철강용접자의 크롬 및 망간 노출평가와 산업위생관리 대책에 관한 연구

포항종합제철 보건관리팀, 계명대학교 공중보건학과1), 순천향대학교 환경보건학과2), 경산대학교 보건학부3)

이영세‡ · 윤종국1) · 박종안2) · 이송권3) · 채종홍 · 김억수

- Abstract-

Evaluation of Chromium and Manganese Exposure in Welders and Establishment of Efficient Preventive Measures for Fume Exposure

Young-Sei Lee‡ · Chong-Guk Yoon1) · Jong-An Park2)
Song-Kwon Lee3) · Jong-Hong Chae · Ek-Soo Kim
Health Care Center · Pohang Iron and Steel Company
Department of Public Health Keimyung University1)
Department of Environmental Health Science Soonchonhyang University2)
Department of Health Kyungsan University3)

Results of environmental monitoring for 35 steel industry welders exposed to manganese and chromium fume were evaluated. Efficiency of respiratory protectors, welding face shields and local exhaust ventilation were also evaluated to establish more efficient preventive measures that can protect welders from occupational disease as related to welding fume.

The results are as follows;

1. Total fume from CO_2 arc welding with mild steel occurred 1.5 to 2.2 times more than that from shielded metal arc welding. Chromium and nickel fume from welding with stainless steel occurred 27 to 59 times and 18 to 30 times, respectively, than those with mild steel.
2. Proportions of water-soluble chromium(VI) and insoluble chromium(VI) Compare to total chromium occurring from CO_2 arc welding with stainless steel were 10.5 % and 8.7 %, respectively, while those with mild steel were 57.1 to 63.2 % and 31.6 to 38.1 %, respectively.
3. The efficiencies of 4 types of respiratory protectors to reduce welding fume exposure were evaluated as 54.4 to 64.4 %.
4. The reducing effect of head type welding face shield was 67.6 %, and that of hand type welding face shield was 58.5 %. The highest reducing effect was shown in air supply welding face shield as 99.2 %, although it is not convenient to wear.
5. When welding face shield and respiratory protectors were worn together, the reducing efficiency increased to 79.0 to 87.5 %.
6. When local exhaust ventilation was installed in workplace, the reducing efficiencies varied from 31.5 to 73.1 % according to the types of welding.

접수일:1999년 9월 2일, 채택일 : 1999년

‡ 교신저자 : 경북 포항시 남구 동촌동 5번지 포항종합제철(주) 포항제철소 보건관리팀
Tel) 0562-220-7021, Fax)0562-220-4094, E-mail) 364201@posco.co.kr

Ⅰ. 서 론

산업의 급속한 발전에 따라 산업현장에서 부수적으로 발생되는 각종 유해물질은 근로자의 건강과 생명을 위협하고 있다. 특히 철구조물 제작업이나 조선업 등에서 주종을 이루는 용접작업은 작업환경이 열악할 뿐만 아니라 대부분의 작업장에서 근로자 건강보호 조치가 제대로 취해지지 않아 근로자들이 인체 유해한 용접흄 (망간 및 크롬 등)에 노출되고 있는 실정이다.

용접작업장에서 용접 시 발생되는 용접흄 중에는 망간, 크롬, 니켈 등의 금속성분이 발생되는데 이는 망간이 연강 및 특수강 등의 모재와 용접봉에 0.8 2.5 % 정도 포함되어 있고, 크롬은 특수강인 스테인레스강에 18.0 18.6 % 정도 포함되어 있기 때문이다. 용접작업은 대부분 수동작업이기 때문에 근로자들이 직·간접적으로 흄에 폭로되어 용접흄의 일부가 인체에 흡입이 되므로써 망간중독과 비중격천공 등 직업병을 일으키는 원인으로 추정되고 있다(산업보건연구원, 1998).

용접작업시에 발생하는 용접흄은 용접의 종류, 용접봉, 모재금속 및 전류 등 용접조건에 따라 총흄 발생농도가 다른 것은 물론 흄을 구성하는 철, 망간, 크롬, 니켈, 아연, 구리, 납 및 카드뮴 등의 금속의 조성도 다르다. 예를 들면 사용전류와 전압이 크고, 용접봉의 지름이 클수록 흄이 많이 발생하며, 용접봉의 극성이 직류 양전극(전극+)일 때가 직류 음전극(전극−)이나 교류일 때 보다 흄 발생량이 많다고 알려져 있다(ACGIH, 1984; Hewitt and Madden, 1994; Dennis *et al*., 1997).

American conference of governmental industrial hygienists(ACGIH, 1998)에서는 용접흄을 “A2 (suspected human carcinogen)”으로 규정하고 노출기준을 5 mg/m3으로 정하고 있으며, 우리 나라 노동부에서도 용접흄에 대한 노출기준을 5 mg/m3으로 같은 수준으로 정하고 있다.

우리 나라와 미국 기준간의 차이점은 우리 나라는 용접흄을 총 중량으로만 규정하고 있으나 미국의 경우는 발생되는 유해물질의 종류에 따라 다르게 기준을 정하고 있다. 즉, 미국의 용접흄 기준은 철, 아연 및 알루미늄 등을 대상으로 용접할 때에 적용할 수 있는 기준이며, 스테인레스강이나 카드뮴 또는 납이 함유된 철을 용접할 때는 독성이 강한 물질이 발생하므로 개별적인 물질에 대하여 허용기준을 별도로 적용하도록 하고 있다. 용접 중에 발생되는 유해인자에 대한 근로자의 건강유해평가는 용접의 특성에 따라 발생되는 유해인자 각각에 대한 노출평가를 하는 것이 바람직하다(WHO, 1981; NIOSH, 1988).

외국의 경우 용접작업장의 용접흄 농도 및 흄 중의 금속성분에 관한 연구가 일부 있으나 작업환경측정시 망간, 크롬 및 6가 크롬(수용성 및 불용성)을 세부적으로 평가한 사례는 드물다.

