

## 용접 작업 중 발생하는 유해물질의 영향

이경만\*, 이철구<sup>+</sup>

(논문접수일 2007. 7. 22, 심사완료일 2007. 10.18)

### An Effect of Harmful Materials During Welding Work

Kyung-Man Lee\*, Chul-Ku Lee<sup>+</sup>

#### Abstract

This study is about an influence of harmful factors of welding fumes such as Fe, Mn, Cu, Zn to workers who inhales them in welding sites. The influence can be measured with the density of heavy metals in blood after welding. The main factors of the measurement are TWA, a density of welding fume, and a level of heavy metals. The results indicate that there is a positive effect of moving fans as a way of improving the condition in welding workplaces. While welding was done, TWA exceeded the level of Fe 40% and Zn 10% and the level of heavy metals in blood was below the standard for the workers who were under the experiment. Also when the wind was applied on the front side by a fan, the welding fume significantly reduced. It can be concluded that wearing protection gears with safety devices is one of important factors.

**Key Words** : Fume(용접흄), Heavy metal(중금속), TWA(Time Weighted Average)

### 1. 서론

용접작업 중에 유해인자로는 자외선, 가시광선, 적외선, 소음, 고열 등의 인자와 가스, 중금속, 분진, 흄 등 다양하다. 이러한 유해인자에 대하여 적절한 방어 대책이 마련되지 않으면 근로자의 생산성이나 제품의 품질 저하뿐만 아니라 사회적으로 문제시되는 불가역적인 직업병이 발생할 수도 있다.

외국의 경우 용접작업장의 용접흄 농도 및 흄 중의 금속성

분에 관한 연구가 일부 있으나, 국내에서는 용접작업자의 흄 노출에 관한 연구보고(참고문헌 7)가 한두 개에 불과한 실정이다.

특히 용접현장의 용접흄 및 각종 보호용 보호구, 국소배기 시설에 대한 작업환경 개선효과를 조사한 연구는 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 용접현장에서 작업 중 발생하는 용접흄 중에 주요 유해 금속인 Fe, Mn, Cu, Zn등이 용접공에게 어느 정도 흡입 되는지 흡입량과 용접 작업후 용접공의 혈중

\* 서울산업대학교, 친환경소재 제품인력양성센터  
주소: 130-010 서울 동대문구 청량리동 235-4 미주상가 A동 동원시스템즈  
<sup>+</sup> 서울산업대학교 기계공학과

중금속 농도를 측정 하고 배기팬을 이용하여 유해물질의 저감효과를 실험 하였다.

용접흡이 용접 작업자에게 미치는 건강장해 및 증상을 조사 하고 용접흡 감소 대책과 향후 근로자의 건강보호대책을 수립하고자 하였다.

## 2. 용접작업장의 유해인자

### 2.1 용접작업장의 유해인자

#### 1) 용접으로 인한 유해먼지 발생의 특징

용접중에 발생하는 흡은 용접법에 따라 다르지만 발생에 관해서는 다음 몇 가지의 공통점이 있다.

- ① 철이 용융되면 산화철을 주성분으로 하는 흡이 발생되며 흡의 화학성분은 모재 금속의 영향을 크게 받는다.
- ② 아크는 유해광선을 발생시키고, 강한 자외선은 오존을 발생시킨다.
- ③ 아크로 인해 방사된 광 에너지는 용접방법의 특성에 따른다.
- ④ 용접방법과 조건은 흡과 가스발생에 영향을 주는데 각 특성에 따른 영향이 크다.

