

일부 업종의 용접흄 분석 및 폭로농도에 관한 연구

한국산업안전공단 산업보건연구원 · 인천기능대학*

변상훈 · 박승현 · 김창일* · 박인정 · 양정선 · 오세민 · 문영한

— Abstract —

A study on the airborne concentration of welding fume for some manufacturing industries

Sang-Hoon Byeon, Seung-Hyun Park, Chang-Il Kim*, In-Jeong Park,
Jeong-Sun Yang, Se-Min Oh, Young-Hahn Moon

*Industrial Hygiene Research Institute Korea Industrial Safety Corporation, Incheon, Korea
Inchon Industrial Masters' College, Incheon, Korea**

The airborne concentrations of the welding fumes produced during CO₂ arc welding process at shipbuilding, ship repairing, container manufacturing and car accessory manufacturing industry were investigated.

The effects how much reduced the welding fume were checked when the portable fan was used.

The results were as follows;

1. The geometric mean of welding fume concentration in shipbuilding factory was 10.05 mg/m³. This exposure concentration was higher than other 3 manufacturing industries at 95% confidence level.
2. The sampling filters for welding fume could be digested with acid within 1 hour by microwave oven. The recoveries for investigated metal elements were all over 95%.
3. The optimal wavelength could be selected for the simultaneous analysis of 8 metal elements by ICP (Inductively Coupled Plasma).
4. Noxious gases (O₃, NO₂) produced during CO₂ gas arc welding process were detected that the concentration of ozone (O₃) was less than 0.01 ppm and that of nitrogen dioxide (NO₂) was 0.01-0.03 ppm.
5. The geometric mean of welding fume particle diameter was 1.26 μ m and geometric standard deviation was 1.51 for the counts when particle analyzer (ELZONE) had been used.
6. When the portable fan had been used, the reduced percent of total welding fume for workers was about 47.8% when portable fan was applied to blow and 71.7% when to exhaust.

서 론

용접은 금속과 금속을 서로 접합하는 방법으로 이에 필요한 열원과 용접작업중에 발생되는 분진, 유해가스, 고열 등의 위험성과 유해성은 오래전부터 안전 보건상 문제가 되어 왔다.

용접 용단작업시 발생하는 용접흙은 산화철(Fe_2O_3)이 주종을 이루고 있으며 용접 용단시 용접봉과 피용접금속재질 및 용접물질에 피막된 도료의 성분 등에 따라 용접흙속에 많은 유해 유독한 금속성분들이 포함될 수 있으며 이러한 용접흙 및 발생 유해가스를 작업근로자가 다량 흡입하므로써 철폐증(siderosis), 섬유폐증(fibrosis), 폐기종(emphysema), 기관지염(bronchitis) 등의 만성 폐질환을 유발시킬 수 있으며 피용접물질에 피막된 도료의 성분 에 따라 연(Pb), 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 망간(Mn) 등의 중금속에 의한 중독을 일으킬 수 있다(국립노동과학연구소, 1984). 또한 용접작업으로 인해 오존(O_3), 질소산화물(NO_x), 일산화탄소(CO) 등이 발생되며, 트리클로로에틸렌등과 같은 염소소를 포함한 유기용제는 포스겐등과 같은 독성물질을 발생시킨다(Ferry J. J., 1952). 그러나 이러한 유해가스가 허용기준이 낮고 유독성이 کم에도 불구하고 용접흙에 비해 연구가 되지 않았으며 그 유해성에 대한 인식도 용접흙보다 낮다.

선박건조 수리업 및 수송용 기계기구 제조업의 상당부분 작업이 용단과 용접작업으로 이루어지고 있으므로 본 연구에서는 선박건조 수리업, 컨테이너 제조업, 자동차 부품제조업 등 주로 용접작업으로 이루어 지는 공정중 발생하는 일부 업종의 용접흙 폭로농도 및 발생 유해가스(O_3 , NO_2)에 대한 측정과 분석을 하였으며 실험실적으로 이동식 팬을 사용하여 발생 용접흙의 저감효과 및 입자크기분석기(Particle Analyzer)를 이용하여 용접흙에 대한 입자크기 분포를 보았다. 또한 중금속 분석시 시료의 전처리 공정에 있어 기존의 방법은 Hot Plate에 의하여 하여 왔는데 처리 시간이 보통 2-3일 이상 걸리고 시간이 오래 걸림에 따라 시료의 손실 가능성 등 작업환경 측정시료분석에 불편이 따라 왔으므로 초음파오븐(microwave oven)을 이용하여 시료의 전처리 시간을 단축하여 보고자 하였으며 또한 여러가

지 중금속 분석에 있어 기존의 원자흡광광도계(Atomic Absorption Spectroscopy; AAS)를 이용한 방법은 상당히 신뢰성 있는 방법이지만 각각의 원소에 대해 따로 보정을 하여 분석을 하여야하기 때문에 시간이 오래 걸릴 뿐더러 시료의 양이 많아야 한다. 따라서 여러가지 중금속의 동시 정량을 하는 것은 시간의 절약 뿐만 아니라 제한된 시료의 양을 가지고 측정하는 경우 매우 유리하기 때문에 NIOSH(National Institute for Occupational Safety and Health) 공정시험법에서도 여러가지 원소의 분석을 하는데 있어서 ICP를 추천하고 있으며 본 연구에서는 Inductively Coupled Plasma(이하 ICP)를 이용하여 동시에 여러가지 금속원소를 측정하여 보았다.

연구 방법

1. 조사 대상

선박건조 수리업, 컨테이너제조업, 자동차부품 제조업 등 3개업종의 4개업체를 대상으로 조사하였으며 규모는 표 1과 같다. 대부분 용접을 주로 하는 곳을 택하여 조사하였으며 선박건조과정은 설계 및 자재 구매후 가공 절단 소조립 공정을 거쳐 선체 블록조립 도장작업을 거쳐 선체 블록탑재 및 취부공정을 거쳐서 외장공정, 배관공사를 거쳐 완성하게되며 본 연구에서는 선박제조업의 소조립공정을 조사대상으로 하였다.