국내에서는 용접작업자의 흄 노출에 관한 연구보고(김광종과 송기창, 1991; 곽영순과 백남원, 1997; 신용철 등, 1997)는 다소 있으나 망간과 크롬을 수용성 및 불용성 6가 크롬으로 구분한 연구보고는 없었으며. 용접작업장에서 착용하는 각종 호흡용보호구 및 국소배기시설에 대한 작업환경 개선효과를 조사한 연구도 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 철강 용접작업자들이 철구조물 제작시 총 용접흄과 흄중의 주요 유해 금속인 크롬, 니켈, 망간 등에 어느 정도 노출되는지 작업환경농도를 측정평가 하였고, 용접시 착용하는 호흡용보호구의 종류에 따른 흄 차단효과와 국소배기장치 가동시 용접흄 감소 효과를 비교·분석하여 향후 근로자 건강 보호대책 수립을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

Ⅱ. 연구방법

1. 연구대상

본 연구는 1997년 9월부터 1998년 10월까지 대부

분 연강을 용접하고 일부는 스테인레스강과 같은 특수강을 용접하는 작업장을 대상으로 하였으며 용접의 형태는 주로 CO2 아크용접을 하지만 일부는 피복아크용접을 하는 철구조물 제작공장의 용접작업자 35명을 대상으로 용접흄의 발생정도와 노출농도를 평가하였다.

2. 연구설계 및 방법

1) 공기 시료 채취

작업자의 유해인자 노출평가는 작업환경측정 실시규정(노동부 고시 제 97-65호) 및 미국 산업안전보건연구소(national institute for occupational safety and health, NIOSH, 1994)의 공정시험법을 이용하여 실시하였다.

공기중 용접흄 시료는 공경이 작은 MCE(mixed cellulose ester) 여과지(직경: 37 mm, 공경: 0.8 ㎛)를 37mm 카세트에 넣고 개인포집기(personal air sampler, Gillian 사)에 연결한 후 작업자의 호흡영역에 착용하게 하여 분당 1 2ℓ의 유량으로 채취하였다. 용접흄 채취에 사용되는 MCE 여과지는 공경이 0.8 ㎛이지만 여과지의 공경 보다 적은 흄입자(0.01 1.2 ㎛)도 여과지와 입자사이에 작용하는 정전기에 의하여 포집할 수 있다(AWS, 1976; AIHA, 1998).

용접형태와 용접봉 종류에 따른 용접 총 흄 및 금속원소별 발생량에 미치는 영향을 측정하기 위해서는 용접실험실에서 용접을 하였다. 측정조건은 용접면 외부 호흡기 위치에 필터가 내장된 카세트를 부착하여 피용접체와 40 cm 정도 간격을 유지하면서 20분간 연속적으로 시료를 채취하였다. 이때 사용된 용접봉은 현대종합금속에서 제조한 호랑이표 용접봉 재료로써 wire 형태로 된 Flux(SF-71), SUS309 및 Solid(SG-1)와 rod 형태로 된 4301, 4316 및 5016 용접봉을 사용하였다.

마스크 종류별 용접흄 차단효과를 평가하기 위해서는 미국 NIOSH에서 실시하는 fit test 방법을 응용하여 사람대신 마네킹을 사용하였다. 마스크 내부로 들어온 흄 농도 측정은 마네킹 입 부위에 카세트 홀드가 들어갈 정도의 구멍(37 mm)을 뚫고, 필터가 내장된 카세트를 마네킹 입부위에 부착한 후 누설이 없도록 철저히 테이핑하여 마스크를 씌웠다. 또한 마스크와 마네킹 면체 접촉부위로 흄이 유입되는 것을 방지하기 위하여도 철저히 테이핑하였다. 시료채취는 개인시료채취기로 분당 2ℓ의 유량으로 시료를 채취하였다. 또한 마스크 외부의 흄 농도 측정은 마스크 외부면에 필터를 부착한 후 같은 조건으로 시료를 채취하였다.

용접면의 용접흄 차단효과 측정방법은 용접면의 외부와 내부의 호흡기 위치에 필터를 부착한 후 용접자가 용접면을 착용하고 피용접체와 용접면과의 거리를 40 45cm로 유지하면서 Flux(SF-71) 용접봉으로 30분간 연속으로 용접하는 동안에 용접면 외부와 내부에 포집된 흄의 농도를 비교·측정하였다.

국소배기장치 가동여부에 따라 흄 노출 감소효과를 비교하기 위해 측정조건은 용접면 바깥 호흡기 위치에 포집필터를 부착하여 시료를 채취하였다. CO2 아크용접의 경우 CO2 가스의 영향을 최소화하기 위하여 후드와의 거리를 40cm로 유지하면서 용접하였으며, 피복아크 용접시는 피용접체와 후드와의 거리를 30cm 이하로 유지한 상태에서 용접하였다.

2) 시료분석

용접흄 시료의 전처리는 포집된 여과지를 50 ㎖ 비커에 옮기고, 인산 3 ㎖, 황산 2 ㎖와 질산 0.5 ㎖를 가한 후 5분 동안 가열판 위에서 끓는 점 까지 가열하여 여과지와 포집된 용접흄을 회화하였다. 이 용액을 다시 냉각시킨 후에 25 ㎖ 용량 플라스크에 옮겨서 비저항 18 ㏁의 증류수로 최종 용량을 25 ㎖로 하여 분석하였다. 6가 크롬(수용성 및 불용성) 시료는 PVC 여과지(직경: 37 mm, 공경: 5.0 ㎛) 2개를 각각의 카세트에 넣어 개인포집기로 분당 1 2 ℓ의 유량으로 채취하였고, 수용성과 불용성 6가 크롬 측정을 위해서 별도로 전처리를 하였다. 수용성 6가 크롬은

여과지를 시험관에 넣어 0.5 N 황산으로 추출한 다음 0.5 ㎖ diphenylcarbazide 용액을 넣고 다시 0.5 N 황산으로 25 ㎖ 표선 까지 정확하게 희석하여 잘 혼합한 후에 분석시료로 하였다. 불용성 6가 크롬은 여과지를 50 ㎖ 비커에 넣고 추출용액(2 % NaOH - 3 % Na2CO3 5 ㎖)을 가하였다. 이 때에 3가 크롬의 산화를 방지하기 위해서 N2 가스를 서서히 흘려주었다.

