

공업고등학교 용접실습실의 용접흠 발생농도와 국소배기 실태

황성환 · 손부순 · 장봉기[†] · 박종안 · 이종화

순천향대학교 환경보건학과

Status of Welding Fume Concentration and Local exhaust Ventilation System at Welding Laboratory in Technical High School

Sung-Hwan Hwang · Bu-Soon Son · Bong-Ki Jang[†] · Jong-An Lee · Jong-An Park

Department of Environmental Health Science, Soonchunhyang University

This study was performed to evaluate a local exhaust ventilation system capability and welding fume concentration in welding laboratory at 5 technical high schools.

Results of the study are as follows;

1. The personal exposure of welding fume in welding laboratory was measured. The geometric mean of 73 personal samples was $6.27\text{mg}/\text{m}^3$ ($3.85\sim 9.88\text{mg}/\text{m}^3$), and 68.5% of these exceeded TLV of the Korea Ministry of Labor.

2. The geometric mean of welding fume at outside of booth was $2.27\text{mg}/\text{m}^3$ ($1.57\sim 2.58\text{mg}/\text{m}^3$). All of measured concentrations were lower than TLV of the Korea Ministry of Labor.

3. Local exhaust ventilation system in welding laboratory could not remove hazardous substance effectively because of inappropriate canopy hood and absurd design.

4. The possibility of exposure risk was estimated to be high because of working point under breathing zone, misplacement of working table and insufficient supply of respiratory protector.

5. The mean values of capture velocity and transportation velocity of local exhaust ventilation system in welding laboratory were $0.38\text{m}/\text{sec}$, $4.27\text{m}/\text{sec}$ respectively. These values were satisfied the guideline of the Korea Ministry of Labor.

6. The efficiency of performance of local ventilation system was anticipated to be decreased because of accumulated dust and alien substance on fan and duct.

Key Words : Welding fume, Local exhaust ventilation, Welding laboratory, Technical high school

I. 서 론

용접은 2개 이상의 금속재료를 열이나 압력을 가해 서로 접합시키는 금속가공 방법이다. 고전적인 합금용접과 납땜 등 에서부터 시작된 용접기술의 발달은 1800

년대에 발견된 아크용접과 전기저항 용접 법이 사용됨으로 해서 이용도가 크게 증가되었으며, 1932년 Robinoff 등에 의해 발견된 불활성가스 아크용접법(inert gas arc welding)과 1953년 Lyvabskii 등에 의해 발견된 탄산가스 아크용접법(CO_2 gas

arc welding)이 공업의 비약적인 발전에 많은 도움이 되었다(강인찬, 1993).

용접방법은 크게 용접(fusion welding), 압접(pressure welding), 납땜 등 세 종류로 구분되는데, 그 중 우리가 흔히 말하는 용 접은 주로 용접을 말하며, 그 중에서도 모 재(parent metal)와 용접봉(electrode) 사이 에 전기를 이용하여 arc를 발생시켜 용접 을 하는 아크용접과 산소와 아세틸렌을 이용하는 가스용접이 대표적이다(박종수,

접수일 : 2001년 2월 2일, 채택일 : 2001년 3월 22일

[†] 교신저자 : 장봉기(충남 아산시 신창면 읍내리 646 순천향대학교 환경보건학과

Tel : 041-530-1268, Fax : 041-530-1272, E-mail : jangbk@sch.ac.kr

1987).

용접작업시 모재와 용접봉이 가열되어 금속증기가 공기 중으로 방출되는데, 이때 방출된 금속증기는 공기 중에서 냉각 응축됨으로써 흙으로 형성된다. 흙 발생 속도, 발생량 및 조성에 영향을 미치는 주요 요인으로는 용접방법, 용접조건(전류 등), 모재 및 용접봉 조성, 용접봉 직경, 용접속도, 도장 또는 도금에 의한 모재표면의 피복상태 등을 들 수 있다(ACGIH, 1984).

용접작업은 우리가 원하지 않는 유해환경 요인과 건강장해 유발 등의 부작용도 갖고 있다(Clayton과 Clayton, 1977; 백남원, 1987; Zenz, 1988). 용접작업시 발생되고 있는 유해환경 요인으로는 용접흙, 산화철 분진, 각종 중금속 등의 입자상물질과 자외선 등의 유해광선 및 NO, NO₂, CO, O₃, phosgene 등의 유해가스가 있으며(Morgan, 1975; 백남원, 1987), 이 중 특히 용접흙을 다량 흡입함으로써 폐 조직이 섬유화되는 용접공폐증과 폐수종, 폐기종 및 만성기관지염을 초래하여 호흡곤란, 기침, 흉통 등을 일으키며(윤임중, 1984), 연강재를 용접할 때 발생하는 철, 망간, 구리와 스테인레스 강철을 용접할 때 발생하는 크롬, 아연 및 납 등에 의해 각종 중금속 중독을 일으킬 수 있어 용접작업에 대한 각별한 보건관리가 요청된다(노동부, 1984).