컨테이너 제조에 있어서는 컨테이너 바닥제조, 벽과 천정제조 그리고 이것을 용접하고 마무리하는 공정이 있으며 본 연구에서는 제일 용접흙이 많이 발생하는 공정인 자재 용접공정을 택하여 조사하였다.

자동차 부품업체 중 U 기업은 트럭 뒤의 갑판(Deck)을 제조하는 공장이었고 대부분 용접으로 작업하였다. 용접작업 형태는 주로 CO_2 가스아크용접을 이용하고 있었으며 곳에 따라 피복아크용접을 사용하고 있었다.

본 연구에서는 주로 CO_2 가스아크용접에 대하여 측정하였으며 주로 0.9-1.2 mm 직경의 CO_2 용접용 Wire를 사용하고 있었으며 모재는 연강(mild steel)이었다.

또한 CO_2 용접시 발생하는 용접흙의 배기시설의 가동시와 가동하지 않았을 때의 공기중 용접흙의 농

도변화를 보기위하여 이동식 팬을 이용한 저감효과에 대한 실험실적 연구를 실시하였다.

2. 조사 방법

1) 시료채취

가) 용접흙 포집

용접흙 및 용접흙내의 금속 원소를 측정하기 위한 시료포집을 위해 직경 37 mm 0.8 μ m pore size cellulose ester membrane 여과지 (Nuclepore, Costar, USA)를 데시케이터에서 미리 24시간 건조시킨후 여과지의 무게를 칭량한 다음 three piece cassette에 고정시킨후 개인용 시료 포집펌프 (MSA Flow-Lite™, USA)에 연결하여 용접작업 중인 근로자의 호흡 위치에서 240-360분 간 시료를 포집한 다음 데시케이터에서 24 시간정도 건조시킨 후 시료를 포함한 여과지의 무게를 칭량하였다. 시료포집 유량은 1.8-2.3 lpm으로 하였고 측정전후에는 비누거품법으로 유량보정 (Calibration)을 실시하였다.

Table 1. The scale of investigated manufacturers

Type of Manufacturer	Number of total workers	Number of welding workers
H Ship/B	600	100
D Ship/R	1690	450
S Container/M	900	60
U Car A/M	200	60

(Ship/B : Ship Building, Ship/R: Ship Repairing, Container/M : Container Manufacturing, Car A/M : Car Accessory Manufacturing)

나) 유해가스 표집 및 분석

용접작업중에 발생하는 유해가스인 오존(O₃)과 이산화질소(NO₂)의 시료를 포집하였다. 오존(O₃)의 경우에는 NIOSH Method S 8에 준하여 적용하였다. 흡수액은 40.0 g의 NaOH를 950 ml 정도의 증류수에 녹인다음 10.0 g의 KI(potassium iodide)를 넣고 녹여 1 L의 혼합물을 만들어 소형 임편저에 10ml 정도 넣고 개인용 시료 포집기와 연결한 다음 1.0 lpm의 유속으로 30-45분간 포집한 다음 전처리하여 UV Spectrophotometer를 이용하여

352 nm에서 측정하였다.

유해가스 이산화질소(NO₂)를 분석하기 위해서 NIOSH Method P&CAM 108 을 이용하여 분석하였다. 흡수액은 5 g의 anhydrous sulfanilic acid를 140ml의 glacial acetic acid를 포함하는 약 980ml의 증류수에 녹인다음 20 ml의 0.1 %의 N-(1-naphthyl)-ethylene diamine dihydrochloride를 첨가하여 1 liter가 되게한다. 이 흡수액을 fritted bubbler에 10 ml정도 넣은 다음 개인용 시료 포집기와 연결하여 0.4 lpm의 속도로 약 20-30 분 정도 시료를 포집하여 전처리 과정을 거친 다음 UV Spectrophotometer를 이용하여 550 nm의 파장에서 측정하였다.

2) 시료의 분석

가) 총용접흙 량

총용접흙량은 cellulose ester membrane여과지를 이용하여 포집한 시료의 포집 전과후의 여과지 중량의 차를 구하여 유량으로 나누어 산출하였다. 또한 각 작업장의 근로자의 작업시간을 고려하여 시간가중 평균농도(TWA)를 구하여 작업자에 폭로되는 용접흙량을 계산하였다.

아) 초음파 오븐(Microwave Oven)을 이용한 시료의 전처리

NIOSH 공정시험법 7300방법에 따른 Hot plate에 의한 시료의 전처리 방법은 시료에 함유되어 있는 성분의 종류에 따라 2-3일 이상의 처리 시간이 필요로하고 시료의 손실 등이 있을 수 있으나 최근에 시료의 전처리 용으로 나온 초음파오븐(microwave oven, CEM, U.S.A)를 이용하여 시료 전처리 방법의 개선을 시도하여 보고자 하였다. ashing acid(HNO₃:HClO₄=4:1(v/v)) 1 ml를 사용하여 처리용기에 시료를 함침시킨다음 표 1에 나타난 Microwave Oven조건에 따라 전처리를 한다음 dilution acid(ashing acid 50 ml+증류수 950 ml)로 희석하여 20 ml가 되게 하였다.

바) ICP를 이용한 용접흙 내의 금속성분 분석

Prasma 등을 이용한 광원은 AA 등의 불꽃 및 전열법에 비하여 몇가지 이점이 있는데 첫째는 6,000-8,000 K의 높은 분석온도를 이용하기때문에 원자화가 더욱 완전하게되고 화학반응에서 오는 방해가 거의 없다. 둘째는 단일 들뜨기(excitation) 장

치로서 대부분 원소의 훌륭한 스펙트럼을 얻을 수 있고 이 결과 여러가지 원소의 스펙트럼을 동시에 얻을 수 있다. 따라서 매우 적은 양의 시료를 사용하여 다성분 원소 분석을 하는데 특히 중요하다. 또한 내화성 화합물 원소의 낮은 농도를 측정할 수 있고 정밀하게 측정할 수 있다(Skoog, D. A. 1985).