시료는 원자흡수분광광도계(AAS, Varian 300 plus Australia)를 이용하여 분석하였으며, 기기 조건은 표 1과 같다.

Table1. Analytical conditions of atomic absorption spectrophotometer for airborne manganese and chromium

Items	Mn	Cr
Method	Flame	Flame
Wave length(㎚)	279.5	357.9
Slit width(㎚)	0.2	0.2
Lamp current(㎃)	5	7
Measurement mode	Integration	Integration
Background correction	Off	Off
Replicates	5	5
Gas type	Air-acetylene	N2O-acetylene

3. 자료분석 및 평가

자료분석은 SAS package(version 6.12) 프로그램을 이용하였으며 용접형태와 용접봉 종류에 따른 용접흄의 발생량, 보호구의 종류, 용접면의 형태 및 용접면과 마스크를 동시 착용시 용접흄 차단효과 등 차이검정을 위하여 ANOVA 분산분석을 하였으며 통계적 검정을 위한 유의수준은 $p<0.05$와 $p<0.1$에서 실시하였다.

III. 결 과

1. 용접형태와 용접봉 종류가 총 흄 및 금속원소 발생에 미치는 영향

CO2 아크 용접봉에 사용되는 Flux(SF-71), SUS 309, Solid(SG-1) 용접봉과 피복아크 용접에 사용되는 4301, 4316, 5016 용접봉의 총 흄 및 금속원소별 발생량에 차이가 있는지를 검정하기 위해 분산분석을 한 결과는 표 2와 같다.

CO2 아크 용접의 경우 용접봉 종류에 따라 총 흄 발생량을 비교해 보면 유의한 차가 있는 것으로 나타났으며($P=0.044$), 금속원소들도 대부분 유의한 차가 있는 것으로 나타났다. 피복 아크용접의 경우도 용접봉의 종류에 따라 총 흄의 발생량을 비교해 보면 유의한 차가 있는 것으로 나타났으며 ($P=0.0028$), 다른 금속원소들도 대부분 유의한 차가 있는 것으로 나타났다.

2. 용접흄 중의 총 크롬 대비 6가 크롬의 농도비

CO2 아크용접에서는 스테인레스강을 SUS309 용접봉으로 용접할 때 총 크롬이 7.294 ㎎/㎥으로 가장 많이 발생하였으나 총 크롬 대비 6가 크롬 비는 오히려 연강용접시의 발생비 93.9 96.8% 보다 훨씬 적은 수준으로 19.2%가 발생하였으며 통계적 검정결과 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.($p<0.05$) 총 크롬 대비 수용성 6가 크롬과 불용성 6가 크롬의 발생비는 스테인레스강에서 각각 10.5%와 8.7%이었으며, 연강에서는 각각 57.1 63.2%와 31.6 38.1%로 발생하여 수용성 6가 크롬이 불용성 6가 크롬 보다 많이 발생하는 것으로 나타났다. 피복아크용접에서는 CO2 아크용접과 비교할 때 총 크롬 대비 6가 크롬이 대체로 적게 발생하였으며, 총 크롬 대비 수용성 6가 크롬과 불용성 6가 크롬의 발생비도 다소 다르게 나타났다(표 3).

Table 2. Comparison of total airborne fume and metal compositions according to welding types and welding consumables

	CO2 arc welding(㎎/㎥)				Shielded metal arc welding(㎎/㎥)			
	Flux(SF-71) (n=15)	SUS 309 (n=15)	Solid(SG-1) (n=15)	P-Value	4301 (n=15)	4316 (n=15)	5016 (n=15)	P-Value
Total fume	62.521^{A} (100%)	41.12^{B} (100%)	32.06^{B} (100%)	0.044	13.03^{B} (100%)	14.63^{B} (100%)	39.76^{A} (100%)	0.0028
Mn	9.491^{A} (15.20%)	2.635^{B} (6.40%)	1.403^{B} (4.38%)	0.0001	0.357^{B} (2.74%)	0.309^{B} (2.11%)	1.516^{A} (3.81%)	0.0023
Cr	0.015^{B} (0.02%)	2.391^{A} (5.82%)	0.011^{B} (0.03%)	0.0001	0.016 (0.12%)	0.017 (0.12%)	0.023 (0.06%)	0.0756
Ni	0.018^{B} (0.03%)	0.547^{A} (1.33%)	0.031^{B} (0.10%)	0.0001	0.004^{B} (0.03%)	0.009^{B} (0.06%)	0.035^{A} (0.09%)	0.0001
Zn	0.028^{A} (0.05%)	0.016^{B} (0.04%)	0.013^{B} (0.04%)	0.0017	0.008^{B} (0.06%)	0.008^{B} (0.05%)	0.055^{A} (0.14%)	0.0001
Cu	0.048^{B} (0.08%)	0.079^{B} (0.19%)	0.184^{A} (0.57%)	0.0240	0.009^{B} (0.07%)	0.008^{B} (0.05%)	0.046^{A} (0.12%)	0.0010
Fe	15.526^{A} (24.76%)	3.039^{B} (7.40%)	16.068^{A} (50.10%)	0.0653	2.254^{B} (17.30%)	1.804^{B} (12.33%)	6.088^{A} (15.31%)	0.0162
Mg	1.242^{A} (1.99%)	0.054^{B} (0.13%)	0.067^{B} (0.21%)	0.0001	0.026^{B} (0.20%)	0.140^{B} (0.96%)	0.593^{A} (1.49%)	0.0001
Cd	0.006^{B} (0.01%)	0.014^{A} (0.03%)	0.007^{B} (0.02%)	0.0375	0.007 (0.05%)	0.005 (0.03%)	0.005 (0.01%)	0.2711
Pb	0.044^{A} (0.07%)	0.034^{A} (0.08%)	0.016^{B} (0.05%)	0.1276	0.041^{A} (0.31%)	0.058^{A} (0.40%)	0.014^{B} (0.04%)	0.0067
Others	36.103 (57.75%)	32.311 (78.60%)	14.260 (44.48%)	-	10.308 (79.11%)	12.272 (83.88%)	31.385 (79.94%)	-

