

모 조선업 작업장의 공기중 용접흠농도에 관한 조사

고려대학교 의과대학 예방의학교실 및 환경의학 연구소

김 광종 · 송 기창

—Abstract—

A Study on the Concentration of Welding Fume in a Shipbuilding Factory

Kwang-Jong Kim, Ki-Chang Song

*Department of Preventive Medicine and Institute for Environmental Health,
College of Medicine, Korea University*

The present investigation studied the welding fumes produced during the arc welding process at a shipyard. The air at the shipyard was sampled (between February and May, 1990) to determine the total welding fume concentration, its heavy metal content and the concentrations of different sized particles of the welding fumes.

The results were as follows:

1. Forty-four out of 50 samples showed welding fume concentrations which exceeding the threshold limit value of $5\text{mg}/\text{m}^3$. The geometric mean of welding fume concentration was $9.73\text{mg}/\text{m}^3$ ($2.14\text{--}24.86\text{ mg}/\text{m}^3$), and the highest level was found at the dock assembly shop ($12.0\text{mg}/\text{m}^3$).
2. The welding fume concentration measured with personal air sampler was 4.2 times greater than that measured with area sampler.
3. Of the heavy metals analyzed, Fe was found to be the most concentrated at $1.29\text{mg}/\text{m}^3$; it constituted 13.3% of the total welding fume concentration.
4. Of the different sized particles that make up the welding fumes, there was a tendency for the smaller particles to be more concentrated.

Particles that measured 7μ or less in diameter constituted 85.8% of the total welding fume concentration.

서 론

우리나라는 과거 30여년동안 중화학공업을 육성 발전 시키므로써 조선업, 자동차 제조산업, 석유화학, 빌딩건축업등의 모든 기간산업체에 있

어서 증가된 용접 사용을 동반하게 되었다.

우리나라의 선박건조및 수리 사업장은 286개 사업장으로 63,511명의 근로자가 종사하고 있으며 대부분의 근로자가 용접 작업에 종사하고 있다(노동부, 1984). 이와같이 조선업에서 대부분의 근로자가 주로 용접작업을 수행하므로써 발생

되는 주요 유해 환경 요인으로서는 용접흄, 분진, 산화철을 비롯한 각종 중금속등의 입자상물질과 오존, 이산화질소, 일산화탄소, 포스젠(Phosgen)등의 가스상물질, 자외선등의 유해광선등이 있으며(Zenz, 1988), 이중 특히, 용접흄을 다량 흡입하므로써 폐수종(Benton등, 1966, Kleinfeld 등, 1980), 만성기관지염과 폐기종(Oxhoj등, 1979, WHO, 1980), 용접공폐증(Attfield와 Ross, 1978), 섬유폐증(Friede와 Rachow, 1961), 등의 만성폐질환을 유발시키며 피용접물질에 피막된 도료의 성분에 따라 연중독(Zenz, 1988), 카드뮴으로 도금된 물체의 용접 또는 용단시에 카드뮴 중독(Beton등, 1966), 아연이 도포된 강재의 용접 또는 용단시에의 아연금속열(Ross, 1974)등의 중금속에 의한 공업중독을 일으킬 수도 있다. 이와같이 용접작업시 발생하는 용접흄의 발생량은 용접흄의 종류, 용접방법, 작업방법, 용접시 전류의 세기등에 따라서 다르며, 체내에 흡입되어 용접공폐증을 유발시키는데 관여하는 용접흄 자체의 특성은 용접흄의 입경분포, 공기중 농도, 용접흄의 유해 성분등에 의해 좌우된다.

이에 본 연구는 많은 용접공이 근무하는 모 조선업에 대상으로 용접작업시 발생하는 공기중 용접흄의 농도, 용접흄의 중금속성분, 입자크기별 농도등을 파악하여 작업장의 환경개선에 기초자료를 제공하고자 본 조사를 실시 하였다.

조사대상 및 방법

1. 선박 건조 공정 및 대상

일반적으로 선박건조의 과정은 먼저 기본설계를 한후 합판으로 형태를 만드는 현도공정과 합판형을 이용하여 용접용단기로 철판을 절단하는 절단공정, 철판형을 이용하여 브릭을 조립하는 소조립공정(선각공장), 소조립된 각각의 브릭을 조립하여 선박의 형체를 만드는 대조립공정, 대조립한 브릭을 가공하고 조립시험하여 도장작업을 한후 취부공정(도크공장)을 거쳐서 각종 부품 기계등을 조립하는 외장공정, 검사배관 및 배전 공사를 거친 후 작동시운전, 해상 시운전등의 공

정으로 선박이 건조 되어진다.