본 연구에서 ICP는 Thermo Jerrell Ash Co. 의 IRIS를 사용하였고 cross-flow nublizer를 이용하였으며 RF power는 1150 W로 하였고 Flush pump rate는 100 rpm, nublizer flow는 0.6 l pm, Sample flush time은 20 sec, Purge gas는 Argon을 사용하였다. 용접흙내의 금속성분은 Fe, Zn, Cu, Mn, Pb, Ni, Cb, Cr 등에 대하여 동시에 분석하였다. 각 금속성분에 있어서의 분석 파장은 표 3에 표시하였다.

Table 2. The digestion condition of welding fume by microwave oven

File name	welding fume digestion				
Stage	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Power	50	80	90	00	00
Pressure, psi	80	90	120	00	00
Time	15	20	10	00	00
Tap	10	10	10	00	00
*Temp.	100	110	120	00	00

*Temp.: Temperature

c) Electric sensing zone 방식을 이용한 용접흙의 입자 크기 분석

분진의 입경분포는 일반적으로 size-selective sampling (ACGIH, 1992)을 적용하여 직경 분립포집기 (Cascade impactor)를 사용하여 측정하고 있다. 이 방법은 직경분리 포집기의 포집시간의 조정이 어려운 점, 정전기 처리의 문제점 등의 제한점 (김영식과 윤영노, 1989)과 분진의 직경을 세밀하게 분리 포집할 수 없다는 단점이 있다 (정희경 등, 1992). Electric sensing zone 방식을 이용한 입자분석기 (ELZONE 280PC U.S.A)는 전장 (electrozone)을 격리한 벽의 한 부분에 뚫린 측정구멍을 통하여 입자가 통과할 때 측정구멍에 작용하고 있던 전류의

세기 또는 저항의 변화량을 측정하여 입도를 결정하는 장치이다 (黃鐵浩, 1987).

여과지에 부착되어 있는 용접흙 시료를 1 % sodium chloride 용액으로 씻어내어 초음파 장치로 5 분간 처리하여 골고루 분산시킨 다음 Orifice를 통과시켜 0.05-76 μ m 범위에서 시료의 직경을 측정하였다.

d) 이동식 팬 (portable fan)

조선업 등의 작업이 육의 일수 있고 이동작업이 많은 경우는 설치식 국소배기는 불가능하다. 따라서 이동식 국소배기를 이용하여야 하나 기존의 이동식 국소배기장치는 값이 비싸고 무거워 취급이 불편한 편이다. 따라서 본 연구에서는 용접시 발생하는 용접흙의 효과적인 배기를 위하여 간단한 이동식 팬을 이용하여 발생 용접흙의 저감효과가 얼마나 있는지를 실험하여 보았다.

실험에 사용된 portable fan (二和工作所)의 모델 형식은 EFP-300이고 구경 (口徑)은 282 mm, 풍량은 60m³/min, 회전수는 3500 rpm 이고 무게는 약 17 kg 정도로서 소형이기 때문에 이동하면서 작업이 가능하며 탈착이 가능한 덕트의 길이는 5 m였다. 실험실에서 CO₂ 가스 아르곤용접을 할 때 용접흙의 저감 효과를 팬을 사용하지 않았을 때와 팬을 사용하여 흙 배기하였을 경우를 비교하여 실험하였다. CO₂ 아르곤 용접기의 조건은 전류 110 A, 전압 23 V 였고 용접용 Wire의 직경은 0.9 mm인 것을 사용하였다.

Table 3. Analysis Lines of Metal Elements in the Welding Fume by ICP

Elements	Wavelength (nm)	*I _w /I _b	Conc. (μ m/ml)	** Est'd Det. Lit. (μ g/ml)
Fe	238.2	65.0	10.0	0.0046
Mn	260.5	145.0	10.0	0.0021
Cu	327.3	31.0	10.0	0.0097
Zn	213.8	170.0	10.0	0.0016
Pb	220.3	70.0	100.0	0.042
Cr	283.5	42.0	10.0	0.0071
Ni	221.6	29.0	10.0	0.010
Cd	228.8	110.0	10.0	0.0027

* I_w/I_b : Intensity Ratio,

** Est'd Det. Lim. : Estimated Detection Limit

연구 결과

1. 초음파 오븐을 이용한 시료의 전처리 및 각 원소별 회수율

초음파오븐을 이용한 시료의 전처리 방법은 시료를 고압에 견딜수 있는 밀폐용기에 넣고서 초음파를 이용하여 고온, 고압하에서 단 시간안에 전처리 할 수 있는 장치이다. 무기물 분석에 있어 초음파를 이용한 기술은 Matthes 등이 슬래그, Ni-Cu alloy 와 장식 분해에 대해 보고한 바 있다(Matthes, 1983). 본 실험에서 실험한 바에 따르면 150℃ 열판위에서 2일 이상 걸리던 시료의 전처리를 표 2에서의 조건에서 1시간 정도이면 전처리가 가능한 것으로 나타났다. 표 4은 초음파 오븐(microwave oven)에 의한 각 원소별 회수율을 나타내었으며 조사된 8가지 금속원소 모두 93%이상의 회수율을 보였다. 그러나 시료에 따라 전처리 조건이 다를 수 있기 때문에 충분한 예비시험을 거친 다음에 시험 할 필요성이 있으며 고온·고압에서 시료를 처리하기 때문에 시료처리 조건이 안 맞으면 시료의 손실 및 안전에도 문제가 있을 수 있기 때문에 분석자는 기기를 숙지하고 조심스럽게 작동하여야 할 것으로 생각된다.

