

특성화 고등학교 용접 실습의 유해인자 노출 실태 비교 분석

김민주 · 장성은 · 김화일*

부산가톨릭대학교 안전보건학과

Comparative Analysis of Exposure to Hazardous Factors of Welding Lab Activities in Specialized High School

Min-Ju Kim · Seong-Eun Jang · Hwa-Il Kim*

Department of Safety and Health, Catholic University of Pusan

ABSTRACT

Objectives: This study aims to identify and analyze the exposure status of welding students in specialized high school welding laboratories, compare it with the exposure to welding hazards of industrial workers, and seek to improve the educational environment for youth through domestic and international exposure standards.

Methods: This study compares the level of exposure to hazardous factors in a welding laboratory of a vocational high school in Jeollanam-do and a welding process in a general industrial site by measuring the work environment. A 10-question survey was conducted to review the effects of welding hazards on the human body, carcinogenicity information, international (US, UK, France) exposure standards, general characteristics between the two groups, and awareness of occupational health.

Results: Exposure to hazardous factors in both groups was below the standards set by MOEL. Specialized high school students were exposed to higher levels than workers, and some hazardous factors exceeded the standards when compared to international exposure standards. During the survey, students were less aware of the hazards of welding, safety and health education, and the need for work environment measurement than workers.

Conclusions: For the respiratory protection of students in vocational high school welding labs, it is necessary to create a comfortable training environment. Exposure standards for harmful factors should be strictly applied, such as overseas standards, or exposure should be limited by setting a limit on the number of hours of welding practice per week. In addition, it is necessary to conduct safety and health education for welding students to raise their awareness of the importance of measuring the working environment and wearing appropriate protective equipment.

Key words: exposure standards, mandatory, specialized high school, welding, work environment measurement


I. 서 론


우리나라 산업현장에서는 산업안전보건법 시행규칙 별표 21에 나열된 '작업환경측정 대상 유해인자'에 노출되고 있는 산업현장의 근로자들은 산업안전보건법 제

125조에 의하여 사업주의 명으로 작업환경측정하고 있으며 최근 중대재해처벌법(2023.01.27.)에 따라 작업 환경측정의 의무성이 강조되고 있다.

작업환경측정 대상 유해인자가 노출되는 대표적인 작업 중 하나인 용접 작업은 용접봉을 사용하므로 용접봉

*Corresponding author: Hwa-Il Kim, Tel: 051-510-0632, E-mail: hikim@cup.ac.kr
Catholic University of Pusan, Health Sciences Building 405, 9 Bugok 3-dong, Geumjeong-gu, Busan
Received: May 21, 2024, Revised: June 18, 2024, Accepted: June 28, 2024

 Min-Ju Kim <http://orcid.org/0009-0007-2569-6285>

 Seong-Eun Jang <https://orcid.org/0000-0001-8702-0378>

 Hwa-Il Kim <http://orcid.org/0000-0002-7826-1951>

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

내에 함유된 구성성분(금속류)들이 고열에 녹아 용접 흠이 대량으로 발생되어 작업자 호흡기에 노출된다. 유해환경 요인으로서는 분진, 소음, 고온, 유해 광선 등의 물리적 인자 외에도 유해가스, 금속류, 기타 각종 화학적 유해 물질이 있다(Guidotti et al, 1992). 용접 흠은 산화철(Fe_2O_3)이 주종을 이루며, 용접봉, 피 용접 금속 재질 및 용접 물질에 피막된 도료 성분 등에 따라 크롬, 니켈, 카드뮴, 알루미늄 등의 중금속 성분들이 포함될 수 있다. 또한 오존(O_3), 질소산화물(NO , NO_2), 일산화탄소(CO) 등의 유해가스가 발생하며, 트리클로로에틸렌 등과 같은 염소를 함유한 유기용제는 포스겐 등과 같은 독성물질을 발생시킨다(Ferry & Ginther, 1952; Morgan, William, 1975; Beak, 1987). 유럽화학물질청(ECHA), 국제암연구기관(IARC)에 의하면 용접 작업 시 발생 되는 유해인자는 인체에 흡수되면 건강에 영향을 미치며 유해인자 중 일부는 발암성을 부여하므로 용접 공정은 주요한 작업환경측정 대상이다.

