

## 용접사업장 근로자의 흠 및 금속 노출농도에 대한 평가와 혈중 금속 농도

대한산업보건협회 산업보건연구소, 서울보건대학\*

최호춘 · 김강윤<sup>†</sup> · 안선희 · 박화미 · 김소진 · 이영자\* · 정규철

- Abstract -

### Airborne Concentrations of Welding Fume and Metals of Workers Exposed to Welding Fume

Ho-Chun Choi, Kangyoon Kim, Sun-Hee An, Wha-Me Park, So-Jin Kim,  
Young-Ja Lee<sup>†</sup>, Kyou-Chull Chang

*Institute of Occupational Health, Korean Industrial Health Association, Seoul, Korea*  
*Department of Industrial Safety, Seoul Health College, Sunghnam, Korea\**

Airborne concentrations of welding fumes in which 13 different metals such as Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Si, Sn, Ti, and Zn were analyzed were measured at 18 factories including automobile assembly and manufactures, steel heavy industries and shipyards. Air samples were collected by personal sampler at each worker's worksite(n=339). Blood levels of Cd, Cu, Fe, Mn, Pb and Zn were also measured from samples taken from 447 welders by atomic absorption spectrometry and compared with control values obtained from 127 non-exposed workers.

The results were as follows ;

1. Among various welding types, CO<sub>2</sub> welding 70.2 % were widely used, shielded metal arc welding(SMAW) 22.1 % came next, and rest of them were metal inert gas(MIG) welding, submerged arc welding(SAW), spot welding(SPOT) and tungsten inert gas(TIG) welding.

\* 이 논문은 1997년도 "작업환경측정기술협의회"의 연구비 지원에 의하여 이루어졌습니다.

† 교신저자

2. Welding fume concentration was 0.92 mg/m<sup>3</sup>(0.02~15.33 mg/m<sup>3</sup>) at automobile assembly and manufactures, 4.10 mg/m<sup>3</sup>(0.02~70.75mg/m<sup>3</sup>) at steel heavy industries and 5.59 mg/m<sup>3</sup>(0.30~91.16 mg/ m<sup>3</sup>) at shipyards, respectively, showing significant difference among industry types.

Workers exposed to high concentration of welding fumes above Korean Permissible Exposure Limit(KPEL) amounted to 7.9 % and 12.5 % in CO<sub>2</sub> welding and in SMAW at automobile assembly and manufactures and 62.7 % in CO<sub>2</sub> welding, and 12.5 % in SMAW at shipyards, and 66.2 % in CO<sub>2</sub> welding and 70.6 % in SMAW at steel heavy industries.

3. Geometric mean of airborne concentration of each metal released from welding fumes was below one 10th of KPEL in all welding types. Percentage of workers, however, exposed to airborne concentration of metals above KPEL amounted to 16.8 % in Mn and 7.6 % in Fe in CO<sub>2</sub> welding; 37.5 % in Cu in SAW, 30 % in Cu in TIG; and 25 % in Pb in SPOT welding. As a whole, 76 workers(22.4 %) were exposed to high concentration of any of the metals above KPEL.

4. There were differences in airborne concentration of metals such as Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Si, Sn, Ti and Zn by industry types. These concentrations were higher in shipyards and steel heavy industries than in automobile assembly and manufactures.

Workers exposed to higher concentration of Pb above KPEL amounted to 7.4 % of workers(7/94) in automobile assembly and manufactures. In shipyards, 19.2 % of workers(19/99) were over-exposed to Mn and 7.1 %(7/99) to Fe above KPEL. In steel heavy industries, 14.4 %(21/146), 7.5 %(11/146) and 13 %(19/146) were over-exposed to Mn, Fe and Cu, respectively. As a whole, 76 out of 339 workers(22.4 %) were exposed to any of the metals above KPEL.

5. Blood levels of Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, and Zn in welders were 0.11 µg/100ml, 0.84 µg/ml, 424.4 µg/ml, 1.26 µg/100ml, 5.01 µg/100ml and 5.68 µg/ml, respectively, in contrast to 0.09 µg/100ml, 0.70 µg/ml, 477.2 µg/ml, 0.73 µg/100ml, 3.14 µg/100ml and 6.15 µg/ml in non-exposed control groups, showing significantly higher values in welders but Fe and Zn.

## I. 서 론

용접은 근대공업의 발달로 탄소아크용접 및 금속 아크용접을 비롯하여 다양한 용접 종류가 이용되었으며, 자동차 조립 및 부품 제조, 금속관련 제조업 및 조선업 등 중공업에서 많이 사용하고 있다. 아크용접은 사용되는 전극에 따라 소모전극으로 피복아크용접(Shielded Metal Arc Welding), 매그용접(Metal Active Gas Welding, MAG, 이하 CO<sub>2</sub> 용접), 미그용접(Metal Inert Gas Arc Welding, MIG), 서브머지드 아크용접(Submerged Arc Welding) 등이 있으며, 비

소모전극은 티그용접(Tungsten Inert Gas Arc Welding), 플라즈마 아크용접(Plasma Arc Welding), 탄소아크용접 등으로 분리할 수 있다. 비용융 용접으로는 저항용접, 압접, 납땀이 있고, 이중 저항용접은 스팟(Spot)용접, 고주파용접 등이 있으며, 압접은 가스압접, 냉간압접, 확산압접, 마찰용접, 납땀은 경납땀, 연납땀을 들 수 있다. 복잡한 용접종류의 사용은 용접하고자 하는 소재 및 재질 그리고 사용 용도에 따라서 각각 다르다. 일반적으로 사용되는 용접종류는 피복아크용접이 60 %, 가스보호막 아크용접이 30 %이며 기타가 약 10 %로 알려져 있지만 점점 피

복아크용접이 증가하는 추세에 있다(한국산업안전공단, 1997).

특히 아크용접은 5500°C 이상인 전기 아크열에 의해 피용접물 및 용접봉이 용융되면서 발생하는 금속 흡이 다양하며 고농도로 근로자에게 노출된다. 용접 시 발생하는 용접흄 및 금속은 모재의 종류, 열원의 종류, 용접봉의 종류에 따라 다르다. 특히, 연강을 모재로 하여 용단작업을 할 때에는 철(Fe), 망간(Mn), 구리(Cu)가 발생하며, 모재가 스테레스 스틸일 때에는 크롬(Cr), 니켈(Ni), 아연(Zn), 망간 등이 발생되어 근로자들의 금속 중독에 대한 보건관리가 필요하다(노동부, 1984). 최근에 우리 나라에서는 CO<sub>2</sub> 용접 작업자에서 망간중독에 대한 보고가 있었으며, 이로 인해 용접흄에 노출된 근로자의 금속 노출에 관한 관심이 고조되고 있다. 강철은 탄소(C)를 약 2% 함유한 철-탄소(Fe-C) 합금의 일반적인 이름이다. 이 기본 강철에 다른 합금원소로 알루미늄(Al), 크롬, 코발트(Co), 크롬-니켈(Cr-Ni), 크롬-알루미늄(Cr-Al), 망간, 니켈, 규소(Si), 텅스텐(W) 등을 첨가하면서 금속의 특별한 성질인 원소적 저항, 열저항, 부식방지 및 온도팽창 등이 향상되어 용도별로 사용하게 된다. 그러므로 용접에 사용되는 모재의 성질이 기본적인 강철인지 또는 스테레스 스틸강 또는 합금강인지에 따라 공기중에 비산되는 흄의 금속 성분이 달라지게 된다. 철 분진이나 흄의 흡입으로 나타나는 결과인 용접공폐는 금속 분진임에도 불구하고 폐기능 반응이 최소화되기 때문에 진폐증 분류에 속하여 있으며, 철공소에서 철로 기인되는 노출로 인한 세기관지 폐색증의 증가인, 폐에 반점이 보이는 철폐증(Siderosis)은 철의 반점으로 폐의 섬유화 증식이 생기지 않는 진폐증(Benign Pneumoconiosis)으로 분리하는데, 수년간 근무한 전기아크 용접자에서 보통 나타난다. 철은 인체대사과정에서 중요한 원소로 철원자의 상태나 양이 다양한 산업물질에 노출된 결과에 영향을 받을 수 있다. Bavaria 철작업자들의 혈청중 철 농도는 폐의 방사 화학적 사진(Radiographic findings)과 명확한 상관관계가 있다고 보고하였다

(Stokinger, 1981).

