

## 중장비 제조업체의 가스금속아크용접에서 용접흄, 금속노출 및 금속함량

정재열<sup>1)†</sup> · 이기남<sup>1)</sup> · 김정만<sup>2)</sup>

원광대학교 한의학전문대학원 산업의학교실<sup>1)</sup>, 동아대학교 의과대학 예방의학교실<sup>2)</sup>

### Welding Fumes, Metal Exposures, and Metal Contents Of Gas Metal Arc Welding in the Heavy Construction Machinery Shop

Jaeyoul Jeung<sup>1)†</sup> · KiNam Lee<sup>1)</sup> · Jung-Man Kim<sup>2)</sup>

*Department of Industrial Oriental Medicine, Professional Graduate School of Oriental Medicine, Wonkwang University<sup>1)</sup>*

*Department of Preventive Medicine, College of Medicine, Dong-A University<sup>2)</sup>*

This study was conducted on the heavy construction machinery shop in Ulsan city from January to June, 2000. Study factors were welding positions, welding currents, and helmet to arc distances, and exposure variables were welding fumes, metals(iron, manganese, copper), and metal contents. The results of this study are summarized up as follows.

Exposure concentrations of welding fumes, iron, copper, and manganese by the working positions were 8.63mg/m<sup>3</sup> (p<0.05), 3.72mg/m<sup>3</sup> (p<0.05), 0.05mg/m<sup>3</sup> (p<0.05), and 0.73mg/m<sup>3</sup> (p<0.05) respectively. Exposure concentrations of welding fumes, iron, copper, and manganese were affected by the welding positions.

Percentages of iron, copper, and manganese to welding fumes were 43.66%, 0.53%, and 8.55% (p<0.05) respectively. The highest exposure concentrations of welding fumes, iron, copper, and manganese by the welding currents were 21.15mg/m<sup>3</sup> (p<0.05), 8.40mg/m<sup>3</sup> (p<0.05), 0.11mg/m<sup>3</sup> (p<0.05), and 1.74mg/m<sup>3</sup> (p<0.05) above 351 ampere respectively. Considering this results in gas metal arc welding, higher welding current will be resulted in higher exposure concentration of welding fumes, iron, copper, and manganese.

The highest percentages of iron, copper, and manganese to welding fumes by the welding currents were 45.13% in 251-300 ampere, 0.56% in 251-300 ampere, and 8.85% below 250 ampere respectively but there were no significant differences (p>0.05). Considering this results in gas metal arc welding, percentages of iron, copper, and manganese to welding fumes were not affected by the welding currents.

Relationships of welding currents with exposure concen-

trations of welding fumes, iron, copper, and manganese were positive and correlation coefficients were 0.818 (p<0.05), 0.769 (p<0.05), 0.795 (p<0.05), and 0.716 (p<0.05) respectively.

The highest exposure concentrations of welding fumes, copper, and manganese by the helmet to arc distances were 15.81mg/m<sup>3</sup> (p<0.05) below 40cm, 6.93mg/m<sup>3</sup> (p<0.05) below 40cm, 0.08mg/m<sup>3</sup> (p<0.05) below 40cm, and 1.18mg/m<sup>3</sup> (p<0.05) below 40cm respectively. Considering this results in gas metal arc welding, closer helmet to arc distances will be resulted in higher exposure concentrations of welding fumes, iron, copper, and manganese.

The highest percentages of iron, copper, and manganese to welding fumes by the helmet to arc distances were 44.33% in 46-50cm, 0.55% in 41-45cm, 46-50cm, and 8.91% in 41-45cm but there were no significant differences (p>0.05). Considering this result in gas metal arc welding with the range of helmet to arc distances, the percentages of iron, copper, and manganese to welding fumes were not affected by the helmet to arc distances.

Relationships of helmet to arc distances with exposure concentrations of welding fumes, iron, copper, and manganese were negative and correlation coefficients were -0.695 (p<0.05), 0.677 (p<0.05), -0.678 (p<0.05), and -0.630 (p<0.05) respectively.

**Key Words :** Welding Positions, Welding Currents, Helmet to Arc Distances, Welding Fumes, Iron, Copper, Manganese

접수일 : 2001년 4월 2일, 채택일 : 2002년 3월 28일

† 교신저자 : 정재열(전북 익산시 신용동 344-2번지 원광대학교 한의학전문대학원 제3의학과 산업보건학

Tel : 063-850-6941, Email : jaeyoul@wonkwang.ac.kr)



## I. 서 론

용접은 2개의 금속을 접합하여 거의 균질한 접합부를 이루는 한 덩어리의 금속으로 만드는 방법인데 AWS(American Welding Society)에서는 “금속의 국부적인 접합(localized coalescence of metals)”이라고 정의하고 있다. 이 접합은 용융 용접에 의한 용접, 가압력과 적당한 열을 필요로 하는 압접, 용접모재와는 별도의 용접봉 또는 제3의 재료를 사용하는 방법 등이 있는데 그중 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 부품들에 이르기까지 거의 모든 산업분야와 기기의 제작 및 유지·관리에 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).

역사적으로, 기본적인 개념은 1920년대에 실제 도입되었다 할지라도, GMAW (Gas Metal Arc Welding) 공정은 1948년에 발전되어 상업적으로 이용될 수 있었다. GMAW의 초기 상업적 적용에 있어, GMAW를 언급할 때 아직 일반적으로 이용되고 있는 용어 “MIG(금속 불활성 가스)”를 도입시킨, 불활성 차폐가스를 이용해 알루미늄을 용접하는데 이 공정이 이용되었다. 시간이 지남에 따라, 변형이 이 공정에 적용되었고, 그 중에서 일부의 철 재료를 용접하는데 있어, 활성차폐가스, 특히 CO<sub>2</sub>의 이용이 있었다. 이것은 결국 이 공정에 대해 가스금속아크용접(GMAW)라는 용어로 AWS가 공식적으로 수용하였다. GMAW 공정은 반자동 또는 자동설비를 이용하고 본질적으로 높은 생산성이 요구되는 용접을 할 때 적용되고 있다. 대부분의 금속은 이 공정을 이용하여 용접될 수 있고 공정에 있어 에너지 변이가 낮

아 모든 위치에서 용접을 할 수 있으며 용접 부착물의 제거가 일부 또는 필요없는 경제적인 공정이다. GMAW은 연속적으로 자동공급, 외부적으로 공급되는 가스에 의해서 차폐되는, 소모성 전극을 합체시킨 용접공정으로 공정제어와 작동은 용접건, 전극공급장치, 전원 공급원의 기본적인 3가지 요소를 통해 이루어진다 (AWS, 1978; Burgess, 1981; AWS, 1978).

용접에서 발생하는 용접흡의 발생량에 영향을 주는 근원적인 요소로는 용접공정, 전극, 전류, 아크길이/아크전압, 전극 특성, 차폐가스, 금속이동모드 등 여러 가지가 있다. 이러한 요소는 용접흡의 발생량과 작업자의 노출농도에 복합적으로 영향을 준다고 고려되고 있다(Boekholt, 1977; Evans 등, 1979; ACGIH, 1986). 국내에서는 1980년대 이래로 용접작업의 합리화와 상업화를 목적으로 CO<sub>2</sub> 용접이 눈에 띄게 보급되고 있음을 알 수 있다. 그러나 한편으로는 품질의 향상, 작업환경의 개선이 강력히 요구될 경우 CO<sub>2</sub> 용접에 대해서도 경제성을 포함한 종합적인 검토가 필요해지고 있다. CO<sub>2</sub> 용접에서 스파터가 많고 비드외관, 형상이 나쁘고 박판용접을 하기 어려우며 용접으로 인한 직업병 등의 문제점을 해결하기 위해서 플럭스가 혼합된 복합 와이어를 사용하거나, 차폐가스로 아르곤과 CO<sub>2</sub> 혼합가스를 사용하는 방법이 유효하다는 것이 알려져 있다(이영호, 1977).

용접과 용접 작업자의 건강을 보호하기 위한 노출농도 중심의 연구는 많이 수행되었으나 80여 가지 이상인 용접공정에서 어느 특정한 공정을 중심으로 체계적인 연구가 수행된 경우는 많지 않았다. 그러나 여러 가지 용접공정을 통합하여 용접흡과 용접흡에서의 성분에 대한 함량에 대한 연구는 Ulfvarson, Kalliomaki, Malmqvist 등 유럽과 북미에서 일부 연구자들에 의해 수행되고 있고 이러한 연구는 현장에서의 용접흡 노출 평가와 제어에 있어 많은 기여가 있었다. 연구자들의 관점은 동일한 용접조건은 유해인자에 대한 노출에 있어 유사성이 있다는 가설에서 시작하였으나 다양한 용접공정을 함께 평

가하는 잘못도 있었다. 그러나 본 연구는 동일한 작업조건하에 수행되는 가스금속 아크용접에서 용접자세, 용접전류, 헬멧에서 아크까지의 거리와 작업자의 용접흡, 철, 망간, 구리의 노출농도와 관련성 그리고 이러한 조건하에서 시료포집된 용접흡에 대한 철, 망간, 구리의 함량을 알아보고자 수행하였다. 이와 더불어 추후 이러한 현장의 분석 연구를 수행하는데 있어 기초자료를 제공하고자 연구를 시도하였다.

