57.8)
No	46(42.2)
No response	12(11.0)
Working area, N(%)	
Indoor	77(70.6)
Outdoor	12(11.0)
Indoor + Outdoor	11(10.1)
No response	9(8.3)
Helmet wearing habits, N(%)	
Holding by hand	42(38.5)
Wearing	18(16.5)
No helmet	24(22.0)
No response	25(22.9)
Wearing respiratory protective mask, N(%)	
Yes	92(84.4)
No	4(3.7)
No response	13(11.9)

호흡보호구의 착용여부에 대한 조사에서는 92 명(84.4 %)이 호흡 보호구를 착용한다고 하였고, 전혀 착용하지 않는 근로자가 4명(3.7 %), 응답하지 않은 근로자가 13명(11.9 %)이었다.

본 조사 대상 업체에서는 주로 연강을 모재로 하는 CO₂ 아크용접 (gas metal arc welding, CO₂ welding)이 주로 이루어지고 있으며, 차 폐가스로는 CO₂ 가스를 이용하고 있었다. 취급 용접봉은 철선(와이어)

형태의 용접봉이 사용되며, 대상 사업장에서는 현대중합금속의 SF-71, 70MX, 고려용접봉 SF-71T, SF-70, 조선선재 CSF-71T가 사용되었다. 조사대상 업체에서 주로 사용되고 있는 용접봉의 망간 함유량은 약 SF-71은 1-3 %, SF-70MX은 1-2 %, SF-71T은 1-3 %, SF-70은 1-3 %, CSF-71T은 1.5 % 정도 함유되어 있었다.

2. 시료 포집 및 분석

근로자의 호흡 위치에 개인용 시료 포집기(MSA, Gillian, U.S.A.)를 장착하여 유량 약 2 l/min으로 포집하였다. 측정 전·후에 비누거품을 이용하여 유량 보정을 실시하였고, 시료 포지에 사용된 여과지는 37-mm mixed cellulose ester membrane filter (pore size=0.8 μ m)였다.

망간의 분석은 NIOSH 7300 방법에 따라 전처리하였으며, 기중 망간분석은 불꽃 원자흡광광도계(flame atomic absorption spectrometry, Varian 30A, Australia)를 이용하였다. 혈액 중 망간 분석을 위해 채취된 혈액 시료는 분석 전까지 냉동 보관한 후 분석하였으며, 표준물 첨가법을 이용하여 검량선을 작성한 후 비불꽃 원자흡광광도계(flameless atomic absorption spectrometry, Z-8100, Hitachi, Japan)로 분석하였다. 분석 시 바탕 보정은 Zeeman법을 이용하였다. 전혈 상태로 채취된 혈중 망간에 대한 분석은 매질 개선제(matrix modifier)로 1.25 % (NH₄)₂HPO₄를 사용하였으며, 1 % Triton X-100으로 10배 희석한 후 10 μ l를 흑연로에 주입하였다. 흑연로에서의 온도조건은 건조단계 85-150 $^{\circ}$ C, 회화단계 1200 $^{\circ}$ C, 원자화단계 2700 $^{\circ}$ C였다.

3. 자료 분석 및 노출기준에 대한 평가

자료 분석은 마이크로소프트 엑셀 2002을 이용하였으며, 작업환경 중 망간농도, 혈액 망간 농도의 대표값과 산포도는 기본적으로 기하평

균(geometric mean, GM) 및 기하표준편차(geometric standard deviation, GSD)로 나타났다.

근로자의 망간의 노출수준은 노동부 허용기준(1 mg/m^3) 및 ACGIH의 Threshold Limit Values (0.2 mg/m^3)을 각각 적용하여 평가하였고, 각 기준을 초과하는 비율을 비교하였다. ACGIH에서는 1979년에 망간의 허용기준을 1 mg/m^3 로 채택하였으나 중추신경계 및 생식계 장애를 예방하기 위해 1992년에 허용기준으로 0.2 mg/m^3 를 제안하였고 1995년에 이 개정안을 채택한 바 있다.

III. 연구결과

1. 공정별 용접 작업장의 망간 농도

대전과 충남에 소재한 교량 및 철 구조물을 제조하는 5개 사업장 7개 협력사업장의 5개부서(절단, 자동용접, 취부용접, 판넬 용접, Box용접)에서 용접작업에 직·간접적으로 종사하고 있는 근로자 55명의 작업 환경 중 망간 농도는 기하평균농도가 0.174 mg/m^3 였고, 그 중 절단 공정이 0.032 mg/m^3 , 자동용접 공정이 0.174 mg/m^3 , 취부용접 공정이 0.048 mg/m^3 , 판넬 용접 공정이 0.132 mg/m^3 , Box용접 공정이 0.488 mg/m^3 의 (Table 2) (Figure 1) 결과가 나타났다. 망간의 노출농도가 높은 순서는 Box용접, 자동용접, 판넬 용접, 취부용접, 절단 공정의 순이었다.

