

모조선소의 밀폐된 작업장에서의 공기중 용접흄 및 중금속 농도에 관한 조사 연구

서울대학교 보건대학원

곽 영 순 · 백 남 원

— Abstract —

A Study on Airborne Concentration of Welding Fumes and Metals in Confined Spaces of a Shipyard

Young-Soon Kwag · Nam-Won Paik

School of Public Health, Seoul National University, Seoul, Korea

This study was performed to evaluate the exposure levels of worker exposed to welding fume and metals in confined spaces of a shipyard.

The airborne concentration of welding fumes and metal elements in confined spaces were compared with those in open working areas.

Results of the study were as follows.

1. The geometric mean of welding fume concentration in a confined space was $16.6\text{mg}/\text{m}^3$, which contained $3.9\text{mg}/\text{m}^3$ Fe, $1.2\text{mg}/\text{m}^3$ Mg, $0.8\text{mg}/\text{m}^3$ Zn, $0.008\text{mg}/\text{m}^3$ Cu, $0.008\text{mg}/\text{m}^3$ Pb, $0.005\text{mg}/\text{m}^3$ Ni, $0.003\text{mg}/\text{m}^3$ Cr, $0.0003\text{mg}/\text{m}^3$ Cd.

The geometric mean of welding fume concentration in open working areas was $5.2\text{mg}/\text{m}^3$, which contained $1.1\text{mg}/\text{m}^3$ Fe, $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ Mg, $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ Zn, $0.004\text{mg}/\text{m}^3$ Cu, $0.008\text{mg}/\text{m}^3$ Pb, $0.005\text{mg}/\text{m}^3$ Ni, $0.003\text{mg}/\text{m}^3$ Cr, $0.0003\text{mg}/\text{m}^3$ Cd.

The geometric mean of welding fume concentration in confined spaces was 3.2 times higher than that in open working areas.

The geometric mean concentrations of such metals as Fe, Mg, Zn, or Cu within fume in confined spaces were 2-4 times higher than those in open working areas, while little difference made such metals as Pb, Ni, Cr, Cd.

2. In 32 samples out of a total of 39 samples (82.1%) collected in confined spaces, the concentrations of welding fume exceeded TLV, while so did 19 samples out of 33 samples (57.6%) in open working areas.

As for the concentrations of metals in welding fume from confined spaces, Fe exceeded TLV in 14 out of a total of 38 samples (36.8%), Mn exceeded TLV in 23 out of a total of 38 samples (60.5%).

As for the concentration of metals in welding fume from open working areas, Fe exceeded TLV in 3 out of a total of 34 samples (8.8%), Mn exceeded TLV in 6 out of a total of 34 samples (17.6%). Considering additive effect among metals, in 31 out of a total of 39 samples (79.5%) collected in confined spaces, the concentrations of welding fume exceeded TLV, while so did 14 out of 38 samples (55.6%) in open working areas.

3. In respect of base metal and welding type the concentration of total welding fume by CO₂ gas W./mild steel was the highest, followed by semiauto MMA/mild steel, then followed by TIG or CO₂ gas W./stainless steel. ; as for concentration of metal within fume, a decreasing order was Fe, Zn, Mn, and Pb in CO₂ gas W./mild steel and semiauto MMA/mild steel, but Fe, Mn, Cr, and Ni in TIG or CO₂ gas W./stainless steel.
4. In case of welding base metal covered by paint, contents of Zn within red paint chip and within gray paint chip were 14.0% and 0.08% respectively, which showed a little difference, while the airborne concentrations of Zn within fume during welding base metal covered red paint and gray paint were 1.351 mg/m³ and 1.018 mg/m³ respectively, which showed little difference.

As for Pb, contents of red paint chip and gray paint chip were 0.14% and 0.08% respectively, and the airborne concentrations within fume during welding base metal covered red paint and gray paint were 0.009 mg/m³ and 0.007 mg/m³ respectively, both of which showed little difference.

Key Words : shipyard, confined spaces, welding fume, metals

I. 서 론

1995년 4월 30일 현재 5인이상 근로자수를 가진 우리나라의 선박, 건조 및 수리사업장은 546개 사업장으로 총 74,481명의 근로자가 종사하고 있으며, 이 가운데 1000인 이상 대규모 사업장에 종사하고 있는 근로자수가 51,686명으로 대부분 대규모 사업장에 종사하고 있다(노동부, 1996).

선박, 건조 및 수리작업은 작업의 특성상 감전, 추락, 화상, 화재폭발 등의 재해성 사고율이 매우 높고 작업공정에 있어서도 용접, 도장, 주조, 전기도금, 기계가공, 분사 연마, 절단 등의 복합된 공정을 포함하고 있어 각 공정에서 발생하는 유해요인이 매우 다양하고 복잡하여 이에 대한 작업환경관리 및 근로자 보건관리도 다양한 각도에서 다루어져야 한다.

선박, 건조 및 수리공정은 대부분 선박, 건조에 필요한 규격을 합판으로 형을 만드는 현도 공정, 합판

으로 만든 형을 이용하여 용접 용단기로 철판을 절단하는 절단 공정, 만들어진 철판형으로 블록(Block)을 조립하는 소조립공정, 소조립된 각각의 블록을 조립하여 선박의 형체를 만드는 대조립공정, 대조립한 블록을 도장작업을 거친 후 선박내의 밀폐된 공간에서 취부공정과 용접작업을 하는 도크공정과 각종 기계 부품을 조립하는 의장공정 등으로 나눌 수 있다(백남원, 1988).

이와 같이 선박, 건조 및 수리사업의 대표적인 작업이 용접작업이며, 다른 생산 제조업과는 달리 조립된 선박내의 밀폐된 작업장에서 용접작업이 이루어지므로 특별한 주의가 필요하다. 용접작업시 발생하는 유해환경요인은 용접흄, 분진, 산화철을 비롯한 각종 중금속 등의 입자상 물질과 오존, 이산화질소, 일산화탄소, 포스겐 등의 가스상 물질과 자외선 등의 유해광선이 있다(Burgess, 1995). 이러한 유해요인에 의한 건강장해로서는 용접흄의 주성분인 철이 폐조직내에 침착되어 발생하는 용접공폐증(Siderosis), 금속열

폐기종, 폐부종, 만성 기관지염, 폐암, 폐인트가 도포된 모재금속의 용접시 발생할 수 있는 납중독과 파킨슨씨병과 유사한 추체외로증상을 나타내는 망간중독 등의 각종 중금속 중독, 시력장애 등을 유발한다(Meyer 등, 1967; Rieke, 1969; Clayton, 1977; Guidott, 1978; Stern 등, 1983; Zenz, 1988; Morgan, 1989; 김지용, 1994).

용접흡과 각종 중금속 발생량은 모재금속의 종류, 용접방법, 작업장의 환기상태, 작업장의 크기, 전류의 세기 등에 따라 다르다고 알려져 있으며(대한산업보건협회, 1993), 주로 모재금속이 연강일 때에는 철, 망간, 규소, 구리 등이 많이 발생하고, 스테인레스 강철일 때에는 철, 크롬, 니켈 등이 많이 발생한다.(백남원, 1987).

그동안 조선소의 용접작업에 관한 연구로서는 Phoon 등(1983)과 김광종 등(1991)의 보고가 있었으나 우리 나라에서 조선소 밀폐 작업장의 용접작업에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

본 연구의 목적은 대규모 조선소에서 있어서 선박내의 밀폐된 작업장에서의 용접흡과 중금속 노출에 대한 정확한 실태를 평가함으로써, 밀폐 작업장의 용접작업에 대한 적절하고 효과적인 환경 개선 및 직업병 예방대책을 수립하는데 있어 그 기초자료를 제공하는데 있다.

본 연구의 구체적 목적은 아래와 같다.

첫째, 조선소의 밀폐 작업장과 개방된 작업장에서 용접흡과 중금속 농도를 측정하여 실태를 파악하고 비교 평가한다.

둘째, 모재금속 종류 및 용접방법에 따라 용접흡과 중금속 농도를 비교 분석한다.

셋째, 페인트가 도포된 모재금속 용접시 페인트내 중금속 함량과 공기중 흡내 중금속 농도와의 관계를 알아본다.

II. 연구대상 및 방법

1) 연구대상

본 연구는 1996년 3월 25일에서 30일 동안 경남지

역에 위치한 대규모 모조선소에서 밀폐 작업장과 개방된 작업장에서 용접작업하고 있는 근로자를 대상으로 하였다.