## II. 대상 및 방법

### 1. 연구대상

본 연구는 울산광역시에 소재하고 있는 중장비 제조업체에서 2000년 1월부터 6월 까지 수행되었고 직경이 1.2mm 솔리드 와이어 형태 AWS A5.18 ER70S-6(JIS YGW12)를 이용하여 가스금속아크용접을 하는 용접 작업자 133명을 대상으로 하였다. 용접작업자의 작업자세는 크게 3가지로 분류할 수 있었는데 전자세 42명, 아래보기와 수평자세 44명 그리고 위보기와 수직자세 47명이었다. 가스금속아크용접에서 와이어의 공급속도는 분당 6.86m, 보호가스로 이용되었던 탄산가스의 유량은 28.32LPM 그리고 용접속도는 1.2m/분이었다.

### 2. 연구방법

#### (1) 용접흡의 시료포집 및 중량분석

용접흡의 시료포집에 이용되었던 개인 공기시료포집기(Airchek 50, 224-PCXR7, SKC, 그리고 HFSS13, Gilian)는 건식전자보정기(Drycal Flow Calibrator DC-1S, Bios)를 이용하여 유량을 1.0-2.0LPM으로 보정하였고(시료포집 전·후에) 가스금속 아크용접시 용접작업자가 노출되는 용접흡은 개인공기시료포집기를 이용하여 작업자의 호흡기 영역에서 8시간 연속시료(full period consecutive sample)로 포집하였다. 용접흡의 중량분석은 NIOSH 분석



방법 500(진공 데시케이터에서 필터와 보조패드(cellulose ester membrane 225-5 and 225-27, SKC)를 15분 이상 건조시킨 후, 환경챔버에서 2시간이상 균일화시킨다. 그 다음에 중량(W<sub>1</sub>)을 측정하고, 중량측정을 수행한 필터와 보조패드를 필터 카세트 홀더(filter cassette holder 225-309, SKC)에 넣고 조립한 후, 현장에서 시료를 포집하고 포집한 시료 필터와 현장 공시료 필터의 중량(W<sub>2</sub>와 B<sub>2</sub>)을 측정한다(NIOSH, 1984). 아래 방정식에 따라 현장 공시료 필터의 중량변화를 고려하여 용접흡의 농도를 계산한다)을 이용하였고, 농도계산에 이용되었던 유량은 P&CAM 173(NIOSH, 1979)에 따라 시료포집전과 후의 유량을 평균한 수치를 이용하였다. 시료포집된 공기의 용적은 아래의 방정식과 같다.

$$V = \frac{(FB + FE)}{2} \times t \quad [\text{liter}]$$

여기서,

FB : 시료포집 시작시점에서의 유량, LPM

FE : 시료포집 종료시점에서의 유량, LPM

t : 시료포집시간, minute

중량분석에 이용하였던 천칭은 10<sup>-5</sup>g까지 칭량할 수 있는 전자저울(electronic semimicro balance R200D, Sartorius)이었고 용접흡의 농도는 아래의 방정식을 이용하였다.

$$C = \frac{(W_2 - W_1) - (B_2 - B_1)}{V} \times 10^3 \quad [\text{mg/m}^3]$$

여기서,

W<sub>1</sub> : 시료포집 전 필터의 중량, mg

W<sub>2</sub> : 시료포집 후 필터의 중량, mg

B<sub>2</sub>, B<sub>1</sub> : 시료포집후, 전의 공시료 필터의 중량, mg

V : 시료포집된 공기의 용적, liter

(2) 용접흡 시료에서 철, 망간, 구리의 분석  
용접흡 시료에서 철, 망간, 구리 성분의 분석은 NIOSH의 P&CAM 173 분석방법을 이용하였다(NIOSH, 1979). 전반적인

시료처리과정은 100ml 비이커에 시료포집된 MCE 필터를 옮기고 6.0ml의 질산(37335-1250, Junsei)을 넣고 시계접시로 비이커를 덮고 표면온도가 약 165℃인 핫플레이트(PC-600, Coming)상에서 약간 노란 용액이 형성될 때까지 흡 후드에서 가열한다. 회화가 완료되면 시계접시의 안쪽면과 비이커의 벽을 10% 질산 3-5ml로 행구고 100℃에서 5분간 재가열하고 그 후 10ml 용량 플라스크에 용액을 넣고 용량 플라스크 눈금까지 10% 질산으로 채운다. 철, 구리, 망간의 분석에 이용되었던 원자흡광광도계(AA-680, Shimadzu)의 분석조건은 표 1과 같다.

### (3) 용접자세 그리고 헬멧에서 아크까지의 거리

용접자세는 용접작업자가 용접을 수행할 때의 용접위치 및 자세에 따라 구분하였고 용접전류는 전원공급기(Move 350, Hyosung Welder)의 전류계에 제시된 수치를 3회 이상 판독하여 평균하였다. 용접자세는 아래보기·수평자세(flat and horizontal position), 수직·위보기자세(vertical and overhead position) 그리고 이러한 자세를 병행하는 전자세(all position) 3 가지로 구분하였다. 헬멧에서 아크까지의 거리(helmet to arc distance)는 작업자가 용접을 수행할 때 용접자세에 따라 현장에서 줄자를 이용하여 3회 이상 측정하여 평균하였다.

### (4) 통계학적 방법

자료는 윈도우용 SPSS/PC+ 8.00와 SigmaPlot 4.0을 이용하여 분석하였다. 용접자세, 용접전류 그리고 헬멧에서 아크까지의 거리 그룹에 있어서 평균간의 차이는 외생적 영향(extraneous variation)을

제거하고자 공분산분석(ANOCOVA: Analysis of Covariance)을 이용하여 분석하였고 자료는 평균±표준편차로 요약하였다.

## III. 성 적

### 1. 용접자세에 따른 용접흡, 금속노출 및 금속함량

용접자세에 따른 용접흡, 철, 구리, 망간의 노출농도는 표 2와 같고 용접흡에 대한 철, 구리, 망간의 비율은 표 3과 같다. 용접흡, 철, 구리, 망간의 평균노출농도는 각각 8.63mg/m<sup>3</sup>, 3.72mg/m<sup>3</sup>, 0.05mg/m<sup>3</sup>, 0.73mg/m<sup>3</sup>이었다. 용접전류와 헬멧에서 아크까지의 거리에 의한 영향을 배제한 상태에서 노출변수들에 대한평균의 차이를 분석한 결과 용접흡의 경우 14.01mg/m<sup>3</sup> (p<0.05), 철의 경우 6.03mg/m<sup>3</sup> (p<0.05), 구리의 경우 0.07mg/m<sup>3</sup> (p<0.05), 망간의 경우 1.13mg/m<sup>3</sup> (p<0.05)으로 가장 높았고 모두 아래보기·수평자세이었다. 용접자세에 따라 용접흡, 철, 구리, 망간의 노출농도가 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

용접흡에 대한 철, 구리, 망간의 백분율은 철의 경우 평균 43.66%, 구리의 경우 평균 0.53% 그리고 망간의 경우 8.55%이었다. 철의 경우 수평자세에서 44.45%, 구리의 경우 전자세에서 0.56%로 용접흡에 대한 백분율에 있어 가장 높았으나 유의한 차이는 보이지 않았으나 망간의 경우 수직 및 위보기 자세에서 9.14%로 가장 높았고 유의한 차이가 있었다(p<0.05). 용접자세를 기준으로 가스금속아크용접 작업자 그룹이 동일한 용접 와이어, 탄산가스, 안타스페트, 와이어 공급기, 전류 공급기 등을 이용하는 경우 용접흡 성분중

Table 1. Analytical conditions of atomic absorption spectrophotometer by metal

Parameter	Iron(Fe)	Copper(Cu)	Manganese(Mn)
Wavelength, nm	248.3	324.8	279.5
HC Lamp Current, mA	8	3	5
Slit Width, nm	0.2	0.5	0.4
Type of Flame	Air-C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	Air-C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	Air-C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>
Fuel Gas Flow Rate, LPM	2	1.8	1.9



Table 2. Concentrations of welding fumes, iron, copper and manganese by the welding position

Welding Group	N	Welding Fume, mg/m <sup>3</sup>	Iron, mg/m <sup>3</sup>	Copper, mg/m <sup>3</sup>	Manganese, mg/m <sup>3</sup>
All	42	5.2883 ± 2.1039	2.2864 ± 1.0617	0.0298 ± 0.0141	0.4503 ± 0.1934
Flat and Horizontal	44	14.0147 ± 6.0851*	6.0291 ± 2.5668*	0.0744 ± 0.0315*	1.1297 ± 0.5751*
Vertical and Overhead	47	6.5710 ± 2.7759	2.8532 ± 1.2412	0.0339 ± 0.0169	0.6031 ± 0.2882
Total	133	8.6285 ± 5.5543	3.7249 ± 2.3941	0.0460 ± 0.0298	0.7291 ± 0.4819

\*p&lt;0.05 by ANOCOVA

Table 3. The proportions of iron, copper and manganese to welding fumes by the welding position

Welding Group	N	Proportion to Welding Fume		
		Iron	Copper	Manganese
All	42	0.4251 ± 0.0723	0.0056 ± 0.0010	0.0847 ± 0.0109
Flat and Horizontal	44	0.4445 ± 0.0889	0.0054 ± 0.0010	0.0800 ± 0.0218
Vertical and Overhead	47	0.4396 ± 0.0973	0.0051 ± 0.0012	0.0914 ± 0.0193*
Total	133	0.4366 ± 0.0870	0.0053 ± 0.0011	0.0855 ± 0.0185

\* p&lt;0.05 by ANOCOVA

철, 구리의 백분율에는 차이가 없지만 망간의 백분율 차이가 있을 수 있다고 생각한다.