우리나라 용접분진에 대한 허용농도는 노동부(1995)에서 8시간 시간가중평균 농도를 5mg/m³으로 정하고 있고, 미국 산업안전보건청 허용기준(OHSA-PELs; Occupational Safety and Health Administration-Permissible Exposure Limits)인 5mg/m³과 같으나, 미국산업안전보건연구소(NIOSH; National Institute for Occupational Safety and Health)에서는 권고기준으로 분진과 흙 모두 1mg/m³으로 정하고 있다. 또한 미국산업위생전문가협회(ACGIH; American Conference of Governmental Industrial Hygienist)에서는 용접흙에 대해 별도로 구분되지 않은 경우 8시간 시간가중평균농도로서 5mg/m³으로 권장하고 있다.

작업환경개선의 일반적인 4대 원칙은 대체(substitution), 격리(isolation), 환기(ventilation), 그리고 교육(education)이다(조규상 등, 1991). 그 중 작업자를 유해인자로부터 보호하는 방법으로는 원재료의 대체, 공정의 변경, 격리, 밀폐 및 국소배기 등 기본적인 수단이 있으며(Allen 등, 1976; 박동욱 등, 1993), 이중 유해물질을 발생원에서 직접 제거하는 국소배기장치(local exhaust ventilation system)는 공학적 개선 대책의 일환으로 가장 널리 사용된다(Alden과 Kane, 1982).

최근 들어 부산 조선소 용접공들에게서 용접공 진폐증과 포항지역 건설노동자 중 용접공에서 망간중독 등 용접작업으로 인한 직업병 소견이 보고되고 있는 실정에서 용접작업장 국소배기장치의 적절성은 용접작업으로 인한 직업병 발생에 중요한 요인이라 할 수 있다(손혜숙 등, 1995; 한국산업안전공단 산업보건연구원, 1998).

국내의 많은 공업고등학교에서 용접실습생들이 용접을 하고 있으나 용접실습실의 작업환경측정이나 실습생들의 유해인자 노출에 대한 평가가 법적으로 규정되어 있지 않을 뿐만 아니라, 그에 대한 연구가 매우 부족한 실정이다.

기존의 연구 조사에 따르면 일부 공업고등학교 용접실습실의 국소배기설비에 의한 흙 농도 감소율은 29.0%, 25.6%로 나타나 효과가 매우 낮은 것으로 나타났으며, 용접을 전공으로 하는 공업고등학교 실습생들의 노 중 망간농도가 비노출군 학생들에 비하여 유의하게 높게 나타났다(박중수, 1987; 송치남, 1998; 장지선, 1998). 따라서 공업고등학교 용접실습실에는 부적절한 국소배기시설이 설치되어 있으며, 불량한 작업자세 및 실습 담당교사와 실습생의 산업보건에 대한 지식결여 등으로 작업환경이 열악하여 건강장해가 나타날 가능성이 크다고 할 수 있다. 또한 경험이 부족한 학생들이 실습교육을 수행할 때는 전문가들보다 위험인자에 더 많이 노출될 수 있는데 이에 따라 성장기에 있는 학생들의 건강보호를 위해 용접실습실의 적절한 국소배기시스템 설치가 절실

히 요구되는 실정이다.

따라서 본 연구는 일부 공업고등학교 교과과정중 용접과가 설치되어 있는 학교를 대상으로 용접실습실에서 사용하고 있는 국소배기장치의 전체적인 형태 및 실습내용을 파악하고, 실습실내 기중 용접흙 농도와 시스템의 성능을 측정, 평가하여 용접으로 인한 유해인자로부터 실습학생들의 효과적인 건강보호를 위한 대안을 제시하고자 한다.

II. 연구 대상 및 방법

본 연구는 2000년 2월과 5월에 충청남도 소재하고 있는 공업고등학교중 용접과가 있는 5개(A, B, C, D, E) 학교를 선정하여 용접실습에 관한 전반적인 내용과 용접실습실내의 국소배기장치 성능, 용접실습실 환경중 용접흙 농도 및 학생들이 가장 많이 실습하고 있는 피복금속 아크용접을 대상으로 하였다.

실습담당 교사 및 학생들과의 면접을 통하여 작업방법(작업대의 위치, 작업자세), 용접봉과 모재의 종류, 보호구 착용여부와 전체 실습학생수 및 주당 용접실습시간과 기능사 자격시험을 위한 강화훈련기간 및 보건교육 여부를 조사하였다.

1. 용접실습실 기중 용접흙 농도 측정

용접실습실 공기 중 용접흙 농도의 측정은 5개 학교 용접실습생 73명을 대상으로 한 개인시료와 부스(booth) 바깥에서 측정한 22개의 지역시료를 측정하였으며, 각 학교별 시료수는 표 1과 같다.

Table 1. Number of sample

	Personal sample	Outside of booth sample	Total
School	A 15	5	20
	B 15	4	19
	C 14	5	19
	D 15	4	19
	E 14	4	18
Total	73	22	95

용접흡 농도측정을 위하여 직경 37mm, 유리섬유 여과지(Whatman, England)를 사용하였으며, 데시케이터에서 24시간 건조시킨 후 전자저울(Sartorius, Germany)을 이용하여 무게를 칭량한 여과지를 three piece cassette에 고정한 후 개인시료포집기(personal air sampler, Gilian · SKC, USA)에 연결하여 용접작업 중인 실습생 호흡기 위치에 장착하여 1.7~1.9 l/min의 유량으로 실습작업 시간동안 시료를 포집하였으며, 지역시료는 같은 방법으로 부스 바깥쪽에서 실습실 바닥으로부터 약 1.5~1.7m 높이에서 측정하였다.