우리나라의 작업 환경 중 망간 흡 노출 기준은 1.0 mg/m^3 이며(노동부, 2002), 이 농도를 초과하는 시료는 판넬 용접에서 1개소(6.25 %), Box용접에서 4개소(25 %)였다. 절단, 자동용접, 취부 용접 공정에서는 1 mg/m^3 를 초과하는 시료가 없었다. 반면 ACGIH(1996) TLV 0.2 mg/m^3 을 초과하는 시료는 자동용접 공정에서 2개소(50 %), 취부 용접 공정에서 3개소(20 %), 판넬 용접 공정에서는 8개소(50 %), Box용접 공정에서는 13개소(81.3 %)이었으며, 절단공정은 ACGIH(1996) TLV 0.2 mg/m^3 을 초과하는 시료가 없었다.

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

Type of pocess	N	Concentrations of airborne Mn(mg/m ³)			No, of above KPEL' (%)	No, of above TLV' (%)
		GM ¹⁾	GSD ²⁾	Range		
Cutting	4	0.008	4.816	0.002-0.069	0(0.0)	0(0.0)
Automotive Welding	4	0.174	3.079	0.073-0.802	0(0.0)	2(50%)
Patch Welding	15	0.048	6.041	0.003-0.980	0(0.0)	3(20%)
Panel Welding	16	0.132	4.846	0.008-1.293	1(6.25%)	8(50%)
Box Welding	16	0.488	4.881	0.015-5.613	4(25%)	13(81.3)
Total	55	0.122	6.888	0.002-5.613	5(9.1)	26(47.3)

'KPEL : Koren permissible exposure level(1.0 mg/m³)(the Ministry of Labor, 2002)

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

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

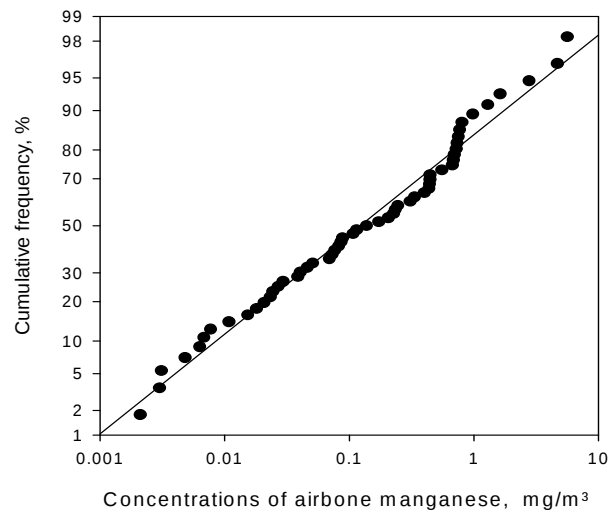


Figure 1. Concentrations of airborne manganese number of above KPEL and TLV.

2. 공정별 용접 작업장의 혈액 중 망간 농도

총 용접 근로자 109명 중 73명의 혈액 중 망간농도를 분석할 수 있었는데 전체 근로자의 혈중 망간농도의 기하평균농도는 0.109 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 였고, 그 중 기술 및 품질관리 공정이 0.709 $\mu\text{g}/100\text{ml}$, 절단 공정이 1.203 $\mu\text{g}/100\text{ml}$, 자동용접 공정이 1.189 $\mu\text{g}/100\text{ml}$, 취부용접 공정이 1.070 $\mu\text{g}/100\text{ml}$, 판넬 용접 공정이 1.060 $\mu\text{g}/100\text{ml}$, Box용접 공정이 1.613 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 로 나타났다(Table 3 및 Figure 2). 혈액 중 망간의 농도는 Box용접, 절단, 자동용접, 취부용접, 판넬 용접, 기술 및 품질관리 공정의 순으로 높은 것으로 나타났다. 그러나 절단공정의 경우 샘플수가 1개에 불과해 공정별 비교에서 절단공정을 대표하기는 어려울 것으로 판단된다.