## 2. 용접전류에 따른 용접흄, 금속노출 및 금속함량

용접전류에 따른 용접흄, 철, 구리, 망간의 노출농도는 표 4와 같고 회귀분석은 그림 1, 2, 3과 같으며 용접흄에 대한 철, 구리, 망간의 비율은 표 5와 같다. 용접자 세와 헬멧에서 아크까지의 거리에 의한 영향을 배제한 상태에서 노출변수들에 대한 평균의 차이를 분석한 결과 용접전류

351암페어 이상에서 용접흄 21.25mg/m<sup>3</sup>(p<0.05), 철 8.40mg/m<sup>3</sup>(p<0.05), 구리 0.11mg/m<sup>3</sup>(p<0.05), 망간 1.74mg/m<sup>3</sup>(p<0.05)으로 가장 높았다. 이러한 결과로 보아 가스금속아크용접에서 높은 용접전류를 사용할수록 용접흄, 철, 구리, 망간의 노출농도는 높아진다는 것을 알 수 있다.

용접흄에 대한 철, 구리, 망간의 백분율은 철, 구리의 경우 용접전류 251-300암페어에서 각각 45.13%, 0.56%로 가장 높았고 망간의 경우 용접전류 250암페어 이하에서 8.85%로 가장 높았으나 모두 유의한 차이는 없었다. 이러한 결과로 보아 용접흄에 대한 철, 구리, 망간의 비율은 가스

금속아크용접 그룹 작업자들이 연구되었던 용접전류 범위 내에서는 용접전류의 영향을 받지 않는 것으로 보이며 가스금속아크용접 작업자 그룹이 동일한 용접 와이어, 탄산가스, 안티-스്പ래트, 와이어 공급기, 전류 공급기 등을 이용하는 경우 용접흄 성분중의 철, 구리, 망간의 백분율에는 차이가 없다는 것을 알 수 있었다.

용접전류에 따른 용접흄, 철, 구리, 망간의 노출농도는 양의 상관관계를 보였고 상관계수는 각각 0.818(p<0.05), 0.769(p<0.05), 0.795(p<0.05), 0.716(p<0.05)이었으며 용접전류와 용접흄의 결정계수가 0.669(p<0.05)로 가장 높았다.

Table 4. Concentrations of welding fumes, iron, copper and manganese by the welding current

Welding Current, Ampere	N	Welding Fume, mg/m <sup>3</sup>	Iron, mg/m <sup>3</sup>	Copper, mg/m <sup>3</sup>	Manganese, mg/m <sup>3</sup>
≤ 250	43	5.2384 ± 2.4270	2.2697 ± 1.1927	0.0270 ± 0.0152	0.4786 ± 0.2627
251-300	44	6.2336 ± 2.8345	2.8622 ± 1.4580	0.0342 ± 0.0159	0.5124 ± 0.2282
301-350	32	10.9533 ± 2.2783	4.8195 ± 1.3117	0.0598 ± 0.0174	0.9213 ± 0.2963
351 ≤	14	21.2541 ± 3.5867*	8.4037 ± 2.5346*	0.1096 ± 0.0147*	1.7398 ± 0.4423*
Total	133	8.6285 ± 5.5543	3.7249 ± 2.3941	0.0460 ± 0.0298	0.7291 ± 0.4819

\* p&lt;0.05 by ANOCOVA

Table 5. The proportions of iron, copper and manganese to welding fumes by the welding current

Welding Current, Ampere	N	Proportion to Welding Fume		
		Iron	Copper	Manganese
≤ 250	43	0.4326 ± 0.0957	0.0050 ± 0.0011	0.0885 ± 0.0182
251-300	44	0.4513 ± 0.0764	0.0056 ± 0.0010	0.0837 ± 0.0141
301-350	32	0.4408 ± 0.0829	0.0055 ± 0.0011	0.0845 ± 0.0215
351 ≤	14	0.3934 ± 0.0931	0.0053 ± 0.0010	0.0843 ± 0.0247
Total	133	0.4366 ± 0.0870	0.0053 ± 0.0011	0.0855 ± 0.0185



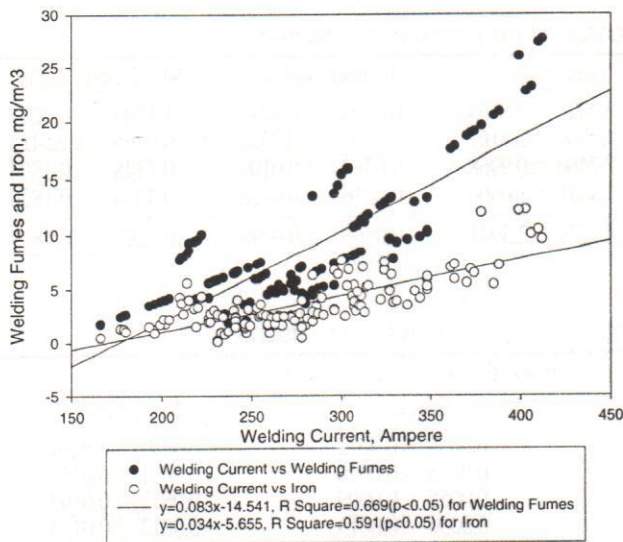


Figure 1. Relationships among welding current, welding fumes and iron

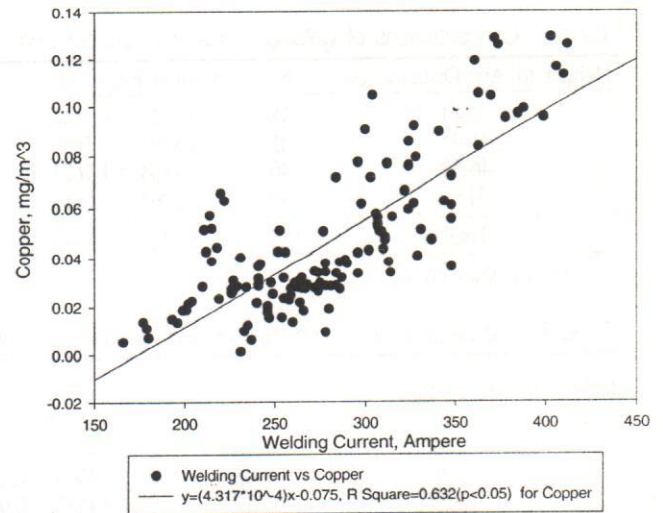


Figure 2. Relationship between welding current and copper

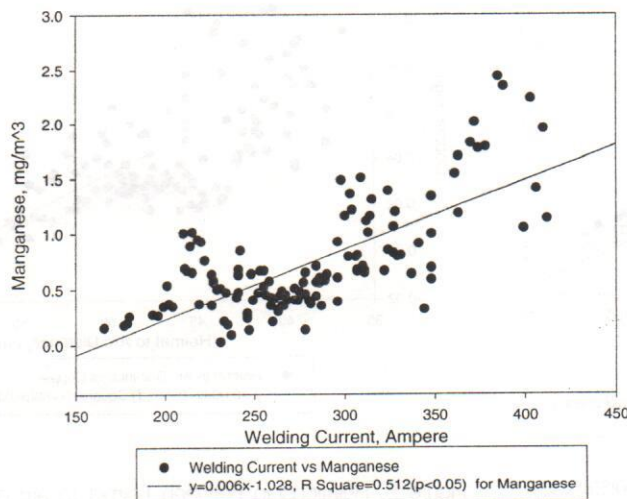


Figure 3. Relationship between welding current and manganese

### 3. 헬멧에서 아크까지의 거리에 따른 용접흡, 금속노출 및 금속함량

헬멧에서 아크까지의 거리에 따른 용접흡, 철, 구리, 망간의 노출농도는 표 6과 같고 회귀분석은 그림 4, 5, 6과 같으며 용접흡에 대한 철, 구리, 망간의 비율은 표 7과 같다. 용접자세와 용접전류에 의한 영향을 배제한 상태에서 노출변수들에 대한 자료를 분석한 결과 용접흡, 철, 구리, 망간의 노출농도는 헬멧에서 아크까지의

거리 40cm 이하에서 각각 15.81mg/m<sup>3</sup> (p<0.05), 6.93mg/m<sup>3</sup>(p<0.05), 0.08mg/m<sup>3</sup> (p<0.05), 1.18mg/m<sup>3</sup>(p<0.05)으로 가장 높았다. 이러한 결과로 보아 가스금속아크용접에서 헬멧에서 아크까지의 거리가 가까울수록 용접흡, 철, 구리, 망간의 노출농도는 높아진다는 것을 알 수 있다.