연구는 사업장의 작업 부서 가운데 절단된 철판을 블록으로 조립하는 소조립공정에 해당하는 조립 부서와 소조립된 각각의 블록을 조립하여 선박의 형체를 만드는 대조립공정에 해당하는 선수미 부서와 선박내의 밀폐된 공간에서 용접작업하는 도크공정에 해당하는 탑재 부서를 대상으로 하였다. 본 조사는 작업공정내용과 작업공간형태 및 환기상태에 따라 선수미 부서와 탑재 부서를 밀폐 작업장으로 분류하고 조립 부서를 개방된 작업장으로 구분하여 측정하였다. 이때 밀폐 작업장은 대조립공정과 도크공정 작업장가운데 작업공간형태가 사면과 아래, 윗면이 철판으로 둘러싸여져 있고 옆면 또는 위, 아래면 중 단 한면만 작업자가 출입할 수 있을 정도의 작은 통로가 있는 블록내 작업장으로 제한하였다. 단, 도크공정에서 작업하는 경우 선박 깊숙한 곳은 모두 밀폐된 작업장으로 분류하였다. 개방된 작업장은 소조립공정을 하는 부스내 작업장으로서 옥외작업장은 포함시키지 않았다.

밀폐 작업장의 경우 주로 모재금속은 연강을 사용하였고 용접방법은 CO₂ 가스 용접이었으며, 작업이 매우 협소한 공간에서 이루어지는 경우가 대부분이었고 이동하면서 작업하는 경우가 많았다. 환기시설은 극히 제한적으로 이동식 국소배기장치를 사용하고 있었으며, 일부 작업장에 이동식 소형팬이 있었으나 작업자와 먼 거리에 위치하고 있어 용접흡의 배기가 효과적이지 못했다. 특히 선박내의 도크공정의 경우 이동식 국소배기장치를 설치할 수 없어 일부에서 간이식 송풍팬으로 작업공간에 공기를 송풍하고 있었으나 배기 장치가 없어 환기상태가 매우 불량하였다.

개방된 작업장에서는 모재금속으로 연강을 많이 사용하였으나 일부 공정에서 스테인레스강을 사용하고 있었고, 용접방법은 CO₂ 가스 용접, 반자동 퍼복아크 용접(일명 그리비트용접), TIG(Tungsten Inert Gas)용접, 서브머지드용접(Submerged W.)등을 사용하고 있었고 환기시설은 국소배기장치나 이동식 소

형팬을 전혀 사용하지 않고 자연환기에 의존하고 있었다.

2) 연구 방법

a. 시료 포집

공기중 용접흄과 용접흄내 중금속 성분을 측정하기 위한 시료포집을 위해 직경 37mm, 0.8um pore size Cellulose Ester Membrane 여과지(Nuclepore, Costar, USA)를 Three Piece Cassette에 고정시킨 후 개인용 시료 포집펌프(HFS, Gilian, USA)에 연결하여 용접작업중인 근로자의 호흡위치에서 약 180 - 320 분간 시료를 포집하였다.

시료포집시 유량은 1.84 - 2.33Lpm 으로 하였고 측정 전후에 비누거품법으로 유량보정(Calibration) 하였다.

페인트 칩(Chip)내 중금속 함량을 분석하기 위한 고형시료채취는 페인트가 도포된 금속을 용접할 때 용접부위 근처에서 끊어서 채취하였다.

b. 시료 분석

① 용접흄량

시료포집전의 모든 여과지는 데시케이터에 넣어 24시간 이상 보관 건조시킨 후 실험실내에 설치된 Electronic Auto Balance (0.01 mg, 40SM-200A, Precisa, SWIZER LAND)를 사용하여 평량한 후 시료포집하고, 시료포집된 여과지도 포집전과 동일한 방법으로 데시케이터에 넣어 24시간 이상 건조시킨후 평량하였다. 용접흄량은 시료포집 전후의

여과지 중량차를 구하여 공시료로 보정한후 유량으로 나누어 산출하는 중량분석법에 의하였다.

② 용접흄내 중금속성분 분석

용접흄내 중금속 분석은 Karlson 등(1992,1994)의 분석방법에 따랐다. 전처리 과정은 시료포집된 여과지를 50ml 비이커에 옮기고 인산 (Phosphoric acid) 3ml 와 황산(Sulfuric acid) 2ml와 질산(Nitric acid) 0.5ml를 가한 후 5분 동안 Hot Plate 위에서 끓는점 근처로 가열하여 여과지를 녹인 후, 용액을 식혀 50 ml 용량 플라스크에 옮겨서 3차 증류수로 희석하여 최종용량을 50ml 되게 하였다.

철, 망간, 아연, 납, 구리, 니켈, 크롬, 카드뮴 등의 중금속에 대한 분석은 원자흡수분광광도계 (Varian 300 plus, Varian, Australia)로 공기-아세틸렌 불꽃을 이용하여 분석하였다.

③ 고형시료의 분석

페인트칩(Chip)내의 중금속성분 분석은 초음파 오븐(microwave oven, CEM, U.S.A.)을 이용하여 전처리 하였다. 페인트칩을 소량 취해 중량을 잰후 전처리 용기에 넣고 2ml 회화 용액 (Ashing Acid, $\text{HNO}_3 : \text{HClO}_4 = 4 : 1$)을 첨가하여 시료를 함침시킨 후 표 1과 같은 조건으로 전처리 하였다. 전처리된 용액은 분석 감도에 따라 회석용액(Ashing Acid의 10 % 용액)으로 최종용량을 20ml로 조절하여 원자흡수분광광도계(Varian 300 plus, Varian, Australia)로 분석하였다.

Table 1. Pretreatment Condition of Microwave Digestion System

Program Variable	Stage		
	1	2	3
Power (%)	70	100	100
Pressure(psig)	80	100	120
Temperature(°C)	100	150	170
Run time(min)	10:00	20:00	30:00
Tap time(min)	08:00	15:00	25:00
Fen speed(%)	100	100	100

Table 2. Recovery Rate of Metals by Digestion with Mixed Acid Solution

	Recovery Rate of Metals (%)							
	Fe	Mn	Zn	Pb	Cu	Cr	Ni	Cd
Mean	104.0	101.3	99.8	101.8	101.3	107.3	97.8	96.2
CV	0.03	0.04	0.02	0.03	0.06	0.04	0.03	0.07

CV ; Coefficients of Variation

III. 결과 및 고찰

1) 공기중 용접흄 및 중금속 농도

a. 회수율

용접흄중의 중금속성분 분석은 그동안 NIOSH 공정 시험법 7300방법에 따라 Hot Plate를 이용하여 Ashing Acid ($\text{HNO}_3 : \text{HClO}_4 = 4 : 1$ (v/v))로 전처리하였으나 이 방법은 시료의 전처리 시간이 오래 걸리고, 예비실험을 통해 크롬의 경우 회화시 온도에 민감하게 영향을 받아 회수율이 다른 금속에 비해 상대적으로 떨어지는 사실이 확인되어 그 대안으로서 Kar-

lsen 등(1992,1994)의 분석 방법에 따라 산혼합액(Phosphoric acid 3ml, Sulfuric acid 2ml, Nitric acid 0.5 ml)으로 전처리하였다.

이 방법은 시료의 전처리 시간이 짧고, 그 절차가 간편하다는 장점이 있으며, 각 금

속별 회수율도 아래 표 2에서 보는 바와 같이 96.2%에서 107.3%로서 양호한 양상을 보였다.

회수율의 일정성을 보여주는 변이계수(Coefficients of Variation)는 0.02에서 0.07로서 철, 망간, 아연, 납, 크롬, 니켈 등은 변이계수가 0.02에서 0.04로서 높은 정밀도를 보이고 있는 반면 구리와 카드뮴은 0.06, 0.07로서 정밀도가 다소 떨어지는데 이는 본 연구대상 사업장의 각 금속별 예상농도를 고려하여 매우 낮은 농도수준에서 회수율을 조사하였기 때문에 분석 기기의 적정분석 범위(Optimum Range)를 벗어났기 때문이라 추정된다.

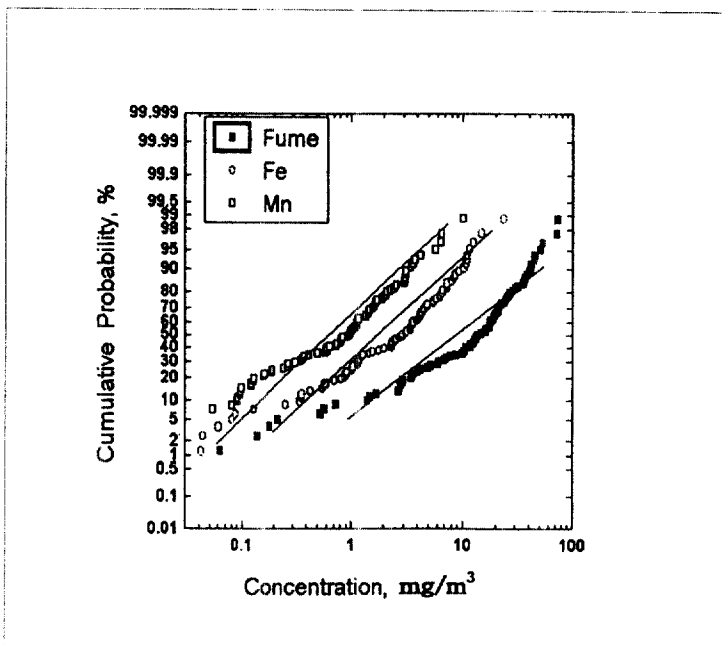


Figure 1. Cumulative Distribution of Welding Fume, Fe, Mn Concentrations in shipyard.

b. 공기중 용접흄 및 중금속 농도분포

일반적으로 작업환경중의 유해물질의 농도분포는 정규분포보다는 대수정규분포(Lognormal Distribution)하는 것으로 알려져 있다(ACGIH, 1977). 그림 1은 본 연구의 조사대상 사업장인 조선소 전체에서의 공기중 용접흄 및 중금속(철, 망간) 농도의 대수누적분포를 나타낸 것으로 매우 근사적으로 대수정규분포하고 있음을 알 수 있다.