이와 같이 용접작업장에서 야기되는 많은 금속에 노출되는 작업자들의 작업환경 평가는 중요하며, 이에 노출된 결과 인체에 축적되거나 배설되는 금속 함유량도 중요할 것으로 생각된다.

그래서 본 연구는 우리 나라의 산업구조상 용접을 많이 다루고 있는 자동차, 금속관련 제조업 및 조선업을 대상으로 하여 산업장에서 주로 많이 사용되고 있는 피복아크용접(Shielded Metal Arc Welding), CO<sub>2</sub> 용접(Metal Active Gas Welding, 매그용접), 서브머지드 아크용접(Submerged Arc Welding), 티그 용접(Tungsten Inert Gas Arc Welding) 및 스팟(Spot) 용접 등의 용접종류에 따라 작업 환경중 흄농도 및 흄중 금속에 대한 노출 농도를 측정하여 근로자들의 흄의 금속성분마다 노출된 정도를 파악하고자 하였다. 금속은 알루미늄, 카드뮴(Cd), 크롬, 구리(Cu), 철, 망간, 몰리브덴(Mo), 니켈, 납(Pb), 실리콘, 주석(Sn), 티타늄(Ti) 및 아연 13 종류에 대해 근로자의 기중 노출 농도를 측정하였으며, 혈액 중에는 카드뮴, 구리, 철, 망간, 납 및 아연 6 종류에 대한 농도를 측정하여 금속에 노출되지 않은 정상인의 혈중 금속 농도와 비교하였다.

## II. 연구대상 및 방법

### 1. 연구대상

본 연구는 1997년 7월부터 1998년 4월까지 경남, 경북, 충북, 전북 및 경인지역의 국내 용접작업이 이루어지고 있는 사업장을 선정하여 용접열원을 종류별로 분류하여 근로자의 작업 환경중 노출농도 및 혈중 금속 농도를 측정하였다. 작업환경중 금속 측정을 위한 대상 사업장은 18개소 용접작업 근로자 339명으로 업종별로 분류하면 자동차 관련업 7개소(94명), 조선업 2개소(99명), 기타 금속관련 중공업 9개소(146명)였고, 혈중 금속 측정을 위한 대상 사업장은 5개소 용접작업 근로자 447명으로 업종별로 분류

하면 자동차 관련업 3개소(373명), 조선업 1개소(35명), 기타 금속관련 제조업 2개소(39명)와 용접흡에 노출된 경험이 없는 사무직 근로자 127명을 대조군으로 하였다.

대상물질로는 용접흡 및 흡중 알루미늄, 카드뮴, 크롬, 구리, 철, 망간, 몰리브덴, 니켈, 납, 실리콘, 주석, 티타늄, 아연의 13 종류 금속 성분을 선정하였으며, 작업자의 혈중 금속 농도는 카드뮴, 구리, 철, 망간, 납, 아연의 6 종류 금속 농도를 측정하였다. 혈중 농도 측정은 용접 종류별 및 업종별에 따라 비교하였다.

## 2. 연구방법

### 1) 시료채취

공기중 용접흡과 용접흡내 금속 성분을 측정하기 위한 시료포집은 cellulose ester membrane 여과지(Millipore Corp., U.S.A., 37 mm, 0.8  $\mu$ m pore size)를 3-piece cassette에 고정시킨 후 개인용 시료 포집 펌프(MSA, Gillian, U.S.A.)에 연결하여 용접작업중 근로자가 착용하고 있는 헬멧 바깥의 호흡위치에서 약 2 l/min의 유속으로 240-452 분간 시료를 포집하였다. 용접작업장내의 금속 농도가 높은 사업장 일 경우 오전, 오후로 나누어 시료를 포집하였다.

혈중 금속 농도 측정은 채혈 후 -20 °C에서 냉동 보관한 혈액을 사용하였다.

### 2) 분석

#### 가) 용접 흡의 중량 및 금속 분석

시료 포집전 여과지를 데시케이터에 넣어 24 시간 이상 건조시킨 후, 0.01 mg까지 측정 가능한 천칭(AE 240, Mettler, Switzerland)을 사용하여 평량하였으며, 시료 포집된 여과지도 포집전과 동일한 방법으로 건조시킨 후 평량하였다. 용접흡 농도는 시료포집 전후의 여과지 중량차를 구하여 현장 공시료로 보정한 후 중량분석법에 의해 농도를 산출하였다.

용접 흡중 금속 분석은 불꽃 원자흡광도계

(Spectr AA-30, Varian, Australia)를 이용하였다. 그중 철, 망간, 아연은 acetylene-air를 사용하였으며, 알루미늄과 실리콘은 N<sub>2</sub>O-acetylene-air를, 카드뮴, 크롬, 구리, 몰리브덴, 니켈, 납, 주석, 티타늄은 비불꽃 원자흡광도계(Shimadzu AA-6701, Japan; Hitachi Z-8100, Japan)로 분석하였고, 현장 공시료로 분석농도를 보정하였다. 분석조건은 Table 1과 같고, 용접작업장의 공시료로 중금속 농도의 분석 값을 보정하였다.

각 금속별 검출한계 값(LOD; Limit of detection)은 각 금속마다  $\mu$ g/sample 단위의 검출한계 값을 구한 후, 이를 유량 500 l로 가정하였을 때 각각 알루미늄  $1.6 \times 10^{-2}$  mg/m<sup>3</sup>, 카드뮴  $1.1 \times 10^{-6}$  mg/m<sup>3</sup>, 크롬  $2.4 \times 10^{-5}$  mg/m<sup>3</sup>, 구리  $2.6 \times 10^{-6}$  mg/m<sup>3</sup>, 철  $4.3 \times 10^{-3}$  mg/m<sup>3</sup>, 망간  $1.5 \times 10^{-3}$  mg/m<sup>3</sup>, 몰리브덴  $2.8 \times 10^{-5}$  mg/m<sup>3</sup>, 니켈  $3.3 \times 10^{-6}$  mg/m<sup>3</sup>, 납  $2.5 \times 10^{-5}$  mg/m<sup>3</sup>, 실리콘  $2.0 \times 10^{-5}$  mg/m<sup>3</sup>, 주석  $8.4 \times 10^{-5}$  mg/m<sup>3</sup>, 티타늄  $1.0 \times 10^{-4}$  mg/m<sup>3</sup>, 아연  $6.5 \times 10^{-4}$  mg/m<sup>3</sup>이었다.

#### 나) 혈중 금속 분석

시료의 전처리에는 매트릭스 개선제(matrix modifier)를 첨가한 Triton X-100을 사용하여 각각의 금속 농도 범위에 따라 희석하였다. 혈중 철과 아연은 D2 방식의 바탕 보정을 이용하여 불꽃원자흡광도계(SpectrAA-30, Varian, Australia)로, 혈중 납, 카드뮴, 크롬, 망간, 구리는 Zeeman 방식의 바탕보정을 이용한 비불꽃 원자흡광도계(Z-8100, Hitachi, Japan)를 이용하여 분석하였고, 표준물 첨가법에 의해 농도를 계산하였다. 분석조건은 Table 1과 같고 각 혈중 금속별 검출한계 값은 혈중 카드뮴 0.17  $\mu$ g/100ml, 구리 0.0005  $\mu$ g/ml, 망간 0.11  $\mu$ g/100ml, 납 0.072  $\mu$ g/100ml, 철, 0.0325  $\mu$ g/ml, 아연 0.0044  $\mu$ g/ml이었다.

### 3) 통계처리 방법

자료의 분석은 statistical analysis system(SAS, version 6.12)을 이용하여 분석하였고, 용접흡 농도 및 금속농도 값의 대표 값과 산포도는 샤페로 윌크

Table 1. Analytical conditions of metals in airborne welding fume and blood samples

Parameters		Elements												
		Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Si	Sn	Ti	Zn
Wavelength(nm)		309.3	228.8	357.9	324.8	248.3	279.5	313.3	232.0	283.3	251.6	224.6	364.3	213.9
<b>1. Metal in welding fume</b>														
Temp. program (°C)	Dry		120-250	120-250	120-250			120-250	120-250	80-120		80-120	80-120	
	Ashing		300	700	500			900	800	550		650	900	
	Atomizing		1500	2500	2500			2700	2500	2000		2700	3000	
LOD <sup>†</sup> (ng/m <sup>3</sup> )		1.6x10 <sup>-2</sup>	1.1x10 <sup>-6</sup>	2.4x10 <sup>-5</sup>	2.6x10 <sup>-5</sup>	4.3x10 <sup>-3</sup>	1.5x10 <sup>-3</sup>	2.8x10 <sup>-5</sup>	3.3x10 <sup>-6</sup>	2.5x10 <sup>-5</sup>	2.0x10 <sup>-5</sup>	8.4x10 <sup>-5</sup>	1.0x10 <sup>-4</sup>	6.5x10 <sup>-4</sup>
<b>2. Metal in blood</b>														
Temp. program (°C)	Dry		70-120		80-120		60-140			80-120				
	Ashing		300-600		600		500-900			700				
	Atomizing		1700		2700		2500			2300				
LOD <sup>†</sup>			0.017 µg/100ml		0.0005 µg/ml	0.0325 µg/ml	0.11 µg/100ml			0.072 µg/100ml				0.0044 µg/ml

† LOD: Limit of detection

검정(shapiro-wilk test) 후 기하평균(geometric mean, GM) 및 기하표준편차(geometric standard deviation, GSD)로 나타냈다. 용접종류, 업종 등의 변수에 따른 용접흡이나 혈액중 금속 농도 값에 대한 유의성 검정은 분산분석(ANOVA)을 수행하였다.