용접흡에 대한 철, 구리, 망간의 백분율은 철의 경우 헬멧에서 아크까지의 거리

46-50cm에서 44.33%, 구리의 경우 헬멧에서 아크까지의 거리 41-45cm와 46-50cm에서 0.55%, 망간의 경우 헬멧에서 아크까지의 거리 41-45cm에서 8.91%로 가장 높았으나 모두 유의한 차이를 보이지 않았다. 이러한 결과로 보아 용접흡에 대한 철, 구리, 망간의 비율은 가스금속아크용접 그룹 작업자들이 연구되었던 헬멧에서 아크까지의 거리 범위 내에서는 헬멧에서 아크까지의 거리에 영향을 받지 않는 것으로 보이며 가스금속아크용접 작업자 그룹이 동일한 용접 와이어, 탄산가스, 안티-스패트, 와이어 공급기, 전류 공급기 등을 이용하는 경우 용접흡 성분중의 철, 구리, 망간의 백분율에는 차이가 없다는 것을 알 수 있었다.

헬멧에서 아크까지의 거리에 따른 용접흡, 철, 구리, 망간의 노출농도는 음의 상관관계를 보였고 상관계수는 각각 -0.695(p<0.05), -0.677(p<0.05), -0.678(p<0.05), -0.630(p<0.05)이었으며 헬멧에서 아크까지의 거리와 용접흡의 결정계수가 0.483(p<0.05)으로 가장 높았다.



Table 6. Concentrations of welding fumes, iron, copper and manganese by the helmet to arc distance

Helmet to Arc Distance, cm	N	Welding Fume, mg/m <sup>3</sup>	Iron, mg/m <sup>3</sup>	Copper, mg/m <sup>3</sup>	Manganese, mg/m <sup>3</sup>
≤40	18	15.8141 ± 6.3648*	6.9321 ± 2.8134*	0.0798 ± 0.0287*	1.1809 ± 0.4277*
41-45	45	10.8597 ± 5.1633	4.5360 ± 2.1167	0.0596 ± 0.0306	0.9766 ± 0.5426
46-50	40	6.1864 ± 1.7621	2.7460 ± 0.9968	0.0337 ± 0.0109	0.5348 ± 0.1804
51 ≤	30	4.2267 ± 2.0013	1.8891 ± 1.0500	0.0216 ± 0.0128	0.3456 ± 0.1820
Total	133	8.6285 ± 5.5543	3.7249 ± 2.3941	0.0460 ± 0.0298	0.7291 ± 0.4819

\* p&lt;0.05 by ANCOVA

Table 7. The proportions of iron, copper and manganese to welding fumes by the helmet to arc distance

Helmet to Arc Distance, cm	N	Proportion to Welding Fume		
		Iron	Copper	Manganese
≤40	18	0.4416 ± 0.0807	0.0052 ± 0.0012	0.0795 ± 0.0261
41-45	45	0.4300 ± 0.0899	0.0055 ± 0.0010	0.0891 ± 0.0154
46-50	40	0.4433 ± 0.0897	0.0055 ± 0.0009	0.0872 ± 0.0193
51 ≤	30	0.4347 ± 0.0860	0.0050 ± 0.0013	0.0813 ± 0.0154
Total	133	0.4366 ± 0.0870	0.0053 ± 0.0011	0.0855 ± 0.0185

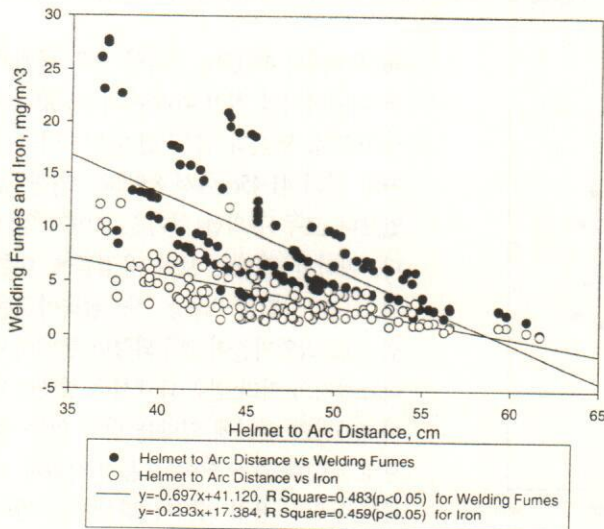


Figure 4. Relationships among helmet to arc distance, welding fumes and iron

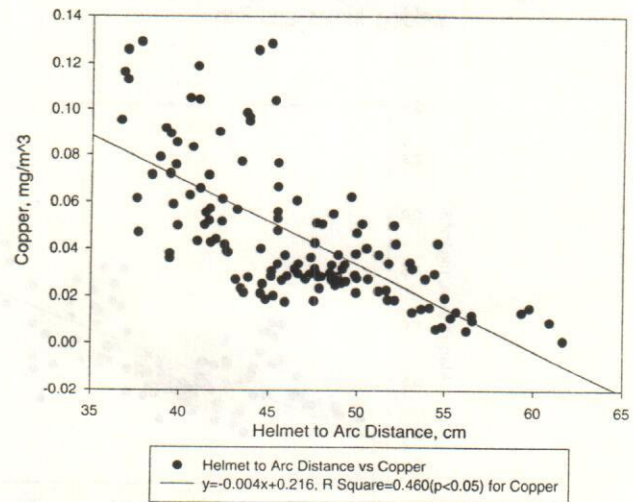


Figure 5. Relationship between helmet to arc distance and copper

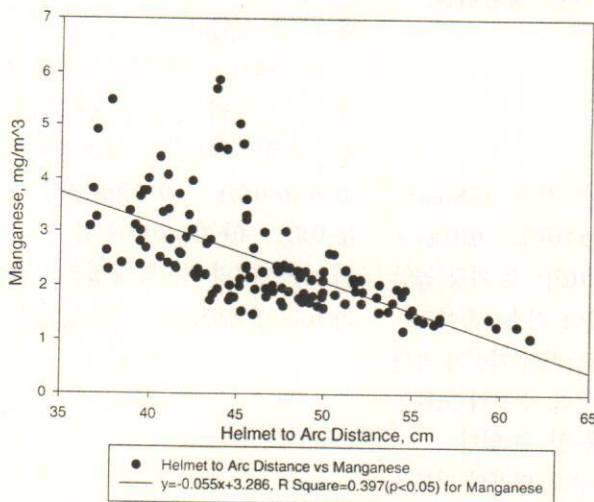


Figure 6. Relationship between helmet to arc distance and manganese

#### IV. 고 찰

흡은 가스상태에서 응축에 의해서 생성된 작은 고형입자로 용접흡은 모재금속, 전극 또는 플럭스 재료에서 증발된 금속, 금속산화물과 기타 화합물로 구성되어있다(IARC, 1990). 모든 용접공정이 흡을 발생시키나, 그 양은 공정에 따라 아주 변화가 심하고 흡의 건강장해는 생성된 흡의 전체 양 그리고 특성의 독성물질의 존재, 특히 흡에서 금속에 따라 달라지게 된다(Hewitt와 Hicks, 1973).

