

용접작업 형태별 공기중 용접흡 농도와 금속 성분에 관한 조사연구

서울대학교 보건대학원 산업보건과학교실

이 권 섭 · 백 남 원

— Abstract —

Airborne Concentrations of Welding Fume and Metal Components by Type of Welding

Kwon Sup Lee and Nam Won Paik

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

This study was conducted to evaluate worker exposure to welding fume in automobile body shop and to evaluate metal components by type of welding. The results are summarized as follows:

1. Average concentrations of total welding fume without and with ventilation were 5.2 mg/m³ and 2.49 mg/m³, respectively. Thus, the average reduction rate of total fume by ventilation was 52.1 %.
2. The highest fume concentration was indicated at shielded arc welding, followed by CO₂ gas welding, argon arc welding, and spot welding in order of decreasing concentration.
3. Average respirable fume concentrations without and with ventilation were 2.97 mg/m³ and 1.64 mg/m³, respectively.
4. Further analysis of welding fume indicated that total fume consisted of Fe₂O₃, ZnO, Mn, Pb, and CuO, in order of decreasing amount. Combined effect of metals was below the American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)—Threshold Limit Values (TLVs).

서 론

용접은 2개 이상의 금속 재료를 열이나 압력을 가해 서로 접합시키는 금속 가공 방법이다. 고전

적인 합금 용접과 납땜 등에서부터 시작된 용접 기술의 발달은 1800년대에 발견된 아크 용접과 전기저항 용접으로 용접의 이용도가 증가되었으며, 1932년 Robinoff 등에 의해 발견된 불활성 가스 아크 용접법(inert gas arc welding)과 1953년 Ly-

va-bskii 등에 의해 발견된 탄산 가스 아크 용접법(CO₂ gas arc welding)이 공업화에 이용되면서 근대 공업의 비약적인 발전에 많은 도움이 되었다(강인찬, 1993).

용접 방법은 크게 용접(fusion welding), 압접(pressure welding), 납땜(soldering, brazing) 등 세 종류로 구분되는데 그 중 우리가 흔히 말하는 용접은 주로 용접을 말한다(박종수, 1987).

우리나라는 과거 30년동안 중화학 공업을 육성 발전시킴으로써 조선업 자동차제조업, 석유화학, 빌딩 건축업 등의 모든 기간 산업체에 용접 사용이 증가하게 되었으며(김광중 등, 1991), 용접 작업의 기술도 발전되어 그 이용 범위가 모든 금속 산업과 신소재 세라믹의 개발에까지 활용되고 있어 공업 발전에 막대한 영향을 미치고 있다(대한산업보건협회, 1989).

그러나 용접 작업은 우리가 원하지 않는 유해 환경 요인과 건강장해유발 등의 부작용도 갖고 있다(백남원, 1987; Zenz, 1988; Clayton과 Clayton, 1977). 용접 작업시 발생되고 있는 유해환경 요인으로는 용접흠, 산화철 분진, 각종 중금속 등의 입자상 물질과 자외선 등의 유해광선 및 NO, NO₂, CO, CO₂, O₃, Phosgene 등의 유해가스가 있으며(백남원, 1987; Morgan과 William, 1975), 이 중 특히 용접흠을 다량 흡입함으로써 폐조직이 섬유화되는 용접공폐증과 폐수종, 폐기종 및 만성 기관지염을 초래하여 호흡곤란, 기침, 흉통 등을 일으키며(윤임중, 1989) 연강재를 용접할 때 발생하는 철(Fe), 망간(Mn), 구리(Cu)와 스테인레스 강철을 용접할 때 발생하는 크롬(Cr) 및 아연(Zn), 납(Pb) 등이 도포된 강재의 용접시 발생하는 크롬, 아연, 납 등에 의해 각종 중금속 중독을 일으킬 수 있어 용접 작업에 대한 특별한 보건관리가 요청된다(노동부, 1984).

이와 같은 용접흠과 각종 중금속 등의 발생량은 용접 작업의 종류, 환기 시설의 유무, 작업장의 크기, 용접공의 작업 방법 등에 따라서 다르며, 체내에 흡입되어 각종 중금속 중독과 용접공 폐증을 유발하는데 관여하는 용접흠 자체의 특성은 공기중 농도 및 용접흠 내에 함유된 유해 성분 등에 의해 좌우된다.