### III. 결 과

#### 1. 사업장에서 사용된 용접봉의 성분조성

18 개소 용접사업장에서 사용하고 있는 용접봉은 용접 종류 및 모재의 성질에 따라 다르게 사용된다 <Table 2>. 우리나라 용접 사업장에서는 주로 모재로 연강이나 합금강을 사용하고 있었으며, 스텐레스 스틸도 가끔 사용되고 있었다. 용접 종류로는 CO<sub>2</sub> 용접이나 피복아크용접(Shielded Metal Arc Welding, SMAW)이 주로 사용되고 있었으며, 그 외 서브머지드아크용접(Submerged Arc Welding, SAW), 티그용접(Tungsten Inert Gas Arc Welding, TIG) 등을 사용하고 있었다. 연강을 모재로 한 CO<sub>2</sub> 용접이나 피

복아크용접을 사용할 때 용접봉의 금속성분은 철 외에 다량의 규소(0.09-0.57 %)와 망간(0.02-1.50 %)을 포함하고 있었으며, 스텐레스 스틸을 모재로 할 때에는 피복아크와 티그용접이 이루어졌으며 규소와 망간 외 고농도의 크롬(19.80-24.00 %), 니켈(9.50-13.00 %) 등이 포함되어 있었다. 합금강을 모재로 할 때에는 CO<sub>2</sub> 용접, 피복아크 및 티그용접이 행해졌으며, 용접봉의 성분은 규소(0.40-0.75 %), 망간(0.65-1.45 %), 크롬(0.00-2.28 %) 몰리브덴(0.00-1.04 %)으로 나타났다.

#### 2. 용접종류별 용접흡의 농도

사업장에서 많이 사용되고 있는 용접종류는 크게 CO<sub>2</sub> 용접, 피복아크용접, 서브머지드아크용접, 스팟 용접 및 티그용접이었으며, 그 외 한 두개 시료로 미그용접(MIG), 플라즈마 용접, 산소 용접(절단) 등이었다. <Table 3> <Fig. 1>과 같이 CO<sub>2</sub> 용접은 339 개 시료중 238 개로 70.2 %, 피복아크는 75 개로 22.1 %를 차지하여 두 용접종류가 92.3 %로 대부분을 차

Table 2. Metal components by welding rods

Welding rod	Base metal	N	Metal components, weight %				
			Mn	Si	Cr	Ni	Mo
MAG	MS	6	1.05-1.50	0.41-0.55	-	-	-
SMAW	MS	5	0.02-1.10	0.09-0.57	-	-	-
SMAW	SS	2	1.30-1.33	0.54-0.68	23.70-24.00	12.00-13.00	0.00-2.70
TIG	SS	3	0.98-1.96	0.38-0.48	19.80-19.96	9.50- 9.95	-
MAG	MA	3	0.65-0.86	0.40-0.58	1.05- 2.21	-	0.53-1.04
SMAW	MA	6	0.67-1.20	0.48-0.53	2.26- 1.32	-	0.13-0.55
TIG	MA	2	0.75-1.45	0.41-0.75	0.00- 2.28	-	0.00-1.00

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

SMAW: Shielded metal arc welding

TIG: Tungsten inert gas welding

MS: Mild steel, SS: Stainless steel, MA: Metal alloy

Table 3. Airborne concentrations of fume by welding types

Welding type	N(%)	Concentrations of welding fume			No. of exceeded KPEL <sup>†</sup> (%)
		GM(mg/m <sup>3</sup> )	GSD	Range(mg/m <sup>3</sup> )	
MAG	238( 70.2)	3.84	4.41	0.02-91.17	106(44.5)
SMAW	75( 22.1)	2.09	4.17	0.02-61.53	17(22.7)
SAW	8( 2.4)	1.36	2.22	0.62- 5.75	1(12.5)
SPOT	8( 2.4)	0.15	3.56	0.02- 0.55	0( - )
TIG	10( 2.9)	2.23	2.97	0.59-33.16	1(10.0)
Total	339(100.0)	2.99	4.66	0.02-91.17	125(36.9)
F value		12.33 <sup>***</sup>			

\*\*\* P<0.001

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

SMAW: Shielded metal arc welding

TIG: Tungsten inert gas welding

SAW: Submerged arc welding

SPOT : Spot welding, a kind of pressure welding

† KPEL: Korea permissible exposure limits

지하였다. CO<sub>2</sub> 용접사업장의 총 흙의 기하평균농도는 3.84 mg/m<sup>3</sup>(0.02-91.17 mg/m<sup>3</sup>), 피복아크용접은 2.09 mg/m<sup>3</sup>(0.02-61.53 mg/m<sup>3</sup>), 서브머지드아크용접은 1.36 mg/m<sup>3</sup>(0.62-5.75 mg/m<sup>3</sup>), 스팟용접은 0.15 mg/m<sup>3</sup>(0.02-0.55 mg/m<sup>3</sup>), 티그용접은 2.23 mg/m<sup>3</sup>(0.59-33.16 mg/m<sup>3</sup>)로 용접종류에 따라 흙 농도가 차이를 보였다 (p<0.001).

CO<sub>2</sub> 용접 근로자들의 흙 농도가 노출기준 5 mg/m<sup>3</sup>을 초과하는 근로자는 CO<sub>2</sub> 용접이 44.5%, 피복아크

용접은 22.7%, 서브머지드아크용접은 12.5%, 티그용접은 10.0%를 보였으며, 전체적으로는 339명중 125명으로 36.9%가 노출기준을 초과하였다. 또한 흙의 농도범위는 0.02-91.17 mg/m<sup>3</sup>으로 개개인의 노출 농도의 차이가 심하다는 것을 알 수 있었다.

### 3. 업종별 용접흙의 농도

우리 나라에서 용접이 많이 사용되고 있는 사업장

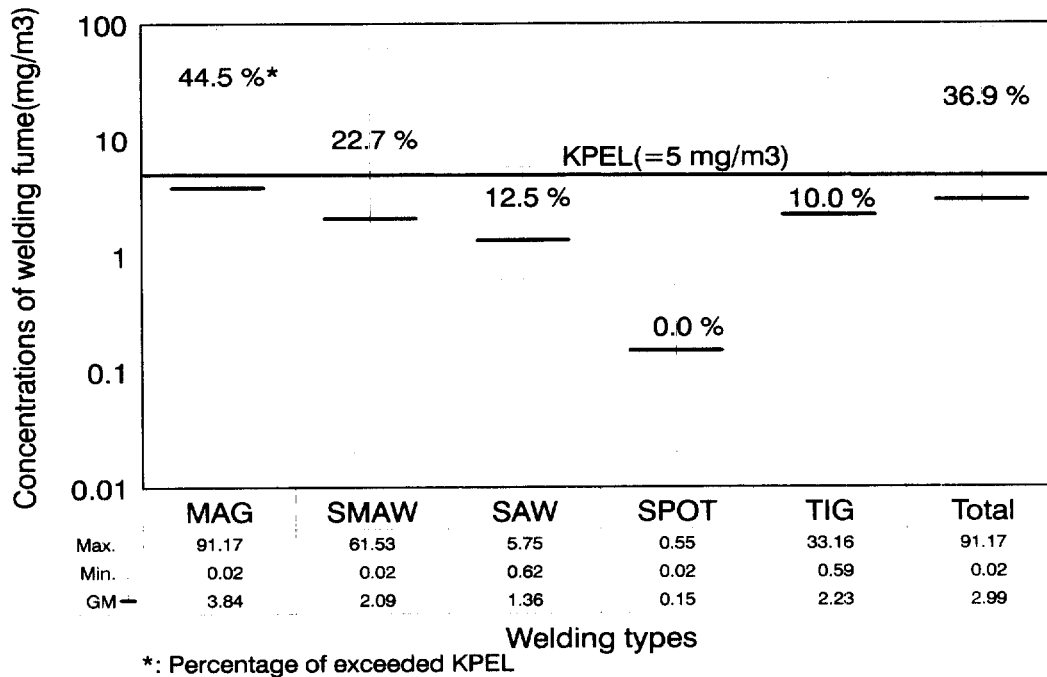


Fig. 1. Airborne concentrations of fume by welding types

으로는 자동차 산업, 금속관련 제조업 및 조선업 등으로 용접형태는 주로 90% 이상이 CO<sub>2</sub> 용접과 피복아크용접이다. 자동차 산업은 자동차 부품 제조 및 조립을 포함하며, 조선업은 선박제조 및 수리, 금속관련 제조업은 공조기계 제조, 가스통 제조, 중장비 제조, 자동차 외 금속관련 제조 등을 포함하였다.