용접흡 입자는 스모크 줄기가 보이거



나 또는 보이지 않아서나간에 용접동안에 흡이 존재하며 직경으로 거의 모두가  $1\mu\text{m}$  이하이다. 흡에서 특정 독성금속의 존재는 유해성의 정도를 결정지을 때 흡 전체의 양보다 더 중요할 수 있다. 크롬, 니켈, 카드뮴, 아연과 구리와 같은 금속은 전체 흡에서 소량 존재할 수 있으나, 용접 작업에 있어 주요한 건강 유해요인으로 대표될 수 있다. 용접흡은 크기가 작기 때문에, 흡은 호흡기계의 깊은 곳으로 들어가 폐포에 침투할 수 있다(Naumenko 등, 1984; Palmer, 1987). 흡 생성의 기본적인 기전은 일반적으로 2가지 단계로 구성되어 있다고 생각되는데 첫 번째는 아크영역(전극 모서리 부근)에서 원소와 산화물의 증발 그리고 두 번째는 입자를 형성하는 증기의 빠른 응축이다. 흡의 주요한 발생원은 전극금속과 플럭스 물질이다. 아연 또는 카드뮴과 같은 금속을 포함하고 있는 특별히 보호코팅이 있는 경우에 모재금속은 특히 중요한 발생원이 될 수 있다. AWS(1978)는 이용되었던 전류의 양이 생성된 흡의 양에 또한 상당한 기여를 할 수 있다고 하였는데 본 연구에서도 이러한 현상을 볼 수 있었다. 다수의 공정변수가 생성된 흡과 가스의 형태와 양에 영향을 줄 수 있다. 이러한 변수에는 용접공정, 전극, 전류, 아크전압/아크길이, 전극 특성, 차폐가스, contact-tube-to-work distance, 금속이동모드 등이고 본 연구에서는 용접전류가 용접 작업자의 노출에 부의 영향(positive effect)을 주고 있다는 것을 확인하였다. 이러한 변수는 각각은 다른 변수에 다소의 영향을 가지고 상호 연관되어 있고(AWS, 1978) 본 논문에서도 이러한 현상을 볼 수 있었고 이러한 변수의 영향을 제거하기 위해 통계학적인 방법으로 공산분분석을 적용하여 자료를 분석하였다. 그 결과 용접 작업자의 노출농도는 용접자세, 용접전류, 그리고 헬멧에서 아크까지의 거리에 의해 영향을 받는다는 것이 밝혀졌고 금속의 백분율에 있어서는 용접자세에 의한 망간의 백분율만이 영향을 받는 것으로 밝혀졌다. 특히 중요성이 있는 흡 발생비율은 용접전류에 아주 의존성이 높다는 것이다. 흡의 조성은 모재금속과 용접 와이어에 따라 영향을 받는데(Jones, 1967; Olah, 1984; Olah와

Tolgyessy, 1985), 용접환경에 대한 모니터링 전에 알고 있어야할 정보는 금속의 형태, 용접공정, 모재금속, 충전금속, 전기적 특성, 용접과 관련된 자료(용접공정, AWS 전극 번호, 전극의 직경, 모재금속(그리고 코팅), 차폐가스, 전류, 헬멧에서 아크까지의 거리, 환기) 등이다. 용접흡에서의 성분은 전극과 모재금속의 조성에 근거를 두고 어느정도 예측될 수 있다고 하였는데(AWS, 1978), 본 연구에서는 3가지 관점, 즉 다시 말하면 용접자세, 용접전류, 그리고 헬멧에서 아크까지의 거리를 기준으로 용접흡, 철, 구리 망간의 노출농도에 대한 방정식을 제시하였다.

본 연구에서 용접자세에 따른 용접흡, 철, 구리, 망간의 평균노출농도는 각각  $8.63\text{mg}/\text{m}^3$ ,  $3.72\text{mg}/\text{m}^3$ ,  $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ ,  $0.73\text{mg}/\text{m}^3$  이었다. 용접자세에 따라 용접흡, 철, 구리, 망간의 노출농도가 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 용접자세에 따라 용접시 이용하는 용접전류에 차이가 있게 되고 또한 헬멧에서 아크까지의 거리에도 다소 영향을 주어 용접자세에 따라 용접흡, 철, 구리, 망간에 대한 노출농도에 차이를 나타내는 것으로 생각되며 용접자세, 용접전류, 그리고 헬멧에서 아크까지의 거리 중 어느 한 가지 변수를 기준으로 분석을 한다면 기타 2가지 변수는 노출농도에 혼란변수로 작용한다는 것을 이 연구에서 알 수 있었다.

용접흡에 대한 철, 구리, 망간의 백분율은 철의 경우 평균 43.66%, 구리의 경우 평균 0.53% 그리고 망간의 경우 8.55%이었고 본 연구에서는 용접흡에 대한 철, 구리의 비율은 용접자세와는 관련성이 없는 것으로 보이며 모재와 용접 와이어 성분에 의해서 영향을 받는다는 것을 추측할 수 있다. 가스금속아크용접 작업자 그룹이 동일한 용접 와이어, 탄산가스, 안티스페트, 와이어 공급기, 전류 공급기 등을 이용하는 경우 용접흡 성분중 철, 구리의 백분율에는 차이가 없었으나 망간의 백분율은 차이가 있었는데 이에 대해서는 더 구체적인 연구가 필요하다고 생각한다.

이영세 등(2000)의 연구에 의하면 용접흡, 철, 구리, 그리고 망간의 농도는 플럭스 코어드 아크용접에서  $62.52\text{mg}/\text{m}^3$ ,  $15.52\text{mg}/\text{m}^3$ ,  $0.048\text{mg}/\text{m}^3$ , 그리고  $9.491\text{mg}/\text{m}^3$ 이었

고 솔리드 아크용접에서는  $32.06\text{mg}/\text{m}^3$ ,  $16.07\text{mg}/\text{m}^3$ ,  $0.18\text{mg}/\text{m}^3$ , 그리고  $1.403\text{mg}/\text{m}^3$ 으로 플럭스 코어드 아크용접에서의 구리 결과를 제외하면 본 연구의 결과가 낮은 수치를 제시하고 있다. 그 이유는 이영세 등(2000)의 연구에서는 인위적으로 용접 조건을 만들어 시험하였고 가스유량이 본 연구에서 보다 낮았고 높은 용접전류를 사용한다 기인이 된 것으로 추측이 되며 본 연구의 구리의 노출농도가 높은 이유는 본 연구에 이용한 용접와이어 AWS A5.18 ER70S-6의 구리함량이 높는데 기인한다. 이영세 등(2000)의 연구에 의하면 용접흡에 존재하는 철, 구리, 그리고 망간의 함량은 플럭스 코어드 아크용접에서 24.46%, 0.08%, 그리고 15.20%으로 철과 구리의 함량에서는 본 연구결과가 높았으며 솔리드 아크용접에서는 50.10%, 0.57%, 그리고 4.38%으로 망간의 함량에 있어 본 연구결과가 높았다. 이영세 등(2000)의 연구에서는 용접재료에 대한 언급은 되어있으나 가스유량, 전류 등 용접 변수에 대한 설명이 없어 객관적인 비교는 다소 어려운 점이 있으나 용접흡 성분 중 성분의 함량 차이는 용접와이어, 용접전류 등에 그 원인이 있다고 할 수 있다.

용접흡의 농도는 Ulfvarson 등(1978)의 연구에 의한 MMA/MS(Manual Metal Arc/Mild Steel) 용접에서 용접흡의 농도  $7.7\text{mg}/\text{m}^3$ ( $1.3\text{--}53\text{mg}/\text{m}^3$ ) 보다 높았고 Casciani 등(1986)의 연구에 의한 MMA/MS 용접에서 용접흡의 농도  $32\text{mg}/\text{m}^3$ ( $8.8\text{--}90.6\text{mg}/\text{m}^3$ ) 보다 낮았으며 van der Wal(1985)의 연구에 의한 MMA/MS 용접에서 용접흡의 농도  $5.3\text{mg}/\text{m}^3$ ( $1.3\text{--}13.2\text{mg}/\text{m}^3$ ) 보다는 높았다. 크롬, 니켈, 망간, 구리의 함유량이 10% 이하인 저합금강을 모재로 사용할 경우, 발생되는 흡은 크롬, 니켈과 같은 독성 금속의 성분은 상대적으로 낮지만, 장기간 반복적으로 노출될 경우 기관지 자극과 기침을 유발할 수 있다. 또한 저합금강을 이용하여 피복금속아크용접(SMAW: Shielded Metal Arc Welding)이나, 플럭스 코어드 아크용접(FCAW: Flux Cored Arc Welding)의 경우 높은 전류를 이용하면 흡의 발생량이 매우 높아진다고 하였는데(Dressen et al, 1947) 가스금속아크용접인 본 연구에서도 이러한 경향성을 볼 수 있



었다.

철의 농도에 있어 본 연구결과 보다 높게 보고된 것은 Dressen 등(1947)이 조선조 아크용접작업자에서 철농도가  $20\text{mg/m}^3$  이상, Ulfvarson(1981)은 차폐금속아크용접과 가스금속아크용접을 하는 도장된 비합금철 용접에서  $14\text{mg/m}^3$  그리고 도장된 비합금철 용접에서  $30\text{mg/m}^3$ , Akbarkhanzadeh(1979)은 조선조에서 연강에 차폐금속아크용접시  $2\text{mg/m}^3$ 이라고 하였고 철의 농도는 아크전류의 상승과 선형적으로 증가한다고 하였으며 본 연구결과에서도 이러한 경향성을 볼 수 있었다. Kleinfeld 등(1969)은 산소절단과 차폐금속아크용접에서 페이스 실드 내부에서는  $0.65\text{mg/m}^3$ 에서  $1.7\text{mg/m}^3$ 이라고 하였고 외부에서는  $1.6\text{mg/m}^3$ 에서  $12\text{mg/m}^3$ 이었다고 하였고 외부를 기준으로 하면 본 연구결과 보다 다소 높았다. Olah와 Tolgyessy(1985)는 차폐금속아크용접 흠에서 철 농도를 최저 6.17% 그리고 최고 14.43%로 보고하였으나 Kalliomaki 등(1987)은 연강용접에서 철의 백분율은 가스금속아크용접에서 74%, 차폐금속아크용접에서 86% 그리고 플럭스코어드 아크용접에서 75%로 보고하였다. Malmqvist 등(1986)은 철의 함량을 연강에 수동아크용접시 11-32%, 금속불활성가스용접시 45%로 보고하였다. Mayer와 Salsi(1980)는 철의 함량을 연강에 수동아크용접시 14.4-31.8%, 금속불활성가스용접시 33-55%로 보고하였다. 본 연구의 결과 43.66%는 금속불활성가스용접에서의 철 함량과 유사한 결과를 보였으며 이는 2가지 용접공정에 있어 유사성이 있기 때문으로 생각된다.