Table 3. Concentrations of blood manganese by type of process

Type of process	N	Concentrations of airborne Mn(mg/m ³)		
		GM	GSD	Range
quality management	5	0.709	1.757	0.307-1.216
Cutting	1	1.203	-	-
atomotive Welding	3	1.189	1.308	0.895-1.527
Patch Welding	18	1.070	1.682	0.446-2.414
Panel Welding	23	1.060	1.438	0.449-2.347
Box Welding	23	1.613	1.651	0.914-6.483
Total	73	1.19	1.653	0.307-6.483

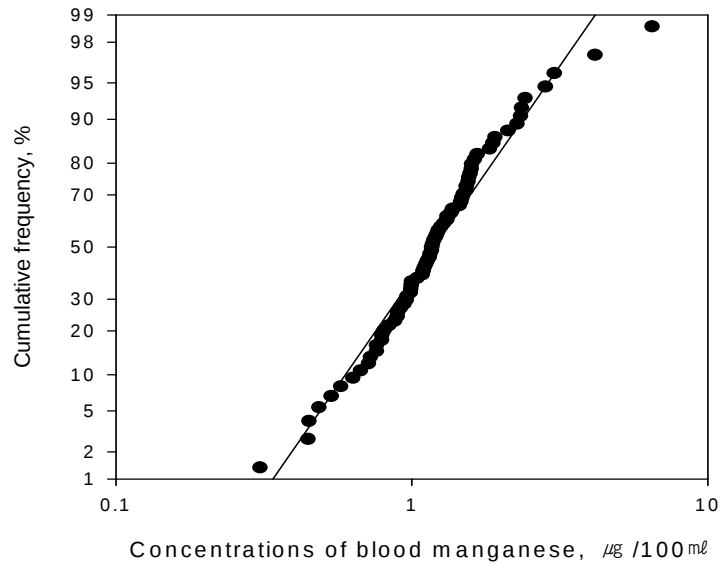


Figure 2. Concentration of blood manganese by type of process.

3. 흡연유무 및 근무경력과 혈액 중 망간 농도와의 관계

망간 흡에 노출된 용접 근로자의 흡연유무에 따른 혈액 중 망간 농도에 대한 차이를 살펴본 결과(Table 4 및 Figure 3), 망간 흡에 노출된 근로자의 혈액 중 망간 농도는 흡연자와 비 흡연자가 각각 $1.19 \mu\text{g}/100\text{ml}$, $1.22 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 로 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다.

Table 4. Blood manganese Concentrations of the subjects by smoking habit

Smoking habits	N	Mn in blood($\mu\text{g}/100\text{ml}$)		
		GM	GSD	Range
Smoking	50	1.19	1.651	0.307-6.483
Nonsmoking	18	1.22	1.487	0.671-2.826

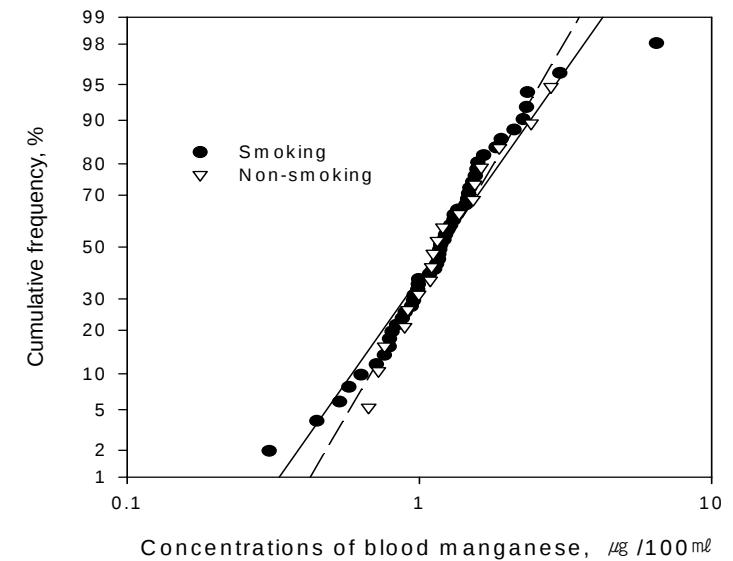


Figure 3. Blood manganese concentration of the subjects by smoking habit.

망간 흡에 노출된 용접 근로자의 근무경력과 혈액 중 망간 농도간의 관계를 알아보기 위하여 근무경력에 응답한 68 명을 대상으로 10년 미만과 10년 이상의 2 군으로 나누어 농도를 비교한 결과는 Table 5 및 Figure 4와 같다.

Table 5. Blood manganese concentration by work duration

work duration (yrs.)	N	Mn in blood($\mu\text{g}/100\text{ml}$)		
		GM	GSD	Range
<10	37	1.08	1.577	0.307-3.029
$10 \leq$	31	1.36	1.590	0.534-6.483
total	68	1.20	1.595	0.307-6.483