2. 업종별 작업환경중 용접흄 폭로농도

선박건조·수리업, 콘테이너제조업, 자동차부품제조업에 대한 총 용접흄농도를 측정한결과 표 5와 같

고 이것을 그림으로 나타내면 그림 1과 같다. 표 5에서 보는 바와 같이 선박 건조업의 선체 소조립장 작업자의 경우의 기하 평균은 10.05 mg/m³(3.39-30.71 mg/m³), 선박수리업의 홀더작업 3.78 mg/m³(2.05-8.11 mg/m³), 콘테이너제조업의 용접공정시 2.46 mg/m³(1.42-5.12 mg/m³), 자동차 부품제조업의 갑판 용접시 1.91 mg/m³(1.5-2.55 mg/m³)으로 나타났다. 선박건조업 소조립장 작업자의 경우 나머지 다른 업종보다 통계적으로 95 % 신뢰 수준에서 유의하게 용접흄의 폭로농도가 높았으며 나머지 업종들간의 폭로농도 차이는 통계적으로 유의하지 않았다(P>0.05).

콘테이너제조업의 용접공정과 자동차 부품의 갑판(Deck)제조 공정에서는 각각 2.46 mg/m³(0.42-5.12 mg/m³)과 1.91 mg/m³(1.5-2.55 mg/m³)로 나타났는데 용접 작업이 육내이고 작업장소가 고정되어 있어 선박건조 수리 작업장보다 상대적으로 국소배기 및 전체 환기시설 설치에 의한 폭로저감 때문인 것으로 생각된다. 이는 이권철 등(1994)이 자동차 차체 생산공정에서 국소배기 시설을 가동중에 있을 때 CO₂ 아크용접의 경우 2.90 mg/m³(0.82-6.60mg/m³)과 마찬가지로 우리나라 허용기준(노동부, 1991) 5.0 mg/m³이하 인것으로 나타났다.

3. 용접흄중 금속성분 농도

조사 업종별 용접흄중 금속성분 농도는 표 6와 같고 이것을 그림 2로 나타내었다. 표 6에서 볼수 있

Table 4. Recovery efficiency of metal elements by microwave oven digestion.

Metal elements	Fe	Mn	Zn	Cu	Cd	Ni	Cr	Pb
Mean SD	101 ± 3.3	98 ± 1.2	97 ± 2.6	100 ± 1.2	98 ± 1.9	93 ± 3.9	98 ± 2.5	95 ± 0.15
CV	0.03	0.04	0.03	0.01	0.02	0.04	0.03	0.002

Table 5. Total fume concentration of various manufacturing

Type of Manufacturing	Working Site	No of Sample	Total Welding Fume Concentration		
			GM(mg/m ³)	GSD	Range(mg/m ³)
H Ship/B	Hull/A	20	10.05	2.22	3.39-30.71
D Ship/R	Holder	7	3.78	1.95	2.05- 8.11
S Container/M	Welding	13	2.46	1.70	1.42- 5.12
U Car A/M	Deck	9	1.91	1.21	1.50- 2.55

(Ship/B : Ship Building, Ship/R : Ship Repairing,

Container/M : Container Manufacturing, Car A/M : Car Accessory Manufacturing)

는 것과 같이 H 선박건조공장의 소조립공정에서 CO₂ 가스 아크 용접의 경우 Fe가 3.50mg/m³(1.97-7.07 mg/m³)으로 제일 많이 나타났고 U 자동차부품공장의 갑판(Deck)작업공정이 0.58 mg/m³(0.42 - 0.95 mg/m³)으로 제일 적게 나타났다.

분석하고자 하는 금속성분은 Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Cr, Ni, Cd의 8가지였으나 이중 Pb, Cr, Ni, Cd는 미량으로 나타나 표 6에 표시하지 않았다. 그림 2에서 볼수있는 것과 같이 용접흄중 금속성분을 많은 순서로보면 Fe가 가장 많고 그다음 Mn과 Zn 혹은 Mn과 Zn 그리고 Cu의 순서로 나타났다.

용접흄중 금속성분에 대한 조사는 이외에도 여러 문헌(박종수 등 1988 ; 김광중 등 1991)에 보고되고 있으나 용접 재료에 따라 약간씩 차이를 보이고 있었으며 주로 성분은 Fe₂O₃(as Fe)였다.

U 자동차부품공장의 갑판(Deck)작업공정이 0.58 mg/m³(0.42-0.95 mg/m³)으로 제일 적게 나타났다.

유해분진, 흄 등은 혼합물질 간의 유해성이 서로 다른 부위에 작용한다는 증거가 없는 한 인체에 미치는 유해작용이 가중되므로 각 물질의 복합적인 작용에 의한 상가작용(additive effect)을 고려하여 평가하여야 하며, 이와같은 혼합물의 기중농도는 다 음식에 의하여 산출하고, 그 수치가 1 이상이면 허용농도를 초과하는 것으로 판정한다(ACGIH, 1992 ; 이권섭·백남원 1994).

$$\frac{C}{T_1} + \frac{C}{T_2} + \frac{C}{T_3} + \dots + \frac{C}{T_n}$$

여기서 C는 화합물질 각각의 측정농도이고, T는 화합물질 각각의 허용농도이다. 상가작용을 고려하였을 때 선박건조업의 소조립 공정의 경우 2.67로서 1을 훨씬 초과하였으며 선박수리업, 콘테이너제조업, 자동차부품제조업은 각각 0.46, 0.43, 0.34로 1이하로 나타났다.