따라서 본 연구에서는 용접 작업이 많이 이루어지고 있는 자동차 차체 생산공장에서의 용접 형태별 공기중 용접흠의 농도와 용접흠 내에 함유된 중금속 농도를 비교해 보고, 용접흠 발생량을 줄이기 위해 설치된 환기 시설의 효과를 평가하여 용접 작업장의 작업 환경 개선과 작업 근로자의 건강 보호 증진에 활용될 수 있는 기초 자료를 제공하는 것이 이 연구의 목적이다.

II. 조사대상 및 방법

1. 조사대상

본 연구는 1992년 3월 5일부터 9월 20일까지 용접 작업이 많이 이루어지고 있는 자동차 차체 생산공장의 용접 작업 근로자 52명을 대상으로 측정하였다.

대상 차체 생산공장의 작업공정은 B/S(body side), B/F(body floor), B/B(body build), B/C(body complet) 공정 등으로 구분되며, 각각의 작업 공정에서 이루어지고 있는 용접 작업의 형태로는 B/B공정의 피복아크용접(shielded arc welding), 아르곤용접(argon arc welding), CO₂용접(CO₂ gas arc welding)과 B/S, B/F 공정의 CO₂ 가스용접, Spot용접(spot welding), B/C공정의 납땜(soldering)작업 등이 있었으며, 이들 공정에는 용접 형태에 따라 각각의 국소배기 설비가 설치되어 있었다.

표1은 작업 공정별 용접 형태 및 국소배기 형태를 나타낸 것이다.

2. 조사방법

1) 시료채취

총 용접흠(total welding fume)농도와 호흡성 용접흠(respirable welding fume)을 측정하기 위한 시료 포집을 위해 직경 37mm 0.8 μ m pore size cellulose ester membrane 여과지(Nuclepore, Costar, USA)를 three piece cassette에 고정시킨 후, 개인용 시료 포집 펌프(HFS, Gilian, USA)에 연결하여 용접작업중인 근로자의 호흡 위치에서 240-360 분간 시료를 포집하였다. 시료 포집시 유량은 총 용접흠이 1.8-2.3 lpm이었고, 호흡성

Table 1. Type of Welding and Local Exhaust by Work-site

Work site	Types of Welding	Type of Local Exhaust System
Body Build	Shield Arc W.	Canopy Hood
	Argon Arc W.	Canopy Hood
	CO ₂ Gas Arc W.	Flexible Duct
Body Side	CO ₂ Gas Arc W.	Flexible Duct
	Spot W.	Flexible Duct
Body Floor	CO ₂ Gas Arc W.	Flexible Duct
	Spot W.	Flexible Duct
Body Complet	Soldering	Enclosing Hood

Table 2. Analytical Condition of Atomic Absorption Spectrophotometer by Metal

Condition	Metal				
	Zn	Mn	Cu	Fe	Pb
Lamp current (mA)	5.0	5.0	3.0	7.0	5.0
Slits width (nm)	0.5	0.2	0.5	0.2	1.0
Wavelength (nm)	213.9	279.5	324.7	248.3	217.0
Air pressure (kg/cm ²)	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8
Acetylene pressure (kg/cm ²)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7

용접흡은 1.6-1.8 lpm 이었으며, 측정 전·후에 실시한 유량 보정(calibration)은 비누거품법으로 실시하였다.

호흡성 용접흡을 측정하기 위한 입경 분리는 10mm nylon cyclon(Gilian, USA)을 사용하였으며, 총 용접흡과의 농도 차이를 비교하기 위해 총 용접흡 측정 조건과 동일한 조건으로 시료를 채취하였다.

2) 용접흡량 분석

시료 포집 전의 모든 여과지를 desiccator에 넣어 24시간 동안 보관, 건조 시킨후 실험실 내에 설치된 electronic auto balance(0.01mg, 40SM-200A, Precisa, SWITZERLAND)를 사용하여 평량한 후 tree piece cassette에 담아 고정시키고, 고유 번호를 부여하여 10개당 1개를 Blank로 하고 나머지는 시표 포집에 사용하였다.

시료를 포집한 여과지는 시료 포집전 여과지의 전처리 방법과 같은 방법으로 처리하여 평량한 후 blank로 사용한 여과지 무게 변화를 보정하여 시료 포집 전, 후의 여과지 중량의 차를 구하여 유량으로 나누어 용접흡량을 산출하는 중량분석법에 의하여 계산하였다.