본 조사대상은 경남지역에 소재한 대형선박을 건조하는 조선업으로서, 철판 절단 및 소조립공정인 선각공장, 대조립공장, 해상에서 선체조립을하는 도크 공장등 3개공장을 선정하여 용접작업시 발생하는 용접흄농도를 측정하였다.

2. 측정 방법

선각공장, 대조립공장, 도크공장등에서 평상작업시 용접작업을 한 근로자에게 개인시료 채취기(MSA, USA)에 부착된 분진 포집용 사이크론홀더에 glass fiber 여과지(Gelman type)를 장착하여 근로자 호흡기위치에서 약 1.5ℓ/min 유속으로 60분동안 5회이상 포집하였으며, 동시에 작업장내의 기중환경농도를 측정하기 위하여 low volume air sampler(Sibata, Japan)를 이용하여 약 20ℓ/min유속으로 5시간이상 측정하였다.

또한 용접흄의 입자별 농도를 알기 위하여 동일 측정지점에서 Andersom air sampler (Dylec, Japan)의 9 stage(0.08-30μm)의 분립장치를 이용하여 약 28.3ℓ/min유속으로 일정하게 유지하여 8시간 동안 포집 하였다.

3. 분석 방법

2) 용접흄량

시료포집전의 모든 glass fiber 여과지는 desiccator내에서 보관, 건조시킨후 electronic auto balance(0.01mg, Metteler, USA)를 이용하여 평량한 후 공기중 총 용접흄을 포집하였으며, 포집된 여과지는 50% 항습이 유지된 desiccator에서 하루 밤 지낸후 평량하였으며 총 용접흄량은 포집전과 후의 여과지 중량의 차를 구하여 유량으로 나누어 산출하였다. 이때 시료공기를 통과시키지않는 여과지는 공시험용으로 모든시료와 동일하게 처리하여 농도의 계산시에 보정하는데 사용하였다.

2) 용접흄내의 중금속 분석

포집한 여과지에서 용접흄량을 산출한후, 동 여과지를 질산과 과염소산으로 전처리하고 DD-TC-MIBK용매로 추출한 시료를 원자흡광광도계(Shimadzu 630-11, Japan)를 이용하여 Pb는 283.3, Fe는 248.8, Cu는 324.7, Zn는 213.9nm의 파

장에서 분석하였다. 이때 분진 포집시의 공 여과지를 공시험치로하여 농도의 계산시에 보정하였다.

성적 및 고찰

1. 공기중 용접흄 농도

공기중 용접흄 농도 수준별 허용농도인 $5\text{mg}/\text{m}^3$ (노동부, 1989)이상을 초과한 측정건수는 총 50개 측정치중 44개(88.0%)로 나타났으며(Table. 1), 작업장별 공기중 용접흄량의 기하평균은 도크공장이 $12.0\text{mg}/\text{m}^3$ ($6.01-24.86\text{mg}/\text{m}^3$)로 가장 높았으며, 다음은 대조립공장, 선각공장이 각각 $9.42, 8.97\text{mg}/\text{m}^3$ 순이었으며 모두 허용농도를 초과하였다. 도크공장이 타 작업장에 비하여 높은 용접흄의 농도를 나타낸 결과는 선체 내부가 협소하고 밀폐된 공간에서의 용접작업, 또한 환기가 불량한 작업조건하에서 용접 작업을 하기때문이라 생각된다. 노동부(1984)는 1984년도 전국 선박조건 및 수리 사업장 9개소를 대상으로 조사한 공기중 용접흄농도는 $11.4-20.48\text{mg}/\text{m}^3$ 로 나

타났다고 보고하였으며, Oxhoj(1979)등은 모조 선업을 대상으로 공기중 용접흄량을 측정간결과 직업적인 건강수준 한계치인 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 를 초과한 작업장에서 근무한 용접공수는 전작업자중 반 이상이라고 보고하였으며, 본 조사의 결과와 유사하였다.

본 대상 업체의 1983년부터 1989년까지 7년간의 용접공에 있어서 연평균 진폐증 유소견율이(대한산업보건협회, 1983-1989)0.23%로 전국의 연 평균 유소견율 3.3%보다는 낮게 나타났으나 고농도의 용접흄에 폭로된 강도해보아 향후 용접 공폐증의 예방을 위해 적절한 작업환경 개선이 요구된다.