망간의 농도에 대해서는 Akbarkhanzadeh(1979)는 연강에 차폐금속아크용접시  $0.14\text{mg/m}^3$ , Ulfvarson(1981)은 차폐금속아크와 가스금속아크용접에서 프라이머가 도장된 연강일 때는  $3.1\text{mg/m}^3$ , 프라이머가 도장되어있지 않은 연강일 때는  $1.4\text{mg/m}^3$ 이라고 하였다. 용접흠에서 망간의 백분율은 용접봉의 형태에 따라 상대적으로 다양하게 보고되고 있다. 성분이 다른 61개 회사 용접봉 연구에서, 흠에 존재하는 망간의 범위는 2.5%에서 9.5%이었다(Morita와 Tanigaki, 1977). 이와 유사한 25개 회사 용접봉 연구에서, Kimura 등

(1974)은 망간의 함량이 3.3%에서 11.2%이었다고 하였다. 연구자에 따라 용접흠 중에 존재하는 망간의 함량은 다양하게 보고 되고있지만 lime계 용접봉보다 ilmenite계 용접봉에서 발생하는 용접흠의 망간함량이 높다는 것이 인정되고 있다. Olah와 Tolgyessy(1985)는 차폐금속아크용접 흠에서 망간의 농도를 최저 1.24% 그리고 최고 15.20%로 보고하였다. Kalliomaki 등(1987)은 연강용접에서 망간의 백분율은 가스금속아크용접에서 6%, 차폐금속아크용접에서 1% 그리고 플럭스코어드 아크용접에서 5%로 보고하였다. Malmqvist 등(1986)은 망간의 함량을 연강에 수동아크용접시 2.8-5.9%, 금속불활성가스용접시 7.3%로 보고하였다. Mayer와 Salsi(1980)는 망간의 함량을 연강에 수동아크용접시 2.7-5.6%, 금속불활성가스용접시 3.9-7.0%로 보고하였다. Ulfvarson 등(1978)의 연구에 의하면 MMA/MS 용접에서 망간의 농도는  $0.26\text{mg/m}^3$ 으로 3.37%이었다. 수치에 다소 차이는 있지만 본 연구결과와 망간 함량 8.55%는 상기에 언급된 연구자들이 보고한 범위내에 있으며 용접의 종류에 따라 철의 함량에 상당한 차이가 보고되고 있는 것에 비해 보고된 수치는 많은 차이를 보이지 않았다. 용접흠에서 망간의 함량은 철, 구리, 크롬, 니켈 등의 금속보다 노출농도 예측에 대한 용이성이 있다고 하겠다.

용접에서 구리의 결과를 보고한 Ulfvarson 등(1978)의 연구에 의하면 MMA/MS 용접에서 구리의 농도와 함량은 각각  $0.016\text{mg/m}^3$ 과 0.208%로 본 연구결과와  $0.046\text{mg/m}^3$ 과 0.53% 보다 낮았다. Malmqvist 등(1986)은 구리의 함량을 연강에 수동아크용접시 0.08%, 금속불활성가스용접시 0.26%로 보고하고 Mayer와 Salsi(1980)는 구리의 함량을 연강에 수동아크용접시 0.04-0.24%, 금속불활성가스용접시 0.01-0.18%로 보고하였는데 본 연구결과와 구리 함량보다 낮았다. 본 연구결과와 구리 함량이 다른 연구결과 보다 높은 이유는 AWS A5.18 ER70S-6 또는 JIS YGW12 계열의 용접 와이어가 구리로 피복되어 있기 때문으로 생각된다.

용접변수(전압과 전류)가 용접흠의 개별성분의 상대농도에 또한 영향을 줄 수

있다. SMAW에서 발생된 크롬, 니켈 그리고 철의 농도는 전류가 70암페어에서 170 암페어로 증가되면서 증가하였으나, 망간은 상대적으로 일정하였다고 하였으나(Olah, 1984; Olah와 Tolgyessy, 1985) 본 연구에서는 용접흠, 철, 구리, 그리고 망간의 농도에 있어 용접전류 증가에 따른 증가를 볼 수 있었다.

가스금속아크용접에서 높은 용접전류를 사용할수록 용접흠, 철, 구리, 망간의 노출농도는 높아진다는 것을 알 수 있다. 용접흠에 대한 철, 구리, 망간의 비율은 가스금속아크용접 그룹 작업자들이 연구되었던 용접전류 범위 내에서는 용접전류의 영향을 받지 않는 것으로 보이며 가스금속아크용접 작업자 그룹이 동일한 용접 와이어, 탄산가스, 안타스페트, 와이어 공급기, 전류 공급기 등을 이용하는 경우 용접흠 성분중의 철, 구리, 그리고 망간의 백분율은 차이가 없다는 것을 알 수 있었다. 본 연구와 유사한 용접공정을 연구한 오광중 등(1998)은 용접흠 노출농도가 용접전류에 따라 달라진다고 하였으며 본 연구결과에서도 이러한 경향을 볼 수 있었다.

알루미늄 가스금속아크용접을 제외하면, 차폐금속아크용접은 가장 높은 흠 수준을 발생시키고 가스텅스텐아크용접은 가장 낮은 흠 수준을 발생시킨다고 한다(Ulfvarson, 1981; Johansson 등, 1981). 차폐금속아크용접에 있어서, 전체 흠 발생, 흠 발생 비율은, 용접전류 증가에 따라 증가하고 흠 발생의 증가는 용융비율의 증가를 반영하기 때문에, 용접전류는 용접봉 소모에 대한 흠 발생의 비에 영향이 작을 수 있다고 하였고 본 연구에서는 용접전류의 증가에 따라 용접흠, 철, 구리, 그리고 망간의 노출농도가 증가한다는 것을 수치적으로 제시할 수 있었다. 그러나, 흠 발생비율은 전압증가에 따라 증가하며 Johansson 등(1981)은 이것을 공기난류를 크게 하여, 결과적으로는 금속 산화물 형성 증가가 있게 하는 차폐보호가스를 통한 산소의 침투를 조정하는, 아크길이의 증가에 기인한다고 설명했다. Eichhorn 등(1982)은 용접전류의 증가는 산성 금속성이 코팅된 전극에서 보다 산성 또는 염기성이 코팅된 전극에서 흠 발생에 더 큰



영향을 준다고 하였다. 극성 같은, 기타 요인은, 흡 발생 비율을 변화시킬 수 있으며 변화의 정도, 그리고 가장 높은 흡을 발생시키는 전극은, 용접봉의 형태에 따라 달라질 수 있다. 일반적으로 교류는 직류보다 흡을 덜 발생시킨다고 한다 (Eichhorn 등, 1982). 아르곤 차폐를 이용하는 가스금속아크용접에서, RFFR (relative fume formation rate)은 안정된 금속 스프레이가 발생할 정도로 한번 전압이 높아지면, 전압과는 무관하게 되나 아르곤과 탄산가스 혼합물을 이용하면 안정된 스프레이 아크가 얻어지기 이전에 RFFR은 전압증가에 따라 증가한다고 한다. 탄산가스 차폐를 이용하면, 전체 흡 발생인, FGR(fume generation rate)은 전압이 증가함에 따라 크게 증가한다고 하였는데(Johansson 등, 1981) 차폐가스로 탄산가스를 이용한 본 연구에서도 이러한 경향성을 볼 수 있었다. Castagna와 Spagnoli(1981)은 아크전압과 전류에서 작은 차이는 구리가 코팅된 연강으로 구성된 연속 공급 전극을 이용하는 아르곤 차폐 가스금속아크용접을 하는 용접자의 호흡기 영역에서 흡과 오존의 농도에서 큰 차이가 있었다고 보고했다. 출력이 280암페어 그리고 28볼트에서 300암페어 그리고 30볼트로 증가시키면, 산화철의 농도는 5배 감소되었고, 망간, 아연, 구리, 그리고 질소 산화물은 대략적으로 10배 감소되었고, 오존 수준은 8배 증가했다고 보고했으나 본 연구에서는 용접전류증가에 따라 망간과 구리의 농도 증가가 있었다. 가스금속아크용접이나 경우에 따라서는 플럭스코어드 아크용접의 경우도 보호가스를 사용한다. 이러한 경우 보호가스의 조성은 흡의 조성뿐만 아니라 발생량에도 영향을 미치게 되며 산업용 보호가스에는 산소가 불순물로서 존재하며 용접시 아크영역으로 들어가게 된다. Hilton과 Plumridge(1991)의 가스금속아크용접에서 차폐가스로 탄산가스를 이용하는 경우 흡생성비율은 전류증가에 따라 선형적으로 증가하였는데 아르곤과 혼합된 가스에서는 다소 차이가 있었다고 보고했다. Moreton 등(1985)은 흡 발생비율을 연구했는데 차폐금속아크용접, 플럭스 코어드 아크용접, 그리고 가스금속아크용접 순으로 흡

발생비율이 높다고 하였다. 이러한 연구결과들을 고려해 볼 때 동일한 용접공정에 대한 객관적인 비교가 이루어지기 위해서는 용접흡과 이에 대한 평가에 대한 표준화가 이루어져야 하고 이에 대한 시발점은 연구자가 용접이 이루어졌던 용접변수 그리고 작업조건에 대한 상세한 기술이 선행되어야 할 것으로 생각된다.