3) 용접흡 내의 중금속 분석

시료 내에 함유된 중금속의 분석은 NIOSH 공정시험법 7300방법에 의한 ashing acid(HNO₃+HClO₄=4:1(V/V)와 dilution acid(ashing acid 50ml+중류수 950ml)로 전처리 하였다(NIOSH, 1984). 전처리 시에 사용된 초자기구는 nitric acid로 세척하여 중금속을 제거하여 사용하였고, 검량선 작성에 사용된 standard solution은 Sigma제를 사용하였다. 각각의 중금속 분석은 원자흡광광도계(GBC 902, USA)를 Table 2와 같은 조건으로하여 분석하였으며, 용접흡량 포집시의 blank 여과지를 공시험치로 하여 농도의 계산시에 보정하였고, 분석된 Zn, Cu, Fe 등의 농도는 환산계수(conversion factor)를 사용하여 산화된 공기 중의 ZnO, CuO, Fe₂O₃ 농도로 산출하였다.

III. 조사결과 및 고찰

1. 용접 형태별 공기 중 용접흡 농도

자동차 차체 생산공장에서 측정된 용접흡 농도는 표 3, 표 4, 및 그림 1과 같다.

현재까지 알려진 연구 결과에 의하면 공기 중

Table 3. Airbone Concentration of Total Welding Fume by Ventilation and Type of Welding

Type	No of Samples by Fume Concentration, mg/m ³				Total No. of Samples
	>1.99	2.00-4.99	5.00-9.99	10.0<	
Ventilation Off					
Shielded A.W.	1	4	5	4	14
Argon A.W.	1	3	4	-	8
CO ₂ Gas W.	1	5	7	2	15
Spot W.	2	2	4	-	8
Total	5	14	20	6	45
Ventilation On					
Shielded A.W.	1	7	3	-	11
Argon A.W.	4	3	2	-	9
CO ₂ Gas W.	3	6	3	-	12
Spot W.	4	7	1	-	12
Total	12	23	9	-	44

Table 4. GM and GSD of Airborne welding Fume Concentrations by Type of Welding with and without ventilation

Type of Welding	No. of Samples	Total Welding Fume Concentration			Reduction Rate (%)
		GM (mg/m ³)	GSD	Range (mg/m ³)	
Ventilation Off (C₁)					
Shielded A.W.	14	6.63	2.09	1.27-16.63	-
Argon A.W.	8	4.70	1.67	1.60- 8.50	-
CO ₂ Gas W.	15	5.56	1.72	1.50-11.10	-
Spot W.	8	3.31	2.22	1.00- 8.00	-
Average	45	5.20	1.94	1.00-16.63	-
Ventilation On (CO₂)					
Shield A.W.	11	3.11	1.87	0.84- 7.82	53.1
Argon A.W.	9	2.04	2.42	0.50-5.36	56.6
CO ₂ Gas W.	12	2.90	1.84	0.82- 6.60	47.8
Spot W.	12	2.02	2.06	0.40- 6.00	38.9
Average	44	2.49	1.99	0.40- 7.82	52.1

의 용접흡, 분진 등의 입자상 물질들은 대수 정규 분포(lognormal distribution)를 한다고 보고되어 있으며(sterm 등, 1984; ACGIH, 1977), 본 연구의 총 용접흡 농도도 그림 1에서 보는 바와 같이 각 농도의 분포가 직선의 경향을 띠는 대수 정규분포를 하고 있어 기하평균(geometric mean, GM)과 산포도로서 기하표준편차(geometric standard deviation, GSD)를 각각 구하였다.

기하표준편차(GSD)=

대수정규분포의 84%에 해당하는 농도치
대수정규분포의 50%에 해당하는 농도치

표 3에서 보는 바와 같이 용접작업 중인 근로자의 호흡위치에서 측정된 총 용접흡 농도중 국소배기 시설을 가동하지 않은 조건에서 측정된 시료 45개중 26개시료(약 57.8%)가 우리나라 허용농도와(노동부, 1991) 미국 ACGIH(American