Table 1 Health problems caused by fume gas

Gas	Health threaten	PPM	Note
Ar	With oxygen transfer	5,000	The work is dangerous from closing space. There is not virulence.
CO <sub>2</sub>	asphyxia	5,000	The work is dangerous from closing space. There is not virulence.
CO	Oxygen transportati on ability disruption of blood	50	The work is dangerous from closing space. There is not virulence.
He	With oxygen transfer		
Metal fume			
NO <sub>2</sub>		3	
O <sub>3</sub>	bronchitis	0.1	
COCl <sub>2</sub>	bronchitis	0.1	

### 2.2 용접흡의 건강장해

용접흡 : 용접시 열에 의해 증발된 물질이 냉각되어 생기는 미세한 입자를 말한다. 흡 발생량은 전류나 전압이 클수록, 용접봉 지름이 클수록 증가할 수 있다. 또한, 용접작업의 종류나 모재의 재질에 따라서 Mn, Cr, Cd, Ni등이 발생할 수 있으며 이러한 물질들이 일반적으로 인체에 해를 줄 만큼 많이 발생하는 것은 아니지만 용접흡을 과량으로 흡입하는 경우에는 건강에 장해를 일으킬 수 있다.

Table 2 Health problems caused by welding fume

Metal	Health threaten	TWA (mg/m <sup>3</sup> )	Note
Al	bronchial trouble	5	
Sb	pulmonary emphysema, vomiting, diarrhea	0.5	skin respiration
As	dermatitis, vomiting, lung cancer	0.2	cancerogenic
Be	dermatitis, heart, liver, pancreas injury, lung cancer	0.002	cancerogenic
B	eye, air duct sitmulus	5.0	
Cd	anemia, lung cancer, prostatic carcinoma	0.05	change
Cr	skin allergy, pulmonary emphysema, lung cancer	0.5	
Co	asthma	0.1	
Cu		0.2	
Fe	emphysema	5.0	
Pb	hypertension	0.05	
Li	eye, skin sitmulus	0.025	
Mg	pulmonary emphysema	10.0	
Mn	nerve disorder	1.0	
Hg	pneumonia	0.1 ceiling	
Mo	eye, air duct sitmulus	5.0	
Ni	skin allergy, diarrhea	0.1	
Ag	dermatits	0.1	
Th			
Sn	pulmonary emphysema	2.0	
Ti		10.0	
V	bronchial trouble	0.05	
Zn	bronchial trouble	5	

### 2.3 유해가스의 종류

오존, 질소화합물, 일산화탄소, 이산화탄소, 도로나 피막 성분의 열분해에 의한 생성물 등 다양한 유해가스가 있다.

#### 1) 오존

##### (1) 발생

용접 아크광에서 발생하는 자외선에 의해 발생된다.

##### (2) 영향

오랫동안 혹은 다량으로 마시게 되면 두통, 메스꺼움, 흉부통증과 목·코 등을 건조하게 하는 등의 증상이 나타난다. 오존은 그 정도에 따라 결막염, 상기도 기관지 계통의 염증, 화학성 폐렴, 폐수종, 접촉성 피부염, 피부암, 심장 및 순환기 장애, 중추신경장해를 일으킨다.

(3) 노출기준 : 0.1ppm

#### 2) 이산화질소

##### (1) 발생

공기 중의 질소는 용접아크작업의 열효과에 의해 이산화질소를 생성 용접작업으로 발생하는 양은 저농도(1.0ppm 이하)이지만 가스절단, 플라즈마 용단, 가스버너에 의한 작업 등을 하는 경우에는 고농도의 이산화질소가 발생할 수 있으므로 주의해야한다.

##### (2) 영향

눈·코·목 등을 자극하고 기침·흉부통증을 유발하며, 폐에 장기적으로 영향을 끼친다.

(3) 노출기준 : 3ppm

#### 3) 일산화탄소

##### (1) 발생

아크용접시 이산화탄소가 일산화탄소로 환원되어 발생하며, 환기가 어려운 탱크 내부작업이나 밀폐작업 장소에서는 고농도의 일산화탄소가 존재 할 수 있다.

##### (2) 영향

일산화탄소에 중독되면 두통, 현기증, 발한, 사지통, 전신권태 등이 생기며 고농도의 경우 의식을 잃고 질식, 사망등에 이를 수 있다.