자동차 산업에서 용접 근로자의 흡 농도는 0.92 mg/m<sup>3</sup>(0.02-15.33 mg/m<sup>3</sup>), 금속관련 제조업은 4.10 mg/m<sup>3</sup>(0.02-70.75 mg/m<sup>3</sup>), 조선업은 5.59 mg/m<sup>3</sup>(0.30-91.16 mg/m<sup>3</sup>)이었다<Table 4>. CO<sub>2</sub> 용접 근로자들은 자동차 산업 근로자들의 흡농도가 낮은 반면 금속관련 제조업과 조선업이 높아 업종별 흡농도에 차이가 있었다(p<0.001).

우리 나라 흡 노출기준을 초과하는 근로자는 자동차 산업에서 94명중 8명으로 8.5%, 금속관련 제조업이 146명중 63명으로 43.2%, 조선업은 99명중 54명으로 54.5%가 초과하였고, 총 339명중 125명(36.9%)이 우리 나라 흡 노출기준을 초과하였다.

#### 4. 용접종류별 근로자의 금속 노출 농도

용접종류별 근로자에 노출된 용접흡에 함유된 13개의 금속 성분에 대해 분석한 결과, 용접종류별 공기중 금속의 기하평균 농도는 모든 금속에서 우리나라 노출기준의 1/10 이하에 해당하는 농도였다. 특히 카드뮴(0.0001 mg/m<sup>3</sup>), 크롬(0.0002-0.0008 mg/m<sup>3</sup>), 니켈(0.0001-0.0013 mg/m<sup>3</sup>) 및 주석(0.0002-0.0005 mg/m<sup>3</sup>)은 매우 낮은 농도로 유해성이 큰 금속에서 근로자에게 노출되는 정도가 적었다. 용접종류별 금속 농도에 대한 차이는 Fig. 2와 같다. CO<sub>2</sub> 용접, 피복아크 용접, 서브머지드 아크용접, 스팟 용접 및 티그 용접별 금속 농도는 구리, 철, 망간, 규소, 아연(p<0.001), 니켈, 티타늄(p<0.01), 주석(p<0.05)에서 차이가 있었다.

용접종류별 금속의 평균 농도는 낮았지만 노출기준을 초과하는 시료수는 적지 않았다<Table 5>. CO<sub>2</sub> 용접에서 망간의 노출기준을 초과하는 시료는 238명중 40명으로 16.8%나 됐으며, 철은 18명으로

Table 4. Airborne concentrations of welding fume by industry types

Industry types	N(%)	Concentrations of welding fume			No. of exceeded KPEL <sup>†</sup> (%)
		GM(mg/m <sup>3</sup> )	GSD	Range(mg/m <sup>3</sup> )	
Automobile assembly & manufacturing	94( 27.7)	0.92	4.80	0.02-15.33	8( 8.5)
Steel heavy industry	146( 43.1)	4.10	3.54	0.02-70.75	63(43.2)
Shipyard	99( 29.2)	5.59	3.62	0.30-91.16	54(54.5)
Total	339(100.0)	2.98	4.67	0.02-91.16	125(36.9)

ANOVA table of among industry types F=49.05\*\*\*

\*\*\* P<0.001 † KPEL: Korea permissible exposure limits

7.6 %이며, 서브머지드아크용접(37.5 %)과 티그용접(30.0 %)에서 구리의 노출기준 초과가 많았다. 전체 339명 중 76명이 각 금속의 노출기준에 초과되어 전체의 22.4 %에 해당하였다.

### 5. 업종별 근로자의 금속 노출 농도

업종별 금속 농도에 차이가 있는 것은 알루미늄, 카드뮴, 크롬, 구리, 철, 망간, 몰리브덴, 니켈, 납, 규소, 주석, 티타늄 및 아연의 13 개 모든 금속이었다 <Fig. 3>. 자동차 산업보다는 조선업과 금속관련 제조업에서 모든 금속농도가 높았다(p<0.01). 업종별 노출 기준을 초과하는 근로자는 자동차 산업에서 납이 94명중 7명(7.4 %)이었으며, 금속관련 제조업은 146명중 망간 21명(14.4 %), 철 11명(7.5 %), 구리 19명(13 %)이었으며, 조선업에서는 99명중 망간이 19명(19.2 %), 철 7명(7.1 %)이었다. 전체 근로자 339명 중 76명이 노출기준 초과로 22.4 %이 해당하였다 <Table 6>.

### 6. 용접 근로자들의 혈액중 금속 농도

자동차 산업, 조선업 및 금속관련 제조업별 용접 근로자들의 혈중 금속 농도를 금속에 노출되지 않은 정상인과 비교하였다 <Table 7>. 용접 근로자와 정

상인의 혈중 카드뮴은 각각 0.11  $\mu\text{g}/100\text{mL}$ (LOD-0.56  $\mu\text{g}/100\text{mL}$ ), 0.09  $\mu\text{g}/100\text{mL}$ (0.03-0.37  $\mu\text{g}/100\text{mL}$ )이며, 구리는 0.83  $\mu\text{g}/\text{mL}$ (0.41-1.39  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), 0.70  $\mu\text{g}/\text{mL}$ (0.44-1.21  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )이며, 철은 424.4  $\mu\text{g}/\text{mL}$ (166.4-630.4  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), 477.2  $\mu\text{g}/\text{mL}$ (298.4-648.0  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), 망간은 1.26  $\mu\text{g}/100\text{mL}$ (0.28-5.26  $\mu\text{g}/100\text{mL}$ ), 0.73  $\mu\text{g}/100\text{mL}$ (LOD-2.14  $\mu\text{g}/100\text{mL}$ ), 납은 5.01  $\mu\text{g}/100\text{mL}$ (1.50-92.20  $\mu\text{g}/100\text{mL}$ ), 3.14  $\mu\text{g}/100\text{mL}$ (1.50-8.51  $\mu\text{g}/100\text{mL}$ )이며, 아연은 5.68  $\mu\text{g}/\text{mL}$ (2.52-11.20  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), 6.15  $\mu\text{g}/\text{mL}$ (4.28-9.16  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )로 두 그룹간 모두 유의한 차이가 있었다(p<0.001). 업종별 용접 근로자들의 금속 농도는 카드뮴, 철, 망간, 아연은 차이가 있었지만(p<0.001, p<0.01), 구리와 납 농도는 차이가 없었다. 철과 아연 농도는 정상인보다 낮은 수치를 보인 것이 특징적이었다.

각 업종별 혈중 망간 및 혈중 납의 생물학적 노출 기준을 초과하는 근로자수는 Table 8과 같다. 혈중 망간은 WHO(1986)는 2  $\mu\text{g}/100\text{mL}$  이상, Lauwerys & Hoet(1993)은 1  $\mu\text{g}/100\text{mL}$  이상을 정상인이나 참고치보다 높은 것으로 간주하였고, 혈중 납은 우리나라 노동부(1994)에서 참고치로 40  $\mu\text{g}/100\text{mL}$  이하를 결정하였다.