시료를 포집한 여과지는 다시 데시케이터에서 24시간 건조시킨 후 전자저울로 무게를 칭량하였다. 이때 시료포집 시간에는 용접작업 뿐만 아니라 선반작업과 용접부위 점검작업등을 모두 포함하였다. 시료포집기의 유량은 비누거품메타(bubble generator, Gilian, USA)를 사용하여 측정 전·후 각각 3회씩 측정하여 평균을 이용하였다. 용접흡의 농도는 시료 포집 전·후 여과지의 중량 차이를 구하여 유량으로 나누어 구하는 중량분석법에 의해 산출하였다.

2. 국소배기장치 성능 측정

용접실습실의 국소배기장치 성능평가를 위하여 장치의 가동상태(부스의 개구면 속도, 작업대에서의 제어속도, 덕트의 반송속도, 부스 개구면에서의 가동상태 및 작업대의 가동상태)와 국소배기설비(부스의 수, 송풍기의 위치, 후드 형태, 개구면 면적 및 덕트면적)내용을 조사하였다.

장치의 가동상태를 측정하는데는 열선 풍속계(I. Denshi. Co., V-01-A, Japan)를 이용하였으며 기기는 매번 측정후 Isopropyl alcohol(Junsei, Japan)로 센서를 세척하여 보관하였다.

발연관(smoke tester)을 이용하여 부스 개구면과 작업대에서의 가동상태를 평가한 후 열선풍속계를 이용하여 부스의 개구면 속도 및 작업대에서의 제어속도를 측정하였으며, 부스의 개구면 속도 측정

은 그림 1과 같이 ACGIH와 ANSI가 권고하는 방법에 의해 가는 실을 이용하여 부스의 개구면을 16개의 등면적으로 나눈 후 각 사각형의 중심 지점에서 속도를 측정하여 평균속도를 계산하였다(한국산업안전공단, 1990).

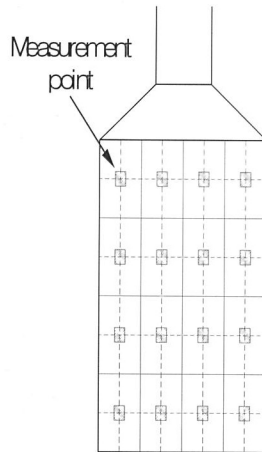


Fig. 1. Measurement point of booth surface.

덕트의 반송속도는 직접 덕트에서 반송속도 측정이 불가능하여 개구면적과 개구면에서의 풍속을 이용하여 배기풍량을 구한 후 덕트 단면적으로 나눈 이론 반송속도를 구하였다.

열선풍속계는 본 연구 이전에 한국산업안전공단 산업안전보건연구원 산업역학조사센터의 풍동장치(wind tunnel)를 이용하여 보정하였다.

3. 측정결과의 평가

용접실습실 국소배기장치의 제어속도와 반송속도가 노동부가 권고하는 속도에 부합하는지를 검토하였고(노동부, 1994), 용접흡의 농도는 기하평균(GM; Geometric Mean)과 기하표준편차(GSD; Geometric Standard Deviation)로 제시하였으며, 용접흡의 농도가 노출기준을 초과하는지의 여부는 미국 산업안전보건청(OSHA; Occupational Safety and Health Administration)에서 채택한 방법과 우리나라 노동부 고시기준을 근거로 평가하였다(백남원, 1995).

III. 결 과

1. 용접실습 현황

각 고등학교의 용접실습생수, 주당 용접실습시간 및 기능사 시험을 위한 강화훈련기간을 표 2에 나타내었다.

각 학교별로 26~48명의 학생들이 용접을 전공하고 있었으며, 1·2학년부터 용접을 시작하여 3학년 때는 주당 7~12시간의 용접실습을 하고 있었다. 또한 용접기능사 시험을 준비하는 기간으로 3~5주 정도 집중적으로 실습을 하였으며, 이 기간중에는 하루 정규수업 시간인 8시간 전부를 실습시간으로 이용하고 있었다. 또한 실습생들은 실습전 주의사항 등 실습내용 이외에 수업을 통해 용접작업으로 인한 건강장해나 발생하는 유해물질에 관한 정보 등 산업보건학적 측면의 정기적인 보건교육이 없었다.

각 학교별 용접실습생들의 작업방법과 보호구 착용여부를 조사한 결과를 표 3에 나타내었다.

조사대상 학교에서 모든 실습학생들이 작업대를 부스의 안쪽 벽면에 밀착해 위치시켰기 때문에 실습자가 부스 안에 들어가서 작업이 이루어지는 관계로 발생된 유해물질이 호흡영역을 통하지 않고는 부스 상부로 배출될 수가 없었다. 작업자세는 A, B, C 학교의 경우 모재를 작업대 위에 놓고 용접부위를 하방으로 두고 얼굴을 밀착시켜 작업을 하고 있었으며, D, E 학교 학생들은 모재를 작업대 위의 stand에 고정시켜 작업을 하였으나 모든 학교 학생들의 호흡영역 아래에서 작업이 이루어졌다. 또한 모든 학교 학생들이 작업시 차광보호구 이외에 호흡용 보호구는 전혀 착용하고 있지 않아 용접흡에 바로 노출될 위험성이 있었다.