(3) 노출기준 : 50ppm

## 3. 용접흡의 허용농도 및 측정방법

우리나라 노동부 (고시2005-49호,2005)에서는 미국 노동부 허용기준(OSHAPEL)과 마찬가지로 8시간 작업 가중 평

균농도 5mg/m<sup>3</sup>을 허용기준으로 정하고 있으며 미국산업위생사협회(ACGIH)에서도 용접흡에 대해 별도로 성분이 구분되지 않는 경우 TLV-TWA로서 5mg/m<sup>3</sup>로 규정 (ACGIH, 1996)하고 있다.

우리나라와 미국 기준의 차이점은 우리나라에서는 용접흡 중량으로만 언급하고 있으나, 미국에서는 기준이 설정된 배경을 설명하고 확실하게 측정방법까지 언급한점이 다르다. 미국 기준은 철, 아연, 알루미늄 등을 대상으로 용접할 때에 적용할 수 있는 기준이며, 스테레스 스틸이나 카드뮴 또는 납이 도포된 철을 용접할때는 독성이 강한 물질이 발생하므로 개별적인 물질에 대하여 허용기준을 적용토록 하고 있다.

미국국립산업안전보건연구소(NIOSH)에서는 그러나 용접흡에 대한 기준을 정하지 않고 있는데 이는 용접흡이 발암성 물질로 여러 가지 물질로 혼합되어 있고 이 혼합물질이 상호간에 작용하므로 현존하는 공학적인 대책과 작업방법을 활용하여 용접흡에 대한 노출을 최소한도로 낮출 것을 권고하고 있다.

또한 용접흡을 측정하는 방법 및 측정위치에 대하여 우리나라에서는 별도로 규정하지 않아 측정기관끼리 상이한 방법을 사용하고 있으며 따라서 서로 다른 결과를 낼 수 있는 소지가 있다. 미국의 경우 OSHA에서는 용접작업자의 호흡영역에서 측정하도록 규정하고 있고 ACGIH에서는 용접헬멧 내부에서 측정하도록 하고 있다. 그러나 용접헬멧 내부 및 외부에서 측정한 경우를 비교한 연구 결과에 따르면 헬멧 내부에서 측정한 경우 외부에서 측정한 결과보다 36%~71% 정도 낮게 측정되었다. 따라서 정확히 근로자의 노출 정도를 알려면 헬멧 내부에서 측정해야 할 것으로 본다. 그러나 우리나라는 용접작업 근로자가 용접 헬멧을 사용하는 경우보다는 헬멧의 안면부만 한손에 들고 작업하는 경우가 많으므로 헬멧 내부에서 측정하는 방법을 적용하기는 어렵다.

### 3.1 용접흡 관리방안

#### 1) 허용농도(산업안전보건법)

##### (1) 흡 흡입에 의한 인체장해

용접작업은 대부분 수동 작업이기 때문에 직·간접적으로 흡에 폭로되는 경우가 많다. 흡 흡입에 의한 인체장해는 진폐증·유해가스 등으로서 호흡기계 등에 영향을 미칠 수 있다.

##### (2) 흡의 흡수와 배설

흡입된 흡의 53%가 흡입되고, 호흡기를 통해서 47%가 배출된다. 흡입된 흡은 시간의 경과에 따라 비인두(10%), 기관지(8%) 등을 거쳐 가래 또는 변으로 44.2%가 배출되고

혈류, 인파 등에 각각 7.05%, 1.75%씩 흡수된다.

(3) 용접흡의 특징

형태 : 직경 0.1 $\mu$ m전후의 극히 미세한 구상입자, 크기 : 0.02~10 $\mu$ m까지 분포, 평균 0.3~0.4 $\mu$ m, 성분 : 철, 망간, 니켈, 규소, 칼륨, 크롬, 티타늄, 칼슘, 나트륨 등

(4) 용접흡의 성분별 노출기준

- 총용접흡 5.0mg/m<sup>3</sup>
- 산화철흡 5.0mg/m<sup>3</sup>
- 망간흡 1.0mg/m<sup>3</sup>
- 산화아연흡 5.0mg/m<sup>3</sup>