작업장내의 기중 유해물질 농도의 측정지점은 지역시료채취 및 개인시료 채취방법으로 구분했다. Table3은 지역시료채취와 개인시료 채취방법에 의한 공기중 용접흄량을 비교한 결과로서 개인시료 채취방법에 의한 기중농도는 지역채취 방법보다 4.2배 높게 나타났으며, 각 작업장에서 유사한 결과를 보였다.

Paik과 Goler(1985)는 기타 제조공장의 용접작업시 hemet안의 용접흄농도는 약 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 이었으며, hemet 착용에 의한 용접흄농도의 감소율은 약 36%—71%이었다고 보고하였으며 용접공의 실제 폭로정도를 정확히 평가하기 위해서는 hemet안의 농도를 측정해야 한다고 하였다. 본 연구에서도 개인시료 채취기를 사용하여 Paik과 Goller(1985)의 방법과 동일하게 hemet안의 용접흄농도 측정을 시도하였으나 시료채취기 사용이 적합하지 못하였고 측정시 용접공의 작업에 지장이 초래되어 적절한 개인 시료채취기 개발이 요망된다.

Table 1. Distribution of welding fume sample concentration in air

Fume concentration level (mg/m^3)	No. of Samples	%
—5.00	6	12.0
5.00—9.99	15	30.0
10.00—	29	58.0
Total	50	100.0

Table 2. Mean of Welding fume concentration in air at different working-sites

Working-site	No. of Samples	Fume concentration(mg/m^3)		
		A.M \pm S.D	G.M	Range
Hull assembly shop	27	11.27 ± 5.28	8.97	2.14—23.31
Unit assembly Shop	11	10.89 ± 5.62	9.42	3.41—18.21
Dock assembly shop	12	13.23 ± 6.16	12.00	6.01—24.86
Total	50	11.66 ± 5.78	9.73	2.14—24.86

A.M. \pm S.M.: Arithmetic Mean \pm Standard Deviation

G. M. :Geometric Mean

2. 용접흠중 중금속농도

공기중 용접흠을 채취한 50개 여과지에 대하여 중금속 성분의 농도를 분석한 결과는 Table 4와 같이 기중 Fe 농도의 기하평균은 1.29mg/m³로 가장 높았고 Zn 0.462mg/m³, Cu 0.031mg/m³, Pb 0.010mg/m³, Cd 0.0005mg/m³의 순이었고 또한

총용접흠량에대한 각 중금속 성분 비율은 Fe가 13.3%로 가장 높았고 Zn 4.7%, Cu 0.31%, Pb 0.1%, Cd0.005%순이었다.

용접흠중 중금속 성분에 관한 조사 결과는 Ox-hoj(1979)등, Kopoen(1981)등 Hewitt와 Gray(1983), Armstong(1983)등, Zarka(1985)에 의하여 제시 되었으나 용접방법이나 용접재료등에 따라

Table 3. Comparison of welding fume concentration between area air sampling and personal air sampling

Work-site	No.of samples	Area sampling	Personal sampling	Ratio (B/A)
		G.M.(A)	G.M.(B)	
Hull assembly shop	27	2.28	8.97	3.9
Unit assembly shop	11	2.14	9.42	4.4
Dock assembly shop	12	2.71	11.99	4.4
Total	50	2.33	9.73	4.2

G.M. : Geometric Mean

Table 4. Average concentration of selected metal elements in 50 welding fume samples

Elements	Concentration in welding fume(mg/m ³)		%
	Mean	A.M.±S.D.	
Fe	1.29	2.61 ±1.39	13.3
Cu	0.013	0.025 ±0.040	0.13
Pb	0.010	0.007 ±0.016	0.10
Zn	0.462	0.562 ±0.409	4.7
Cd	0.0005	0.0005±0.0003	0.005
Total Welding fume	9.73	11.66 ±5.78	

* : % = Concentration of heavy metal x 100/total welding fume concentratio

A.M.±S.M. : Arithmetic Mean±Standard Deviation

Table 5. Average concentration of different sized particles in welding fumes.

Stage No.	size range (μm)	Concentration(mg/m ³)	%
		Geometric Mean(n=10)	
0	(30) - 11	0.036	4.2
1	11 - 7.0	0.049	5.8
2	7.0 - 4.7	0.046	5.4
3	4.7 - 3.3	0.046	5.4
4	3.3 - 2.1	0.067	7.9
5	2.1 - 1.1	0.141	16.5
6	1.1 - 0.65	0.151	17.7
7	0.65 - 0.43	0.173	20.3
Backup filter	0.43 - (0.08)	0.143	16.8
Total		0.852	100.0

n : Number of samples for each stage plate

큰 차이를 보였으며 주요 성분은 산화철(Fe_2O_3)이며 이 성분 비율이 타 중금속 보다 가장 높은 수치를 나타냈었다.