용접은 피복금속 아크용접(SMAW; shield metal arc welding)을 하였으며, 모재로는 연강을 사용하고 있었고 용접봉으로는 KS E 4316을 사용하였다.

Table 2. Number of objects and working hours by technical high school

	School				
	A	B	C	D	E
No. of objects (person)	27	48	32	26	26
Working hours					
3rd grade(working week)	9	7	12	9	7
Intensive training period for examination (week)	3	5	4	4	3

Table 3. Status of working and supplied personal protector

School	Working status		Personal protector	
	Working point	Worker's position	Face shield	Mask
A	Under breathing zone	In booth	○	×
B	Under breathing zone	In booth	○	×
C	Under breathing zone	In booth	○	×
D	Under breathing zone	In booth	○	×
E	Under breathing zone	In booth	○	×

2. 용접실습실 용접흡 농도

공업고등학교 용접실습생 개개인에게 개인시료 포집기를 착용시켜 채취한 공기 시료중의 용접흡 농도 및 지역시료중의 용접흡 농도를 측정된 결과는 표 4와 그림 2에 나타내었다.

개인시료 및 지역시료의 용접흡 기하 평균농도는 각각 $6.27 \pm 1.36 \text{ mg/m}^3$ ($3.85 \sim 9.88 \text{ mg/m}^3$)과 $2.27 \pm 0.21 \text{ mg/m}^3$ ($1.57 \sim 2.58 \text{ mg/m}^3$)를 나타내었다.

표 5에서는 각 학교의 개인시료 용접흡 측정농도가 노출기준을 초과하는지에 대한 판단을 한 결과와 개인시료 측정농도

Table 4. Welding fume concentration of personal exposure and outside of booth by technical high school

				unit; mg/m ³
School	No.	Personal exposure GM±GSD	No.	Outside of booth GM±GSD
A	15	6.01±1.12	5	2.37±0.16
B	15	6.41±1.28	4	2.11±0.37
C	14	6.88±2.04	5	2.40±0.13
D	15	6.13±1.18	4	2.23±0.09
E	14	5.92±0.94	4	2.18±0.11
Total	73	6.27±1.36	22	2.27±0.21

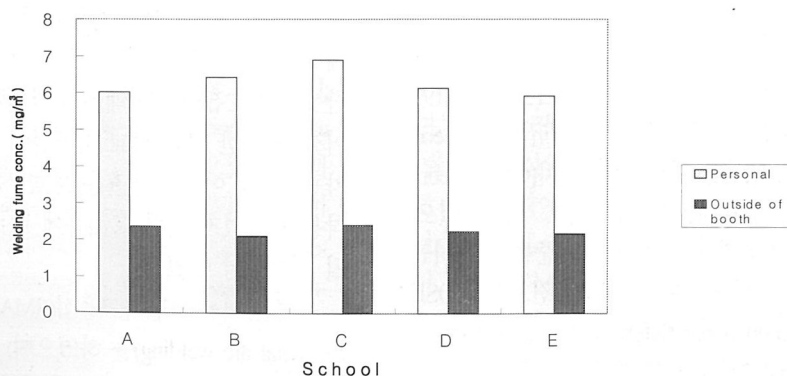


Fig. 2. Diagram of welding fume concentration of personal exposure and outside of booth by technical high school.

의 학교별 분포 양상을 그림 3에 나타내었다.

전체 73개 시료 가운데 50개(68.5%)가 노출기준을 초과하였으며, 23개(31.5%)만이 노출기준 미만으로 평가되었다. 각 학교별 용접흡 노출기준 평가를 살펴보면 A, B학교의 경우가 73.3%의 노출기준 초과로 타 학교에 비해 높게 나타났으며, D 학교 66.7% C, E학교 64.3% 순으로 나타났다.

Table 5. Welding fume concentration by technical high school
unit ; No. (%)

School	Welding fume concentration	
	Above 5mg/m ³	Below 5mg/m ³
A	11 (73.3)	4 (26.7)
B	11 (73.3)	4 (26.7)
C	9 (64.3)	5 (35.7)
D	10 (66.7)	5 (33.3)
E	9 (64.3)	5 (35.7)
Total	50 (68.3)	23 (31.5)

3. 국소배기장치 성능

1) 국소배기설비 내용

각 학교별 부스의 수, 후드 형태, 송풍기 위치, 송풍기 날개의 청소상태 등은 표 6과 같으며 일반적인 국소배기장치 형태는 그림 4, 5와 같았다.

학교별로 15~20여개의 부스가 실습실에 배치되어 있었고 각각의 부스는 칸막이로 구분되어 있었다. A학교의 경우 국소배기장치 부스에 각각 배기 덕트가 연결되어 그 끝에 송풍기가 붙어 있는 형태이었으나 B, C, D, E 학교의 경우는 각각의 부스의 중앙 상부 캐노피 후드에 소형 송풍기가 설치되어 있어 가지관에서 주관으로 연결되어 배출되는 형태이었다. B, D, E 학교의 경우 주관에 다시 주(main) 송풍기가 연결되어 있었지만 C 학교의 경우는 주 송풍기가 없어 외부에서 바람이 부는 경우 덕트를 통하여 부스 안으로 공기가 역류하는 현상을 일으키기도 하였다.