3.2 진폐증

폐에서 먼지를 포위하는 식세포는 일정한 수명이 다하면 사멸하고 다시 새로운 식세포가 먼지를 포위하며, 이러한 과정은 계속하여 일어난다. 폐에 침착된 입자상 물질의 독성이 높을수록 식세포는 수 시간 또는 수일 내에 사멸한다. 일반적으로 식세포의 수명은 수주일 또는 1개월 이상까지 간다. 식세포가 사멸하면서 생성된 단백 분해효소와 기타 독성 물질은 얇은 폐포벽을 파괴하며, 이러한 과정은 먼지가 폐에 있는 한 계속되므로 먼지 노출을 그친 후에도 진폐증은 진전된다.

4. 용접흡 측정 및 실험

4.1 용접흡 중의 중금속 분석

용접흡의 포집은 용접 작업중인 근로자가 착용하고 있는 헬멧 바깥 턱 아래 호흡위치에 약 2000cc/min의 유속으로 8시간 시료를 포집하였다. 포집된 시료를 누출되지 않게 작은 상자를 비닐테이프와 캡으로 밀봉한 후 비닐봉지에 넣어 분석실로 이동 후 데시케이터에 건조시킨 후 분석을 실시하였다. 분석은 작은 상자를 제거하고 시료채취여과지와 공시료를 각각 비이커에 옮기고 유리 덮개로 덮었으며 비이커에 회화 용액 5ml를 첨가하고 실온에서 30분정도 방치 한 후 120 $^{\circ}$ C의 가열판에서 용량이 0.5ml정도 남을때까지 가열하였다. 용액 2ml를 다시 첨가하여 가열시킨다. 용액이 투명해질 때까지 이 과정을 반복한다.

중류수로 비이커와 유리덮개를 행군 다음, 이 용액이 0.5 ml정도가 될 때까지 증발 시켰으며, 희석용액 2~3ml를 비이커에 가해 잔류물을 용해시킨 다음 10ml 용량 플라스크로 옮긴 후 희석용액을 가해 10ml가 되게 하였다.

철, 망간, 아연, 구리는 acetylene air를 사용하여 불꽃 원자흡광광도계로 분석하였고 현장 공시료로 분석농도를 보정하였다.

Table 3 The concentration of Pb, Cr, Mn

		Mn	Cr	Pb
CO <sub>2</sub> Welding	GM (mg/m <sup>3</sup> )	0.2615	0.0008	0.0020
	GSD	5.6778	5.2972	3.5192
	Range (mg/m <sup>3</sup> )	0.0051~6.8469	0.0001~0.0338	0.0001~0.0163
ARC Welding	GM (mg/m <sup>3</sup> )	0.0272	0.0001	0.0008
	GSD	3.4103	1.5882	4.5793
	Range (mg/m <sup>3</sup> )	0.0051~0.2439	0.0001~0.0006	0.0001~0.0099
Total	GM (mg/m <sup>3</sup> )	0.1822	0.0006	0.0017
	GSD	6.4079	5.4216	3.7933
	Range (mg/m <sup>3</sup> )	0.0051~6.8469	0.0001~0.0338	0.0001~0.0163

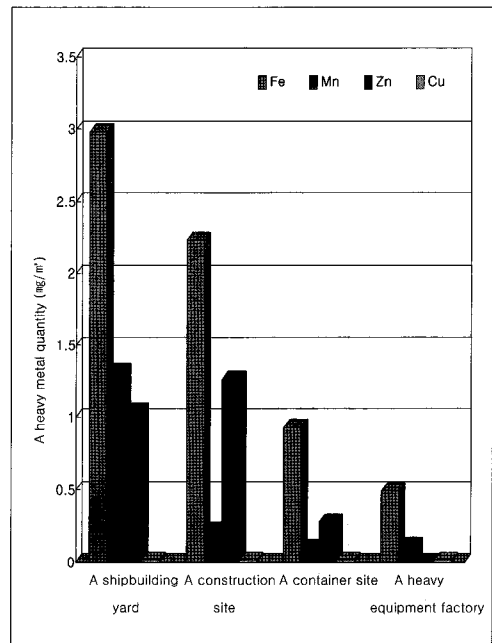


Fig. 1 Heavy metal analysis result among welding fume

한번 작성한 검량선에 따라 보통 10개의 시료를 분석한 다음 다시 분석기기 반응을 확인한 후 만일 반응이 일정하지 않을 경우 검량선을 다시 작성하고 이에 따라 시료를 분석하였다.