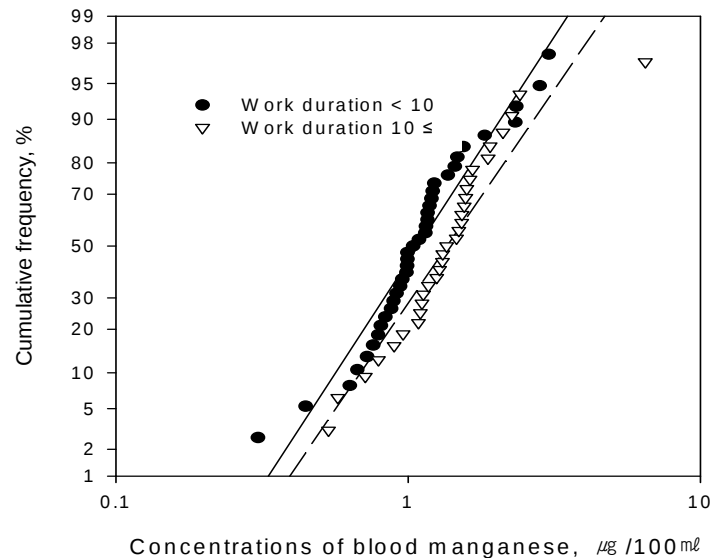


Figure 4. Concentrations of blood manganese by work duration.

Table 6. Samples of above 1.0 $\mu\text{g}/100\text{ml}$, 2.0 $\mu\text{g}/100\text{ml}$, 3.6 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ in blood manganese Concentration

Work duration(yrs.)	N	No. of above 1.0 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ of blood Mn(%)	No. of above 2.0 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ of blood Mn(%)	No. of above 3.6 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ of blood Mn(%)
<10	37	19(51.4)	4(10.8)	0(0.0)
10≤	31	25(80.7)	4(12.9)	1(3.2)
	68	44(66.1)	8(11.9)	1(3.2)

혈중 망간 농도는 10년 이상 근무한 근로자가 10년 미만의 근무자보다 유의하게 높게 나타났다. 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 권고하고 있다. 이 기준을 근거로 근무경력에 따른 2군의 혈중 망간 농도가 초과되는 근로자수를 살펴본 결과(Table 6), 1 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 를 초과하는 근로자는 총 44명(66.1%)이었다. 근무경력이 10년 미만과 10년 이

상에서 이 기준을 초과하는 근로자는 각각 19명(51.4%)과 25명(80.7%)으로 근무 경력에 따라 1.0 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 를 초과하는 근로자수가 증가하는 경향을 보였다. 한편 2 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 를 초과하는 근로자는 총 8명(11.9%)이었으며, 근무기간 10년을 전후로 각각 4명(10.8%)과 4(12.9%)명이 이 기준을 초과하였다. 우리나라 혈중 망간의 선별한계인 3.6 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 를 초과하는 근로자는 10년 이상 근무한 근로자에서 1명(3.2%)으로 나타났다.

4. 작업 환경 중 망간 농도와 근로자의 혈액 중 망간농도와의 관계

본 연구에서 작업환경 중 망간 농도와 혈액 중 망간 농도를 동시에 측정할 수 있었던 근로자는 총 19명이었다. Figure 5에서 보는 바와 같이 19명에 대하여 작업환경 중 망간 농도와 혈액 중 망간농도간의 상관관계를 살펴본 결과, 두 변수간에는 유의한 상관관계가 있는 것으로 나타났다($r=0.748$).

또한 각 사업장 공정별 작업환경 중 망간과 혈액 중 망간을 비교하여 본 결과, Figure 6에서 보는 바와 같이 유의한 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 여기에서 시료수가 1개인 값인 공정과 극단적으로 높거나 낮은 2개의 예외값을 제거하고 상관관계를 살펴본 결과, 유의성은 더욱 뚜렷하게 보이는 것으로 나타났다($r=0.572$).

IV. 고찰

우리나라에서 CO₂ 아크용접공으로 15 - 20 년간 근무한 근로자가 CO₂ 용접 시 발생된 망간 흡으로 인해 파킨슨증후군 등의 증상을 보여 업무상 재해로 인정된 후 용접공 근로자의 망간 노출에 관한 관심이 지속적으로 높아지고 있다. 일반적으로 용접봉과 모재에 망간이 함유되어 있기 때문에 용접 근로자는 망간에 노출될 가능성이 많다.

그 동안 연구결과에서 공기 중 망간 농도는 업종 간에 유의한 차이가 있으며($P < 0.05$), 철 구조물 제조업 및 조선업에서 가장 높은 망간 흡이 발생하는 것으로 보고 되고 있다(신용철 · 이광용등 1997). 따라서 연구대상으로 설정한 철 구조물 제조업에서 근로자의 망간 흡 노출군은 비교적 높은 망간농도에 노출되는 군이라고 할 수 있다.