4. 용접 중 발생하는 유해가스의 농도

용접작업중 발생하는 유해가스는 오존(O₃), 이산화질소(NO₂)를 포함하여 일산화 질소(NO), 일산화탄소(CO) 등 여러가지 유해가스가 발생할 수 있으나 본 연구에서는 실험여건 상 오존(O₃)과 이산화질소(NO₂)에 대해 조사를 하였다. 조사 업종별 CO₂ 아크용접중 발생하는 O₃와 NO₂농도를 표 7에 나타내었다. 표 7에서와 같이 오존(O₃)과 이산화질소(NO₂) 모두 노동부(1991)와 미국 OSHA의 허용농도인 0.1 ppm과 3 ppm이하였다. J.J. Ferry와 G. B. Ginther(1952)는 실험용 챔버안에서 불활성 가스 아크용접을 실험한 결과 0.6 ppm까지의 오존이 발생한다고 보고하였고 질소산화물은 3 ppm정도까지 발생한다고 보고하였다. 또한 작업장 공기중 Trichloroethylene의 존재시 Phosgen이 다량 발생한다고 보고하였다.

본 조사에서 검출된 오존(O₃)의 농도는 0.01 ppm정도였고 이산화질소(NO₂)의 농도는 0.01-0.03

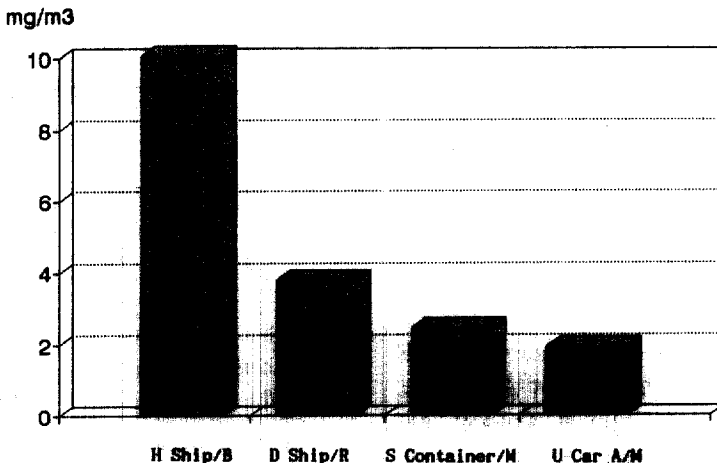


Fig. 1. Total fume concentrations of 4 manufacturing industries.

Table 6. The concentration of metal elements in welding fume

Type of Manufacturing	Working Site	No. of Sample	GM of Metal Components Concentration(mg/m ³)				Additive Effect (TLV of mixture)
			Fe	Mn	Zn	Cu	
H Ship/B	Hull/A	7	3.50	1.64	1.13	0.01	2.67
D Ship/R	Holder	5	1.00	0.12	0.20	0.01	0.46
S Container/M	Welding	11	0.83	0.11	0.26	0.01	0.43
U Car A/M	Deck	5	0.58	0.12	-	0.01	0.34

(Ship/B : Ship Building, Ship/R : Ship Repairing,
Container/M : Container Manufacturing, Car A/M : Car Accessory Manufacturing)

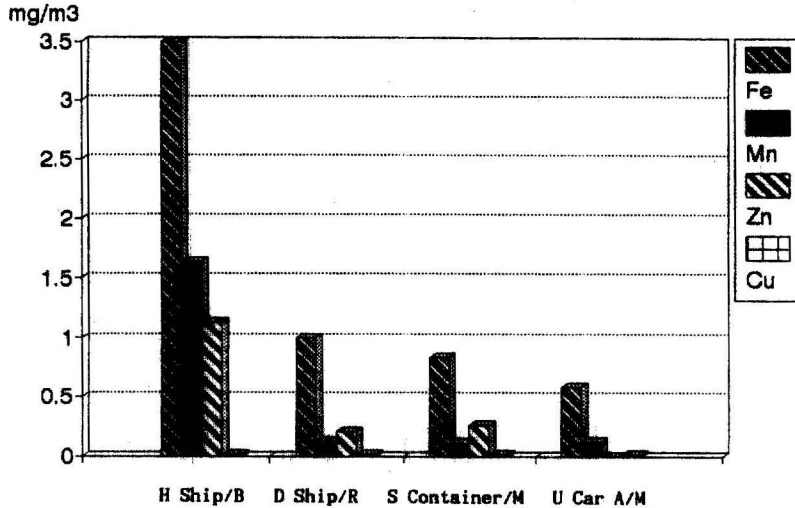


Fig. 2. The concentration of metal elements in welding fume.

ppm으로 허용농도 미만으로 나타났으나 조사한 시기가 여름(6-7월)이라 전체 및 부분 환기를 최대한 하고 있었고 밀폐된 공간이 아니었기 때문에 유해가스의 농도가 적게 나온것으로 판단되며 만일 작업자가 밀폐되고 환기가 제대로 되지 않는 작업 공간에서 용접작업을 하였을 때에는 유해가스의 농도는 훨씬 올라갈 수도 있을 것으로 판단된다.

5. 용접흙의 입자별 분포

모 기능 대학에서 CO₂ 가스 아크 용접시 발생하는 용접흙의 입자크기를 Particle Analyzer(ELZONE 280PC)로 측정해본 결과 입자의 갯수를 기준으로 하였을때 그림 3과 4 에서와 같이 총 용접흙의 직경 분포를 대수정규분포와 대수정규누적분포로 나타낼 수 있었으며 용접흙의 입자가 입자의 갯수를 기준으

로 할때 대수정규분포하고 있음을 알 수 있었다. 이때의 용접흙 입자의 기하 평균은 1.26 μ m이었고, 기하표준편차는 1.51로 나타났으며 입자의 무게를 기준으로하였을 때에는 용접흙 입자의 기하 평균은

Table 7. Gas concentration during welding process

Type of Manufacturing	Working Site	No. of Sample	Mean of Gas Concentration(ppm)	
			NO ₂	O ₃
H Ship/B	Hull/A	8	0.02	0.01
D Ship/R	Holder	4	0.01	0.01
S Container/M	Welding	5	0.01	-
U Car A/M	Deck	3	0.03	-

(Ship/B : Ship Building, Ship/R : Ship Repairing,
Container/M : Container Manufacturing,
Car A/M : Car Accessory Manufacturing)

3.62 μm 이었고 기하표준편차는 2.06 이었다.