용접흡 중 중금속은 TWA와 비교해서 철은 40% 아연은 10%가 초과 했으며 구리, 망간은 기준치 이내였다.

### 4.2 혈중 중금속 농도 측정

용접사들 중 10년 이상의 경력자로 5명에게 혈액을 채취하기 전일에 아크용접 작업을 8시간 실시하고 채취 당일 동일한 조건으로 4시간 용접작업을 실시하였다. 용접 후 2시간 후에 혈액을 채취하여 -20℃에서 냉동보관 하였다.

병원의 임상병리과에서 혈액을 채취하여 철은 Ferrozine 발색법으로, Zn, Cu는 분진의 경우와 같이 원자흡광광도계를 이용하여 중금속 농도를 분석하였다. Fe의 경우 Ferrozine 발색법으로 측정 하였다.

방법을 보면 혈청중 철은 트라스페린과 결합되어 있으므로 산성에서 계면 활성제를 작용시켜 분리시킴과 동시에 환원제에 의하여 3가의 Fe을 2가로 환원 시켰으며 2가의 Fe은 페로진과 결합하여 적자색의 착화물을 형성함에 따라 이 적자색의 흡광도를 측정함으로써 철의 양을 구하였다. 국내 입

상병리학회에서 주장하는 허용농도 범위안에는 들지만 안전하다고는 할 수 없다.

### 4.3 이동식 팬 이용시 용접흡량의 측정

실험에 사용된 팬의 모델 형식은 EPF-300이고 구경은 282mm, 풍량은 60m<sup>3</sup>/min, 회전수는 3500rpm이고 무게는 약 17kg정도로서 소형이기 때문에 이동하면서 작업이 가능하며 탈착이 가능한 덕트의 길이는 5m였다. 실험실에서 탄산가스 아크용접을 할때 용접흡의 저감효과를 팬을 사용하지 않았을 때와 팬을 사용하여 흡배기하였을 경우를 비교하여 실험하였다. 아크용접기의 조건은 전류 110A, 전압23V였고 용접용 와이어의 직경은 0.9mm인 것을 사용하였다. 팬을 가동하지 않았을 때에는 용접흡의 기하평균은 52.71mg/m<sup>3</sup>였고 작업자의 용접부위에서 약 60cm정도 떨어진 곳에서 이동식 팬을 이용하여 약 60m<sup>3</sup>/min의 풍량으로 불어주어 용접흡을 휘산시키는 방법을 사용할 경우 24.90mg/m<sup>3</sup>으로 팬을 가동하지 않았을 경우보다 52.8% 저감되었고 발생 용접흡을 배기하였을 경우에는 11.06mg/m<sup>3</sup>로 약 79%정도 폭로가 저감되었다.