따라서 밀폐 작업장과 개방된 작업장의 공기중 용접흄 및 용접흄중의 중금속농도를 기하 평균(Geometric Mean, 이하 GM)과 기하표준편차(Geometric Standard Deviation, 이하 GSD)로 평가하였다.

c. 밀폐 작업장

밀폐 작업장에서의 공기중 용접흄 및 용접흄중의 중금속 농도는 표 3과 그림 2에서 보는 바와 같다. 밀폐 작업장에서의 용접흄은 기하평균 16.6mg/m³ (0.6-73.0mg/m³)로서 우리나라 노출기준(노동부, 1995) 5 mg/m³보다 약 3배 높은 수준이며, 이는 김광중 등(1991)이 보고한 모 조선업에서의 도크공장에서의 용접흄농도 12mg/m³과 Phoon 등(1983)이 보고한 조선소의 밀폐 장소에서의 용접흄 농도 12.8mg/m³과 유사

한 결과이다.

타 제조업분야의 용접흄 농도는 변상훈 등(1995)이 보고한 바에 따르면 컨테이너제조업에서 2.46mg/m³, 자동차부품의 갑판제조공정에서 1.91mg/m³으로 본 조사의 조선업체의 밀폐 작업장에서의 용접흄 농도와 비교해 볼 때 약 8배의 차이가 났다.

밀폐 작업장에서의 용접흄중 중금속의 공기중 기하 평균 농도는 철 3.9mg/m³, 망간 1.2mg/m³, 아연 0.8 mg/m³, 구리 0.008mg/m³, 납 0.008mg/m³, 니켈 0.005 mg/m³, 크롬 0.003mg/m³, 카드뮴 0.0003mg/m³ 이었다. 이 가운데 망간은 우리나라 노출기준 1mg/m³를 초과하였으나 그외 중금속은 우리나라 노출기준 미만이 었다.

이러한 조사결과는 Phoon 등(1983)이 보고한 조선소의 밀폐 장소에서의 용접흄중 중금속 농도와 비교해 볼 때 철, 망간, 아연 등은 본 결과가 다소 높았으나 구리, 납, 카드뮴 등은 다소 낮았다. 이는 용접흄중의 중금속 농도가 용접방법과 모재금속에 따라 약간씩 차이가 나기 때문이다.

Table 3. Concentrations of Welding Fume and Metals in Confined Spaces

Composition	Airborne Concentrations (n=41)			
	GM (mg/m ³)	GSD	Range (mg/m ³)	TLV (mg/m ³)
Fume	16.6	2.89	0.6 - 73.0	5
Fe	3.9	2.59	0.3 - 23.6	5
Mn	1.2	3.44	0.05 - 10.1	1
Zn	0.8	2.65	0.06 - 4.6	5
Cu	0.008	3.02	0.001 - 0.099	0.1
Pb	0.008	2.72	0.001 - 0.061	0.05
Ni	0.005	3.05	0.001 - 0.023	1
Cr	0.003	3.18	0.001 - 0.030	0.5
Cd	0.0003	2.76	0.0001 - 0.002	0.05

n : Sample size

GM(GSD) : Geometric Mean (Geometric Standard Deviation)

TLV : Threshold Limit Value

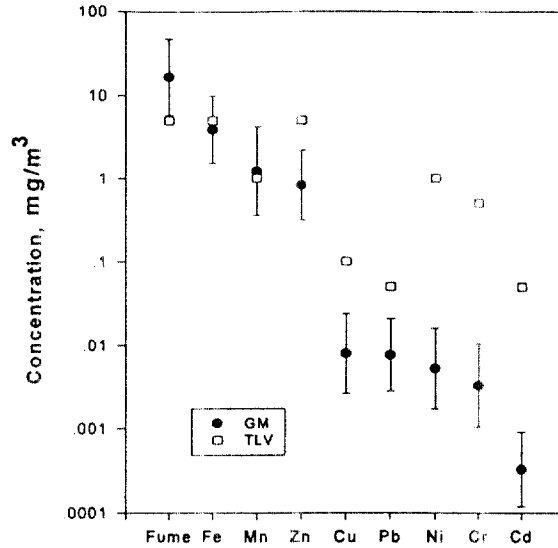


Figure 2. Airborne Concentration of Welding Fume and Metals in Confined Spaces.

d. 개방된 작업장

개방된 작업장에서의 공기중 용접흄 및 용접흄중 중금속 농도는 표 4 와 그림 3, 그림 4 에서 보는 바와 같다. 밀폐 작업장과는 달리 개방된 작업장에서는 다양한 용접방식, 즉 CO₂ 가스용접/연강, 반자동 피복아크용접/연강, TIG 또는 CO₂ 가스용접/스테인레스강 등을 사용하고 있었다.

이들 작업장의 공기중 농도측정은 먼저 용접방법 및 모재금속을 고려하지 않는 전 작업장에 대한 용접흄 및 중금속성분 농도를 측정된 결과, 용접흄은 5.2 mg/m로 이는 우리나라 용접흄 노출기준 5mg/m를 초과하였으며, 본 결과는 Phoon 등(1983)이 보고한 조선업의 개방된 작업장에서의 용접흄 농도 5.6 mg/m과 비슷하였다. 또한 용접흄중 중금속 농도는 철 1.1 mg/m³, 아연 0.3mg/m³, 망간 0.3mg/m³, 납 0.008mg/m³, 니켈 0.005mg/m³, 구리 0.004mg/m³, 크롬 0.003mg/m³, 카드뮴 0.0003mg/m³으로 나타났으며, 본 결과는 Phoon 등(1983)이 조선업체의 개방된 작업장에서의 용접흄중 중금속 농도와 비교해 볼 때 철, 아연, 망간 등은 본 결과가 약간 높았으며

납, 구리, 카드뮴은 약간 낮았다.

다음은 개방된 작업장에서 연강을 모재금속으로 하고 CO₂ 가스용접할 때의 공기중 용접흄 및 중금속 농도를 측정된 결과, 용접흄은 9.2mg/m³으로 나타났으며, 이는 변상훈 등(1995)이 소조립 공정에서 CO₂ 가스용접/연강 일 때 용접흄 농도 10.1mg/m³과 비슷한 결과이었다. 또한 용접흄중 중금속 농도는 철 2.2mg/m³, 아연 0.8mg/m³, 망간 0.5mg/m³, 납 0.007mg/m³, 니켈 0.004mg/m³, 구리 0.004mg/m³, 크롬 0.002mg/m³, 카드뮴 0.0004mg/m³으로 나타났다. 본 결과는 변상훈 등(1995)이 소조립 공정에서 CO₂ 가스용접/연강일 때 용접흄중 중금속 농도와 비교해 보면 철, 아연, 구리는 거의 유사하였으나 망간은 본 결과가 다소 낮았다.