입자의 무게를 기준으로 하였을 때는 그림 5와 같이 나타났다. 그림 3과 5에서 볼 수 있는 것과 같이 용접흄 입자의 갯수를 기준으로 할 때는 거의 무시되었던 입자가 무게를 기준으로 하였을 때에는 전체무게에 상당한 부분을 차지하고 있음을 나타내었으며 용접흄 입자의 경우 상대적으로 미세한 입자가 많다는 것을 나타내고 있다. 일반적으로 호흡성 분진의 직경분포는 size-selective sampling (ACGIH, 1992)을 적용하여 측정하고있다(윤영노와 김영식, 1989).

또한 주사전자현미경 (SEM: Scanning Electron Microscope, JEOL 5410LV)을 이용하여 CO_2 가스아크용접 (110A, 23V)시 발생하는 용접흄을 필터로 포집하여 전처리를 한 다음 7,500배로 확대하여

찍어본 결과 그림 6에서와 같이 약 7 μm 이하의 불규칙적인 작은 입자로 형성되어 있는 것으로 나타났다.

용접흄의 대부분이 호흡성분진이기 때문에 폐의 가스교환부위 (gas-exchange region)에 침착된다고 볼수 있으므로 고농도의 용접흄에 오랫동안 폭로될 경우 작업자의 폐포에 침착되어 철폐증 (siderosis) 등의 직업병에 걸릴 우려가 큰 만큼 철저한 작업환경관리 및 작업자 보호를 위한 조치가 취해져야 할 것이다.

6. 이동식 팬(portable fan)을 이용한 용접흄 폭로 저감 효과

선박전조 및 수리업 작업장의 경우 다른 업종처럼 작업이 옥내에서 고정되어 작업하는 경우가 아니고

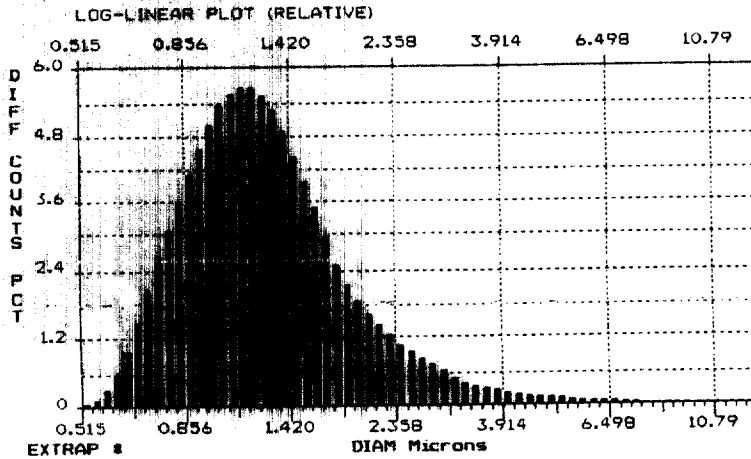


Fig. 3. Counts distribution of total welding fume log-linear plot.

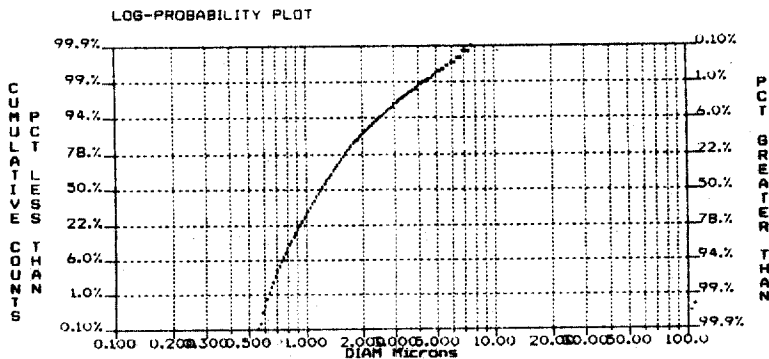


Fig. 4. Counts distribution of total welding fume log-cumulative probability plot.

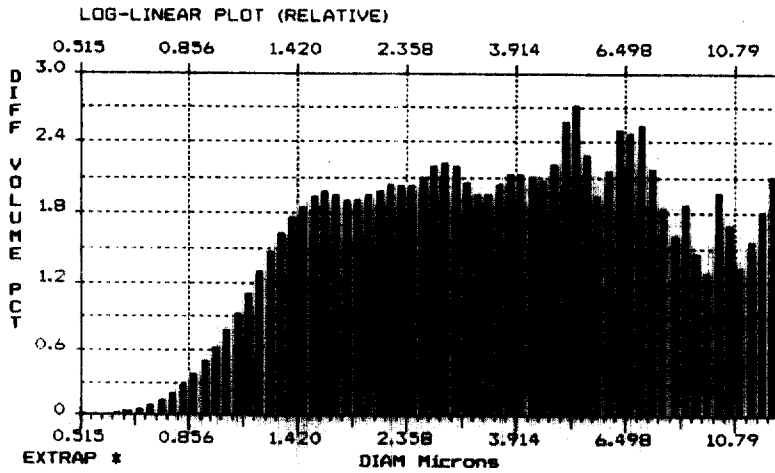


Fig. 5. Volume distribution of total welding fume log-linear plot.

선박 안 혹은 옥외에서 작업하기 때문에 국소배기 시설 환기시설을 설치하기 어렵다. 따라서 조선업의 경우에는 이동식 국소배기를 이용할 수 밖에 없다. 본 연구에서는 간단하며 가벼운 이동식 팬을 이용하였을때 용접흙의 저감효과가 얼마나 있는지를 모기능 대학의 용접과 작업장에서 실험을 하였다.