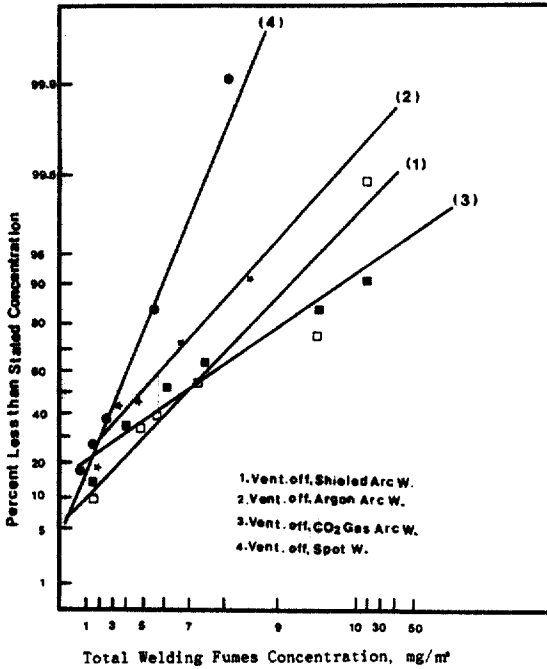


Fig. 1. Distribution of Airborne Concentrations of Total Welding Fume by Type

Conference of Governmental Industrial Hygienists)가 제안한 총 용접흡의 허용농도(ACGIH, 1992) 5.0 mg/m³을 초과하였는데 이는 김 등이 보고한 조선업에서의 허용농도 초과 건수 88.0 % 보다는 낮은 수준이었다(김광종 등, 1991).

용접 형태별로는 피복아크용접이 14개 시료중 9개(약 64.3 %)의 시료가 허용농도를 초과하여 가장 높은 수준이었고, 아르곤용접과 Spot용접은 시료 8개중 4개(약 50 %)가 허용농도를 초과하고 있어 가장 낮은 수준이었다. 국소배기 시설을 가동하고 작업하는 조건에서 허용농도를 초과하는 시료수는 전체 44개 시료중 9개시료(약 20.5 %) 정도였다.

표4는 표3에서 나타난 농도분포를 간략하게 대표치인 기하평균과 산포도인 기하표준편차를 나타낸 것으로 국소배기 시설을 가동하지 않았을 때의 공기 중 총 용접흡 농도는 5.20(1.00-16.63) mg/m³으로 허용농도를 초과한 수준이었으며, 이는 김 등이 보고한 조선업에서의 공기 중 총 용접흡 농도 9.73 mg/m³보다 낮은 수준이었고(김광종과 송기창, 1991), Paik 등이 조사한 기차 제조

공장에서의 공기 중 용접흡 농도 약 5.0 mg/m³ 보다는 높은 수준이었다(Goller와 Paik, 1987).

용접흡 형태 별로는 피복아크용접이 6.63(1.27-16.63) mg/m³으로 허용 농도 5.0 mg/m³을 초과한 가장 높은 수준으로 박이 보고한 피복아크 용접에서의 공기중 용접흡농도 4.30(3.48-9.85) mg/m³보다 높은 수준이었으며, Spot용접과 아르곤용접은 각각 3.31(1.00-8.00) mg/m³과 4.70(1.60-8.50) mg/m³으로 허용농도 보다 낮은 수준이었다(박종수, 1987).

국소배기 시설을 가동하고 있는 조건에서 측정된 공기 중 용접흡 농도는 2.49(0.40-7.82) mg/m³으로 허용농도 이하인 수준이었으며, 모든 용접작업 형태에서의 공기 중 용접흡 농도 또한 허용농도 보다 낮은 수준이었다.

국소배기 시설의 효과를 평가하기 위하여 계산한 용접흡의 감소율(reduction rate)은 다음 식을 이용하여 계산하였다.

$$\text{감소율(\%)} = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100$$

여기서 C₁은 국소배기 시설을 가동하지 않았을 때의 공기 중 용접흡 농도이고, C₂는 국소배기 시설을 가동하였을 때의 공기 중 용접흡 농도이다.

표4에서 보는 바와 같이 용접형태별 구분에 의한 용접흡 감소율의 전체 평균값의 52.1 %였으며, 용접형태별 감소율은 아르곤용접과 피복아크용접이 각각 56.6 %와 53.1 %로 높은 수준이었고, CO₂ 용접과 Spot 용접이 47.8 %와 38.9 %로 낮은 수준이었는데, 이러한 용접흡 감소율의 차이는 용접형태 별로는 구분되어 설치된 국소배기 시설의 형태와 성능 등의 차이에 의한 것으로 생각되었다.

국소배기 시설의 가동 상태에 따른 용접흡 농도 차이를 비교하기 위한 통계처리로 t-검정한 결과, 국소배기 시설의 가동 전·후 구분에 의한 두 시료의 농도간에는 매우 유의한 차이가 있었다.(p<0.05).