Data; Mean(%),
A, B는 Duncan 사후검정 결과로 group간의 차이를 의미함

Table 3. Ratio of water-soluble and insoluble Cr(Ⅵ) concentration to total chromium in CO2 arc welding and shielded metal arc welding

Welding types		Total Cr(㎎/㎥) (range)	Cr(Ⅵ)(mg/㎥)		% of Cr(Ⅵ) /total Cr
			Soluble	Insoluble	
CO2** arc welding	Flux (n=6)	0.021 (0.019 0.022)	0.012 (0.010 0.017)	0.008 (0.006 0.009)	$96.80^{A}\pm10.47$
	Solid (n=6)	0.019 (0.11 0.026)	0.012 (0.011 0.013)	0.006 (0.005 0.008)	$93.94^{A}\pm18.45$
	SUS309 (n=6)	7.294 (6.640 7.786)	0.766 (0.689 0.843)	0.633 (0.622 0.648)	$19.18^{B}\pm 0.37$
Shielded** metal arc welding	4301 (n=6)	0.169 (0.075 0.253)	0.051 (0.046 0.022)	0.014 (0.012 0.016)	$44.83^{A}\pm19.87$
	4316 (n=6)	0.071 (0.064 0.078)	0.006 (0.005 0.007)	0.007 (0.005 0.008)	$17.92^{B}\pm 1.67$
	5016 (n=6)	0.036 (0.031 0.040)	0.007 (0.006 0.008)	0.009 (0.005 0.012)	$45.49^{A}\pm13.02$

Data; Mean(Range)
** ; $p<0.05$
A,B는 Duncan 사후검정 결과로 group간의 차이를 의미함

3. 호흡용 보호구의 종류에 따른 용접흄 차단효과

용접작업자가 주로 작업현장에서 착용하는 마스크 4 종류를 선정하여 마스크별 용접흄 차단효과를 평가하기 위해 용접작업장에서 용접흄을 발생시켜 마스크 안 · 밖의 흄 농도를 측정 · 비교한 결과 분진/미스트/흄용으로 시판되고 있는 A사 제품이 흄 차단효과가 64.4%로 duncan 사후검정 결과 가장 높게 나타났으며($p<0.1$), D사 (59.2%), C사 (58.0%) B사 (54.4%) 간의 차단효과 차이는 의미가 없는 것으로 나타났다.(표 4)

4. 용접면의 형태에 따른 용접흄 차단효과

산업장에서 주로 사용되고 있는 3가지 형태의 용접면에 대하여 용접흄 차단효과를 측정한 결과는 표 5와 같다. 많이 사용되는 형태인 머리부착형(head type) 용접면의 흄 차단효과는 67.6 %이었으며, 손잡이형(hand type) 용접면은 용접 시에만 얼굴을 가리기 때문에 머리부착형 용접면보다는 밀착도가 떨어

Table 4. Reduction efficiency for fume by types of respiratory masks

	Respiatory mask		Efficiency(%)* (O- I)/O×100
	Outside(O)	Inside(I)	
Maker A (n=10)	74.23 (62.71 87.35)	26.41 (22.85 30.59)	64.44A± 0.48
Maker B (n=10)	61.31 (36.33 92.98)	33.83 (29.65 36.33)	54.40B± 3.03
Maker C (n=10)	46.59 (32.73 73.65)	18.66 (15.85 24.29)	57.97B± 5.43
Maker D (n=10)	65.25 (38.83 96.24)	26.56 (24.70 30.12)	59.17B± 3.05

Data; Mean concentration of welding fume (Range)
Unit; ㎎/㎥
** ; $p<0.1$
A,B ; Duncan 사후검정 결과로 group간의 차이를 의미함

Table 5. Reduction efficiency for fume by types and sites of welding face shields

Types	Welding face shield		Efficiency*(%) (O- I)/O×100
	Outside(O)	Inside(I)	
Hand type (n=10)	70.67 (32.41 96.57)	29.34 (23.74 33.72)	58.48B± 15.52
Head type (n=10)	62.52 (48.46 72.19)	20.24 (18.32 24.62)	67.63B± 3.83
Air supply (n=10)	145.90 (120.00 171.72)	1.20 (0.33 2.34)	99.18A± 0.45

Data; Mean concentration of welding fume (Range)
Unit; ㎎/㎥
* ; $p<0.1$
A,B ; Duncan 사후검정 결과로 group간의 차이를 의미함

져 흄 차단효과가 58.5 %로 다소 낮게 나타났다. 그러나 에어공급식 용접면은 다소 착용하기에는 불편하지만 흄 차단효과가 99.2 %로 가장 높은 것으로 나타났고 통계적 검정결과에서도 에어공급식 용접면이 흄 차단효과가 높은 것으로 나타났다($p<0.05$).

5. 용접면과 마스크를 동시 착용시 용접흄의 차단효과

용접면(head type)과 마스크를 동시에 착용하였을 때 용접흄 차단효과를 평가한 결과는 표 6과 같다. 용접작업자는 일반적으로 먼저 마스크를 착용하고 바깥쪽에 용접면을 착용하였다. 발생한 용접흄은 1차적으로 용접면에 의하여 일부 차단되고, 용접면 안에 들어온 흄은 다시 마스크를 통과할 때 또 한번 여과되어 차단된다. 따라서 2가지를 동시에 착용할 경우에는 79.0 87.5 %의 흄 차단효과가 있어 용접면(58.5 67.6 %) 또는 마스크(54.4 64.4 %) 중 어느 한가지를 착용하는 것보다 높은 차단효과를 보였다($p<0.1$).