1. 망간노출농도에 대한 기존 및 본 연구결과의 비교

망간 취급사업장에 대한 외국 연구보고에 의하면 Johnson과 Melius(1980)는 0.004-0.19 mg/m³로 낮은 농도를 보인다고 발표한 바 있고, Roels 등(1987)은 0.07-8.61 mg/m³, Richard(1994)는 기중 망간 농도가 철 구조물 용접 시 0.73 mg/m³, 철도 용접 시 0.32 mg/m³의 망간 흡이 발생된다고 한 바 있다. 이와 비교하면 본 연구결과에서 나타난 기하 평균농도인 0.174 mg/m³은 상대적으로 높은 노출이라고 할 수 있다. 이것은 우리나라 용접작업장이 아직 열악한 상태에 있다는 것을 보여주는 것이라고 판단된다.

국내보고에서는 이권섭과 백남원(1994)은 자동차 차체 생산 공장 용접 근로자의 망간 농도가 0.085 mg/m³, 변상훈 등(1995)은 선박 건조업에서 3.39-30.71 mg/m³, 선박수리업에서 2.05-8.11 mg/m³, 컨테이너 제조업에서 1.42-5.12 mg/m³, 자동차부품제조업에서 1.50-2.55 mg/m³의 망

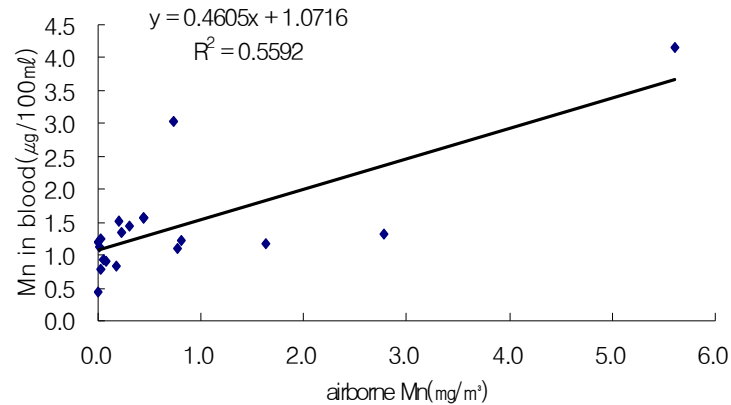


Figure 5. Relationship between airborne manganese concentration and Blood manganese concentration.

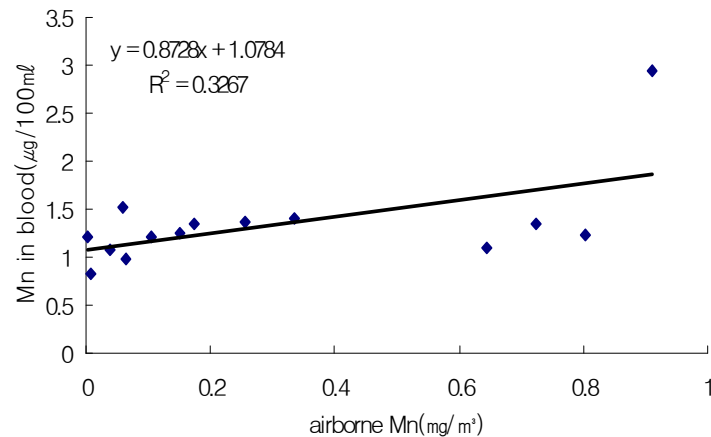


Figure 6. Relationship between airborne manganese concentration and Blood manganese concentration by type of process

간에 노출되고 있다고 발표한 바 있으며, 신용철 등(1997)은 조선업에서 1.1 mg/m³, 금속관련 제조업에서 0.99 mg/m³, 자동차 제조업에서 0.12 mg/m³의 망간에 노출되고 있다고 보고한 바 있다. 광영순과 백남원(1997)은 조선업의 기중 망간 농도가 밀폐 공간에서는 0.05-10.1 mg/m³, 개방된 공간에서는 0.001-4.2 mg/m³ 였다고 보고한 바 있다. 이러한 수준은 본 연구 결과에서 나타난 결과와 비슷한 수준이거나 약간 높은 수준이다.

우리나라의 작업 환경 중 망간 흡 노출 기준은 1.0 mg/m³이며(노동부, 2002), 이 농도를 초과하는 근로자는 판넬 용접에서 1명(6.25 %), Box용접 4명(25 %)이었다. 절단, 자동용접, 취부용접 공정에서는 1 mg/m³를 초과하는 시료가 없었다. 한편 ACGIH(1996) TLV 0.2 mg/m³을 초과하는 근로자는 자동용접 공정에서 2 명(50 %), 취부용접공정에서 3 명(20 %), 판넬 용접 공정에서 8명(50 %), 그리고 Box용접공정에서 13 명(81.3 %)이었다. 절단 공정은 ACGIH(1996) TLV 0.2 mg/m³을 초과하는 근로자는 없었다.

철 구조 제조업에서 CO₂ 용접 시 망간 흡의 노출농도는 비교적 밀폐된 공간에서 작업이 이루어지는 Box용접과 연속하여 용접이 이루어지는 판넬 용접이 가장 높게 나타났으며, 직접적인 용접 작업이 이루어지지 않는 절단작업과 간헐적인 가용접이 이루어지는 취부용접에서 낮았다.