2. 공기중 총 용접흡 농도와 호흡성 용접흡 농도의 비교

1) 용접형태별 공기중 호흡성 용접흄 농도

표5는 용접형태별 공기중 호흡성 용접흄의 농도를 기하평균과 산포도인 기하표준편차로 나타낸 것으로 국소배기 시설을 가동하지 않았을 때의 공기중 호흡성 용접흄의 농도는 2.97(0.60-8.60) mg/m³ 정도였고, 전체 시료중 허용농도를 초과한 건수는 전체 33개 시료중 10개 시료(약33.3%) 정도였으며, 용접형태별로는 퍼복아크용접과 CO₂ 용접의 농도수준이 각각 3.81 mg/m³과 3.37 mg/m³으로 높은 수준이었으며, 아르곤용접과 Spot용접의 농도수준의 각각 2.48 mg/m³과 1.66 mg/m³으로 낮은 수준이었다. 또 국소배기 시설을 가동하고 있는 조건에서 측정된 공기중 호흡성 용접흄 농도는 1.64(0.43-5.52) mg/m³으로, 이는 Evans 등이 보고한 호흡성 용접흄 농도 7.3 mg/m³보다는 매우 낮은 수준이었다. (Evans 등, 1979).

2) 총 용접흄 농도와 호흡성 용접흄 농도의 비교

국소배기 시설의 가동 상태에 의한 용접형태별 총 용접흄에 대한 호흡성 용접흄의 함유 비율을 나타낸 결과는 표6 및 그림2와 같다.

표6에서 보는 바와 같이 국소배기 시설을 가동하지 않은 상태와 국소배기 시설을 가동한 상태에서의 총 용접흄에 대한 호흡성 용접흄의 함유 비율은 각각 57.1%와 65.9%였으며, 이는 Ev-

ans 등의 보고한 총 용접흄에 대한 호흡성 용접흄의 함유비율인 70.6% 보다 조금 낮은 수준이었으나(Evans 등, 1979). 이러한 용접흄 함유 비율의 차이는 용접방법, 용접재료, 용접전류·전압 등의 용접조건에 많은 영향을 받고 있어 더욱 더 체계적인 많은 연구가 필요할 것으로 여겨진다.

용접형태별 구분에 의한 각 용접형태별 총용접흄에 대한 호흡성 용접흄의 함유 비율의 농도차이는 통계적으로 유의하지 않았다(P>0.1).

3. 공기중 용접흄 내에 함유된 중금속 성분과 농도

1) 용접 형태별 공기중 중금속 성분과 농도

공기중 용접흄을 채취한 54개 여과지에 함유된 5종의 중금속 성분의 농도를 분석한 결과는 표 7과 같다.

표7에서 보는 바와 같이 국소배기 시설을 가동하지 않은 상태에서의 각 중금속 성분의 기하평균농도는 Fe₂O₃: 1.062(0.29-4.44) mg/m³, ZnO: 0.154(0.02-0.96) mg/m³, Mn: 0.149(0.01-0.68) mg/m³, Pb: 0.016(0.005-0.370) mg/m³, CuO: 0.012(0.001-0.036 mg/m³)으로 이는 박이 조사한 환기 시설 미가동 시의 중금속 성분별 농도(4박중수,1987)와 비교하여 Fe₂O₃는 높은 수준이었고, 다른 중금속 성분은 낮은 수준이었으며,

Table 5. Airborne Concentration of Respirable Welding Fume by Type of Welding with and without ventilation

Type of Welding	No. of Samples	Respirable Fume Concentration		
		GM (mg/m ³)	GSD	Range (mg/m ³)
Ventilation Off				
Shielded A.W.	10	3.81	2.08	1.00-8.60
Argon A.W.	6	2.48	2.04	0.81-6.80
CO ₂ Gas W.	12	3.37	2.17	0.60-7.90
Spot W.	5	1.66	2.13	0.80-4.38
Average	33	2.97	2.12	0.60-8.60
Ventilation On				
Shielded A.W.	7	2.00	1.59	1.00-3.68
Argon A.W.	8	1.48	2.71	0.43-5.52
CO ₂ Gas W.	11	1.88	1.99	0.57-4.20
Spot W.	8	1.26	1.98	0.60-4.00
Average	34	1.64	2.02	0.43-5.52