Table 4. Concentrations of Welding Fume and Metals in Open Working Areas

composition	Airborne Concentration					
	Overall [*] (n=40)			CO ₂ Gas W./MS ^{**} (n=16)		
	GM (mg/m ³)	GSD	Range (mg/m ³)	GM (mg/m ³)	GSD	Range (mg/m ³)
Fume	5.2	5.06	0.1 - 42.2	9.2	4.63	0.1 - 30.2
Fe	1.1	4.54	0.04 - 10.7	2.2	3.80	0.04 - 6.6
Mn	0.3	6.73	0.001 - 4.2	0.5	6.63	0.001 - 2.0
Zn	0.3	6.99	0.001 - 3.7	0.8	4.41	0.01 - 2.6
Cu	0.004	3.85	0.001 - 0.061	0.004	3.50	0.001 - 0.061
Pb	0.008	2.50	0.001 - 0.041	0.007	2.13	0.001 - 0.025
Ni	0.005	3.54	0.001 - 0.152	0.004	2.49	0.001 - 0.010
Cr	0.003	4.23	0.001 - 0.614	0.002	2.71	0.001 - 0.011
Cd	0.0003	2.59	0.0001 - 0.007	0.0004	2.22	0.0001 - 0.001

*Overall ; CO₂ Gas W./Mild Steel, Semiauto Manual Metal Arc W./Mild Steel
Submerged Arc W./Mild Steel, Tungsten Inert Gas W. or CO₂ Gas W./Stainless Steel

**CO₂ Gas W./ MS ; CO₂ Gas W./ Mild Steel

n ; Sample size

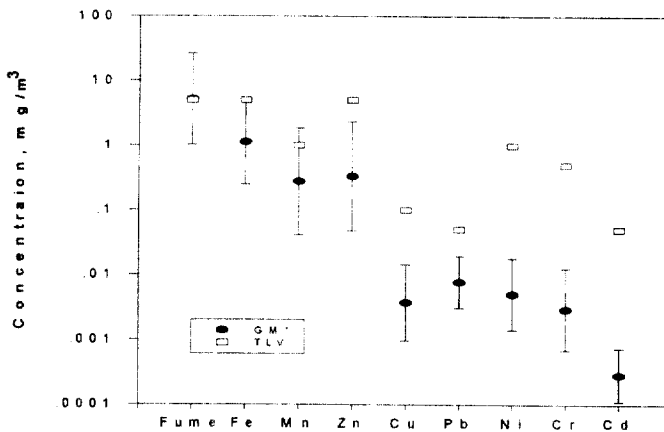


Figure 3. Airborne Concentrations of Welding Fume and Metals in Open Shop. :
Overall*

* Overall ; CO₂ Gas W./ Mild Steel

Semiauto Manual Metal Arc W./ Mild Steel

Submerged Arc W./ Mild Steel

Tungsten Inert Gas W. or CO₂ Gas W./ Stainless Steel

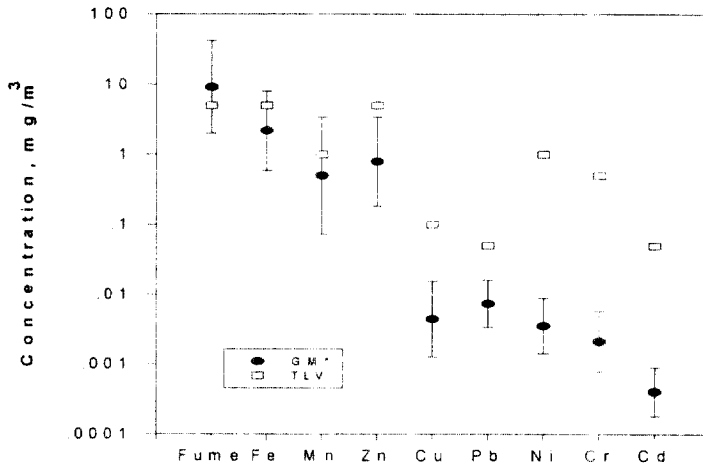


Figure 4. Airborne Concentrations of Welding Fume and Metals in Open Shop. : CO₂ Gas W/Mild steel

e. 밀폐 작업장과 개방된 작업장의 농도 비교

밀폐 작업장과 개방된 작업장에서의 용접흡 및 중금속 농도 비교는 표 5에서 보는 바와 같다.

용접작업시 공기중에 발생하는 용접흡 농도는 용접 방법과 모재금속을 고려하지 않고 비교하였을 때 밀폐 작업장이 개방된 작업장에 비해 3.2배 높게 나타났으며, 연강에 CO₂ 가스용접방법으로 작업하는 경우에 한하여 밀폐 작업장과 개방된 작업장을 비교하였을 때 밀폐 작업장이 1.8배 높게 나타났다.

이는 용접흡 발생량에 영향을 주는 요인이 모재금속, 용접방법, 작업장의 환기상태 등이므로 전자의 경우 이러한 요인이 복합적으로 작용하여 조선소의 밀폐 작업장과 개방된 작업장의 용접흡 발생량이 3.2배 차이가 날수 있고, 후자의 경우 이들 요인 가운데 모재금속과 용접방법을 동일하게 두고 단지 작업장의 환기 상태만 다른 조건일 때 즉 밀폐 작업장이나 아니냐에 따라서는 1.8배의 차이가 날수 있음을 의미한다.

용접흡중 중금속 농도는 표 5에서 보는 바와 같이 밀폐 작업장이 개방된 작업장에 비해 대체로 높게 나타났으며, 특히 중금속 농도가 높았던 철, 망간, 아연은 각각 3.4배, 4.5배, 2.5배로 차이가 크고 중금속 농도가 낮았던 구리, 니켈은 각각 2배, 1.3배 정도의 차이가 났으며 납, 크롬, 카드뮴은 차이가 없었다.

용접흡중 중금속 농도에 영향을 줄 수 있는 모재금속과 용접방법을 연강과 CO₂ 가스용접방법으로 동일하게 하고 밀폐 작업장과 개방된 작업장을 비교하였을 때에는 철, 망간, 구리가 각각 1.8배, 2.5배, 2배 차이가 났으며, 아연, 납, 니켈, 크롬, 카드뮴, 등은 거의 차이가 없었다. 이는 모재금속과 용접방법을 고려하지 않고 비교하였을 때 보다 대체로 그 차이가 적었지만 다른 요인이 동일하고 다만 작업장이 밀폐 곳이나 아니냐에 따라서 철, 망간, 구리, 등은 약 2배정도 농도 차이가 날수 있음을 보여 준다.

Table 5. Comparison of Welding Fume and Metals Concentrations between Confine Spaces and Open Working Areas

Composition	Ratio of Concentration in Confined Spaces and Open Working Areas	
	Overall	CO ₂ Gas W/ Mild Steel
Fume	3.2	1.8
Fe	3.4	1.8
Mn	4.5	2.5
Zn	2.5	1.0
Cu	2.0	2.0
Pb	1.0	1.1
Ni	1.3	1.3
Cr	1.0	1.5
Cd	1.0	0.8

f. 밀폐 작업장과 개방된 작업장의 농도 평가

① 용접흄 및 중금속성분 농도의 노출기준 초과 여부에 대한 평가

본 조사에서 측정된 공기중 용접흄 및 중금속 농도가 노출기준을 초과하는지에 대한 평가는 우리나라 노동부 고시(노동부, 1995)와 미국산업안전보건청 (Occupational Safety and Health Administration, OSHA)에서 채택하고 있는 방법에 따랐다.

먼저 측정농도를 노출기준으로 나눈 Y 표준화값을 구하고 이값에서 시료포집분석오차 (Sampling and Analytical Error, SAE)를 더하여 95%의 신뢰도를 가진 상한치(Upper Confidence Limit, UCL)를 계산하고, Y 표준화값에서 시료포집분석오차 (Sampling and Analytical Error, SAE)를 제하여 95%의 신뢰도를 가진 하한치(Lower Confidence Limit, LCL)를 구하였다. 각각의 시료가 노출기준을 초과하는지에 대한 평가기준은 하한치가 1 보다 클 때 노출기준을 초과한다고 판단하고, 하한치가 1 보다 작거나 같고 상한치가 1보다 클 때 노출기준 초과 가능, 상한치가 1보다 작거나 같을 때 노출기준 미만이라고 평가하였다.

본 조사의 경우 시료채취시간이 평균 3-4시간이었기 때문에 측정되지 않은 시간의 농도에 대해서 정확

한 평가를 내릴수 없는 한계가 있었으나 일반적으로 측정되지 않은 시간의 농도는 자료나 전문가의 판단에 의하므로(백남원,1995), 본 조사에서는 측정되지 않은 시간의 농도가 측정된 시간의 평균농도와 거의 유사할 것으로 판단되어 위의 평가방법에 의하였다.

밀폐 작업장에서의 용접흄과 중금속 측정농도가 노출기준을 초과하는지에 대한 판단을 한 결과, 표 6에서 보는 바와 같이 용접흄은 전체 39개 시료 가운데 32개(82.1%)가 노출기준 초과로 나타났고, 노출기준을 초과할 가능성이 있는 시료는 2개였으며, 노출기준 미만은 5개였다. 이는 김광중 등(1991)이 모조선소에서 측정된 용접흄의 농도 가운데 단지 우리나라 노출기준 5 mg/m³을 초과하는 시료의 건수를 헤아려 조사한 용접흄의 노출기준 초과율 88.0%와 거의 비슷한 결과였다.