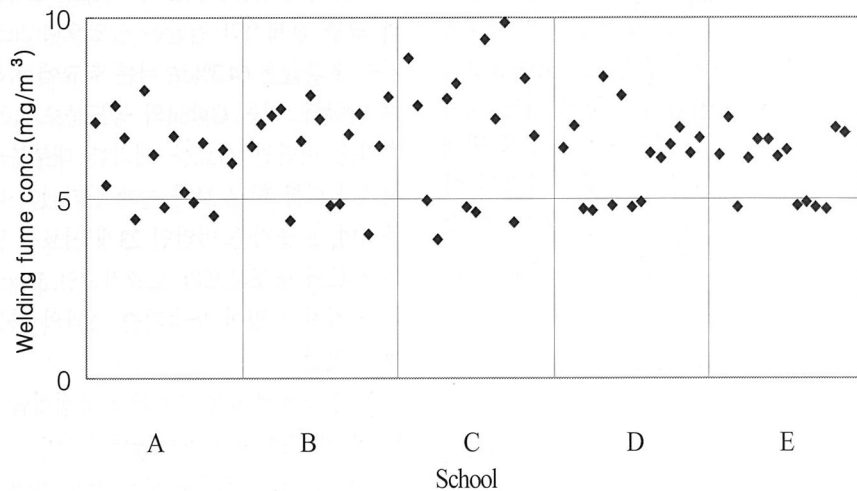


Fig. 3. Distribution of welding fume concentration by technical high school.

Table 6. Characteristics of local exhaust ventilation system by technical high school

	School				
	A	B	C	D	E
No. of booth (ea)	15	15	16	21	18
Hood type	Canopy	Canopy	Canopy	Canopy	Canopy
Position of fan	End of duct	Center of hood	Center of hood	Center of hood	Center of hood
Fan cleaning	Bad	Bad	Bad	Bad	Bad
Existence of main fan	—	Exist	Not exist	Exist	Exist

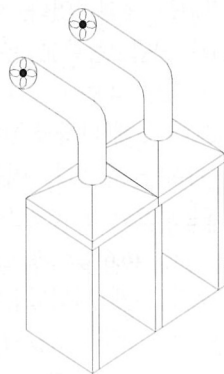


Fig. 4. Local exhaust ventilation system type of "A" school.

가지관으로 연결된 B, C, D, E 학교중 B학교는 가지관과 주관이 합류되는 지점에서 덕트가 확대되는 확대관을 사용하였으나 나머지 학교들은 주관의 크기가 일정하였으며, 가지관과 주관이 연결되는 각도가 C, D학교의 경우 90°를 이루고 있었다. 또한 송풍기의 청소상태는 모든

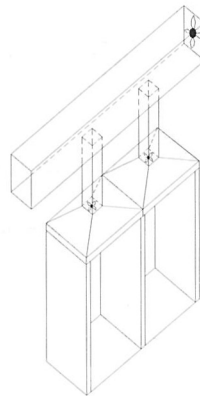


Fig. 5. Local exhaust ventilation system type of "B", "C", "D", "E" school.

* : Main was not exist in C school

학교의 송풍기 날개에 먼지가 퇴적되어 있었고 반송 덕트 역시 청소를 위한 설비가 하나도 없어 관내 청소를 할 수 없는 상태이었다.

2) 국소배기장치 성능

각 학교에 설치된 국소배기장치의 성능인 후드 제어능력과 제어속도, 반송속도를 표 7에 나타내었다.

후드의 제어능력을 발연관을 가지고 평가한 결과 모든 학교에서 발생한 연기가 후드로 유입되지 않고 그대로 부스 안으로 비산되는 현상을 나타내었으며, 작업대에서의 제어속도와 덕트에서의 반송속도 모두가 노동부 기준인 0.5m/sec와 10m/sec에 미달하였다.

작업대에서 발생한 용접흡이 제어속도의 부족으로 인하여 후드로 유입되지 않고 부스 안에 체류하는 시간이 길어 그만큼 실습학생들이 노출될 위험성이 컸다. 또한 덕트의 반송속도 역시 기준에 미달하여 발생물질을 외부로 적절히 배출시키지 못하고 관내에 퇴적됨으로 인하여 반송기류를 방해하고 관내의 압력손실을 증가시켜 국소배기장치 전체 성능의 저하가 예상되었다.

Table 7. Capture capacity, capture velocity and transportation velocity of local exhaust ventilation system

	School				
	A	B	C	D	E
Capture capacity*	poo r	poo r	poo r	poo r	poo r
Capture velocity (m/sec)	0.3 8	0.4 0	0.3 6	0.3 9	0.3 9
Transport velocity (m/sec)	6.7 8	6.6 1	3.4 2	3.7 8	3.1 3

* : smoke tester check

IV. 고 찰

우리나라는 지난 1960년대부터 경제발전계획의 일환으로 중화학공업을 육성 발전시킴으로써 건축, 조선업 등 대부분의 기간산업에서 용접업무가 증가하게 되었다. 하지만 이와 더불어 용접으로 인한 유해환경으로 건강장해가 유발되는 부작용도 발생하였다. 특히 용접흡을 다량 흡입함으로써 호흡곤란, 흉통 등을 일으키고 각종 중금속 중독을 발생시킬 수 있으며, 또한 최근 들어 용접작업으로 인한 직업

병 소견이 보고되고 있는 시점에서 용접 작업에 대한 각별한 보건관리가 요구된다(손혜숙 등, 1995).