6. 국소배기장치 가동 전·후의 용접흄 노출 감소 효과 비교

국소배기장치 가동에 따른 작업자의 용접흄 노출 감소효과를 용접형태와 사용되는 용접봉별로 측정한 결과는 표 7과 같다. CO_2 아크용접(연강)에 있어서 FLUX(SF-71) 용접봉을 사용할 때 용접흄이 62.52 ㎎/㎥로 많이 발생 하지만 국소배기장치를 가동시킬 경우 17.65 ㎎/㎥로 감소되어 71.8 %의 흄 차단 효과가 있었다. 한편 CO_2 아크용접(스테인레스강)에 있어서 SUS 309 용접봉을 사용할 때는 흄이 바닥으로 낮게 발생하는 특성에 따라 국소배기장치 가동효과가 31.5 %로 아주 낮았다. 피복 아크용접에 있어서는 용접봉별 국소배기장치 가동효과가 62.0 73.1%로 비슷한 수준이 었다. 국소배기장치 가동전후 용접흄 노출감소 효율을 Duncan 검정에 의한 다중비교 결과 CO_2 아크용접에서는 Flux 용접봉 사용시 71.82%로 유의하게 높게 나타났으며($p<0.05$), 피복아크 용접에 있어서는 차이가 없는 것으로 나타났다($p>0.1$).

Table 6. Reduction efficiency for fume when wearing of mask and welding face shields together

	Welding face shield		Mask	Efficiency*(%)
	Outside(O)	inside	Inside(I)	(O-I)/O×100
A Maker (n=10)	88.01 (62.08 113.91)	22.83 (21.78 23.88)	12.06 (11.78 12.34)	86.29^{A}±3.37
B Maker (n=10)	123.43 (103.70 143.12)	37.43 (35.23 39.63)	17.71 (16.52 18.90)	85.64A±1.12
C Maker (n=10)	53.08 (30.33 75.82)	24.02 (23.24 24.80)	11.17 (9.82 12.52)	78.96^{B}±6.67
D Maker (n=10)	118.59 (114.20 122.90)	30.54 (29.78 31.30)	14.81 (12.97 16.65)	87.51^{A}±0.89

Data; Mean concentration of welding fume (Range)
Unit; ㎎/㎥
* ; $p<0.1$
A,B ; Duncan 사후검정 결과로 group간의 차이를 의미함

Table 7. Comparison of airborne fume levels before and after operating local exhaust ventilation

		Local exhaust ventilation		Efficiency(%) (A-B)/A×100
		Non-operation(A)	Operation(B)	
CO2** welding	Flux (n=12)	62.52 (48.5 72.2)	17.65 (13.8 20.4)	71.82^{A}± 3.37
	Solid (n=12)	32.06 (12.9 54.4)	16.92 (10.4 22.9)	47.22^{B}± 4.32
	SUS309 (n=12)	41.12 (30.7 50.0)	28.20 (24.6 33.7)	31.47^{B}± 6.67
Shielded metal arc welding	4301 (n=12)	13.03 (6.8 22.4)	4.56 (3.0 5.8)	65.83±15.38
	4316 (n=12)	14.63 (7.8 19.4)	5.56 (3.8 7.9)	62.02± 8.44
	5016 (n=12)	39.76 (27.7 56.5)	10.73 (6.8 18.5)	73.10± 6.00

Data; Mean concentration of welding fume (Range)
Unit; ㎎/㎥
** ; $p<0.05$
A,B; Duncan 사후검정 결과로 group간의 차이를 의미함

Ⅳ. 고 찰

용접흄은 용접 시 고열에 의해 금속의 증기가 응축되거나, 산화되는 등의 화학반응에 의해 형성된 고체상 미립자를 말한다(한국산업안전공단, 1997; AWS, 1976). 용접흄에는 주로 망간, 크롬 및 니켈 등의 금속산화물이 함유되어 있어 인체에 다양한 유해작용을 유발한다(Koponen *et al.*, 1981; Karlsen *et al.*, 1992; Voitkevich, 1995). 특히 망간에 장기간 폭로될 경우에는 초기에 감정불안증과 신경과민 증상을 일시적으로 보일 수 있으며, 후기에는 추체외로의 질환을 동반하는 신경과적 변화를 나타내는 것으로 알려져 있다(WHO, 1986). 이 때의 증상과 징후는 파킨슨병의 증상과 거의 일치한다(Mena *et al.*, 1967; Huang *et al.*, 1989; 임 등 1991; Tanaka, 1994). 크롬의 경우에도 6가 크롬에 장기간 노출될 경우에 비중격궤양이 형성되고, 이것이 진행되면 비중격천공과 크롬폐 또는 폐암이 발생한다고 한다(Sawyer, 1988; Tanaka, 1994).

신용철 등(1997)이 용접형태별 공기 중 총 흄 및 금속농도를 비교한 결과에 의하면 CO2 아크 용접은 피복아크 용접에 비해 총 흄 평균 농도가 6 배 정도 높게 나타난다고 하였으며, Burgess(1981)도 용접작업 형태에 따라 용접흄 및 금속성분별 발생량의 차이가 크다고 하였다. 본 연구에서도 용접의 종류와 용접봉에 따른 용접흄 발생량을 측정한 결과 연강을 CO2 아크 용접을 할 때가 피복아크 용접을 할 때 보다 총 흄 평균 농도가 4.7 배 정도 높게 나타났으며 스테인레스강을 용접할 때도 3.1 배 정도 높게 나타남을 알 수 있었다.

CO2 아크 용접에서는 flux cored wire 용접봉을 사용하고 피복 아크 용접에서는 rod 용접봉을 사용하기 때문에 wire로 된 용접봉을 연속적으로 용접하는 CO_2 아크 용접 형태가 흄이 많이 발생하는 것으로 생각된다. 그리고 스테인레스강을 용접할 때는 총 흄

의 농도는 다소 낮지만 유해 중금속인 크롬과 니켈 성분의 농도는 연강 용접시 보다는 훨씬 많이 발생한다는 것을 알 수 있었다.