철은 전체 시료 38개 가운데 14개(36.8%)가 노출기준 초과로 나왔으며, 3개 시료가 노출기준 초과 가능, 나머지 21개의 시료는 노출기준 미만으로 평가되었다. 그런데 현재 우리나라 측정기관에서 용접작업장에서 측정 평가하고 있는 용접흄중 중금속 종류를 보면 망간, 아연, 구리, 카드뮴, 납, 크롬, 니켈 등으로 철이 누락되어 있는 실정이다(작업환경측정기술협의회, 1993). 정확한 이유는 알수 없으나 철 자

Table 6. Sample Numbers of Exceeding TLV : Concentration of Welding Fume and Metals in Confined Spaces

	Number of Samples			Total
	Violation LCL > 1	Possible Violation UCL** > 1, LCL ≤ 1	Compliance UCL ≤ 1	
Fume	32	2	5	39
Fe	14	3	21	38
Mn	23	3	12	38
Zn	-	2	36	38
Pb	1	-	37	38
Cu	-	1	37	38

*LCL ; Lower Confidence Limit

**UCL ; Upper Confidence Limit

체의 독성이 다른 중금속에 비해 거의 없기 때문에 측정에서 제외된 것 같다. 그러나 용접작업자의 주된 직업병인 용접공폐증(Siderosis)이 용접흡종의 주성분인 철이 폐조직내 침착되어 생기는 질병임을 고려한다면(Clayton, 1977; Zenz, 1988; Morgan, 1989) 용접작업장에서 작업환경을 측정 평가해야 할 유해요인 가운데 용접흡종의 철이 반드시 포함되어야 한다. 망간은 전체 시료 38개 가운데 23개(60.5%)가 노출기준 초과로 나와 노출기준 초과율이 상당히 높았으며, 3개 시료가 노출기준을 초과할 가능성이 있고, 나머지 12개 시료는 노출기준 미만으로 평가되었다.

아연은 전체 시료 38개 가운데 노출기준을 초과하는 시료가 하나도 없었으며, 2개 시료가 노출기준을 초과할 가능성이 있고, 나머지 36개 시료가 노출기준 미만으로 평가되었다. 납은 전체 시료 38개 가운데 1개가 노출기준 초과로 나왔고, 37개 시료가 노출기준 미만으로 조사되었다. 또한 구리는 단지 1개 시료만 노출기준을 초과할 가능성이 있고 나머지 37개 시료는 노출기준 미만이었다. 그리고 그외 니켈, 크롬, 카드뮴 등은 38개 시료 모두 노출기준 미만으로 평가되었다.

이상에서 살펴본 바와 같이 밀폐 작업장의 8가지 중금속성분중 망간의 노출기준 초과율이 60.5%로서 가장 높은 수준으로 나타났다. 지금까지 망간중독은 용접작업자 가운데 발생한 보고(Newhouse와 Murray, 1981)가 매우 드물고 아직 그 유해성이 많이

알려져 있지 않은 물질이다. 우리나라에서도 그동안 용접작업자 가운데 망간중독이 보고된 예가 없어 매우 소홀히 취급되어 왔으나 최근(97년 2월) 국내 최초로 용접작업자에게서 파킨슨증후군을 보이는 환자가 발견되어 망간중독으로 판명되면서 비로소 관심을 가지게 되었다.

본 연구결과를 보면 미국산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienest, ACGIH)에서 작업시간 중 잠시라도 초과하여서는 안되는 농도인 전장값 허용농도(TLV-C, ceiling)로서 제시하고 있는 3 mg/m보다 높은 측정치가 38개 시료 가운데 10개나 되었으며, 가장 높은 농도는 10.10 mg/m로서 노출기준의 10배에 달하였다. 따라서 본 연구대상 사업장과 비슷한 작업환경 즉 조선소의 밀폐 작업장에서 용접작업하는 근로자들이 고농도의 망간에 노출될 가능성이 매우 높으므로 이에 대한 대책이 매우 시급한 실정이다. 망간의 발생원으로 추정되는 와이어의 대체, 적절한 환기시설 등을 통한 작업환경개선이 우선적으로 고려되어야 하며, 또한 사업장에서 정기적으로 실시하고 있는 특수건강진단시 망간중독에 대한 진단 항목이 반드시 포함돼야 한다. 망간중독은 조기발견하여 적절하게 치료할 경우 정상회복이 가능하기 때문에 특수건강진단과 같은 정기진단이 효과적인 예방대책이 될 수 있다.

개방된 작업장에서 공기중 용접흡 및 중금속 농도의 노출기준 초과여부에 대한 평가결과는 다음 표 7

Table 7. Sample Numbers of Exceeding TLV : Concentration of Welding Fume and Metals in Open Working Areas

	Number of Samples			Total
	Violation LCL >1	Possible Violation UCL** >1, LCL ≤1	Compliance UCL ≤1	
Fume	14	1	23	38
Fe	-	-	40	40
Mn	1	-	39	40
Cr	1	-	33	34

*LCL ; Lower Confidence Limit

**UCL ; Upper Confidence Limit

에서 보는 바와 같다.

용접흡은 전체시료 33개 가운데 19개(57.6%)가 노출기준을 초과하는 것으로 판단되었으며, 이는 그림 5에서 보는 바와 같이 밀폐 작업장의 82.1% 보다 약 1.5배 낮은 결과이다. 나머지 14개 시료는 노출기준 미만이었다.

철은 전체 34개 시료 가운데 3개(8.8%)가 노출기준 초과로 나타났고 4개 시료가 노출기준 초과가능, 27개 시료가 노출기준 미만으로 평가되었으며, 망간은 34개 시료 가운데 6개(17.6%)가 노출기준을 초

과하는 것으로 나왔고 6개시료가 노출기준 초과가능, 22개 시료가 노출기준 미만으로 판단되었다. 밀폐 작업장과는 달리 크롬이 노출기준을 초과하는 시료가 전체 34개 시료 가운데 1개가 나왔으며 나머지는 노출기준 미만이었다. 그외 아연, 납, 구리, 니켈, 카드뮴 등은 모든 시료가 노출기준 미만으로 평가되었다. 개방된 작업장에서의 중금속 농도의 노출기준 초과율은 그림 5에서 보는 바와 같이 밀폐 작업장에 비해 대체로 낮은 양상을 보였다.

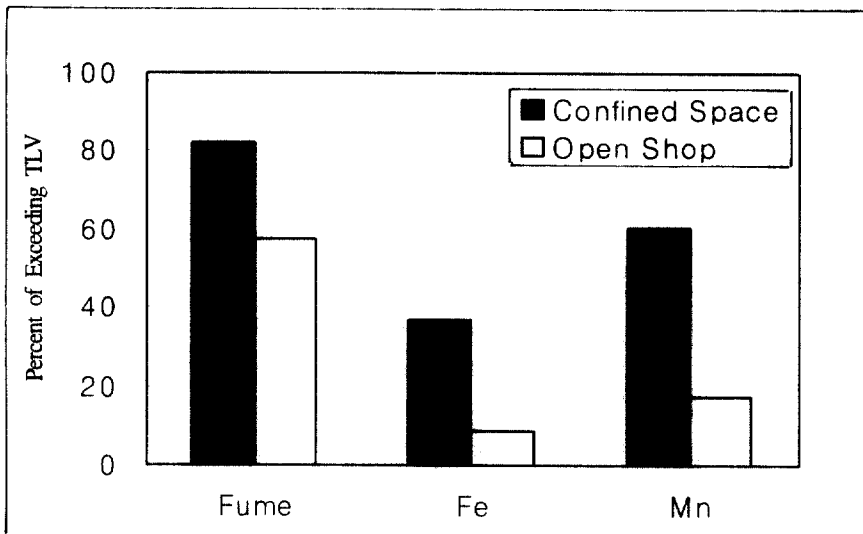


Figure 5. Percent of Exceeding TLV in Confined Spaces and Open Shop.

Table 8. Sample Numbers of Exceeding TLV Concerning Additive Effect

	Number of Sample		Total
	Violation Em > 1, Em > CL**	Compliance Em ≤ CL	
Confined Spaces	31	8	39
Open Shop	20	16	36

* Em ; 노출계수 **CL ; 노출기준

2) 상가효과를 고려한 평가

일반적으로 사업장에서 공기중 유해물질이 독성이 유사한 혼합물질로 존재할 경우 상가효과(Additive Effect)를 고려하여 허용농도 초과여부를 평가하여야 한다.(백남원,1995)

용접작업으로 인해 공기중 발생하는 용접흠은 여러 가지 중금속을 포함하고 있으며 이들 중금속이 인체에 미치는 영향은 매우 다양하지만 인체 영향을 주는 주요 장기가 서로 중복되기도 하며, 그 작용이 완전히 독립된 것이라기 보다는 서로 복합적인 작용에 의해 인체 유해한 영향을 미친다(Meyer 등, 1967; Guidott, 1978; Zenz, 1988; 손해숙 등, 1994). 따라서 용접흠내 중금속성분 농도를 평가할때 상가효과를 고려하여 평가하여야 한다.