현재 우리나라 공업고등학교에서 용접을 전공하는 학생들이 많이 있지만 용접 실습실의 유해인자 발생과 관련하여 어떠한 노출평가도 이루어지지 않고 있는 상태이며 그와 관련된 법적 규제 또한 이루어지지 않고 있는 실정이기 때문에 학교 내의 작업환경관리에 많은 문제점이 있을 것으로 예상된다(장지선, 1998).

공업고등학교 용접실습실을 대상으로 실습환경을 조사한 결과 용접작업에는 부적절하다고 생각되는 캐노피형 후드의 국소배기시설이 설치되어 있어 작업대에서 발생하는 유해물질을 효과적으로 제거하지 못했으며, 부스 안의 작업대가 한쪽 벽면에 붙어 있어 발생하는 유해물질이 실습생들의 호흡영역을 지나 상부 중앙의 송풍기를 통해 배출되는 형태이기 때문에 실습학생들이 유해물질에 직접 노출될 위험이 있었다. 따라서 배출되는 유해물질을 발생원에서 효과적으로 제거하기 위해서는 그림 6, 7, 8과 같이 발생원과 최대한 가까운 곳에 후드를 위치시킬 수 있는 측방형 후드, 상방형일 경우 flexible 덕트에 연결된 후드를 사용하거나 덕트와 송풍기를 작업대 밑으로 설치하여 발생 유해물질이 호흡영역으로 상승되지 못하도록 작업대 아래 덕트로 배출하는 하방형 후드를 설치하는 것이 적절하다고 생각한다.

작업자세와 작업대 위치 선정의 경우 작업 부위를 작업자의 호흡영역 아래에 두지 않도록 하여 발생하는 유해물질이 호흡영역을 통과하지 못하게 하는 것이 중요하며, 작업대 위치도 부스 안쪽 벽에 위치시키는 것보다 후드 중앙 송풍기 아래에 두어 유해물질을 직접 배출시킬 수 있도록 작업대 위치를 변경할 필요가 있을 것으로 판단된다.

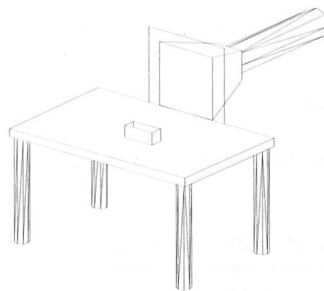


Fig. 6. Lateral hood.

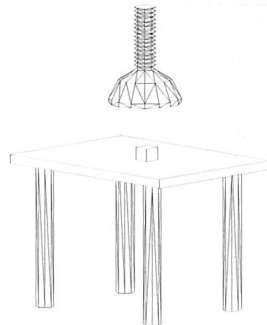


Fig. 7. Freely-suspended open type.

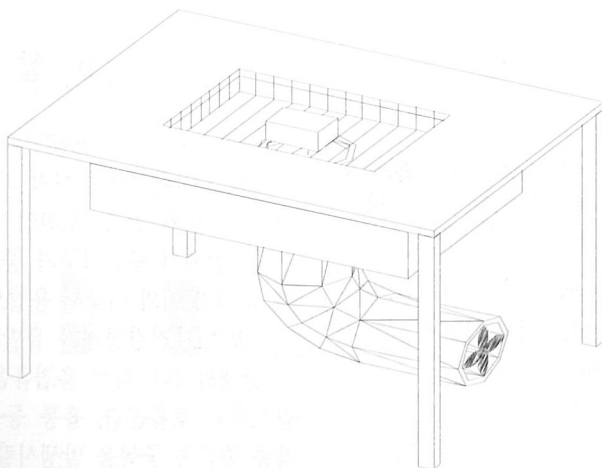


Fig. 8. Down-draft table type.

학교별 용접흡 개인노출 농도는 C학교의 경우 전체적인 평균은 높았으나 노출 기준 초과율은 64.3%로 다른 학교에 비하여 낮았다. 이는 C학교의 농도분포가 노출기준 미만인 시료를 제외한 대부분의 시료가 다른 학교 보다 높게 나타났기 때문이며, 노출기준 미만인 23개 시료중 많은 시료의 농도분포가 노출기준인 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 에 근접하고 있어 노출기준 초과 가능성 있었다.

본 연구에서 공업고등학교 용접실습실의 국소배기설비의 제어속도와 반송속도를 조사한 결과 5개 학교의 평균 제어속도가 $0.38\text{m}/\text{sec}$ 로 한돈희(1998)의 탈지세척 및 도금공정에서의 국소배기설비의 제어속도 $0.25\sim 0.3\text{m}/\text{sec}$, $0.2\sim 0.4\text{m}/\text{sec}$, $0.3\sim 0.4\text{m}/\text{sec}$ 등과 비슷하였으나 노동부 기준인 $0.5\text{m}/\text{sec}$ 를 만족하지 못하였고, 덕트 내의 평균 반송속도 역시 $4.75\text{m}/\text{sec}$ 로 노동부 기준 $10\text{m}/\text{sec}$ 미만이었다.