혈중 망간이 1  $\mu\text{g}/100\text{mL}$  이상인 근로자는 자동차 산업에서 총 373명 중 72.9 %인 272명이었고, 금속관련 제조업은 39명중 23명(59.0 %), 조선업은 35명중 33명(94.3 %)으로, 총 447명 중 328명(73.4 %)이었으



Fig. 2. Airborne concentration of metals by welding types.  
 (\* P<0.05, \*\* P<0.01, \*\*\* P<0.001)

Table 5. Samples of exceeded Korean permissible exposure limit of metals by welding types

Welding types	N	No. of exceeded Korean permissible exposure limit <sup>a</sup> (%)													
		Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Si	Sn	Ti	Zn	Total(%)
MAG	238	-	-	-	11(4.6)	18(7.6)	40(16.8)	-	1(0.4)	4(1.7)	-	-	-	1(0.4)	61(25.6)
SMAW	75	-	-	1(1.3)	4(5.3)	-	-	-	-	1(1.3)	-	-	-	-	6( 8.0)
SAW	8	-	-	-	3(37.5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3(37.5)
SPOT	8	-	-	-	-	-	-	-	-	2(25.0)	-	-	-	-	2(25.0)
TIG	10	-	-	1(10.0)	3(30.0)	-	-	-	1(10.0)	-	-	-	-	-	4(40.0)
Total	339	-	-	2(0.6)	21(6.2)	18(5.3)	40(11.8)	-	2(0.6)	7(2.1)	-	-	-	1(0.3)	76(22.4)

\* Korean permissible exposure limits(mg/m<sup>3</sup>): Al(5.0), Cd(0.05), Cr(0.5), Cu(0.1), Fe(5.0), Mn(1.0), Mo(10.0), Ni(1.0), Pb(0.05), Si(10.0), Sn(2.0), Ti(10.0), Zn(5.0)

Fig. 3. Airborne concentration of metals by industry types(\* P<0.01).

Table 6. Samples of exceeded Korean permissible exposure limit of metals by industry types

Industry types	N	No. of exceeded Korean permissible exposure limit(%)													
		Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Si	Sn	Ti	Zn	Total(%)
Automobile assembly & manufacturing	94	-	-	-	1(1.1)	-	-	-	-	7(7.4)	-	-	-	-	8(8.5)
Steel structure manufacturing	146	-	-	2(1.4)	19(13.0)	11(7.5)	21(14.4)	-	2(1.4)	-	-	-	-	-	49(33.6)
Shipyards	99	-	-	-	1(1.0)	7(7.1)	19(19.2)	-	-	-	-	-	-	1(1.0)	19(19.2)
Total	339	-	-	1(0.3)	15(4.9)	18(5.8)	40(13.0)	-	1(0.3)	5(1.6)	-	-	-	1(0.3)	76(22.4)

\* Korea permissible exposure limits(mg/m): Al(5.0), Cd(0.05), Cr(0.5), Cu(0.1), Fe(5.0), Mn(1.0), Mo(10.0), Ni(1.0), Pb(0.05), Si(10.0), Sn(2.0), Ti(10.0), Zn(5.0)

며 2  $\mu\text{g}/100\text{m}^3$  이상인 근로자는 자동차 산업이 46명 (12.3 %), 금속관련 제조업이 7명(17.9 %), 조선업이 10 명(28.6 %)으로 총 63명(14.1 %)이었다. 혈중 납은 우리 나라 참고치인 40  $\mu\text{g}/100\text{m}^3$  이상이 자동차

산업에서만 3명(0.8 %)이 초과하였다. 반면 대조군에서는 혈중 망간이 1  $\mu\text{g}/100\text{m}^3$  이상인 근로자가 28명(22.0 %), 2  $\mu\text{g}/100\text{m}^3$  이상인 근로자가 2명(1.6 %)이었고, 혈중 납 40  $\mu\text{g}/100\text{m}^3$ 을 초과하는 근로자는 한명도 없었다.

Table 7. Concentration of blood metals of controls and welding workers by industry types

Groups	Industry types	N	Concentration of metals in blood					
			Cd( $\mu\text{g}/100\text{m}\ell$ )	Cu( $\mu\text{g}/\text{m}\ell$ )	Fe( $\mu\text{g}/\text{m}\ell$ )	Mn( $\mu\text{g}/100\text{m}\ell$ )	Pb( $\mu\text{g}/100\text{m}\ell$ )	Zn( $\mu\text{g}/\text{m}\ell$ )
Exposure	Automobile assembly & manufacturing	373	0.11(1.75) LOD <sup>†</sup> -0.48	0.84(1.16) 0.41-1.39	426.7(1.22) 166.4-630.4	1.24(1.56) 0.28-5.26	5.09(1.57) 1.50-92.20	5.77(1.24) 2.52-11.20
	Steel heavy industry	39	0.10(1.85) LOD-0.38	0.80(1.11) 0.69-1.06	389.3(1.2) 282.8-524.2	1.11(1.72) 0.31-2.97	5.02(1.41) 2.90-16.30	5.92(1.19) 4.06-10.86
	Shipyard	35	0.17(2.27) 0.03-0.56	0.85(1.11) 0.59-1.01	441.0(1.1) 377.6-531.4	1.70(1.45) 0.83-4.33	4.26(1.31) 2.21-8.20	4.62(1.12) 3.36-5.80
	Subtotal	447	0.11(1.82) LOD-0.56	0.83(1.15) 0.41-1.39	424.4(1.2) 166.4-630.4	1.26(1.58) 0.28-5.26	5.01(1.54) 1.50-92.20	5.68(1.24) 2.52-11.20
Control	-	127	0.09(1.78) 0.03-0.37	0.70(1.12) 0.44-1.21	477.2(1.1) 298.4-648.0	0.73(1.59) LOD-2.14	3.14(1.42) 1.50-8.51	6.15(1.17) 4.28-9.16
ANOVA table of among industry types			9.16***	1.94	4.96**	9.51***	2.69	19.69***
ANOVA table of between exposure and control group			16.85***	138.15***	43.79***	142.11***	124.15***	15.29***

\*\* P<0.01, \*\*\* P<0.001

† LOD: less than limit of detection

Table 8. No. of exceeded 1.0  $\mu\text{g}/100\text{m}\ell$  MnB, 2.0  $\mu\text{g}/100\text{m}\ell$  MnB and 40  $\mu\text{g}/100\text{m}\ell$  PbB

Groups	Industry types	N	No. of exceeded limits		
			1.0 $\mu\text{g}/100\text{m}\ell$ <sup>1)</sup> MnB <sup>4)</sup> (%)	2.0 $\mu\text{g}/100\text{m}\ell$ <sup>2)</sup> MnB(%)	40 $\mu\text{g}/100\text{m}\ell$ <sup>3)</sup> PbB(%)
Exposure	Automobile assembly & manufacturing	373	272(72.9)	46(12.3)	3(0.8)
	Steel heavy industry	39	23(59.0)	7(17.9)	-
	Shipyard	35	33(94.3)	10(28.6)	-
	Sub total	447	328(73.4)	63(14.1)	3(0.7)
Control	-	127	28(22.0)	2( 1.6)	-

1) 1.0  $\mu\text{g}/100\text{m}\ell$  MnB: reference value by Lauwerys & Hoet(1993)

2) 2.0  $\mu\text{g}/100\text{m}\ell$  MnB: WHO(1986)

3) 40.0  $\mu\text{g}/100\text{m}\ell$  PbB: BEI by Ministry of Labor in Korea(1994)

4) MnB: manganese in blood

#### IV. 고 찰

용접 근로자들의 건강에 영향을 주는 용접흡 및 가스상 물질은 노출 정도, 기간 및 흡에 함유된 독성

금속에 따라 영향을 받는다. 특히 모재가 스테레스 스틸인 경우, 카드뮴, 납이 코팅된 강철, 또는 니켈, 크롬, 아연, 구리 등이 포함된 용접과정에서 흡의 발생은 연강을 모재로 사용할 때 보다 독성이 더 강하

다. 연강에서는 주로 철, 탄소 및 적은 양의 망간을 포함한다. 반면에 스텐레스 스틸은 철, 크롬, 니켈, 티타늄 및 망간을 포함한다. 미국의 국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, 이하 NIOSH)에서는 용접흡에서 발생하는 발암성물질의 표준 항목으로 비소, 베릴리움, 카드뮴, 6가 크롬 및 니켈로 정하였다. 역학 및 질병사례 보고서에서도 급성 및 만성적 호흡기계 질병에 대한 발생율을 볼 수 있다. 용접 근로자들의 호흡기계 질병은 직업적 천식, 철폐증(Siderosis), 폐기종, 만성기관지염, 폐의 섬유화 반응 및 폐암을 포함한다. 용접 근로자들의 폐암에 대한 상대적 위험도는 40 %를 넘는 것으로 역학 연구에서 보고하였다(Wallace et al, 1997).