2. 혈 중 망간농도에 대한 기존 및 본 연구결과 비교

Roels 등(1987)은 기중 망간 농도 0.07-8.61 mg/m³에서 혈액 중 망간 농도가 0.10-3.59 µg/100ml 정도 였다고 보고한 바 있으며, 양정선(1997)은 기중 망간 농도 0.36 mg/m³에서 혈중 망간 농도가 약 1.37 µg/100ml로 나타났다고 보고한 바 있다. 이러한 수준은 본 연구와 비슷한

것으로 보인다.

본 연구에서는 자동용접에서 공기 중 망간농도가 0.174 mg/m³일 때, 혈중 망간은 1.189 µg/100ml, 취부 용접에서 공기 중 망간농도가 0.048 mg/m³일 때 혈중 망간은 1.070 µg/100ml, Box용접에서 공기 중 망간농도가 0.488 mg/m³일 때, 혈중 망간은 1.613 µg/100ml 수준인 것으로 나타났다. 기술 및 품질관리부서, 절단공정은 기중 망간의 시료가 없거나 혈액 중 망간 샘플이 1개이므로 비교 평가할 수 없어 제외하였다.

3. 흡연 유무 및 근무경력에 따른 혈액 중 망간농도 비교

근로자의 흡연이 혈액 중 망간 농도에 영향을 미치는지 알아보기 위해 흡연자와 비 흡연자간의 망간농도를 비교하였다. 본 연구의 조사에서 흡연자는 총 근로자의 45.9 %, 비 흡연자는 16.5 %였으며, 흡연 유무 간에 유의한 차이는 없는 것으로 나타났다.

용접근로자의 평균 근무경력은 6.7년으로 2년 미만 경력의 외국 연수생들로 인해 평균 근무경력이 낮게 나타났으나 근무 경력을 10년 미만과 10년 이상으로 나눌 때 10년 이상 근로자의 혈중 망간농도가 10년 미만의 근로자보다 약 30 % 정도 높아 유의한 차를 보였으며, 혈중 망간농도와 근무 경력 간에 유의한 상관을 보였다.

혈중 망간 농도의 기준으로는 WHO(1986a)에서 2 µg/100ml를 제시하고 있고, Lauwerys와 Hoet(1993)는 1 µg/100ml를 권고하고 있다. 혈중 망간수준이 1 µg/100ml를 초과하는 근로자는 근무경력이 10년 미만인 경우는 19 명(51.4%), 10년 이상인 경우는 25 명(80.7%)으로 근무 경력에 따라 1.0 µg/100ml를 초과하는 근로자수가 증가하는 경향을 보였다. 한편 2 µg/100ml를 초과하는 근로자수는 10년 미만의 근무경력을 가진 근로자와 10년 이상인 근로자의 경우 각각 4명(10.8%), 4명

(12.9%)으로 총 8명(11.9%)이 초과하였다. 우리나라 혈중 망간의 선별 한계인 $3.6 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 를 초과하는 근로자는 10년 이상 근무한 근로자에서 1명 (3.2%) 초과한 것으로 나타났다. 전반적으로 근무경력이 증가함에 따라 혈중 망간농도가 증가하는 경향이 있음을 볼 수 있었다.

4. 작업환경 중 망간 농도와 혈액 중 망간농도와의 관계

작업환경 중 망간 농도와 혈액 중 망간 농도를 동시에 측정 할 수 있었던 근로자는 총 19명이었다. 이들을 대상으로 작업환경 중 망간 농도와 혈중 망간 농도 간의 상관관계를 살펴 본 결과 유의한 상관관계 ($r= 0.748$)가 있는 것으로 나타났다. 또한 각 사업장 공정별 작업환경 중 망간과 혈액 중 망간을 비교하여 본 결과 이러한 경향은 더욱 뚜렷한 것으로 나타났다($r= 0.572$).

망간 흡의 노출기준을 초과한 근로자수는 총 55명중 5명(9.1 %)이고, 혈중 망간 농도가 선별한계를 초과한 근로자수는 총 73명중 10년 이상 근무한 1명(3.2 %)이었다. 현재 망간 흡 중독으로 인한 파킨슨증 후군의 산재판결과 오랜 근무경력의 증가는 계속된 망간 흡 중독자를 야기 시킬 수 있으나 망간 흡의 특수건강검진은 선택항목으로 지정되어 있어 대부분의 용접 근로자들의 예방이 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 또한 노출기준을 초과한 총 근로자 5명중 Box용접공정에서 4명(80 %)이었던 점을 감안한다면 유해 사업장에서 더욱 유해한 공정으로의 세밀한 관리와 예방이 필요한 시점이다. 그러기 위해선 우리나라에서 발생한 망간중독 사례, 근로자들의 작업환경 상태, 임상적, 역학적 소견에 관련된 보다 많은 연구 등이 이루어져야 하겠으며, 현재 특수건강검진에서 선택항목으로 규정되어 있는 망간에 대한 정밀한 검진과 사후관리가 필요할 것으로 생각한다.