ACGIH(1995)에서는 용접공정에서 발생된 6가 크롬을 비수용성 6가 크롬 화합물로 규정하고 있으나 Pederson과 Thomsen(1987)은 용접흄에 존재하는 6가 크롬은 대부분 수용성 6가 크롬 화합물 형태이고 비수용성 형태는 매우 적은 양(약 0.5%)이라고 보고하였다.

본 연구에서는 연강을 CO2 아크 용접할 때는 공기 중 총 크롬에 대한 6가 크롬 농도비는 93.9 96.8%이었으며, 6가 크롬 중에는 수용성 6가 크롬이 57.1 63.1 %이고, 비수용성 6가 크롬이 31.5 38.1%이었다. 스테인레스강을 CO2 아크 용접할 때는 총 크롬에 대한 6가 크롬의 농도비는 18.8 19.5%이었고, 6가 크롬 중에는 수용성 6가 크롬이 10.5 %이며, 비수용성 6가 크롬이 8.6%로 연강에 비해 적게발생하고 있었다. 또한 연강을 피복아크용접할 때도 총 크롬에 대한 6가 크롬의 농도비는 17.9 45.4%로 적게 나타났다.

이상의 결과에서 용접흄 중의 총 크롬에 대한 6가 크롬 농도비와 6가 크롬 중에서도 수용성 6가 크롬과 비수용성 6가 크롬의 발생비는 용접형태 및 사용된 모재의 종류에 따라 상당히 다르게 나타났다.

본 연구 결과는 ACGIH(1995)와 Pederson과 Thomsen(1987)이 발표한 내용과는 달리 총크롬중에는 수용성 6가 크롬과 비수용성 6가 크롬 모두가 용접흄 중에 상당량 존재한다는 것을 보여주고 있다. 그리고 신용철 등(1998)이 보고한 6가 크롬 농도는 연강을 MIG 용접할 때에 발생되는 공기 중 총 크롬에 대한 6가 크롬 농도 비는 9.7 56.4 % 수준이며, 스테인레스강을 MIG 용접할 때는 총 크롬에 대한 6가 크롬 농도 비는 6.3 9.7 % 범위라고 하였다. 이는 본 연구에서의 수용성 6가 크롬 농도와 비슷한 수준이어서 6가 크롬의 전체적인 농도는 다소 낮게 평가된 것으로 생각된다.

용접작업 현장에서 주로 사용하는 마스크의 용접흄 차단효과를 평가하기 위하여 4 가지 종류의 마스크를 대상으로 실험실에서 용접흄을 발생시키면서 그 성능을 조사하였다. 마네킹을 이용하여 필터의 여과능력을 평가하는 방법으로 연구를 실시한 결과 제품별로 다소 차이는 있으나 용접흄 차단효율이 54.4 64.4 % 정도밖에 되지 않는 것으로 나타났다. 이 결과는 현재 시판되고 있는 분진/미스트/흄 용도의 마스크가 용접작업자의 작업의 편리성을 고려하여 흡기저항 문제 때문에 여과지의 공극을 너무적게 할 수 없었는 것으로 생각된다. 즉 발생되는 흄 및 금속 원소중 작은 입자의 크기와 비교해서는 마스크 여과지의 공극이 크기 때문으로 생각된다. 또한 이 결과는 변상훈 등(1998)이 분진/미스트/흄용으로 상품화된 반면형 직결식 호흡기 보호구 2가지를 대상으로 fit test방법과 유사하게 용접흄 중의 산화철(Fe2O3)의 농도를 마스크 안과 바깥에서 측정하여 평가한 여과효율 95.3 98.2 %와는 상당한 차이를 보이고 있다. 이러한 차이는 본 연구에서 마네킹을 이용하여 실제 마스크 안으로 들어온 공기 중 흄 농도를 측정한 반면, 변상훈 등(1998)은 사람이 직접 마스크를 착용함으로써 마스크 안쪽으로 들어온 흄이 일차적으로 호흡기 안으로 들어가 신체 내에 일부 흡수되므로써 낮게 평가된 것으로 생각된다.

국내에서는 아직까지 마스크는 분진용으로만 노동부 검정을 받은 상태이나 일부 제품에 분진/미스트/흄용으로 표시되어 있어 용접작업자들이 흄 방지 용도로 많이 착용하고 있었다. 따라서 용접작업자의 건강보호를 위해서는 조속한 시일 내에 용접흄을 효과적으로 차단할 수 있는 용접전용 마스크를 개발해야 할 것으로 생각된다.

용접면도 유해광선 차단은 물론 용접흄의 차단효과도 상당히 있기 때문에 용접작업장에서 자주 사용된다. 일반적으로 사용되는 용접면의 형태는 머리에 부착하는 head 형, 손에 잡고 하는 hand 형, 외부에서 공기를 불어넣어 면체 안에 양압을 유지시켜 주는 공기공급식 용접면이 있다. 본 연구에서는 세 종류의 용접면을 대상으로 흄 차단효과를 측정한 결과 공기공급식 용접면이 용접작업자에게는 다소 착용에 불

편한 면이 있지만 흄 차단효과가 99.2 %로 가장 양호한 것으로 조사되었다. Head 형 용접면의 경우에는 67.6 % 정도의 차단효과가 있었으며, hand 형은 손에 잡고 자주 얼굴에 붙였다 떼었다 하기 때문에 흄 차단효과가 58.4 % 정도로 가장 낮았다. Goller와 Paik(1985)은 머리부착형 용접면을 착용 시 산화철 흄의 차단효과가 약 64 % 정도가 있다고 보고한 바 있으며 오광중 등(1998)은 용접면의 차단효과를 높이기 위해서는 아크까지를 최소한 38 ㎝ 이상을 유지하도록 권고하고 있다. 한편 head 형과 hand 형의 경우에 용접 면체 아래 부분에 턱과 목 부분을 덮을 수 있는 가죽 등의 재질을 부착하여 밀폐율을 높이면 흄 차단효과를 상당히 높일 수 있을 것으로 생각된다. 또한 용접흄 노출농도는 용접전류, 헬멧에서 아크까지의 거리에 따라 달리 나타난다고 한다(AWS, 1978; Burgess, 1981; Gray *et al*., 1983; Hewitt and Madden, 1986; 오광중 등, 1998).