3. 용접흡의 입경분포별 농도

용접작업장의 공기중 용접흡의 입자크기별 농도는 Table 5와 같이 입경의 크기가 작을수록 높은 농도를 나타냈으며, 7μ 이하의 호흡성분진의 농도는 총용접흡농도의 85.8%를 나타냈다.

이와같은 결과는 체내에 용접흡의 흡입량이 증가되어 폐포에서의 침착율이 높을 것으로 생각되며 이러한 작업환경하에서 장기간 폭로시에는 용접공폐증의 환자발생이 증가 될것으로 사료된다. 따라서 철저한 작업환경관리와 지속적인 건강관리가 이루어져야만 한다고 사료된다.

결 론

본 연구는 모 조선업에 있어서 용접 작업시 발생하는 공기중 용접흡의 농도 및 중금속성분, 입자크기별 농도를 평가하기 위하여 1999년 2월부터 5월까지 공기중 용접흡 농도를 측정하여 얻은 결과는 다음과 같다.

1. 공기중 용접흡의 허용농도인 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 을 초과한 측정건수는 총 50개 측정치 중 44개(88.0%)이었고, 용접흡의농도는 기하평균 $9.73\text{mg}/\text{m}^3$ ($2.14\text{--}24.86\text{mg}/\text{m}^3$)이었으며, 도크작업장에서 $12.0\text{mg}/\text{m}^3$ ($6.01\text{--}24.86\text{mg}/\text{m}^3$)로 가장 높았다.

2. 개인시료 채취방법에 의한 공기중 농도는 지역시료 채취방법보다 4.2배 높았다.

3. 용접흡중 중금속성분의 농도는 Fe가 $1.29\text{mg}/\text{m}^3$ 로 가장 높았고, 성분비율은 13.3%이었다.

4. 용접흡의 입자크기별 농도는 입경크기가 작을수록 높게 나타났으며 7μ 이하의 호흡성분진은 총 용접흡량의 85.8%이었다.

참 고 문 헌

- Armstrong C W, Moore L W, Hackler R L, Miller G B, Stroube R B: *An outbreak of metal fume fever. J Occup Med* 1983; 25: 886-887
- Attfield M D, Ross R S: *Radiological abnormalities in electric arc welders. Br J Ind Med* 1978; 35: 117-122
- Beton DC, Andrews Gs, Davies HJ: *Acute cadmium fume poisoning, five cases with one death from renal necrosis. Br J Ind Med* 1966; 23: 292-301
- Friede E, Rachow DO: *Symptomatic pulmonary disease in arc welders. Ann Intern Med* 1961; 54: 121-127
- Goller JW, Paik NW: *A comparison of iron oxide fume inside and outside of welding helmets, Am. Ind. Hyg. Assoc. J* 1985; 46: 89-93
- Hewitt PJ, Gray CN: *Some difficulties in the assesment of electric arc welding fume. An. Ind. Hyg. Assoc. J* 1983; 44: 727-732
- Kleinfeld M, Giel C, Tabershaw IR: *Health hazards associated with inert-gas-shield metal arc welding. AMA Arch Ind Health* 1980; 15: 27-31
- Koponen M, Gustafsson T, Kalliomaki PL, Lauri P: *Chromium and nickel aerosols in stainless steel manufacturing, grinding and welding. Am. Ind. Hyg. Assoc. J* 1981; 42: 596-601
- Oxhoj H, Bake B, Wedel H, Wilhelmsen L: *Effect of electric arc welding on ventilatory lung function. Arch Environ Health* 1979; 211-217
- Ross DO: *Welder's metal fume fever, J. Soc. Occup. Med.* 1974; 24: 125-129
- World Health Organization: *Early detection of chronic lung disease. EURO reports and studies 24. Copenhagen, WHO, 1980*
- Zenz C: *Occupational Medicine, 2nd Ed., Chicago, Year Book Medical Publishers Inc., 1988, 547*
- Zatka VJ: *Speciation of hexavalent chromium in welding fumes interference by air oxidation of chromium. Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1985; 46: 327-331
- 노동부: 유해물질의 허용농도, 노동부고시 제88-69호, 서울, 노동부, 1989
- 노동부: 용접, 용단작업장의 유해환경실태조사, 서울, 노동부 국립노동과학 연구소, 1984, 1-25
- 대한산업보건협회: 특수건강진단 종합연보, 서울, 대한산업보건협회, 1983-1989