V. 결 론

본 연구는 주로 철 구조물을 용접하는 근로자들의 망간노출농도와 혈중 망간수준을 조사하여 망간의 노출수준을 파악하고, 혈 중 망간 농도수준과의 관계 및 기타 영향인자에 대한 기초 자료를 제공하기 위하여 수행되었다. 조사 대상 근로자는 모두 109명이었다. 공기 중 망간 노출농도는 NIOSH 시험법을 적용하였으며, 혈중 망간농도분석은 특수검진 방법과 같은 방법을 적용하였다.

본 연구의 주요결과는 다음과 같다.

1. 조사 대상의 사업장에서 용접작업자의 망간노출농도는 기하평균이 $0.174 \text{ mg}/\text{m}^3$ 로 나타났다. 망간에 대한 우리나라의 노동부의 작업환경노출 기준을 초과하는 근로자는 판넬 용접에서 1명(6.25 %), Box용접에서 4명(25 %)으로 나타났다.

2. 공정별로는 절단공정이 $0.032 \text{ mg}/\text{m}^3$, 자동용접 공정이 $0.174 \text{ mg}/\text{m}^3$, 취부용접공정이 $0.048 \text{ mg}/\text{m}^3$, 판넬 용접 공정이 $0.132 \text{ mg}/\text{m}^3$, Box용접 공정이 $0.488 \text{ mg}/\text{m}^3$ 이었다. 따라서 망간의 노출농도는 Box용접, 자동용접, 판넬 용접, 취부용접, 절단공정의 순으로 높게 나타났다.

3. 조사 대상의 근로자에 대한 혈중 망간농도는 기하평균이 $0.109 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 인 것으로 나타났다. 공정별로 살펴보면 기술 및 품질관리공정이 $0.709 \mu\text{g}/100\text{ml}$, 절단공정이 $1.203 \mu\text{g}/100\text{ml}$, 자동용접공정이 $1.189 \mu\text{g}/100\text{ml}$, 취부용접공정이 $1.070 \mu\text{g}/100\text{ml}$, 판넬 용접 공정이 $1.060 \mu\text{g}/100\text{ml}$, Box용접공정이 $1.613 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 인 것으로 나타났다. 따라서 혈중 망간이 높은 공정은 Box용접, 자동용접, 취부용접, 판넬 용접, 기술 및 품질관리의 순으로 혈액 중 망간의 농도가 높게 나타났다.

4. 혈중 망간농도는 기중 망간 농도($r=0.748$, $n=19$)와 유의한 상관성이 있으며, 각 사업장 공정별 혈중 망간농도는 기중 망간 농도($r=0.572$, $n=14$)와 유의한 경향의 상관관계를 보였다.

5. 근무년수를 10년 미만 노출군과 10년 이상 노출군으로 구분하여 비교한 결과 혈중 망간 농도는 10년 이상 근무한 근로자가 $1.36 \mu\text{g}/100\text{mL}$ 로 나타나 $1.08 \mu\text{g}/100\text{mL}$ 로 나타난 10년 미만의 노출군보다 유의하게 높은 것으로 나타났다.

6. 흡연유무와 혈액 중 망간 농도간에는 통계적으로 상관관계가 나타나지 않았다.

참고문헌

1. 광영순, 백남원. 모 조선소의 밀폐된 작업장에서의 공기중 용접흠 및 중금속 농도에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1997; 7(1) : 107-126.
2. 김정환 외 1명 : Arc 용접시 Fume 발생 특성 및 Fume의 포집/분석 기술, 한국생산기술원 생산기반기술센터, 1997.
3. 김지용, 임현술, 정해관, 백남원, 일부 망간 취급 근로자의 망간폭로 및 건강의해에 관한 연구. 대한산업의학회지 1994;6(1) : 98-112.
4. 노동부, 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준 (고시 제 2002-8호). 노동부, 200211.
5. 박정일, 노영만, 구정완, 이승환, 원광분쇄작업장에서의 망간폭로. 대한산업의학회지 1991; 3(1) : 111-118.
6. 변상훈, 박승현, 김창일, 박인정, 양정선, 오세민, 문영한. 일부 업종의 용접흠 분석 및 폭로농도에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1995; 5(2) : 172-183
7. 신용철, 이광용, 박승현, 이나루, 정지연, 박정근, 오세민, 문영한, 용접공정에서 발생된 공기중 흠의 조성파 농도에 영향을 미치는 요인에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1997 ; 7(2): 181-195.
8. 안영호, 이종봉, 엄동석: GMA 용접의 용적이행현상에 미치는 제인자의 영향, 대한용접학회지, 제16권 제1호, p17-24, 1998년 2월
9. 양정선, 망간 기중 폭로량과 혈액 및 요중 망간농도와의 관계. 심포지움자료, 센터 97-8-11. 한국산업안전공단 산업보건연구원, 1997: 53-65
10. 이권섭, 백남원, 용접작업 형태별 공기중 용접흠 농도와 금속성분에 관한 조사연구. 한국산업위생학회지 1994; 4(1) : 911-923.
11. 한국산업안전공단. 근로자건강진단 실무지침(2006-15-136 p163-168)
12. ACGIH. Documentation of TLVs and BEIs. Cincinnati, ACGIH, 1994b.
13. ACGIH. 1996 TLVs and BEIs. Cincinnati, ACGIH, 1996.