가스금속아크용접에서 헬멧에서 아크까지의 거리가 가까울 수록 용접흡, 철, 구리, 망간의 노출농도는 높아진다는 것을 알 수 있었다. 용접흡에 대한 철, 구리, 망간의 비율은 가스금속아크용접 그룹 작업자들이 연구되었던 헬멧에서 아크까지의 거리 범위 내에서는 헬멧에서 아크까지의 거리에 영향을 받지 않는 것으로 보이며 가스금속아크용접 작업자 그룹이 동일한 용접 와이어, 탄산가스, 안타스페트, 와이어 공급기, 전류 공급기 등을 이용하는 경우 용접흡 성분중의 철, 구리, 망간의 백분율은 차이가 없다는 것을 알 수 있었다. 오희중 등(1998)은 용접흡 노출농도가 헬멧에서 아크까지의 거리에 따라 달라진다고 하였으며 본 연구결과와 유사한 양상을 나타냈다.

산업에서 이용되고 있는 용접 그리고 이와 유사한 공정은 80가지 이상이고 연구자들이 많이 연구한 용접은 가스금속아크용접, 가스텅스텐아크용접, 그리고 차폐금속아크용접이 주류를 이루고 있다. 그러나 연구자에 따라 동일한 유사한 용접공정에서도 보고되는 농도에는 상당한 차이가 있으며 용접조건에 대한 것은 자세히 보고되지 않고 있다. 동일한 용접공정에 대한 객관적인 비교가 이루어지기 위해서는 용접흡과 이에 대한 평가에 대한 표준화가 이루어져야 하고 이에 대한 시발점은 연구자가 용접이 이루어졌던 용접변수 그리고 작업조건에 대한 상세한 기술이 선행되어야 할 것으로 생각된다. 본 연구에서 용접자세, 용접전류, 헬멧에서 아크까지의 거리에 있어서 용접흡에 대한 노출량에는 차이가 있었으나 용접흡에 대한 철, 구리, 그리고 망간의 함량에는 많은 차이를 보이지 않았으며 이로 보아 가스금속아크용접 공정에서 용접흡의 농도를 평가하게 되면 철, 구리, 망간의 농도 예측이 가능하다고 생각한다(금

속의 함량에 대한 선행연구는 필수적으로 수행되어야 함). 1992년 ACGIH(American Conference of Governmental Industrial Hygienists)에서는 용접흡에 대해 언급하기를 "용접흡의 분류는 간단한 것이 아니고 흡의 조성(composition)과 질(quality)은 용접되는 합금, 공정, 사용되는 용접봉에 따라 달라진다. 따라서, 용접공정의 본질과 시스템에 대한 고찰이 없는 흡분석은 신뢰할 수 없다고 하였고 아크 용접흡은 특정 노출기준의 초과여부를 확인하기 위해, 존재할지도 모를 개별성분(individual constituents)의 평가가 반드시 이루어져야 한다"고 한다. 미국 용접협회(American Welding Society: AWS)에서는 노출기준 적용시 일반적인 지침으로 제시하기를 "합금으로 구성된 금속의 개별 성분이 5% 미만이고 크롬이 3% 미만인 일반 구조용 철강인 경우 총 흡 농도를 측정·분석하여 노출기준을  $5\text{mg}/\text{m}^3$ 으로 적용하고 합금의 함량이 높을 경우에는, 특히 크롬의 함량이 높은 경우에는 각 성분에 대한 개별적 노출기준을 적용"하라고 하고 있다(AWS, 1992). AWS의 지침이 이러한지만 용접흡의 산업위생학적 관점에서는 모재보다는 용접봉, 피복재, 플럭스 등의 함유량이 용접 작업자가 노출되는 흡의 성분을 좌우하기 때문에 AWS의 지침처럼 용접흡의 노출평가지 일률적으로 적용하면 용접 작업자의 용접흡에 대한 위험성을 과소평가할 가능성이 높아지게 된다. 특히 크롬, 니켈 등 노출기준이 낮은 성분은 이러한 문제에 직면하게 된다. 그러므로 용접환경에 대한 작업환경 측정시 몇 개의 시료는 반드시 구성성분을 평가(모재와 용접 와이어를 고려한)하고 용접흡 농도와 같이 평가하는 것이 바람직할 것이며 이러한 평가를 하는데 있어 본 연구의 접근 방법은 아주 유용하다고 생각한다.

AWS의 기준은 일률적이라는 단점 그리고 ACGIH의 용접흡 농도에 관한 노출기준 적용이 매우 어렵고 복잡하다는 문제점이 있다. 동일한 용접공정에서 작업자의 용접흡 그리고 그와 관련된 금속의 노출농도 평가에 유용하고 예측 가능한 모델을 만들기 위해서는 평가과정을 단순화 시키고, 복잡한 시료포집과 분석과정



을 최소화시키고자 하는 표준방법을 제안하고자 하는 노력이 선행되어야 할 것으로 생각되며 본 연구는 이러한 연구에 대한 기초자료로 이용될 수 있다고 생각한다.

## V. 요 약

본 연구는 울산광역시 소재하고 있는 중장비 제조업체에서 2000년 1월부터 6월까지 수행되었고 동일한 작업조건하에 수행되는 가스금속아크용접에서 용접자세, 용접전류, 헬멧에서 아크까지의 거리와 작업자의 용접흡, 철, 망간, 구리의 노출농도와 관련성 그리고 이러한 조건하에서 시료포집된 용접흡에 대한 철, 망간, 구리의 함량을 알아보고자 수행하였다.

### 1. 용접자세에 따른 용접흡, 금속노출 및 금속함량

용접자세에 따른 용접흡, 철, 구리, 망간의 평균노출농도는 각각  $8.63\text{mg}/\text{m}^3$  ( $p<0.05$ ),  $3.72\text{mg}/\text{m}^3$  ( $p<0.05$ ),  $0.05\text{mg}/\text{m}^3$  ( $p<0.05$ ),  $0.73\text{mg}/\text{m}^3$  ( $p<0.05$ )이었다. 용접자세에 따라 용접흡, 철, 구리, 망간의 노출농도가 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

용접흡에 대한 철, 구리, 망간의 백분율은 철의 경우 평균 43.66%, 구리의 경우 평균 0.53%이었고 유의한 차이를 보이지 않았으나 망간의 경우 8.55%로 유의한 차이를 보였다( $p<0.05$ ).

### 2. 용접전류에 따른 용접흡, 금속노출 및 금속함량

용접흡, 철, 구리, 망간의 노출농도는 용접전류 351 암페어 이상에서 각각  $21.25\text{mg}/\text{m}^3$  ( $p<0.05$ ),  $8.40\text{mg}/\text{m}^3$  ( $p<0.05$ ),  $0.11\text{mg}/\text{m}^3$  ( $p<0.05$ ),  $1.74\text{mg}/\text{m}^3$  ( $p<0.05$ )으로 가장 높았다. 이러한 결과로 보아 가스금속아크 용접에서 높은 용접전류를 사용할수록 용접흡, 철, 구리, 망간의 노출농도는 높아진다는 것을 알 수 있다.

용접흡에 대한 철, 구리, 망간의 백분율은 철, 구리의 경우 용접전류 251-300 암페어에서 각각 45.13%, 0.56% 그리고 망

간의 경우 용접전류 250 암페어 이하에서 8.85%로 가장 높았으나 모두 유의한 차이는 없었다( $p>0.05$ ).

용접전류는 용접흡, 철, 구리, 망간의 노출농도와 양의 상관관계가 있었고 상관계수는 각각  $0.818$  ( $p<0.05$ ),  $0.769$  ( $p<0.05$ ),  $0.795$  ( $p<0.05$ ), 그리고  $0.716$  ( $p<0.05$ )이었으며 용접전류와 용접흡의 결정계수가 0.669로 가장 높았다.