우리나라 노동부에서 채택하고 있는 혼합물질에 대한 평가방법(노동부,1995)에 따랐다. 8가지 중금속 철, 망간, 아연, 납, 구리, 니켈, 크롬, 카드뮴의 각각의 측정농도를 노출기준으로 나누어 표준화값 Y를 구한 후 중금속의 표준화 값을 모두 합하여 노출 계수(Em)을 각각 구하고, 다시 표준화값 Y를 노출계수(Em)으로 나누어 총 노출율(R)을 각각 구한 후, 각각의 총노출율(R)제곱값에 시료포집분석오차(SAE) 제곱값을 곱하여 이를 합하였다. 이 값을 제곱근하여 RSt값을 구하였으며, RSt에 1를 더하여 혼합물의 노출기준(Control Limit, CL)를 정하였다. 허용농도 초과여부에 대한 평가는 노출 계수(Em)가 1 보다 크고 노출기준(CL)보다 클때 노출 기준 초과로 판단하고, 노출계수(Em)가 노출기준(CL)보다 작거나 같을때 노출기준 미만으로 구분하였다.

따라서 용접흠중 중금속간의 상가효과를 고려하였을때 밀폐 작업장과 개방된 작업장에서의 노출기준 초과 여부에 대한 평가 결과는 다음 표 8 과 같다.

밀폐 작업장에서는 전체시료 39개 가운데 31개 즉 79.5%가 8가지 중금속간의 상가효과를 고려하였을 때 노출기준을 초과하는 것으로 평가되어 노출기준 초과율이 상당히 높았으며 개방된 작업장에서는 전체시료 36개 가운데 20개 즉 55.6%가 노출기준 초과한 것으로 평가되었다.

2) 모재금속 및 용접방법에 따른 공기중 용접흠과 중금속 농도

본 연구대상 조선소에서 실시되고 있는 용접방식에 따라 연강에 CO₂ 가스용접하는 방법과 연강에 반자동 피복아크용접하는 방법, 스테인레스강에 TIG 용접 또는 CO₂ 가스 용접하는 방법으로 크게 3분류로 나누어 각각의 용접흠과 중금속 농도를 비교하였다. 이때 작업장의 환기상태에 따른 차이를 제어하기 위해 개방된 작업장에 한하여 비교하였다.

모재금속 및 용접방법에 따른 용접흠과 중금속성분 농도는 표 9, 그림 6, 그림 7 및 그림 8에서 보는 바와 같다.

표 9에서 보는 바와 같이 각 용접방식별로 용접흠 농도를 보면 연강에 CO₂ 가스용접일 때 9.2mg/m³, 연강에 반자동 피복아크용접일 때 5.4mg/m³, 스테인레스강에 TIG 또는 CO₂ 가스용접일 때 0.7mg/m³로 나타났다. 연강에 CO₂ 가스용접일 때와 연강에 반자동 피복아크용접일 때의 용접흠 농도는 우리나라 노출기준 5mg/m³보다 높은 반면 스테인레스강에 TIG 또는 CO₂ 가스용접시에 노출기준에 미달하는 수준이었다.

Table 9. Comparison of Welding Fume and Metals Concentrations by Type of Welding and Base Metal

Welding Fume and Metals Concentrations by Type of Welding and Base Metal (mg/m ³)						
Composition	CO ₂ Gas W./MS [*]		Semiauto MMA W./MS ^{**}		TIG,CO ₂ Gas W./SS ^{***}	
	GM	Range	GM	Range	GM	Range
Fume	9.2	0.1 - 30.2	5.4	0.1 - 42.2	0.7	0.2 - 8.7
Fe	2.188	0.042 - 6.626	1.205	0.081 - 10.74	0.129	0.044 - 1.202
Mn	0.497	0.001 - 1.985	0.308	0.004 - 4.221	0.032	0.005 - 0.607
Zn	0.820	0.007 - 2.555	0.405	0.016 - 3.742	0.010	0.001 - 0.077
Cu	0.004	0.001 - 0.061	0.004	0.001 - 0.022	0.003	0.001 - 0.029
Pb	0.007	0.001 - 0.025	0.009	0.001 - 0.041	0.005	0.001 - 0.014
Ni	0.004	0.001 - 0.011	0.005	0.001 - 0.017	0.016	0.001 - 0.152
Cr	0.002	0.001 - 0.011	0.002	0.001 - 0.041	0.021	0.002 - 0.614
Cd	0.0004	0.0001- 0.001	0.0002	0.0001- 0.001	0.0004	0.0001- 0.007

* CO₂ Gas W./MS ; CO₂ Gas W./Mild Steel (No. of Samples = 16)

** Semiauto MMA W./MS ; Semiauto Manual Metal Arc W./Mild Steel
(No. of Samples = 18)

*** TIG, CO₂ Gas W./SS ; Tungsten Inert Gas W. or CO₂ Gas W./Stainless Steel
(No. of Samples = 5)

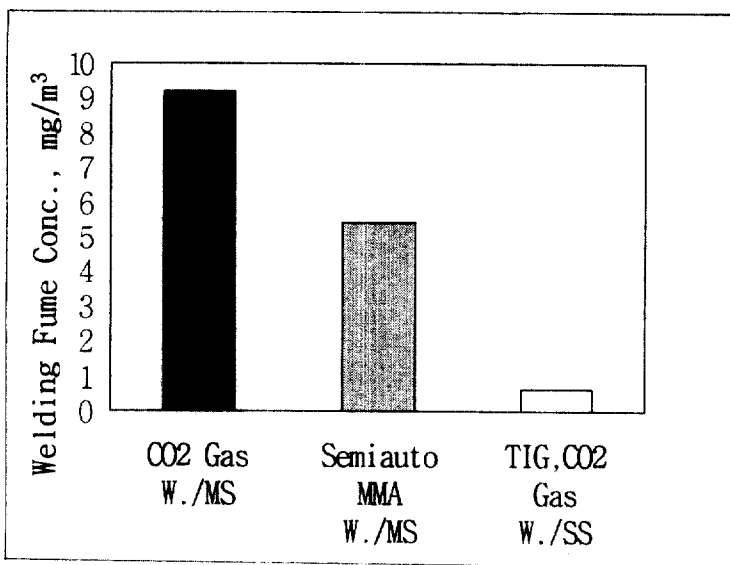


Figure 6. Welding Fume Concentrations by Type of Welding and Base Metal.

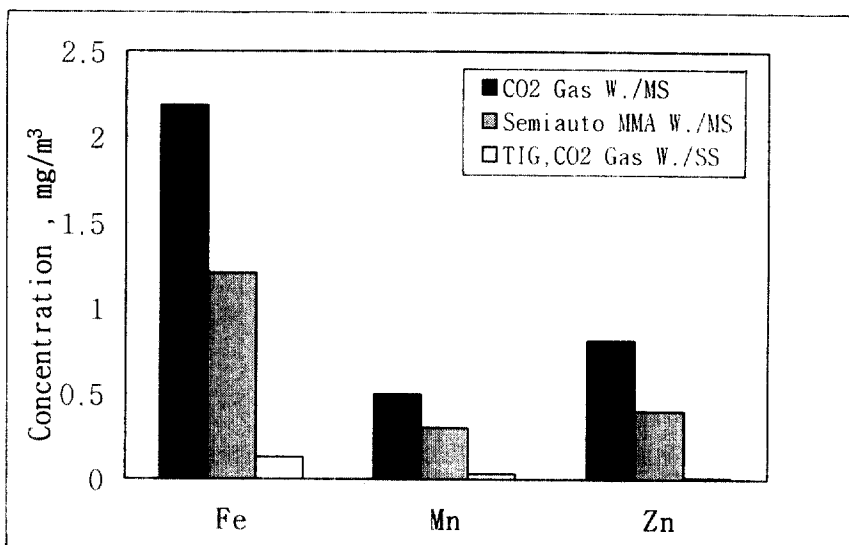


Figure 7. Concentrations of Fe, Mn, Zn by Type of Welding and Base Metal.