용접 근로자는 수시로 밀폐된 공간에서도 작업을 수행하기 때문에 작업환경중의 용접흡 농도가 높아 용접공폐증, 폐수종, 폐기종, 만성 기관지염 등 급성 및 만성 폐질환을 유발시킬 수 있으며(윤임중, 1989) 그 외에도 유해광선, 소음, 분진, 고온 등의 물리적인 인자와 용접종류 및 용접재료에 따라 이산화질소( $\text{NO}_2$ ), 오존( $\text{O}_3$ ) 등의 유해가스와 석면(asbestos), 크롬(chromium, Cr), 니켈(nickel, Ni), 카드뮴(cadmium, Cd), 납(lead, Pb), 알루미늄(aluminum, Al), 산화철(iron oxide,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) 등의 화학적 인자에 노출되어 여러 가지 직업병 발생위험이 높은 것으로 알려져 있다(Rom, 1992). 용접흡에서 가장 많이 발생하는 산화철(TLV=5 mg/m<sup>3</sup>)은  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 와  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 의 형태로 존재하며 철폐증(siderosis)의 원인이 되며, 실리콘은 ferrosilicon과 silicon dioxide의 형태로 존재하면서 실리카와 산화철의 결합에 의한 구산철폐증의 원인이 된다.

피복아크용접시 3, 6가 크롬, 철, 망간, 니켈 등이 발생하며(Matczak와 Chmielnicka, 1993), 모재가 스텐레스 스틸인 용접에서 크롬, 니켈의 노출에 관해 조사한 결과 월요일 아침 근로자의 혈청 및 요중 크롬 농도가 증가했으며, 니켈은 유의한 증가가 없었다(Kilburn et al. 1990). Fairfax(1994)는 강철빔이 조립

된 용접작업에서 기중 망간농도가 0.32-0.73 mg/m<sup>3</sup>, 혈청중 망간농도가 11.3  $\mu\text{g}/\ell$  라 하였다. Stokinger (1981)는 강철 용접 작업자의 크롬 농도가 2.1 nmol/mmol creatinine로 정상인의 0.7 nmol/mmol creatinine보다 높았으며, 스텐레스 스틸이나 연강 작업자들의 요중 크롬 농도가 비교적 낮은 수치를 보였다. 그러나 혈중 크롬 농도는 정상인과 유사한 결과를 보였다.

용접흡은 용접시 사용되는 용접 종류, 용접봉 및 모재에 따라 흡의 성분조성이 달라지며, 또한 용접과정, 종류 및 용접 조건 등에 따라 용접흡의 발생량에 영향을 미치게 된다(이권섭과 백남원, 1994; 신용철 등, 1997; Karlsen, 1994). 용접 방법은 용접 종류에 따라 용융법과 비용융법으로 나뉘며, 용융용접은 아크용접, 전기슬러그용접, 전자빔용접, 레이저용접, 가스용접 등이 있으며 산업장에서 많이 쓰이는 아크용접에는 피복아크용접(Shielded Metal Arc Welding),  $\text{CO}_2$  용접(Metal Active Gas Welding, 매그 용접), 서브머지드아크용접(Submerged Arc Welding), 티그용접(Tungsten Inert Gas Arc Welding), 미그용접, 플라즈마 아크용접 등이 있다. 자동차 차체 조립을 위한 비용융 저항용접으로는 스팟(Spot)용접이 많이 쓰이고 있다.

그래서 본 연구는 용접작업을 많이 사용하는 자동차 산업, 금속관련 제조업 및 조선업을 대상으로 하여 작업장에서 주로 사용되고 있는 용접봉의 성분 조성을 알아보았으며, 용접 종류별 용접흡이 용접 근로자들에게 노출되는 정도를 평가하였다. 또한 용접흡내 독성은 함유된 금속 성분에 따라 근로자들의 건강에 영향을 미치므로, 용접봉의 성분 및 인체내 독성이 큰 물질을 감안하여 NIOSH에서 표준항목으로 규정된 발암성물질인 카드뮴, 니켈을 포함하여 크롬, 납, 철, 구리, 아연, 망간, 티타늄, 몰리브덴, 규소, 주석 및 알루미늄의 노출 농도를 알아보았다. 피복아크용접(Shielded Metal Arc Welding, SMAW)에서는 모재로 연강, 스텐레스 스틸 및 합금강을 사용하였으며,  $\text{CO}_2$  용접은 연강과 합금강을, 티그용접

(Tungsten Inert Gas Arc Welding, TIG)은 스텐레스 스틸과 합금강에서 주로 사용하고 있었다<Table 3>. 용접봉은 모재와의 성분 조성이 비슷해야 하므로 스텐레스 스틸을 모재로 했을 때, 용접봉의 성분 중 크롬과 니켈이 약 9.50-24.00 %를 이루고 있었다. 또한 합금강에서도 연강과는 달리 1.05-2.28 %의 크롬과 0.13-1.04 %의 몰리브덴을 함유하고 있었다.

김광중 등(1991)은 총 50 개 측정치중 44 개(88.0 %)가 용접흡의 허용농도인 5 mg/m<sup>3</sup>을 초과하였으며 용접흡의 기하평균 농도가 9.73 mg/m<sup>3</sup>(2.14-24.86 mg/m<sup>3</sup>)로 본 연구의 기하평균농도인 2.99 mg/m<sup>3</sup>(0.02-91.17 mg/m<sup>3</sup>)보다 높았으며, 이충열과 류철인(1998)은 용접공 진폐증이 발생된 모 조선업의 각 분진 사업장의 기하평균 농도가 0.88-1.35 mg/m<sup>3</sup>를 나타냈다. 신용철 등(1997)은 6개 사업장에서 자동차 조립업(n=40)에서 흡의 기하평균농도가 3.0 mg/m<sup>3</sup>, 자동차 부품 제조업(n=5) 7.8 mg/m<sup>3</sup>, 조선업(n=44) 13.2 mg/m<sup>3</sup>, 철 구조물(n=58) 15.1 mg/m<sup>3</sup>이었다. 본 연구의 업종별 흡 농도는 평균 약 40 %정도가 허용농도를 초과하여 김광중 등(1991), 신용철 등(1997)보다 흡 농도가 낮게 나타났다<Table 4, p<0.001>.

용접흡의 금속 성분조성을 위한 실험에서 알루미늄, 카드뮴, 크롬, 구리, 철, 납, 몰리브덴, 망간, 니켈, 실리콘, 주석, 티타늄, 아연을 분석하였으며, 용접 종류에 따라 나타났다<Fig. 2>. 용접종류에 따른 금속의 평균 농도는 노출기준의 약 1/10에 해당되는 농도로 금속에 대한 유해도가 적은 것으로 나타났다. 신용철 등(1997)은 피복아크용접시 흡의 금속 성분 중 철(25.5 %), 아연(4.5 %), 망간(3.6 %) 농도가 높았으며, CO<sub>2</sub> 용접시 각각 28.2 %, 9.1 %, 7.8 %로 나타냈으며, 용접봉의 화학성분이나 조성의 차이, 모재 금속이나 도금 및 도장상태 등의 차이로 추측하였다.

CO<sub>2</sub> 용접이나 피복아크용접시 사용되는 용접봉의 망간 함유량은 비슷하지만 공기중에 노출된 근로자들의 기하평균농도는 차이가 있었으며, 노출기준이 초과된 근로자의 수도 CO<sub>2</sub> 용접시는 40명이지만, 피복아크에서는 한명도 없었다. 철에 대한 노출기준 초

과도 CO<sub>2</sub> 용접시는 18명이었으며, 피복아크용접은 존재하지 않았다. 즉 CO<sub>2</sub> 용접과 피복아크용접의 용접봉의 금속성분 조성은 유사하나 망간이나 철의 금속농도에 대한 노출기준초과 비율이 달랐다. 이것은 용접봉에 의한 CO<sub>2</sub> 용접시 와이어에 솔리드나 플럭스가 있고, 큰 전류를 사용하며, 금속탄산의 목적으로 와이어중 망간, 규소, 알루미늄, 티타늄이 함유되어 용접흡의 발생이 다른 용접 종류보다 많고 금속성분의 비산도 높은 것으로 본다. 또한 CO<sub>2</sub> 용접이 거의 연속작업이었던 반면 피복아크용접은 간헐적인 작업이 많았던 것도 CO<sub>2</sub> 용접의 흡이나 금속농도가 높았던 이유일 것으로 생각된다. 티그용접에서 크롬과 니켈의 노출기준 초과는 모재 금속이 스텐레스 스틸이었으며, 또한 이에 해당하는 용착금속의 사용으로 간주할 수 있다.