공업고등학교 용접실습생 개인노출수준을 측정된 결과, 용접흡 농도의 기하평균 농도는 $6.27\text{mg}/\text{m}^3$ ($3.85\sim 9.88\text{mg}/\text{m}^3$)로 나타났고 노동부 기준인 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 로 노출기준 초과 여부를 평가하였을 때 68.5%가 노출기준을 초과하였다. 이것은 장지선(1998)의 공업고등학교 용접실습실의 용접흡 농도인 $4.80\text{mg}/\text{m}^3$ 과 노출 초과율 46.3%보다 높게 나타났으며 학교별로 유의한 차이는 없었다. 이는 박영순 등(1997)이 보고한 모 조선소 밀폐작업장의 용접흡 농도 $16.6\text{mg}/\text{m}^3$ 과 노출기준 초과율 82.1%보다 낮게 나타났으며, 김광중 등(1991)의 모 조선업의 도금공정에서의 용접흡 농도 $12\text{mg}/\text{m}^3$, Phoon 등(1983)이 보고한 조선소의 밀폐 장소에서의 용접흡 농도인 $12.8\text{mg}/\text{m}^3$ 의 약 0.5배 수준이었다.

또한 변상훈 등(1995)의 콘테이너제조업에서 $2.46\text{mg}/\text{m}^3$, 갑판제조공정에서 $1.94\text{mg}/\text{m}^3$ 보다 약 3배정도 높았으며, 신용철 등(1997)이 보고한 자동차 제조업에서 $3.4\text{mg}/\text{m}^3$ 과 이권섭 등(1994)의 자동차 차체생산공장의 $3.11\text{mg}/\text{m}^3$ 보다 약 2배정도 높게 나타났다.

5개학교의 부스 바깥쪽의 지역시료 기하평균농도는 $2.27\text{mg}/\text{m}^3$ 으로 박성기(1992)의 컨테이너 제조업에서의 $2.46\text{mg}/\text{m}^3$, 자동차 부품 제조업의 $1.85\text{mg}/\text{m}^3$ 과 유사하게 나타났다.

이와 같이 공업고등학교 용접실습실에서 발생하는 용접흡의 농도가 컨테이너 제조업이나 자동차 제조관련 작업장보다 높은 것으로 미루어 볼 때 일반 작업장 노동자 못지 않게 건강장해가 나타날 수 있는 위험성이 있으므로 산업체에서 이루어지고 있는 작업환경 측정 및 평가가 교육 환경에도 적용되어야 할 것으로 판단된다.

공업고등학교 용접실습실의 전반적인 대책으로는 담당교사와 실습학생들에게 산업보건 교육을 통하여 실습시 발생하는 유해인자와 노출로 인한 건강장해에 대한 정보를 제공함으로써 스스로 건강 및 안전을 지킬 수 있도록 하며, 실습 전 차광 보호구 이외에 호흡용 보호구를 지급하여 반드시 착용하도록 해야 한다. 또한 현재 얼굴을 하방으로 두고 발생원에 안면을 밀착하는 부적절한 작업자세를 교정하여 발생된 용접흡이 호흡영역을 통과하지 않도록 하며, 이와 함께 작업대 위치를 조정함으로써 유해인자 노출을 최대한 억제하도록 해야 한다.

국소배기 시스템의 대책으로는 현재 캐노피 형태의 후드는 용접작업에 부적합하므로 용접작업에 적합한 후드로 *freely-suspended open hood, cross-draft table, down-draft table, enclosing hood* 등이 권장되고 있으므로(한국산업안전공단 산업보건연구원, 1997) 실습실에 적합한 후드 선택, 유해물질을 흡입할 수 있는 제어속도를 고려한 송풍기 선정, 가시관에서 주관으로 합류되는 지점에서의 확대관 사용 등을 들 수 있으며 국소배기설비의 정상적 가동을 위한 지속적인 유지, 관리가 필요하다. 따라서 공업고등학교 용접실습실에 적합한 국소배기설비에 대하여 향후 좀더 구체적이고 심도있는 연구가 필요할 것으로 생각한다.

V. 결 론

본 연구는 2000년 2월과 5월에 충남 지역에 위치한 공업고등학교중 용접과가 설치된 5개 학교를 대상으로 용접작업시 발생하는 용접흡 농도와 국소배기장치의 성능에 대한 실태를 파악한 것으로 결과는 다음과 같다.

1. 용접실습실내에 공기중 용접흡의 개인 노출농도는 $6.27\text{mg}/\text{m}^3 \pm 1.36\text{mg}/\text{m}^3(\text{GM} \pm \text{GSD})$ 로 우리나라 노출기준 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 를 초과하였으며 68.5%의 초과율을 나타내었다.
2. 용접 부스 밖의 용접흡 농도는 $2.27\text{mg}/\text{m}^3 \pm 0.21\text{mg}/\text{m}^3(\text{GM} \pm \text{GSD})$ 로 노출기준을 초과하지 않았다.
3. 용접실습실에 설치된 국소배기장치는 환기에 부적합한 캐노피 후드사용, 공학적 요소가 배제된 부적절한 설계 등으로 발생원에서의 유해물질을 효과적으로 제거하지 못했다.
4. 안면을 용접부위에 밀착하는 작업자세, 부적절한 작업대의 위치, 그리고 호흡용 보호구의 미지급으로 인하여 발생하는 유해인자에 노출될 위험성이 컸다.
5. 용접실습실에 설치된 국소배기장치의 제어속도와 덕트의 반송속도의 평균은 각각 $0.38\text{m}/\text{sec}$ 와 $4.27\text{m}/\text{sec}$ 로 용접작업시 노동부 기준인 제어속도 $0.5\text{m}/\text{sec}$, 반송속도 $10\text{m}/\text{sec}$ 이상에 모두 미달하였다.
6. 국소배기장치의 유지, 관리가 이루어지지 않아 본진 등의 물질이 송풍기 날개 및 덕트내에 퇴적되어 있어 이로 인한 국소배기장치의 성능저하 가능성이 높았다.