용접작업자는 일반적으로 먼저 마스크를 착용하고 바깥쪽에 용접면을 착용을 한다. 발생한 용접흄은 1차적으로 용접면에 의하여 일부 차단되고, 용접면 안으로 들어온 흄은 또 다시 마스크를 통과할 때 여과되어 차단되기 때문에 작업자 건강보호에 도움이 될 것으로 생각된다. 본 연구에서 용접면과 마스크 2가지를 동시에 착용할 경우에 79.0 87.5 %의 흄 차단효과가 있어 용접면(58.5 67.6 %) 또는 마스크(54.4 64.4 %) 중 한가지를 착용하는 것보다 흄 차단효과를 훨씬 높일 수 있었다. 그러나 일반적으로 개인이 운영하는 소규모의 철공소 용접작업자는 주로 용접면 한가지만 착용하고 작업을 하는 경우가 많으므로 건강보호차원에서 마스크를 반드시 동시에 착용해야 할 것이다.

용접작업자의 공학적인 대책으로 용접작업장에 국소배기장치를 설치한 후 용접형태별로 흄을 발생시켜 약 33 ㎥/min의 풍량과 제어속도 0.5 0.8 m/sec로 국소배기장치를 가동하여 작업자의 흄 노출에 미치는 영향을 평가한 결과 다소의 차이는 있지만 31.5 73.1 %의 감소효과가 있었다. 이 결과는 특히 스테인레스강을 SUS309 용접봉으로 CO_2 용접시 용접부위에 CO_2 농도를 일정하게 유지하여 용접성을 좋게하기 위해서는 후드의 흡입속도를 너무 높일수 없어 31.5%의 효과 밖에 거둘 수 없었다. 또한 이 결과는 변상훈 등(1995)이 후드가 없는 이동식 팬을 이용하여 약 60 ㎥/min의 풍량과 제어속도 0.3 0.4 m/sec로 흄을 배기했을 때 작업자의 용접흄 노출농도가 이동식 팬을 작동하지 않을 경우 보다 71.1 % 정도의 흄 노출이 감소되었다는 보고와 비슷한 수준이라고 생각된다.

이상의 결과에서 보듯이 용접작업자는 망간, 크롬의 노출은 물론 니켈, 카드뮴, 납, 아연 및 구리 등 인체 유해한 여러 가지 금속원소에 노출되기 때문에 신경계질환과 금속열 등 작업자의 건강에 많은 영향을 미칠 수 있으므로 용접작업자의 종합적인 건강보호 대책이 절실히 필요한 것으로 나타났다.

즉, 작업환경으로부터 개인 노출을 감소시키기 위하여 용접흄 여과포집효율이 좋은 용접용 마스크와 흄 차단효과가 좋은 용접면을 지급하여 철저히 착용하도록 하는 것이 중요하다. 그러나 현재 시판되고 있는 마스크는 일반 분진용으로 개발되었기 때문에 보다 효과적인 흄 방지용 용접 마스크개발이 요구되며 더불어 용접면도 얼굴과 목 부분을 충분히 덮을 수 있는 형태로 하여 흄이 면체 안에 들어오지 못하도록 하는 구조로 만들어야 할 것으로 생각된다. 또한 작업방법에 있어서도 흄이 발생하는 방향과 반대방향에서 작업을 하여 최대한 노출을 적게 하고, 용접작업장에 국소배기장치를 설치하여 발생하는 용접흄을 최대한 감소시킬 수 있도록 후드, 덕트, 공기정화장치, 배풍기 및 배기구 등을 잘 설계하여 충분한 제어속도가 나오도록 하여야 할 것이다.

V. 결 론

철강 용접작업자가 용접 작업 시 용접 총흄과 흄

중의 망간 및 크롬에 실제 어느 정도 노출되는지를 평가하기 위하여 1997년 9월부터 1998년 10월까지 용접작업자의작업환경 노출농도를 측정분석 평가 하였다. 그리고 용접작업자가 용접흄으로 인한 직업성 질환 위험을 효과적으로 예방할 수 있는 방법을 찾아내기 위해 호흡용 마스크와 용접면의 흄 차단 효과와 국소배기장치의 가동에 따른 흄 감소 효과를 평가하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1 연강을 CO2 아크용접으로 할 때가 피복 아크 용접 때 보다 총 흄 발생량은1.5- 2.2 배 많이 발생하였다. 스테인레스강을 용접을 할 때는 총 흄 농도는 연강 용접 때 보다 낮으나 인체 유해성분으로 알려진 크롬 및 니켈 농도는 총 흄 대비 각각 5.8 % 및 1.3 %가 발생하여 연강 용접 때 보다 크롬은 27 59 배, 니켈은 18 30 배 정도 높게 나타났다.

2 CO2 아크용접에서 총 크롬 대비 수용성 6가 크롬과 불용성 6가 크롬의 발생비는 스테인레스강에서는 각각 10.5 %와 8.7 %이었으며 연강에서는 각각 57.1 63.2 %와 31.6 38.1 %로 수용성 6가 크롬이 보다 많이 발생하는 것으로 나타났다.

3. 용접작업자가 주로 착용하는 마스크 4 종류에 대해서 용접흄 차단효과를 측정 비교한 결과 최소 54.4 %, 최대 64.4 %로 만족할 만한 효과는 없었다. 따라서 흄 방지용 마스크 개발이 요구된다.

4. 용접면 형태에 따른 흄 차단 효과는 머리부착형(head type)이 67.6 %, 손잡이형(hand type)이 58.5 %로 나타났다. 한편 에어공급식 용접면은 다소 착용하기에는 불편하지만 흄 차단효율이 99.2 %로 가장 높은 것으로 나타났다.

5. 용접면과 마스크를 동시에 착용했을 경우 흄 차단 효과는 79.0 87.5 %로 용접면 또는 마스크 중 한 가지를 착용할 때 보다 훨씬 흄 차단효과가 큰 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 용접작업자에 대하여 용접면과 마스크를 동시 착용하여야 함을 시사해 준다.