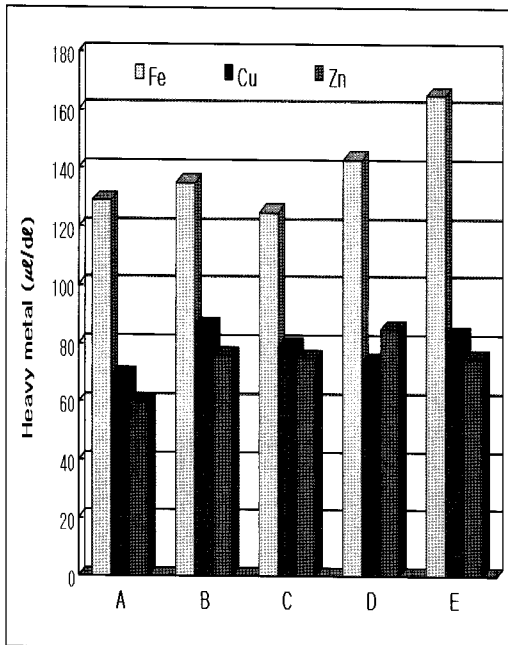


Fig. 2 Heavy metal analysis result in welder's blood



Fig. 3 Analysis result of welding fume while using the fan

#### 4.4 용접형태별 공기중 용접흄 농도

공기중 용접흄 농도를 측정하기 위한 시료포집을 위해 직경 37mm 0.8 $\mu$ m 크기의 여과지를 스피퍼스의 작은 조각 상자에 고정시킨 후, 개인용 시료 포집 펌프에 연결하여 용접 작업중인 근로자의 호흡 위치에서 4~6 시간 시료를 포집하였다.

시료 포집 전의 모든 여과지를 건조용기에 넣어 24시간 동안 보관, 건조 시킨 후 실험실 내에 설치된 전자식 천칭(0.01mg, 40SM-200A, Precisa, 스위스)을 사용하여 평량한 후 스피퍼스의 작은 조각 상자에 담아 고정시키고, 고유번호를 부여하여 10개당 1개를 공백으로 하고 나머지는 시료포집에 사용하였다.

용접형태별로 공기중의 용접흄 농도는 국소배기장치 시설을 가동하지 않았을 때에는 저항접용접, 피복아크용접, 불활성가스텅스텐아크용접, 불활성가스금속아크용접의 순으로 높은 수준을 나타냈다.

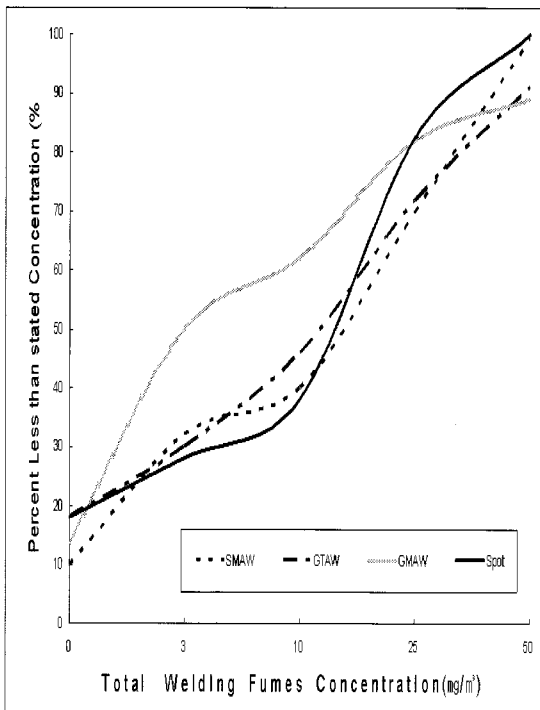


Fig. 4 Distribution of airborne concentrations of total welding fume by type

#### 4.5 용접사의 자세변화에 따른 실험

용접자세를 20°~80°의 범위에서 4단계로 자세를 변화시킬 때 용접흄의 노출정도를 측정하였다. 용접흄의 시료채취 위치는 용접면의 내측, 외측과 좌우 어깨위의 4개소로 하고, 용접점과 시료채취기 간 거리는 500mm, 시료채취시간은 아크가 발생하고 있는 5분간 했다. 측정치는 5분간의 시간평균 질량농도이며 모든 측정치는 10회 측정치이며 평균치이다.

무풍상태에서 용접사는 매우 고농도의 흄에 노출되는 것이 예상되며, 측정위치에 따라서 100mg/m<sup>3</sup>를 넘는 경우도 있었다.

어깨 시료채취농도는 좌우간에는 격차가 없었으나 자세가 직립에 가까울수록 높은 농도가 되었다. 또한 작업 자세에 관계없이 용접면 외부의 농도는 다른 모든 측정위치에서 의 농도보다 높았다.