이상의 결과로 볼 때, 용접실습생들의 건강장해 예방을 위해서는 현재 공업고등학교 용접실습실내 적합한 국소배기장치의 설치가 필요하며, 작업환경 측정 및 평가와 같은 법적 기준 적용, 호흡용 보호구의 착용 및 산업보건 교육이 필요할 것으로 판단된다.

REFERENCES

- 강인찬. 현대 용접공학. 연경사, 서울, 1993, 쪽 11-17
- 곽영순, 백남원. 모 조선소의 밀폐된 작업장에서의 공기중 용접흡 및 중금속 농도에 관한 조사 연구. 한국산업위생학회지 1997; 7(2): 107-125
- 김광중, 송기창. 모 조선소 작업장의 공기중 용접흡 농도에 관한 조사. 한국산업위생학회지 1991; 1(1): 68-72
- 노동부. 산업위생업무편람, 1994, 쪽 335-336
- 노동부. 용접, 용단 작업장의 유해환경 실태조사. 국립노동과학연구소, 1984, 쪽 1-25
- 노동부. 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준. 노동부 고시 제 97-65호, 1995
- 박동욱, 박두용, 신용철, 오세민, 정규철. 일부 영세 도금사업장의 국소배기 성능과 공기중 총크롬, 6가 크롬 및 니켈농도와 의 관계분석. 한국산업위생학회지 1993; 3(1): 68-77
- 박성기. 국소배기장치 유무에 따른 용접흡 폭로량. 석사학위논문, 경북대학교 보건대학원, 1992
- 박종수. 일부 공업고등학교 용접작업장의 공기중 용접흡 농도와 환기 시설의 효과. 석사학위논문, 서울대학교 보건대학원, 1987
- 백남원. 산업위생학개론. 신광출판사, 서울, 1995, 쪽 84-90
- 백남원. 용접공과 용접흡의 폭로. 노동과학 1987; 29: 57-63
- 변상훈, 박승현, 김창일, 박인정, 양정선, 오세민, 문영한. 일부업종의 용접흡 분석 및 폭로농도에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1995; 5(2): 172-183
- 손혜숙, 최성룡, 유영진, 이채연. 조선소 용접공 진폐증 발생에 관련된 요인분석. 인제대학교 보건과학연구소 연구논문집 1995; 1: 222-237
- 송치남. 아크 용접 전류에 따른 흡 발생률과 흡 및 중금속 농도의 분석. 석사학위논문, 한국교원대학교 대학원, 1998

- 신용철, 이광용, 박승현, 이나루, 정지연, 박정근, 오세민, 문영한. 용접공정에서 발생된 공기중 흙의 조성과 농도에 영향을 미치는 요인에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1997; 7(2): 181-195
- 윤임중. 용접작업에 대한 직업병 예방 대책. 국립노동과학연구소, 1984, 쪽 1-25
- 이권섭, 백남원. 용접작업 형태별 공기중 용접흙 농도와 금속 성분에 관한 조사 연구. 한국산업위생학회지 1994; 4(1): 71-80
- 장지선. 충청지역 일부 공업고등학교 용접실습생의 흙 및 망간에 대한 노출 평가. 석사학위논문, 순천향대학교 대학원, 1998
- 조규상, 이승한, 이광목, 윤임중, 정치경, 맹광호, 박정일, 이세훈, 박하영. 산업보건학. 서울: 수문사; 1991, 쪽 357-374
- 한국산업안전공단 산업보건연구원. 국소배기장치 효율향상에 관한 연구: 용접작업에서의 용접흙 관리방안을 중심으로. 위생연 97-6-20, 1997
- 한국산업안전공단. 국소배기장치 자체검사 실무. 90-111-3, 서울: 1990
- 한국산업안전공단 산업보건연구원. 망간 역학조사 최종보고서. 직진연 98-5-6, 1998
- 한돈희. 일부 탈지세척 및 도금공정 국소배기장치의 성능점검과 개선방안. 한국산업위생학회지 1998; 8(2): 178-185
- ACGIH(American Conference of Governmental Industrial Hygienists). Welding health and safety resource manual. ACGIH, Akron, OH, 1984
- Aldem JL, Kane JM. Design of industrial ventilation systems. 5th ed., New York: Industrial Press Inc.; 1982, p. 15-40
- Allen RW, Ells MD, Hart AW. Industrial hygiene. New Jersey: Prentice-Hall Inc.; 1976, p. 296-306
- Clyton GD, Clyton FE. Patty's industrial hygiene and toxicology. New York: A Wiley Interscience Publication; 1977, p. 1172-1178
- Morgan WK. Occupational lung diseases. New York: W.B. Saunders Company; 1975, p. 321-334
- Phoon WH, Tan KT. Welding fumes in shipyards. Occupational Health and Safety 1983; 2: 19-25
- Zenz C. Occupational medicine. 2nd ed., Chicago: Year Book Medical Publishers Inc.; 1988, p. 547-548