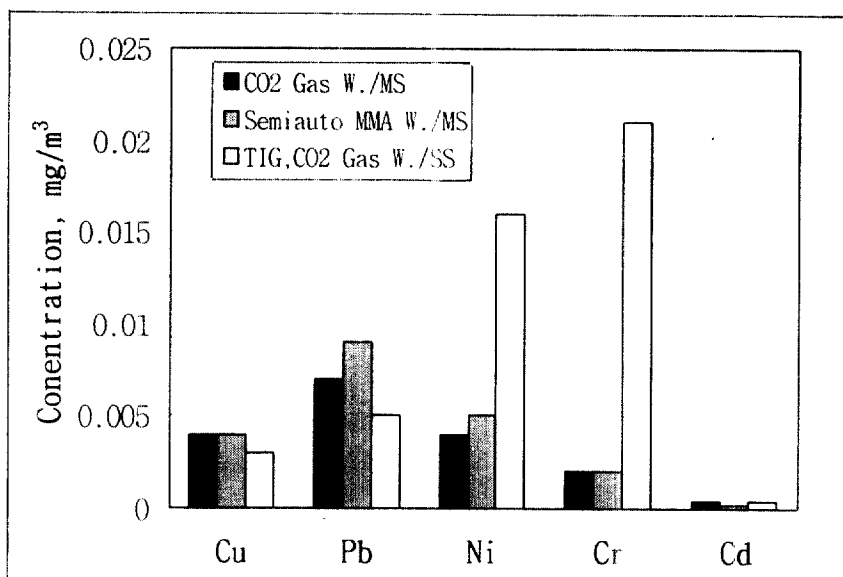


Figure 8. Concentrations of Cu, Pb, Ni, Cr, Cd by Type of welding and Base Metal

그림 6에서 보는 바와 같이 용접흡 농도가 높은 순서대로 보면 CO₂ 가스용접/연강, 반자동 피복아크용접/연강, TIG 또는 CO₂ 가스용접/스테인레스강 순이었다. 이는 이권섭 등(1987)이 자동차차체 생산공정에서 조사한 결과인 피복아크용접, CO₂ 가스용접, 아르곤 용접, Spot용접의 순위와 는 약간 다른 결과를 보였는데 이는 본 조사대상 사업장의 경우 피복아크용접을 반자동화한 그리비트용접을 사용하고 있었기 때문에 CO₂ 가스용접이 피복아크용접에 비해 높게 나왔다.

표 9 에서 보는 바와 같이 각 용접방식별로 용접흡 중의 중금속 농도를 보면 CO₂ 가스용접/연강의 경우는 철 2.188mg/m³, 아연 0.820mg/m³, 망간 0.497mg/m³, 납 0.007mg/m³, 구리 0.004mg/m³, 니켈 0.004 mg/m³, 크롬 0.002mg/m³, 카드뮴 0.0004mg/m³이었으며, 반자동 피복아크용접/연강의 경우는 철 1.205mg/m³, 아연 0.405mg/m³, 망간 0.308mg/m³, 납 0.007mg/m³, 니켈 0.005mg/m³, 구리 0.004mg/m³, 크롬 0.002 mg/m³, 카드뮴 0.0002mg/m³로 나타났다.

그림 7과 그림 8과 같이 위의 두 용접방식을 비교해 보면 용접흡중 중금속 농도가 높은 순서는 철, 아연, 망간, 납 순으로 거의 일치하였고 대체로 CO₂ 가스용접/연강 방법일 때 용접흡중 중금속 농도가 높게 나왔다.

TIG 또는 CO₂가스 용접/스테인레스강의 경우에는 철 0.129mg/m³, 망간 0.032mg/m³, 크롬 0.021mg/m³, 니켈 0.016mg/m³, 아연 0.010mg/m³, 납 0.005 mg/m³, 구리 0.003mg/m³, 카드뮴 0.0004mg/m³로 나타났다.

여기서 모재금속이 연강일때와는 달리 중금속 농도가 높은 순서가 철, 망간, 크롬, 니켈 순으로서 크롬과 니켈이 상대적으로 높게 나왔다.

이는 Karlsten 등(1994)이 스테인레스강에 피복아크용접할 때 발생하는 중금속 농도가 철 0.320mg/m³, 망간 0.041mg/m³, 크롬 0.050mg/m³, 니켈 0.014mg/m³으로 나왔다는 보고와 비교해 볼 때 매우 근사하였다.

그리고 그림 7과 그림 8에서 보는 바와 같이 3가지 용접방식 가운데 TIG 또는 CO₂ 가스용접/스테인레스강 방식이 CO₂ 가스용접/연강과 반자동 피복아크용접/연강에 비해 크롬과 니켈을 제외한 대부분의 중금속성분 농도는 대체로 낮은 양상을 보였다.

이상의 본 연구결과에서 의하면 스테인레스강을 모재금속으로 사용하는 용접방식일 경우에는 연강을 모재금속으로 사용할 때에는 달리 반드시 크롬과 니켈에 대한 측정이 필요함을 알 수 있었다. 특히 크롬이 많이 발생할 때에는 인체에 대한 독성이 매우 강한 6가 크롬의 발생가능성이 있으므로 이에 대한 철저한 모니터링이 요구된다. 스테인레스강에 피복아크용접할 때 많이 발생하는 것으로 알려져 있는 6가 크롬은 피부궤양, 비중격 천공, 신장장해 및 폐암 등을 유발하는 물질로서 우리나라와 미국산업위생전문가협회(American Conference Governmental Industrial Hygienest, ACGIH)에서는 발암물질로 규정하고 있다.

본 조사대상 사업장의 2개 부서에서 부분적으로 모재금속을 스테인레스강을 사용하고 있어서 공기중 6가 크롬에 대한 측정과 분석을 하였다. 시료 포집과 분석은 NIOSH 7600 방법에 따랐으며 분석시 전처리 용액으로 알칼리 용액(2% NaOH-3% Na₂CO₃)을 사용하여 철 등 환원성 물질의 방해를 제어하였으며 분광광도계로 분석하였다.

보일러 부서와 배관 부서에서 5개의 시료를 포집하였는데 분석 결과 모두 검출 한계(Detection Limit) 이하로 나타났다.

Karlsten 등(1994)은 조선업체에서 스테인레스강에 피복아크용접시 총 크롬과 6가 크롬과의 비가 0.25 였다고 보고하였는데 본 조사결과에서 총 크롬은 0.21mg/m³ 이었는데 비해 6가 크롬은 검출 한계(Detection Limit)이하로 나타나 이들 보고와 다른 결과를 보였다. 이는 본 조사대상 작업자의 작업량이 많지않아 시료수가 너무 작고 시료포집시간이 짧아 제대로 평가가 이루어지지 못했기 때문으로 생각된다.

3) 페인트가 도포된 모재금속 용접시의 농도

조선소의 용접작업은 대부분 페인트가 도포된 상태에서 실시되며 특히 도크공정에서는 페인트가 두세

차례 덧칠해진 상태에서 작업이 이루어져 페인트내에 함유된 여러 유해물질에 용접작업자가 노출될 가능성이 있다. 본 연구에서는 페인트내 함유된 유해물질 가운데 아연 과 납에 국한하여 조사하였으며, 용접작업이 이루어지고 있는 작업장에서 채취한 고형시료인 페인트칩(Chip)내의 아연과 납 함량과 용접작업자의 호흡위치에서 시료채취한 공기중 시료에서 아연과 납의 농도를 측정하여 이들간의 관련성을 검토하였다.

표 10에서 보는 바와 같이 아연의 고형시료중 함량이 회색 페인트의 경우 0.08%, 적색 페인트의 경우 13.95%로서 적색 페인트내 아연 함량이 상대적으로 높았다. 그러나 공기중 아연농도는 회색 페인트와 적색페인트가 각각 1.35mg/m³, 1.02mg/m³로서 거의 비슷한 수준이었다. 그러나 본 결과는 고형시료수간 충분하지 못해 통계적 검증을 실시하지 못한 한계가 있다.

그러나 본 결과는 Engstrom 등(1990)이 약 15% 아연이 함유된 페인트가 도포된 금속을 용접작업 또는 절단작업할 때 발생하는 공기중 아연농도를 측정해본 결과 노출기준 이하이었다는 보고와 유사하였다. 또한 본 연구결과에서 고형시료와는 달리 공기중 아연농도가 거의 차이가 나지 않는 것은 용접에 앞서 이루어지는 취부공정에서 용접할 부위가 연마되어 페인트 도포가 거의 끊어진 상태에서 용접하기 때

문에 상호 연관성이 떨어진 것으로 추정된다.

표 11에서 보는 바와 같이 고형시료내 납의 함량은 회색 페인트가 0.08%, 적색 페인트가 0.14%로서 매우 낮았으며 페인트 색에 따른 차이가 거의 나지 않았다. 공기중 납 농도는 회색 페인트가 0.009mg/m³(0.001-0.022mg/m³)이고, 적색페인트가 0.007mg/m³(0.002-0.021mg/m³)로서 공기중 납 노출기준 0.05mg/m³에 비해 현저히 낮았고 페인트 색에 따른 차이도 거의 없었다. 이는 연마공, Chipper 등을 대상으로 조사한 Zedd 등(1993)이 밝힌 고형시료내의 납 함량과 공기중 납 농도간에는 다소 상관관계가 있다는 보고를 참고해 볼 때 고형시료내 납 함량에 차이가 없을 때 공기중 납 농도에도 거의 차이가 없음을 알수 있었다. 그러나 본 결과는 상관관계를 파악하기에 고형시료수가 작아 통계적 검증을 거치지 못한 한계가 있다.