Table 6. Comparison of Total Fume and Respirable Fume Concentration by Type of Welding

Type of Welding	GM of Total and Respirable Fume concentration, mg/m ³		Content (%) Resp. Fume ×100
	Total Fume	Respirable Fume	
Ventilation Off			
Shielded A.W.	6.63	3.81	57.5
Argon A.W.	4.70	2.48	52.8
CO ₂ Gas W.	5.56	3.37	60.6
Spot W.	3.31	1.66	50.2
Average	5.20	2.97	57.1
Ventilation On			
Shielded A.W.	3.11	2.00	64.3
Argon A.W.	2.04	1.48	72.5
CO ₂ Gas W.	2.90	1.88	64.8
Spot W.	2.02	1.26	62.4
Average	2.49	1.64	65.9

Phoon 등과 김 등이 조선소 용접 작업장에서 측정 조사한 중금속 성분별 농도 수준보다 낮은 수준이었다(Phoon과 Tan, 1983; 김광종과 송기창, 1991). 용접 형태별로 살펴본 조사대상 중 금속 성분의 총 농도수준은 피복아크용접 2.57 mg/m³, CO₂용접 1.71 mg/m³, 아르곤용접 1.14 mg/m³, Spot용접 0.86 mg/m³의 순으로 높은 수준이었다.

국소배기 시설을 가동하고 작업하는 조건에서

의 중금속 성분별 농도 수준 또한 Fe₂O₃, ZnO, Mn, Pb, CuO의 순으로 높은 수준이었으며, 용접 형태별로는 피복아크용접, CO₂용접, 아르곤용접, Spot용접 순으로 중금속 농도가 높은 수준이었다.

두가지 이상의 유해한 공기 오염물질을 발산하는 작업 공정인 용접, 자동차 수리, 폭발 작업, 도장, 락카칠, 주물작업 등에서 발생하는 각각의 유해분진, 흡, 유해가스 등은 혼합물질간의 유해성이 인체의 서로 다른 부위에 작용한다는 증거가 없는 한 인체에 미치는 유해작용이 가중되므로 각 물질의 독성을 개별적으로 평가하기보다는 두가지 물질의 복합적인 작용(combined effect)에 의한 상가작용(additive effect)을 고려하여 평가하여야 하며, 이와같은 혼합물의 기중농도는 다음 식에 의하여 산출하고, 그 수치가 1이상이면 허용농도를 초과한 것으로 판정한다(노동부, 1991; ACGIH, 1992).

$$\frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \frac{C_3}{T_3} \dots \frac{C_n}{T_n}$$

여기서 C는 각 화학물질의 측정농도이고, T는 각 화학물질의 허용농도이다.

표 7에서 보는 바와 같이 국소배기 시설을 가동하지 않았을 때와 가동하고 있는 조건에서의 중금속 혼합물의 평균농도와 허용농도 초과비율은

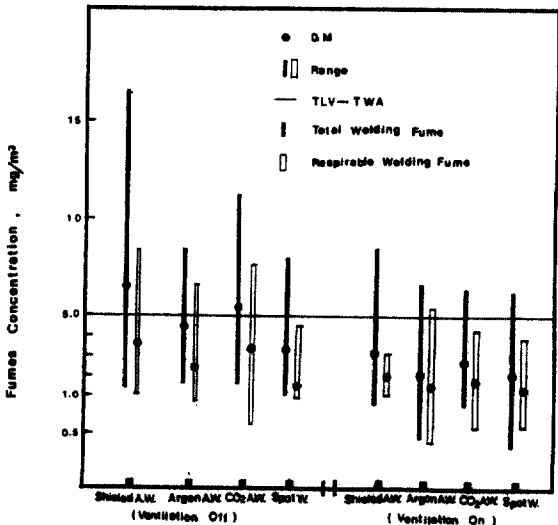


Fig. 2. Comparison of Total Fume and Respirable Fume Concentration by Type of Welding with and without Ventilation.