### 3. 헬멧에서 아크까지의 거리에 따른 용접흡, 금속노출 및 금속함량

헬멧에서 아크까지의 거리에 따른 용접흡, 철, 구리, 망간의 노출농도는 헬멧에서 아크까지의 거리 40cm 이하에서 각각  $15.81\text{mg}/\text{m}^3$  ( $p<0.05$ ),  $6.93\text{mg}/\text{m}^3$  ( $p<0.05$ ),  $0.08\text{mg}/\text{m}^3$  ( $p<0.05$ ),  $1.18\text{mg}/\text{m}^3$  ( $p<0.05$ )으로 가장 높았다. 이러한 결과로 보아 가스금속아크 용접에서 헬멧에서 아크까지의 거리가 가까울수록 용접흡, 철, 구리, 망간의 노출농도는 높아진다는 것을 알 수 있다.

용접흡에 대한 철, 구리, 망간의 백분율은 철의 경우 헬멧에서 아크까지의 거리 46-50cm에서 44.33%, 구리의 경우 헬멧에서 아크까지의 거리 41-45cm와 46-50cm에서 0.55%, 망간의 경우 헬멧에서 아크까지의 거리 41-45cm에서 8.91%로 가장 높았으나 모두 유의한 차이를 보이지 않았다.

헬멧에서 아크까지의 거리는 용접흡, 철, 구리, 그리고 망간의 노출농도와 음의 상관관계가 있었고 상관계수는 각각  $-0.695$  ( $p<0.05$ ),  $-0.677$  ( $p<0.05$ ),  $-0.678$  ( $p<0.05$ ), 그리고  $0.630$  ( $p<0.05$ )이었으며 헬멧에서 아크까지의 거리와 용접흡의 결정계수가 0.483으로 가장 높았다.

## 감사의 글

이 논문은 두뇌한국(Brain Korea) 21 사업의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사한다.

## REFERENCES

- 안영호, 이종봉, 엄동석: GMA 용접의 용적이행현상에 미치는 제인자의 영향, 대한용접학회지, 제16권 제1호, pp. 17-24, 1998년 2월.
- 오광중, 김현수, 손병현, 지해성. CO<sub>2</sub> 용접에서 용접변수의 변화에 따른 용접흡 제어방법에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1998; 8(1): 76-87.
- 이영세, 윤종국, 박종안, 이송권, 채중홍, 김억수. 철강 용접자의 크롬 및 망간 노출평가와 산업위생관리 대책에 관한 연구. 한국산업위생학회지 2000; 10(1): 45-57.
- 이영호. 탄산가스 아크용접에 있어서 시일드 가스 조성과 용접금속의 성질에 관한연구. 대한금속학회지 제15권 제3호 1977. pp. 254-264.
- Akbarkhanzadeh F. Effect of welding variables on the fumes and gases in the welder's breathing zone. Metal Constr 1979; 1: 503-505.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH): Documentation of the threshold limit values and biological exposure indices, 5th ed., American Conference of Governmental Industrial Hygienists; 1986. p. 357-359.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH): Threshold limit values and biological exposure indices for 1993-1994; 1992.
- American Welding Society(AWS). Welding health and safety. Welding Institute of Canada; 1992, pp. 37-39.
- American Welding Society: Recommended practices for gas metal arc welding, Florida, American Welding Society; 1978. p. 1-55.
- Boekholt R: Workplace environment and productivity. Jaargang 1977; 43: 38-46.
- Burgess WA: Recognition of health hazards in industry, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1981; 11-127.
- Casciani, G., Ruspolini, F., Verdel, U. and Cecchetti, G. Welding fumes concentration in heavy carpentry working environment and trial to correlate smae with gas and powdered fluorides. In:



- Stern, R.M., Berlin, A., Fletcher, A.C. and Jarvisalo, J., eds, *Health Hazards and Biological Effects of Welding Fumes and Gases*, Amsterdam, Excerpta Medica, 1986, pp. 153-157.
- Castagna, R., and Spagnoli, G., "Experimental study on hazards related to toxic gas emissions during continuous arc welding in argon atmosphere." *Securitas*, 1981, 65(4): 227-32.
- Diman BD. The mode of entry and action of toxic materials. Chapter 6. In: Clayton GD, Clayton FE, eds. *Patty's industrial hygiene and toxicology*, 3rd rev ed, Volume 1. General principles. New York, NY: Wiley-Interscience Publishers, 1978, p. 136.
- Dressen WC, Brinton HP, Keenam RG, Thomas TR, Place EH. Health of arc welders in steel ship construction. Federal Security Agency, U.S. Public Health Service. *Public Health Bulletin* No. 298, 1947, p.189.
- Evans MJ, Ingle J, Molyneux MK, Sharp GT, Swain J: An occupational hygiene study of a controlled welding task using a general purpose rutile electrode. *Ann. Occup. Hyg.* 1979; 22: 1-17.
- Hewitt PJ, Hicks R: An investigation of the effects of welding fume in the rat. *Ann. Occup. Hyg.* 1973; 16: 213-221.
- Hilton, D.E. and Plumridge, P.N.. "Particulate fume generation during GMAW and GTAW." *Weld. Met. Fabr.* 1991; 59(10): 555-560.
- IARC, "Welding." In: IARC Monograph on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Chromium, nickel and welding, Geneva, Switzerland: World Health Organization: 1990. p. 447-525.
- Johansson, G.E., Malmqvist, K.G., Bohgard, M., and Akselsson, K.R.. "Characteristics of welding fumes." *Institutionen fur K rnfysik, Lunds Tekniska Hogskola, Lund, Sweden.*
- Report LUTFD2/TFKF-3030; 1981. p.32.
- Jones RC. Selective tests for contaminants in welding fumes from electric arc welding- an environmental assessment. *Ann Occup Hyg* 1967; 10: 369-373.
- Kalliomaki, P.L., Grekula, A., Hagberg, J., and Sivonen, S.. Analytical electron microscopy of welding fumes. *J. Aerosol Sci.* 1987; 18(6): 781-784.
- Kimura Y, Ichihara I, Kobayashi M. Some quantitative evaluations of fumes generated from coated arc electrodes(in Japanese). Document No. VIII-574-74. London, England: International Institute of Welding; 1974. p. 1-17.
- Kleinfeld M, Messite J, Kooyman O, Shapiro J. Welder's siderosis. *Arch Environ Health* 1969; 19: 70-73.
- Maddock JG. Fatality of a boilermaker using oxyacetylene flames(Letter). *Ann. Occup. Hyg.* 1970; 13: 247.
- Malmqvist, K.G., Johansson, G., Bohgard, M. and Akselsson, K.R. Process-dependent characteristics of welding fume particles. In: Stern, R.N., Berlin, A., Fletcher, A.C. and Jarvisalo, J., eds, *Health hazards and biological effects of welding fumes and gases*, Amsterdam, Excerpta Medica 1986: 31-46.
- Mayer, A. and Salsi, S. Laboratory study of chemical pollution and radiation at arc welding stations. Results of preliminary tests performed on 18 different support materials-welded metal couples. Paris, *Institute National de Recherche et de Securite*; 1980.
- Moreton, J., Smars, E.A., and Spiller, K.R.. "Fume emission when welding stainless steel." *Metal Construction* 1985; 17(12): 794-798.
- Morita N, Tanigaki T. Investigation on welding fumes from covered electrode and development of low fume electrodes(in Japanese). Document No. VIII-724-77. London, England: International Institute of Welding; 1977. p. 16.
- National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH): *Manual of Analytical Methods*, 2nd ed.; 1979.
- National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH): *Manual of Analytical Methods*, 3rd ed.; 1984.
- Naumenko, IM, Memoshkalenko, VV and Piliankevich, AN. New Data on PhysicoChemical Properties of Welding Aerosols. *Gig. Tr. Prof. Zabol.* 1984; (12): 5-7.
- Olah, L and Kosnac, L. Welding Aerosols and Their Physical and Biological Characteristics. *Zyranie* 1984; 33(7): 205-209.
- Olah, L. Heavy Metals in Welding Fumes. *Jad. Energ.* 1984; 30(10): 364-365.
- Olah, L. and Tolgyessy, J. Determination of Heavy Metals in Welder's Working Environment Using Nuclear Analytical Methods. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 1985; 93(1): 43-53.
- Palmer, W. Effects of Welding on Health-VI. American Welding Society; 1987. p. 34.
- Piljankevic AN and Naumenko, IM. Electron Microscopy of the Soil Phase of the Aerosol from Electric Welding. *Svarocnoe Proizvodstvo* 1984; (3): 39.
- Ulfvarson, U. Survey of Air Contaminants from Welding. *Scand. J. Work Environ. Health* 7(Suppl 2) 1981: 1-28.
- Ulfvarson, U., Hallne, U., Bergstrom, B. and Hallberg, B.O. *Arbetsmiljoproblem vid Svetning[Work environment problems in welding](Veenskaplig skriftserie, 1978: 19), Solna, Arbetsarskyddsverket; 1978. p. 19.*
- van der Wal, J.F. Exposures to welders to fumes, Cr, Ni, Cu and gases in Dutch industries. *Ann. Occup. Hyg.* 1985; 29: 377-389.