업종별 용접흡의 금속 농도는 <Fig. 3>과 같다. 업종별 농도가 높은 금속은 알루미늄, 철, 망간, 규소였고, 그 외 구리, 티타늄, 아연이었다. 업종별 금속 농도차이는 알루미늄, 카드뮴, 크롬, 구리, 철, 망간, 몰리브덴, 니켈, 납, 규소, 주석, 티타늄, 아연에서 모두 유의하였다. 알루미늄은 조선업에서 높았으며 구리, 철은 금속관련 제조업과 조선업에서, 철과 규소, 티타늄, 아연은 조선업에서 가장 높았으며 다음은 금속관련 제조업이었다. 업종별 각각 기하평균 농도는 낮았지만, 금속마다의 노출기준은 용접종류별과 같이 개인마다 차이가 심하였다<Table 6>. 자동차 산업에서 금속에 대한 전반적인 기하평균농도가 낮고 노출기준을 초과한 근로자수도 적었지만, 납에 대한 노출기준의 초과가 많은 것은 작업형태에 따른 것으로 본다. 자동차 산업은 도로로 폐인트된 차체 위에 때때로 용접작업이 이루어져 근로자들에게 고농도의 납에 노출된 것으로 볼 수 있겠다.

용접흡 내에 함유된 금속에 노출된 근로자들의 혈중 금속 성분 농도는 금속에 노출되지 않은 정상인 그룹과 차이가 있을 것으로 생각된다. 그래서 용접 및 금속관련 광업이나 제련소에 근무하는 근로자들의 혈액 및 요중 망간을 비롯한 일부 금속에 노출된

정도를 비교한 저자들의 연구보고가 많다(Roels etal 1987; Elias etal, 1989; Kilburn etal, 1990; 김지용 등, 1994). 본 연구는 용접흄내 다량 함유된 금속중 카드뮴, 구리, 철, 망간, 납, 아연을 선택하여 용접 근로자들과 정상인의 혈중 금속농도를 비교하고, 업종별로 자동차 산업, 금속관련 제조업 및 조선업 종사자들의 혈중 금속농도를 비교한 결과<Table 7> 정상인과 용접근로자간 금속농도가 모두 차이가 있었다( $p<0.001$ ). 업종별 혈중 금속농도는 카드뮴, 철, 망간, 납, 아연에서 차이가 있었다( $P<0.01$ ,  $p<0.001$ ). 그러나 용접 작업자들의 혈중 금속농도가 철과 아연에서는 정상인보다 낮았다.

혈중 납이 우리 나라 참고치인  $40 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 를 초과한 근로자는 자동차 산업에서만 3명(0.8 %)으로 근무경력이 짧고(1.1-2.7년), 흡 보호용 마스크도 착용하지 않았다. 이는 도로가 입혀진 차체에 용접을 수행함으로써 때에 따라 납에 고농도로 노출될 수 있다고 볼 수 있겠다. 그러나 납에 고농도로 노출된 3명의 근로자들은 혈중 카드뮴 등 그 외 금속 농도는 높지 않았다. 용접 근로자들의 철의 흡입량은 높았지만, 혈액 중 철의 농도는 낮았다. Stokinger (1981)는 용접공폐에서 폐내에 함유된 철의 양은 정상인보다 높았으며, 철이 인체대사과정에서 중요한 원소로서 철의 원자가 상태나 양이 많은 산업 물질에 노출된 결과에 영향을 받을 수 있다고 하였다. 용접 근로자들의 체내 흡입된 금속들의 대사과정 및 상호 관련성은 알 수 없지만, 철이 폐내에 축적되면 동시에 혈류에 함유된 철의 농도는 감소되는 것으로 생각된다. 고농도의 망간이 흡수되면 철의 흡수가 감소하여 빈혈을 야기시킬 수 있는 것도 금속간의 인체내 상호관련성의 예로 볼 수 있다.

용접 근로자의 혈중 아연 농도( $5.68 \mu\text{g}/\text{ml}$ ,  $n=447$ )도 정상인( $6.15 \mu\text{g}/\text{ml}$ ,  $n=127$ )보다 낮았다. 한국인 젊은이의 혈중 아연 농도는  $6.48 \pm 1.04 \mu\text{g}/\text{ml}$ ( $n=145$ )였다(김정용, 1986). 아연은 용접 근로자들의 급성 및 만성적 노출로 인한 금속열에 대한 독성이 잘 알려져 있다. 아연은 또한 신체내 많은 필수 효소계의 보

조인자로 어떤 장기에도 다량 함유된 원소이다. 아연은 두 가지 이유로 인해 병의 상태를 보호해 줄 수 있는 것으로 알려져 있다. 첫째는 여러 효소계의 활성 원소로서, 둘째로는 2가 원소로 다른 상태의 유사 양이온 원소에 대치됨으로서 병의 상태를 방지해 줄 수가 있다. 산업 독성에서 가장 잘 알려진 것으로는 망간에 의한 간의 손상 및 콩팥의 카드뮴 독성에 대한 아연의 길항작용을 들 수 있다. 1:1의 아연과 카드뮴의 양은 독성을 나타내지만 4:1의 비율에서는 독성이 방지됨을 보여준다. 또한 아연은 납에서도 길항작용이 있다(Stokinger, 1981). 정상인보다 낮은 혈중 아연농도를 보인 것은 위와 같이 원소들의 길항작용에 기인된 것으로, 용접 근로자들이 각종 2가 금속에 노출된 인체내 대사과정의 결과가 아닌가 추측된다.

혈중 망간에서 WHO(1986)는  $2 \mu\text{g}/100\text{ml}$  이상, Lauwerys 와 Hoet(1993)은  $1 \mu\text{g}/100\text{ml}$  이상을 정상인보다 높은 것으로 간주하였다. 김지용 등(1994), Roels etal.(1987), Elias etal(1989), Kilburn etal.(1990), Symth etal.(1973)에 의하면 기중 망간 농도는 근로자의 혈액이나 요중 망간 농도와 상관이 높은 것으로 나타났다. 또 최호춘 등(1998)에 의하면 혈중 망간의 경우 기중 망간농도와 유의한 상관관계( $r=0.3183$ )를 보였으며, 누적노출지수(cumulative exposure index, 기중 농도 $\times$ 근무연한)와도 유의한 상관( $r=0.3542$ )을 보였다. 반면 미국정부 산업위생전문가협회(American Conference for Industrial Hygiene Association, ACGIH, 1997)에서는 작업 환경 중 노출농도 및 대사과정 등에 의한 상호관련성의 디비로 혈중 망간을 생물학적 감시농도로 추천하지 않았다. 그러나 본 연구에서 기중 망간의 노출 기준인  $1.0 \text{ mg}/\text{m}$ 를 초과하는 근로자는 339명중 40명(11.8 %)이었고, 혈중 망간은  $2 \mu\text{g}/100\text{ml}$  기준 초과 근로자수는 14.1 %에 해당하였으나, 우리나라의 혈중 망간 참고치  $10.0 \mu\text{g}/100 \text{ml}$ (노동부, 1994)를 초과하는 근로자는 한 명도 없었다.  $10.0 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 에 대한 참고치의 기준설정이 어떻게 이루어졌는지는 알 수 없으며, 본 연구결과를 볼

때 혈중 망간에 대한 생물학적 기준치가 높게 산정된 것이 아닌가 의심케 한다. 또한 용접 근로자가 정상인 그룹보다 현저히 높은 값을 나타내 혈중 망간 농도에 대한 생물학적 감시지표를 설정하는데 있어 근로자들의 작업환경상태 및 임상적·역학적 소견을 참고하여 우리 나라의 혈중 망간 참고치에 대한 재검토가 필요하지 않나 생각된다.

## V. 결 론

자동차 산업, 금속관련 제조업 및 조선업의 18개 사업장에서 용접 근로자 339명을 선정하여 작업환경 중 용접흡 및 알루미늄, 카드뮴, 크롬, 구리, 철, 망간, 몰리브덴, 니켈, 납, 실리콘, 주석, 티타늄, 아연의 13개 금속에 대한 노출농도를 측정하였으며, 용접 근로자(n=447)의 혈액 중 카드뮴, 구리, 철, 망간, 납, 아연 농도를 측정하여 금속에 노출되지 않은 정상인(n=127)과 비교하였다.