Table 7. Airborne Concentration of Metal Components by Type of Welding

Type Welding	No. of Samples	GM of Metal Component Concentrations, mg/m ³						Additive Effect (TLV of mixture)
		ZnO	Mn	CuO	Fe ₂ O ₃	Pb	Total	
Ventilation Off								
Shielded A.W.	7	0.327	0.503	0.023	1.674	0.023	2.573	1.29
Argon A.W.	7	0.183	0.117	0.012	0.818	0.014	1.144	0.53
CO ₂ Gas W.	8	0.155	0.160	0.013	1.365	0.015	1.708	0.69
Spot W.	8	0.068	0.078	0.006	0.698	0.014	0.864	0.38
Average	30	0.154	0.149	0.012	1.062	0.016	1.393	0.62
Ventilation On								
Shielded A.W.	5	0.264	0.208	0.024	0.802	0.016	1.314	0.77
Argon A.W.	6	0.092	0.054	0.010	0.500	0.007	0.663	0.32
CO ₂ Gas W.	7	0.100	0.120	0.012	0.636	0.013	0.881	0.47
Spot W.	6	0.049	0.040	0.006	0.415	0.012	0.522	0.27
Average	24	0.101	0.085	0.011	0.565	0.011	0.773	0.40
ACGIH TLV-TWA	-	5.0	1.0	0.1	5.0	0.15	-	1.00

Table 8. Comparison of Total Welding Fume and Total Metal Concentration by Ventilation off and on and Type of Welding

Type of Welding	No. of Samples	GM of Total and Respirable concentration, mg/m ³		Content Total Metal (%) ×100
		Total Fume	Total Metal	
Ventilation Off				
Shielded A.W.	7	5.56	2.57	46.2
Argon A.W.	7	4.70	1.14	24.3
CO ₂ Gas W.	8	5.31	1.71	32.2
Spot W.	8	3.31	0.86	30.0
Average	30	4.60	1.39	30.2
Ventilation On				
Shielded A.W.	5	2.77	1.32	47.7
Argon A.W.	6	1.89	0.66	34.9
CO ₂ Gas W.	7	2.78	0.88	31.7
Spot W.	6	2.52	0.52	20.6
Average	24	2.28	0.78	34.2

각각 0.62(13.3 %)와 0.40(4.2 %)이었으며, 용접형태별 구분에 의한 중금속 혼합물의 평균농도는 국소배기 시설 가동조건에 따라 Spot 용접이 0.38, 0.27로 가장 낮은 수준이었고, 피복아크용접은 각각 1.29, 0.77로 가장 높은 수준이었다. 따라서 중금속 혼합물의 농도가 높은 수준인 용접작업 공정에 대해서는 (국소배기 시설을 설치

한 후 지속적인 성능 관리와 점검활동을 통해) 국소배기 시설을 설치한 후 지속적인 성능 관리와 점검활동을 통해 국소배기 시설의 효율을 최대화하여 용접흡 발생량을 최소화할 수 있도록 하여야 하며, 용접작업중 작업 근로자의 용접흡 폭로를 줄이기 위해 호흡마스크, 용접헬멧(helmet)과 같은 개인보호장구를 반드시 착용하고 작업하도

록 하는 조치가 필요하다고 생각된다.

2) 용접흡 농도와 중금속 농도의 비교

표 8은 용접흡 내에 함유된 중금속 농도의 함유 비율(content)을 용접 작업 형태별로 나타낸 결과로 국소배기 시설을 가동하지 않은 상태에서의 용접형태별 중금속 농도와 함유비율은 피복아크 용접이 46.2 %로 가장 높은 수준이었고, 아르곤 용접과 Spot용접이 각각 24.3 %와 30.0 %로 낮은 수준이었으며, 국소배기 시설을 가동한 상태에서 측정된 용접흡 내에 함유된 중금속의 함유 비율에서도 피복아크용접이 47.7 %로 가장 높은 수준이었고, Spot 용접이 20.6 %로 가장 낮은 수준이었다. 이와 같은 결과는 Evans 등이 조사한 용접흡 내의 중금속 함유비율 61.0 % 보다는 모두 낮은 함유비율 수준이었으나(Evans 등, 1979), 용접흡 내의 중금속 함유비율이 높은 수준인 용접작업에 대해서는 용접흡에 대한 작업환경 측정시 총 용접흡과 더불어 중금속 농도도 함께 측정·평가하여 작업환경관리와 근로자 건강장해 예방에 이용될 수 있는 관리지표로 삼아야 할 것으로 생각된다.

IV. 결 론

본 연구는 1992년 3월 5일부터 9월 20일까지 자동차 차체 생산공장의 용접작업 근로자들을 대상으로 하여 국소배기 시설의 가동상태에 따른 용접형태별 공기중 용접흡 농도와 호흡성 용접흡 농도 및 용접흡 내에 함유된 각종 중금속 성분과 농도를 연구 조사한 것으로 결과는 다음과 같다.