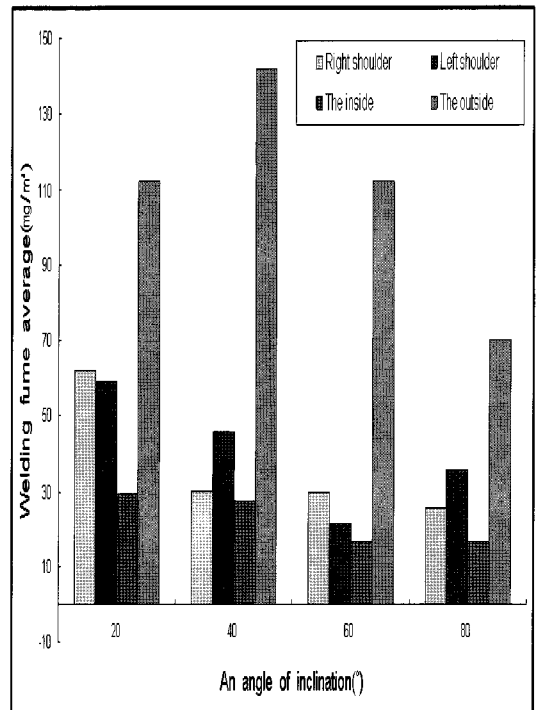


Fig. 5 The welding fume measurement result

## 5. 결론

용접흡이 용접작업자들에게 미치는 건강장애와 개선방법을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 용접작업 중 증금속의 피폭 수준은 우리나라 노출기준 (TWA)으로 칠 40%, 아연의 10% 정도가 초과 된 것으로 본다.
- (2) 용접 작업 후 혈중 증금속 농도를 측정한 결과는 기준치 이하로 조사 되었다.
- (3) 용접흡을 저감하기 위해서는 팬을 사용하여 용접자 전면에서 흡입하면 용접흡이 현저히 감소한다.
- (4) 용접형태별로는 저항점용접이 가장 적은 용접흡의 양을 나타냈다.
- (5) 용접 자세가 직립에 가까울수록 높은 농도가 되었다.

## 참고 문헌

- (1) Park, J. Y., 2006, "Safety and Health in Welding Technology," *Journal of the Korean Welding Society*, Vol. 24, No. 3, pp. 5~8.
- (2) Lee, C. K., and Chae, B. D., 2005, "A Study on the Welding of Aluminum Alloy and Stainless Steel by Laser," *Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 14, No. 2, pp. 91~95.
- (3) Yem, D. B, and Kor, J. B., 2002, "Evaluation of Resistance Spot Welding Weldability of Aluminum Alloy 5000 Series," *Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 11, No. 3, pp. 8~13.
- (4) Voitkevich, V., 1995, *Welding Fume Properties, Chapter 2, In Welding Fumes-Formation Properties and Biological Effects*, Abington Publishing, England, pp. 18~77.
- (5) Kor, J., 2002, "A Study on the Content Variation of Metals in Welding Fumes," *Environment Health Society*, Vol. 28, No. 2, pp. 117~129.
- (6) Orr, J. L., 1993, *Effects of Welding on Health*, American Welding Society, Miami, pp. 1~23.
- (7) Choi, H. C., and Kim. G. Y., 1999, "A Study on the Welders Exposed to Fumes and Metals," *Journal of Society of Occupational Hygiene*, Vol. 9, No. 1, pp. 56~71.
- (8) Byeon, S. H, and Park, S. H., 1995, "A Study on Welding Fumes and the Strength of Exposure to Metals in Some Industries," *Journal of Society of Occupational Hygiene*, Vol. 5, No. 2, pp. 172~181.
- (9) Lee, G. S., and Baek, N. W., 1994, "A Study on the Density of Welding Fumes and Metal Components up to the Classified Welding Processes," *Journal of Society of Occupational Hygiene*, Vol. 4, No. 1, pp. 71~79.