그림 7은 이동식 팬을 사용하여 발생하는 용접흙을 배기하여 주었을 때의 모습이며 그림 8은 발생하는 용접흙을 이동식 팬을 이용하여 불어 주었을 경우 모습이다. 그림 9는 용접 실험한 부위를 나타낸 것이며 이동식 팬을 사용하여 실험한 후 용접된 부위가 잘 용접되었는 가를 용접 전문가가 검사한 결과 이상이 없는 것으로 나타났다.

표 8에서 볼 수 있는 것과 같이 팬을 틀지 않았을 때에는 용접흙의 기하평균은 43.73 mg/m^3 ($31.68 - 99.52 \text{ mg/m}^3$) 이었고 작업자 방향으로 작업자의 용접 부위에서 약 60cm 정도 떨어진 곳에서 이동식 팬을 이용하여 약 $60 \text{ m}^3/\text{min}$ 의 풍량으로 불어주어 발생 용접흙을 비산시키는 방법을 사용할 경우 22.81 mg/m^3 ($9.85 - 85.64 \text{ mg/m}^3$) 으로 팬을 틀지 않았을 경우보다 약 47.8% 정도 덜 폭로되었고 또한 이동식 팬을 이용하여 위와 같은 풍량으로 발생 용접흙을 배기하였을 경우에는 용접흙의 작업자에 대한 폭로농도는 12.38 mg/m^3 ($8.98 - 17.16 \text{ mg/m}^3$) 으로 거의 이동식 팬을 틀지 않았을 경우보다 약 71.7% 정도 폭로가 저감되었다. 이때 용접흙이 발생하는 지점에서 제어속도(포집속도)를 제어 본 결과 $0.3 - 0.4 \text{ m/sec}$



Fig. 6. The photograph of CO₂ arc welding fumes by SEM($\times 7,500$)

Table 8. The reduction effect of welding fume by portable fan

Type	No. of Sample	GM(mg/m^3)	GSD	Range(mg/m^3)
Ventilation off	7	43.73	1.52	31.68-99.52
Ventilation on				
exhaust	7	12.38	1.32	8.99-17.16
blowing	7	22.81	1.99	9.85-85.64

로 나타났다. 바람을 불어 용접흙을 비산시키는 방법의 경우에 기하표준편차가 1.99로 다른 방법에 비해 비교적 높은 이유는 바람이 불규칙적으로 불기 때문에 부분적으로 용접자에게 과폭로 될 수가 있음을 나타내어 주고있다. 또한 이 결과를 SAS 통계프로

었으나, 이동식 팬을 사용하지 않았을 경우와 팬을 이용하여 불어 주었을 경우는 $P=0.18$ 로서 95% 신뢰 수준에서 유의한 차이를 보이지 않았다.

고 찰

용접흄은 용접시 열에 의해 증발된 물질이 생기는 미세한 소립자(WES-9002-1976, 日本溶接協會規格)로 이중에 함유된 금속산화물은 급성이나 만성의 독성을 가지고 있어 직업병을 유발시킨다(L.J. Cralley et al., 1985 ; G. b. Clayton et al., 1978). 역사적으로는 1887년 Benardos에 의한 탄소아크용접의 발명에 이어 1891년 Slavianoff에 의한 금속아크용접의 발명에 의하여 공업계에 보급되기 시작한 이래 용접기술은 근대 공업의 기간 공작기술로서 비약적인 발전과 개발이 진행되었다(溶接, 日本産業衛生學會, 産業保健(II), 1985).

근래에 산업분야에서 사용되고 있는 용접방법은 크게 분류하여 용융법과 비용융법이 있으며 열원의 종류에 따라 아크용접, Electro Slag 용접, 전자빔용접, 레이저용접, 가스용접, 저항용접, 압력용접, 납땜 등이 있다. 일반적으로 사용하고 있는 것은 아크용접으로 피복용접봉을 이용하는 피복아크용접, 가스실드 아크용접이나 접착로 가스 실드용접을 사용하는 비율이 증가하고 있으며, 용가선에 Flux를 봉입한 것도 개발되어 편리하기 때문에 이용되고 있다.

금속원소 등의 기기분석에 있어 시료를 열을 가해 산으로 처리하는 고전적인 방법은 열에너지로 열판으로 부터 받아 시료용기속에 있는 반응물로 전달하는 것이다. 기존에 사용하고 있는 NIOSH 공정시험 방법은 120℃ 이상의 열판위에서 처리하는 방법이 주로 사용되어 왔는데 대기압하에서 시료를 분해시키면 휘발성 원소의 손실이 있을 수 있고 처리도중 처리용기 밖으로 시료가 나갈 수 있으며 외부 대기로부터 오염이 쉽게 일어날 수 있다. 초음파를 이용한 시료의 전처리 방법은 시료를 고압에 견딜 수 있는 밀폐용기에 넣고서 단 시간안에 처리할 수 있는 장치이다. 그러나 시료에 따라 전처리 조건이 다를 수 있기 때문에 충분한 예비실험을 거칠 필요가 있으며 고압으로 처리하기 때문에 시료처리 조건이 안 맞을 경우 시료의 손실 및 안전에도 문제가 있을 수 있기 때문에 조심스럽게 작동하여야 한다.

Fig. 7. Working flame exhaust with portable fan.

Fig. 8. Working flame blowing with portable fan.

Fig. 9. CO₂ gas was worked place after ventilation.

그림의 상세비교-검정을 하여 본 결과, 이동식 팬을 사용하지 않았을 경우와 이동식 팬을 이용하여 배기하였을 경우는 $P=0.007 < 0.05$ 로 95% 신뢰수준에서 유의성을 가지고 차이가 있다고 할 수는 있

국립노동과학연구소(1984)는 전국 선박건조 및 수리사업장 9개소를 대상으로 조사한 공기중 용접흄 농도는 11.4-20.48 mg/m³로 나타났다고 보고하였으며 김광종과 송기창(1991)의 모조선업의 도크, 대조림, 선각공장의 용접흄 폭로 농도는 8.97-12.00 mg/m³이라고 보고하였으며 이는 본조사에서 소조립(선각공정)에의 폭로 농도 10.05 mg/m³(3.39-30.71 mg/m³)와 비교적 유사하였다.