1. 용접형태별 공기중 용접흡 농도는 국소배기 시설을 가동하지 않았을 때 5.20 mg/m^3 이었고, 국소배기 시설의 가동시의 농도는 $2.49 (0.40-7.82) \text{ mg/m}^3$ 이었으며, 용접형태별로는 피복아크용접, CO₂용접, 아르곤용접, Spot용접의 순으로 높은 수준이었다.
2. 국소배기 시설의 가동상태에 의한 용접흡의 농도 차이를 비교한 감소율의 전체 평균값은 52.1 %였으며, 국소배기 시설의 가동 전·후의 용접흡 농도 간에는 통계적으로 유의한 차이가 있었다. ($p < 0.01$)

3. 용접형태별 공기중 호흡성 용접흡의 농도는 국소배기 시설을 가동하지 않았을 때 기하평균이 $2.97(0.60-8.60) \text{ mg/m}^3$ 이었고, 국소배기 시설의 가동시의 기하평균은 $1.64(0.43-5.52) \text{ mg/m}^3$ 이었으며 총 용접흡에 대한 호흡성 용접흡의 함유비율은 국소배기 가동조건에 따라 각각 57.1 %와 65.9 %였다.
4. 공기중 용접흡 내에 함유된 중금속 성분은 Fe₂O₃, ZnO, Mn, Pb, CuO의 순으로 높은 수준이었으며, 용접형태별 금속성분의 함유비율은 피복아크용접, CO₂용접, 아르곤용접, Spot 용접의 순으로 높은 수준이었다.

참 고 문 헌

- 강인찬: 현대 용접 공학, 서울, 연경사, 1993, 11-17
김광중, 송기창: 모 조선업 작업장의 공기 중 용접흡 농도에 관한 조사. 산업위생학회지 1991:1(1): 68-72
노동부: 용접, 용단 작업장의 유해환경 실태 조사, 서울, 노동부 국립노동과학연구소, 1984, 1-25
노동부: 유해물질 허용농도, 노동부 고시 제91-21호, 노동부, 1991
대한 산업 보건 협회: 용접 작업 1. 산업보건 1989; 18: 18-46
박종수: 일부 공업고등학교 용접 작업장의 공기중 용접 흡 농도와 환기 시설의 효과, 서울, 서울대학교 보건 대학원 석사학위 논문, 1987, 1-12
백남원: 용접공과 용접흡의 폭로. 노동과학 1987; 29: 57-63
윤임중: 용접 작업에 대한 직업병 예방 대책, 서울, 노동부 국립 노동과학연구소, 1984, 1-25
American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH): *Air Sampling Instruments, 5th, Cincinnati, OH, ACGIH, 1977, 696703*
ACGIH: *Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices for 1992/1993, Cincinnati, OH, ACGIH, 1992*
Clayton GD, Clayton FE: *Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, New York, A Wiley Interscience Publication, 1977, 11721178*
Evans MJ, Ingle J, Molyneux MK, Sharp GTH: *An Occupational Hygiene Study of A Controlled Welding Task Using A General Purpose Rutile Electrode. Ann Occup Hyg 1979; 22: 117*
Goller JW, Paik NW: *A Comparison of Iron Oxide*

- Fume Inside and Outside of Welding Helmets. Am Ind Hyg Assoc J 1985: 46(2): 8993*
- Morgan, William WK: *Occupational Lung Diseases, New York, W.B.Saunders Company, 1975, 321334*
- National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH): *Manual of Analytical Methods, 3rd, Cincinnati, OH, DHHS(NIOSH) Publication No. 84100, 1984*
- Paik NW, Walcott RT, Brogan PA: *Worker Exposure to Asbestos during Removal of Sprayed Material and Renovation Activity in Buildings Containing Sprayed Material. Am Ind Hyg Assoc J 1983: 44(6): 428432*
- Phoon WH, Tan KT: *Welding Fumes In Shipyards. Occupational Health and Safety 1983: (1): 1925*
- Stern AC, Boubel RW, Turne DR, Fux DL: *Fundamentals of Air Pollution, 2nd., Oriando, Florida, Academic Press Inc, 1984, 219223*
- Zenz C: *Occupational Medicine, 2nd, Chicago, Year Bood Medical Publishers Inc., 1988, 547548*