IV. 결 론

본 연구는 1996년 3월 25일에서 30일 동안 경남 지역에 위치한 모 조선소에서 용접작업 하는 근로자를 대상으로, 이들이 작업하고 있는 밀폐 작업장에서 공기중 용접흡과 중금속 농도에 대한 정확한 실태를 파악하기위해 작업환경측정을 실시하였으며 그 결과는 다음과 같다.

Table 10. Airborne Zinc Concentration and Content of Zinc in Bulk Samples.

Paint Color	Airborne Zinc Concentration			Percent of Zinc in Bulk Samples
	GM(mg/m ³)	GSD	Rang(mg/m ³)	%
Gray	1.35	2.26	0.42 - 4.60	0.08
Red	1.02	2.61	0.29 - 4.51	14.0

Table 11. Airborne Lead Concentration and Content of Lead in Bulk Samples

Paint Color	Airborne Lead Concentration			Percent of Lead in Bulk Samples
	GM(mg/m ³)	GSD	Rang(mg/m ³)	%
Gray	0.009	2.27	0.001- 0.022	0.08
Red	0.007	2.18	0.002- 0.021	0.14

1. 밀폐 작업장의 공기중 용접흡 농도는 기하평균 16.6mg/m³(0.6-73.0mg/m³)이었으며, 용접흡중 중금속 농도는 철 3.9mg/m³, 망간 1.2mg/m³, 아연 0.8mg/m³, 구리 0.008mg/m³, 납 0.008mg/m³, 니켈 0.005mg/m³, 크롬 0.003mg/m³, 카드뮴 0.0003mg/m³이었다.

개방된 작업장에서의 공기중 용접흡은 기하평균 5.2mg/m³(0.1-42.2mg/m³)이었으며, 용접흡중 중금속 농도는 철 1.1mg/m³, 망간 0.3mg/m³, 아연 0.3mg/m³, 구리 0.004mg/m³, 납 0.008mg/m³, 니켈 0.005mg/m³, 크롬 0.003mg/m³, 카드뮴 0.0003mg/m³이었다.

밀폐 작업장의 공기중 용접흡은 개방된 작업장보다 3.2배 높았다. 그리고 용접흡중의 중금속 농도는 철, 망간, 아연, 구리에서 약 2-4배정도 높았으며, 납, 니켈, 크롬, 카드뮴은 차이가 없었다.

2. 밀폐 작업장에서 공기중 용접흡 농도는 전체 39개 시료중 32개(82.1%)가 노출기준을 초과하였으며, 개방된 작업장에서는 전체 33개 시료중 19개(57.6%)가 노출기준을 초과하였다.

밀폐 작업장에서 철은 전체 38개 시료중 14개(36.8%)가 노출기준을 초과하였으며, 망간은 전체 38개중 23개(60.5%)가 노출기준을 초과하였다. 개방된 작업장에서 철은 전체 34개 시료중 3개(8.8%)가 노출기준을 초과하였고, 망간은 전체 34개 시료중 6개(17.6%)가 노출기준을 초과하였다.

중금속간의 상가효과(Additive Effect)를 고려하여 노출기준 초과 여부를 판단하면 밀폐 작업장은 전체 39개 시료중 31개 시료가 노출기준을 초과하여 79.5%의 초과율을 보였으며, 개방된 작업장은 전체 36개 시료 가운데 20개 즉 55.6%가 노출기준을 초과하였다.

3. 모재금속 및 용접방법에 따른 공기중 용접흡 농도는 CO₂ 가스용접/연강이 가장 높았으며, 반자동 피복아크용접/연강, TIG 또는 CO₂ 가스용접/스테인레스강 순이었다.

용접흡중의 중금속 농도가 높은 순서는 CO₂ 가스용접/연강과 반자동 피복아크 용접/연강 일 경우 철, 아연, 망간, 납 순이었으며, TIG 또는 CO₂ 가스용접/스테인레스강 일 경우 철, 망간, 크롬, 니켈 순이었다.

4. 페인트가 도포된 모재금속의 용접시 페인트내 중금속 함량과 공기중 흡내 중금속 농도는 페인트칩(Chip)내 아연함량이 적색 페인트가 14.0%, 회색 페인트가 0.08%로서 다소 차이를 보였으나 공기중 흡내 아연 농도는 적색페인트 1.35 mg/m³, 회색페인트 1.02mg/m³로 비슷하게 나타났다.

또한 페인트칩내 납함량은 적색 페인트 0.14%, 회색 페인트 0.08%로 별 차이가 없었으며 공기중 흡내 납농도도 적색 페인트 0.009mg/m³, 회색 페인트 0.007mg/m³로 거의 차이가 없었다.

참 고 문 헌

- 김광중, 송기창 : 모 조선업 작업장의 공기중 용접흡 농도에 관한 조사. 한국산업위생학회지 1991;1(1):68-72.
- 김지용 : 일부 망간 취급 근로자의 망간폭로 및 건강장해에 관한 연구. 서울대학교보건대학원 석사학위논문 1994.
- 노동부 : 노동통계연감. 서울, 노동부 1996.
- 노동부 : 유해물질 허용농도. 노동부 고시 제95-25호. 서울, 노동부 1995.
- 노동부 : 작업환경측정 관련 규정. 노동부 고시 제 95-25호. 서울, 노동부 1995.
- 대한산업보건협회 : 작업공정별 보건관리 매뉴얼. 서울, 대한산업보건협회 1993;98-141.
- 변상훈, 박승현, 김창일, 박인정, 양정선, 오세민, 문영한 : 일부 업종의 용접흡 분석 및 폭로농도에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1995;5(2):172-183.
- 백남원 : 용접공과 용접흡의 폭로, 노동과학 1987; 29:57-63.
- 백남원 : 단열재 및 용접작업의 관리, 노동과학

1988;30:33-39.

백남원 : 산업위생학 개론. 서울, 신광출판사, 1995.

손혜숙, 최성룡, 유영진, 이채언 : 조선소 용접공진폐증의 발생에 관련된 요인 분석. 대한산업의학회지 1994;6(1):143-152.

이권섭, 백남원 : 용접작업 형태별 공기중 용접흡 농도와 중금속성분에 관한 조사 연구. 서울대학교보건대학원 석사학위 논문 1987.

작업환경측정기술협의회: 작업환경측정종합연보. 서울, 작업환경측정기술협의회 1993.

American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH) : *Air Sampling Instruments*, 5th ed., 1977, 696-703.

Burgess, W.A. : *Recognition of Health Hazards in Industry*, 2nd ed., New York, John Wiley & Son, Inc., 1995.

Clayton, G.D. and F.E. : *Patty's Industrial Hygiene and Toxicology*, New York, A Wiley Interscience Publication, 1977;1:1172-1178.

Engstrom, B., Henrisk-Eckerman, M.L., Anas, E. : Exposure to Paint Degradation Products When Welding, Flame Cutting, or Straightening Painted Steel, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 1990;51(10):561-565.

Guiodott, T.L. : The Higher Oxides of Nitrogen : Inhalation Toxicology, *Environ. Res.*, 1978;15:443-472.

Karlsen, J.T., Farrants, G., Torgrimsen, T. and Reith, A. : Chemical Composition and Morphology of Welding Fume Particles and Grinding Dusts, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 1992; 53:290-297.

Karlsen, J.T., 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.

Meyer, E.C., Kratzinger, S.F., Miller, W.H. : Pulmonary Fibrosis in an Arc Welder, *Arch. Environ. Health*, 1967;15:463-469.

Morgan, W.K.C. : On Welding, Wheezing, and Wimsy, *Am. Ind. Hyg. Assco. J.*, 1989;50(2):59-69.

National Institute for Occupational Safty and Health (NIOSH) : *Manual of Analytical Methods*, 3rd ed., Cincinnati, Ohio, DHEU(NIOSH) Publication No. 84-100 NIOSH, 1984.

Newhouse, M.L. and Murray, R. : *The Present Position Concerning the Biological Effects of Exposure to Fumes in Welders*, Abington Hall, Cambridge, England, *The Welding Institute*, 1981.

Phoon, W.H. and Tan, K.T. : Welding Fumes in Shipyards, *Occupational Health and Safety*, 1983;2: 19-25.

Rieke, F.F. : Lead Intoxication in Shipbuilding and Ship Scrapping(1941-1968), *Arch. Environ. Health*, 1969;19: 521-539.

Stern, R.M., Piggott, G.H., Abraham, J.L. : Fibrogenic Potential of Welding Fumes, *J. Appl. Toxicol.*, 1983;3 :18-30.

Zedd, H.C., Walker, Y.P., Hernandez, J.E., Thomas, R.J. : Lead Exposures during Shipboard, Chipping and Grinding Paint-Removal Operations, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 1993;54(7):392-396.

Zenz, C. : *Occupational Medicine*, 2nd ed., Chicago, Year Book Medical Publishers, Inc., 1988.