6. 용접작업장에 국소배기장치 시설을 설치, 가동하여 흄 노출 감소효과를 분석한 결과 용접의 종류와 특성에 따라 31.5 73.1 %의 효과가 있는 것으로 나타났다.

이상의 조사 분석결과를 종합해 볼 때 용접작업자의 건강보호대책으로는 흄 차단 효과가 좋은 에어공급식 용접면 또는 마스크와 용접면을 함께 착용하는 방법을 택하고 더불어 국소배기장치도 동시에 설치 가동하면 더욱더 직업병예방에 효과적일 것으로 사료된다.

REFERENCES

곽영순, 백남원. 모조선소의 밀폐된 작업장에서의 공기중 용접흄 및 중금속 농도에 관한 조사 연구. 한국산업위생학회지 1997;7(1):113- 131

김광종, 송기창. 모조선업 작업장의 공기중 용접흄 농도에 관한 조사. 한국산업위생학회지 1991; 1(1): 68- 72

노동부. 고시 제97- 65호 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준. 노동부 1998

변상훈, 박승현, 김창일, 박인정, 양정선 등. 일부업종의 용접흄 분석 및 폭로농도에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1995;5(2):172- 182

변상훈, 나명채, 김현욱, 임호섭. 일부 반면형 호흡기보호구에 대한 용접작업장에서의 workplace protection factors(WPF) 평가. 한국산업위생학회지 1998;8(2):9- 10

산업보건연구원. 용접사에서 발견된 비중격천공에 대한 역학조사 결과 보고서. 교육자료센타 1998- 3- 4

신용철, 이광용, 박승현, 이나루, 정지연 등. 용접공정에서 발생된 공기 중 흄의 조성과 농도에 영향을 미치는 요인에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1997;7(2):181- 195

신용철, 이광용, 이나루, 오세민, 강성규 등. 모조선

업체 아크용접 작업자의 공기중 6가 크롬 및 니켈 노출에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1998;8(2):209-230

오광중, 김현수, 손병현, 지해성. CO_2 용접에서 용접변수의 변화에 따른 용접흄 제어방법에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1998;8(1):76-87

한국산업안전공단. 용접작업관리지침. 교육자료보건 97-4-13(29-36쪽)

ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). Welding healtlh and safety resource manual. Akron:ACGIH; 1984

ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). Documentation of threshold limit values and biological exposure Indices. 6th ed. Akron:ACGIH; 1995

ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. Cincinnati ACGIH; 1998

AIHA (American Industrial Hygiene Association). Arc welding and your health. A handbook of health information for welding, AIHA; 1998. p.1-16

AWS (American Welding Society). Methods for sampling airborne particulates generated by welding and allied process, ANSI/AWS F1. 1-78. Miami: AWS. 8. 1976

AWS (American Welding Society) Recommended practices for gas metal arc welding. American Welding Society;1978. p.1-55

Burgess W A. Recognition of health hazards in industry. New York:John Wiely & Sones, Inc;1981. p.110-127

Dennis JH, Mortazavi SB French MJ, Hewitt PJ, Redding CR. The effects of welding parameters on ultraviolet light emissions, ozone and Cr(VI) formation in MIG welding. Ann Occup Hyg 1997;41(1):95-104

Goller JW and Paik NW. A comparison of iron oxide fume inside and outside of welding helmets. Am Ind Hyg Assoc J 1985;46(2):89-93

Gray CN, Goldstone A, Dare PRM, Hewitt PJ. The evolution of hexavalent chromium in metallic aerosols. Am Ind Hyg Assoc J 1983; 44(6):384-388

Hewitt PJ and Madden MG. Strategies for the modification of arc welding consumable and process parameters to reduce the risk from fumes and gases to health. second european conf. Joining Technology, May Flolence; 1986.p.16-18

Hewitt P J and Madden M G Welding process parameters and hexavalent chromium in mig fume. Ann Occup Hyg 1994;30(4):427-434

Huang CC, Chu NS Lu CS, Wang JD, Tsai J L, Wodters E C, Calne D B. Chronic manganese intoxication. Arch. Neurol 1989;46:1104-1106

Karlsen JT, Farrants G, Torgrimsen T, Reith A. Chemical composition and morphology of welding fume particles and grinding dusts. Am Ind Hyg Assoc J 1992;53(5):290-297

Koponen MT, Gustafsson PL, Kalliomaki L. Chromium and nikel aerosols in stainless steel manufacturing, grinding and welding. Am Ind Hyg Assoc J 1981;42(8):596-601

Mena I Marin O, Fuenzalida S, Cotzias GC. Chronic manganese poisoning. Clinical picture and manganese turnover. Neurology 1967;17(2):128-136

NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health). NIOSH manual of analytical method, 4th ed., DHHS(NIOSH) Publication No. 94-113. Cincinnati:NIOSH;1994

NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health), Criteria for recommended standards, welding, brazing and thermal cutting. DHHS (NIOSH) Publication No. 88-110. Cincinnati.

NIOSH;1988

Pederson BE and Thomsen RM. Some problems in sampling, analysis and evaluation of welding fumes coating Cr(VI). Ann Occup Hyg 1987; 31(1):325- 338

Sawyer HJ. Chromium and its compounds. In: Carlz. Occup Med. 2nd ed. 1988. p.531- 537

Sjogren, B. Retrospective cohort study of mortality among stainless steel welders. Scan J Work Environ Health 1980;6,197- 200

Tanaka S. Manganese and its compounds. Occupational Medicine 3rd ed. Chicago: Mosby-Year Book Inc;1994.p.542- 548

Voitkevich V. Welding fume- formation, properties and biological effects. Abington Publishing, Abington Hall;1995

WHO (International programme on chemical safety. Environmental Health). Criteria 17. Geneva: WHO;1981

WHO. Operational guide for the WHO neurobehavioral core test battery. Geneva:WHO office of occupational health.;1986