14. American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH): Welding Health and Safety Resource Manual. ACGIH, Akron, OH, 1984
15. Chandra SV, Shkl GS, Srivastava RS, Sin᳚ H, Gupta VP. An exploratory study of manganese exposure to welders. Clin Toxicol 1981; 18 : 407-416
16. Chandra SV, Seth PK, Mankeshwar JK. Manganese poisoning: Clinical and biochemical observations Evviron Rep 1974: 7 : 374-380.
17. 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.
18. Klawans H, Ilahi MM, Shenker D. Theoretical implications of the use of L-dopa in parkinson-ism. Acta Neorol Scand 1970; 46 : 409-411.
19. Lauwerys RR, Hoet P. Industrial Chemical Exposure-Guidelines for Biological Monitorinf. 2nd ed. Boca Raton , CRC press, 1993; 71-74, 289-305.
20. National Institute of Occupational Safety and Helth(NIOSH) : Criteria fora Recommended Standard Welding, Brazing, and Thermal Cutting. Dhhs(NIOSH)Publication No 88-110. NIOSH. Cincinnati, OH,1988.
21. Roels HA, Lauwery RR, Genet P,Sarhan MJ, defays 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
22. Richard E. Manganese exposure during welding operations. Appl Occup Environ Hyg 1994; 9(8) : 537-538.
23. 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 IV. Oxford; Pergamon Press, 1975; 773-779.
24. US-EPA Health Assessment Document for Manganese. Final report. Cincinnati; 1984.
25. Voitkevich V. : Welding fumes - Formation, Properties and Biological Effects. Abington Publishing. Abington Hall, Cambridge CBI 6AL,1995.
26. WHO. Environmental Health Criteria 17. Geneva; WHO, 1981.
27. WHO. Disease caused by manganese and its toxic compounds. in Early Detection of Occupational Health. Geneva: WHO, 1986a: 69-73.

ABSTRACT

Study on Workers' Exposure to the Manganese and their Blood Manganese Levels for the Welders

Yu, hoon-jong

Major in Industrial Hygiene Engineering

Department of Industry and Health Engineering

Graduate School of Occupational Safety and Health

Hansung University

This study was conducted to evaluate workers' exposure to airborne manganese and blood concentration levels of manganese among the welders during welding process. Total number of 109 workers were surveyed with a questionnaire. Personal air samples were taken using NIOSH method for the airborne manganese exposure assessment. Blood samples were collected and analyzed with use of AAS.

The results of this study were as follows.

1. Geometric mean of airborne manganese concentrations was 0.174 mg/m³. One of workers' exposure to manganese in the Panel welding process(6.25%), and four in the Box welding process(25%) exceeded the Korean Ministry of Labor Exposure Limit.

2. Mean exposure level of manganese was 0.032 mg/m³ in the

cutting process, 0.174 mg/m³ in the automatic welding process, 0.084 mg/m³ in the panel rib fit-up welding process, 0.132 mg/m³ in the panel welding process and 0.488 mg/m³ in the box welding process respectively.

3. Geometric mean value of blood manganese was 0.109 µg/100ml. Blood manganese level was 0.709 µg/100ml in the department of tech and quality control, 1.203 µg/100ml in the cutting process, 1.189 µg/100ml in the automatic welding process, 1.070 µg/100ml in the panel rib fit-up welding process, 1.060 µg/100ml in the panel welding process and 1.613 µg/100ml in the box welding process respectively.

4. It was found that there was a statistically significant correlations between airborne manganese concentrations and blood manganese levels (r=0.748, n=19).

5. Blood manganese level in the group having more than 10 years of work duration shows 1.36 µg/100ml, which was higher than 1.08 µg/100ml that was the blood manganese level of the group having less than 10 years of work duration.

6. No statistical significance was found in the relationship between smoking and non-smoking groups.