Phoon, W. H. 과 Tan, K. T(1983)는 선박건조 작업장에서 용접작업 중 흡성분 중에 납(Pb)성분이 Fe 다음으로 0.27-0.38 mg/m³로 다량 검출되었다고 보고하였으나 본 연구에서는 용접 흄 중 납(Pb)성분은 0.01 mg/m³ 이하로 상당한 차이를 나타내었는데 이것은 용접재질 등의 영향인 것으로 생각된다.

Paik과 Goller(1985)는 helmet 착용에 의한 용접흄 농도의 감소율은 약 36-71%이 있다고 보고하였으며 용접공의 실제 폭로농도를 정확히 평가하기 위해서는 helmet안의 농도를 측정해야 한다고 하였다. 본 연구에서도 helmet안의 용접흄 농도를 측정하고자 하였으나 김광종 등(1991)과 마찬가지로 측정시 용접공의 작업에 지장이 초래되어 helmet안에서의 용접흄 농도 측정하지 못하였으나 가능한 한 용접자의 호흡기 가까이에서 용접흄 시료를 채취하였다. 작업자의 작업에 지장을 주지 않고 헬멧 안에서 측정할수 있는 시료채취구의 개발이 없는 한 작업현장에서 헬멧 안에서의 용접흄 시료를 측정하는 것은 어려울 것으로 생각된다.

결 론

선박건조 수리업, 컨테이너제조업 그리고 자동차 부품제조업의 일부 공정중 발생하는 용접흄에 대한 분석, 폭로농도 조사 및 이동식 팬을 이용한 용접흄의 저감효과를 실험한 결과는 아래와 같다.

1. 선박건조업 소조립장의 경우 총 용접흄의 기하평균농도가 10.05 mg/m³으로 선박수리업 3.78 mg/m³, 컨테이너제조업 2.46 mg/m³, 자동차부품 제조업 1.91 mg/m³ 보다 통계적으로 95 % 신뢰수준에서 유의하게 높았으며 용접흄의 허용기준을 훨씬 초과하므로 작업환경 개선 및 작업자 보호대책이 필요하다고 생각된다.

2. Microwave Oven을 이용하여 용접흄 시료를

전처리 하였을 때 1시간 이내에 전처리가 완료되었고 회수율도 93 %이상으로 양호하게 나타났다.

3. 용접흄에서의 금속성분 분석에 있어서 TOP를 이용한 결과 8가지 이상의 중금속에 대해 각 원소별 최적 분석파장을 선정하여 동시에 분석할 수 있었다.

4. CO 가스 아크 용접시 발생하는 오존(O₃)과 이산화질소(NO)에 대해서 측정하여 본 결과 O₃의 경우 0.01ppm, NO의 경우 0.01-0.03 ppm 미만으로 검출되었다.

5. 용접흄 입자크기를 재어본 결과 갯수 기준으로 하였을 경우는 입자의 기하평균은 1.26 μ m이고 기하 표준편차는 1.51로 나타났다.

6. 용접흄 폭로농도를 저감하기 위하여 용접작업시에 이동식 팬을 사용하여 작업자 앞에서 불어주었을 경우에는 약 47.8 %정도 저감효과를 보였고 용접자 전면에서 흡입하였을 경우는 약 71.7 %정도의 저감효과가 있는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- 장석호: 환경공파, 서울, 화중사, 33-35, 1987.
 김광종·송기창: 모 조선업 작업장의 공기중 용접흄 농도에 관한 조사, 한국산업위생학회지 1(1) 68-72, 1991.
 국립노동과학연구소: 용접·용단작업장의 유해환경 실태조사, 1984.
 노동부: 유해물질허용농도, 노동부고시 제 91-21호, 1991.
 박광수: 일부공업고등학교 용접작업장의 공기중 용접흄 농도와 환기시설의 효과; 서울대학교 보건대학원 석사 논문, 1987.
 이관섭·백남현: 용접작업 형태별 공기중 용접흄 농도와 금속성분에 관한 조사연구, 한국산업위생학회지 4(1) 71-81, 1994.
 西田龍法: 溶接ヒュームと防衛対策, 溶接学会誌, 62, 7, 1991.
 橋本平八郎: 労働環境中オゾンの健康影響について, 産業衛生学レビュー 4(4) 1993.
 八上亨司: 溶接, 産業保健(II) 287, 1985.
 八上亨司: 健康診断から見た問題点とその対策ね, 溶接技術 (1) 181-186, 1992.
 JIS Z 3950-1986(溶接 Fume 濃度の測定方法)
 ACGIH: Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices, 1992
 Britton, J. A. & Walsh, E. L.: Health Hazards of

Doig AT et al. : *X-Ray Appearance of the lungs of Electric Arc Welders*. *Lancet*, 230(1936) 771-775

Ferry J.J., Ginther G.B. : *Inert Arc Welding*, *Industrial Hygiene Quarterly*, 196 13(4) (1952)

Goller, J.W. & Paik, N.W. : *A Comparison of Iron Oxide Fume Inside and Outside of Welding Helmets*, *Am Ind Hyg Assoc J* 46:(1985) 89-92

Kaoru Ohmori : *Pulmonary Functions observed by means of Flow-Volume curve in welders exposed to ozone*, *Jpn. J. Ind. Health*, Vol. 23, 394 (1981)

Kellerman, T. : *Fumes and Gases in Welding with Basic (Lime-Bearing) Electrodes*, *Brit Weld J*, 3(1956) 196-200

NIOSH : *Manual of Analytical Methods*, 3rd, Method Number 7300 (1984)

Ohmori, K. et al : *Pulmonary functions observed by means of flow-volume curve in welders exposed to ozone*, *Jpn. J. Ind. Health*, Vol. 23, 1981

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