1. 용접종류별 흡농도는 CO<sub>2</sub> 용접시 기하평균농도가 3.84 mg/m<sup>3</sup>이며, 피복아크용접은 2.09 mg/m<sup>3</sup>, 서브머지드아크용접은 1.36 mg/m<sup>3</sup>, 스팟용접은 0.15 mg/m<sup>3</sup>, 티그용접은 2.23 mg/m<sup>3</sup>로, 용접종류별 흡의 농도 차이가 있었다.

노출기준을 초과하는 용접 근로자는 CO<sub>2</sub> 용접이 44.5 %이며, 피복아크용접은 22.7 %, 서브머지드아크용접은 12.5 %, 티그용접은 10 %로, 총 339명중 125명이 초과하여 36.9 %가 노출기준을 초과하였다. 또한 흡의 농도범위가 0.02 mg/m<sup>3</sup>에서 91.17 mg/m<sup>3</sup>로 개개인의 노출 농도차가 심했다.

2. 업종별 흡농도는 자동차산업은 0.92 mg/m<sup>3</sup> (0.02-15.33 mg/m<sup>3</sup>), 금속관련 제조업은 4.10 mg/m<sup>3</sup> (0.02-70.75 mg/m<sup>3</sup>), 조선업은 5.59 mg/m<sup>3</sup> (0.30-91.16 mg/m<sup>3</sup>)로 업종별 흡농도가 차이가 있었다.

우리 나라 노출기준을 초과하는 근로자는 자동차 산업이 8.5 %, 금속관련 제조업이 43.2 %, 조선업이 54.5 %였다.

3. 용접종류별 공기중 금속 농도는 모든 금속에서

우리 나라 노출기준의 1/10 이하에 해당하는 기하평균 농도였다. 그러나 금속농도의 노출기준 초과는 CO<sub>2</sub> 용접시 망간 16.8 %, 철 7.6 %, 서브머지드아크 용접시 구리 37.5 %, 티그용접시 구리 30 %, 스팟용접시 납 25 % 등으로, 각 금속에 노출기준을 초과한 근로자는 22.4 % (76 명)였다.

4. 업종별 금속농도는 알루미늄, 카드뮴, 크롬, 구리, 철, 망간, 몰리브덴, 니켈, 납, 규소, 주석, 티타늄 및 아연에서 차이가 있었으며, 자동차산업보다 조선업과 금속관련 제조업에서 높았다.

우리 나라 노출기준을 초과하는 근로자는 자동차 산업에서 납이 94명중 7명(7.4 %)이었고, 조선업에서는 99명중 망간이 19명(19.2 %), 철은 7명(7.1 %)이었으며, 금속관련 제조업은 146명중 망간 21명(14.4 %), 철 11명(7.5 %), 구리 19명(13 %) 등이었다. 전체 근로자 339명중 76명이 노출기준 초과로 22.4 %였다.

5. 용접 근로자와 정상인의 혈중 카드뮴은 각각 0.11 µg/100ml, 0.09 µg/100ml이며, 구리는 0.83 µg/ml, 0.70 µg/ml이며, 철은 424.4 µg/ml, 477.2 µg/ml, 망간은 1.26 µg/100ml, 0.73 µg/100ml, 납은 5.01 µg/100ml, 3.14 µg/100ml이며, 아연은 5.68 µg/ml, 6.15 µg/ml로 두 그룹간 모두 차이가 있었다.

6. 용접 근로자중 혈중 망간이 1 µg/100ml 이상은 자동차산업 72.9 %, 금속관련 제조업 59.0 %, 조선업 94.3 %였으며, 2 µg/100ml 이상은 각각 12.3 %, 17.9 %, 28.6 %였다. 혈중 납은 40 µg/100ml 이상이 자동차 산업에서만 0.8 %였다.

## REFERENCES

- 김광중, 송기창: 모 조선업 작업장의 공기중 용접 흡농도에 관한 조사. 한국산업위생학회지 1991; 1(1): 68-72.
- 김지용, 임현술, 정해관, 백남원: 일부 망간취급 근로자의 망간폭로 및 건강장애에 관한 연구. 대한산업 의학회지 1994; 6(1): 98-112.

노동부: 용접, 용단 작업장의 유해환경 실태조사, 노동부 국립과학연구소, 1984, 1-25.

노동부, 한국산업안전공단: 근로자 건강진단 실시 기준. 교육자료 보건 95-3-6. 노동부, 한국산업안전공단, 1994.

문태인, 구정완, 정치경: 용접흡이 환기기능에 미치는 영향. 대한산업의학회지 1996; 8(3): 383-391.

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

윤임중: 용접작업에 대한 직업병 예방대책, 노동부 국립노동과학연구소, 1984; 1-25.

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

이충렬, 류철인: 조선작업장의 분진크기에 관한 조사. 예방의학회지 1998; 31(1): 104-111.

최호준, 정호근, 김해정: 탄광부 진폐증자의 혈액 중 납, 철 및 아연 농도. 예방의학회지 1989; 22(4): 486-494.

최호준, 김강윤, 안선희, 현대우: 용접근로자의 혈액 및 요중 망간 농도. 대한산업의학회지 1998; 10(4): 534-547.

한국산업안전공단: 용접작업관리지침. 교육자료보긴 97-4-13, 한국산업안전공단, 1997.

ACGIH: 1997 TLVs and BEIs. 1997.

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

Bergman I, Casswell C. Lung dust and lung iron contents of coal workers in different coal fields in Great Britain. *Brit J Ind Med* 1972; 29: 160-168.

Elias Z, Mur JM, Pierre F, Gilgenkrantz S, Schneider O, Baruthio F, Danière MC, Fontana JM: 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.

Fairfax RE: Manganese exposure during welding operations. *Am Ind Hyg Assoc J* 1994; 9(8): 537-538.

Freedman RW, Sharkey AG: *Recent advances in the analysis of respirable coal dust for free silica, trace elements, and organic constituents*. *Ann NY Accad Sci* 1972; 200: 7-16.

Hewitt PJ, Madden MG: Welding process parameters and hexavalent chromium in MIG fume. *Ann Occup Hyg*. 1986; 30(4): 427-434.

Jahr J, John BK: *Nickel Exposure and Excretion during Welding of Stainless Steel*. International Institute of Welding, Document No. VIII-587-74. London. 1974; 327-331.

Karlsen JT, Torgrimsen T, Langard S: Exposure to solid aerosols during regular MMA welding and grinding operations on stainless steel. *Am Ind Hyg Assoc J* 1994; 55(12): 1149-1153.

Kilburn KH, Warshaw R, Boylen CT, Thornton SM, Hopfer SM, Sunderman FW, Finklea J: Cross-shift and chronic effects of stainless-steel welding related to internal dosimetry of chromium and nickel. *Am J Ind Med*. 1990; 17(5): 607-615.

Lauwerys RR, Hoet P: *Industrial Chemical Exposure-Guidelines for Biological Monitoring 2nd Ed*. 1993, Lewis Publishers.

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(3): 244-251.

Roels H, Lauwerys R, Genet P, Sarhan MJ, Hanotiau I, Buchet JP: Relationship between external and internal parameters of exposure to manganese in workers from a manganese oxide and salt producing plant. *Am J Ind Med* 1987; 11: 297-305.



Sawatari K, Serita F : Determination of chromium speciation in fumes prepared by a plasma metal sprayer as a model of actual welding fumes. *Ind Health*. 1986; 24(1): 51-61.

Slavin TJ : *Welding Operations. In In-plant Practices for Job Related Health Hazards Control-volume 2 Engineering Aspects.* by Cralley LV and Cralley LJ. NY, John Wiley & sons, 1989. 507-540.

Stokinger HE : The Metals. In *Patty's Industrial Hygiene and Toxicology*. Vol 2A. Clayton GD & Clayton FE. JNY, John Wiley & Sons, 1981, 1494.

Wal JF : Further studies on the exposure of welders to fumes, chromium, nickel and gases in Dutch industries: Plasma welding and cutting of stainless steel. *Ann Occup Hyg*. 1986; 30(2): 153-161.

Wallace ME, Fischbach T, Kovein RJ : Control technology assessment for the welding operations. In depth survey report. NIOSH, 1997.

WHO : Disease Caused by Manganese and Its Toxic Compounds. In *Early Detection of Occupational Disease*. WHO, Geneva, 1986; 69-73.