우리나라 특성화 고등학교 용접실습실(이하 특성화고 학생들이라 칭한다.)은 영세 사업장(이하 산업현장이라 칭한다.)과 동일한 용접봉을 사용하므로 동일 유해인자에 노출되고 있다. 그러나 산업안전보건법에 따르면 특성화고 학생들은 근로자(노무를 제공하는 자)가 아니므로 작업환경측정 의무 대상에서 제외된다. 특성화고 학생들이 규제받고 있는 학교보건법의 유사한 조항인 제4조(학교의 환경위생 및 식품위생), 제4조의 2(공기 질의 유지. 관례 특례)가 시행되고 있으나, 청력 및 호흡기에 노출되는 유해인자들을 예측, 측정, 평가하여야 하는 내용은 없다(School Health Act, 2022). 현재 특성화고 학생들은 용접 실습 과정 중 발생 되는 유해인자에 노출되는 상황이다.

특성화고 학생들과 산업현장의 용접 작업 시간 및 노출량을 비교하면, 특성화고 학생들은 산업현장보다 용접 작업 시간은 적지만 소음, 용접 흠 등 유해인자에 대한 감수성이 예민하여 조기 용접공폐증, 소음성 난청 등 건강에 부정적 영향을 미칠 수 있다. 대부분은 차후 취업을 위한 용접 실습이므로, 유해인자 노출수준은 산업현장과 유사할 것으로 판단된다.

작업환경측정은 건강에 영향을 미치는 유해인자가 근로자의 호흡기 또는 피부에 얼마나 노출되고 있는지를 측정·평가하여 유해 작업장의 시설·설비를 개선하는 등 적절한 대책을 마련하고 그에 따른 근로자 보호 조

치를 위한 사전적 수단으로 기능한다. 특히 직업병과 관련된 부분에서는 그 예방적 차원에서 작업환경 개선이 중요하므로 작업환경측정의 중요성을 강조하지 아니할 수 없다(Phi, 2004). 그러므로 작업환경측정 대상 유해인자에 무방비 상태로 노출되고 있는 특성화고 학생들에게 작업환경측정 의무화 제도를 도입하여 용접 작업 과정에서 발생하는 유해인자에 노출되지 않도록 조기 교육하고, 차후 산업현장에 나아가서도 용접 작업 시 적절한 보호구를 착용하여 자신의 건강을 스스로 지키도록 의식을 계도시켜야 한다.

이에 본 연구는 전남지역의 특성화 고등학교 용접실습실과 동일 용접봉을 취급하는 산업현장의 용접 공정을 중심으로 작업환경 측정하여 특성화 고등학교 용접실습실에서 발생하는 유해인자(소음, 용접 흠, 금속류 등) 노출량을 고찰하고자 한다.

II. 연구 대상 및 방법

1. 연구 대상

본 연구를 위해 전남지역 특성화 고등학교 용접실습실 7개소(A~G)를 연구 대상으로 선정하고, 비교 대조군으로 전남지역 용접 작업을 주로 실시하는 10인 미만 사업장 9개소(H~P)를 추가로 선정하여 2023년 1월 5일부터 2023년 11월 11일까지 작업환경 측정하였다. 10인 미만 사업장 중 몇 개소는 용접 공정 외에 분진이 발생하는 타 작업 공정도 존재하나, 공정이 분리되어 용접 유해인자 시료 채취가 가능하였다. 각각 특성에 맞는 용접봉 사용에 따라 함유된 금속류 및 용접 흠, 소음을 주요 노출 유해인자로 선정하여 특성화 고등학교 용접실습실의 16개 시료와 10인 미만 사업장의 용접 공정의 16개 시료의 노출량을 비교하였다. 설문조사는 작업환경측정에 참여한 인원을 포함하여 총 80명(용접실습실 고등학생 40명, 산업현장 용접 공정 근로자 40명) 이다.

산업현장의 용접 공정은 특성화고 학생들이 사용하는 용접봉(용가재)과 동일 명칭 및 구성성분이 유사한 용접봉 사용 사업장으로 선정하였다. 두 그룹 모두 TIG 용접, CO_2 용접을 하고, 특성화 고등학교 용접실습실은 용접 부스 안에서 외부식 측방 형 국소배기장치를 동시에 가동하였다. 반면 산업현장은 대부분 국소배기장치가 없거나 가동하지 않은 채 용접 작업을 실시하고 있었다(Table 1).

Table 1. General characteristics of welding rods, ventilation and welding type

	Specialized high school							Work sites								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
〈Welding rod〉																
KC-28 ¹⁾	O	O	O		O			O	O		O	O	O		O	O
KH-500LF ²⁾	O	O	O	O	O	O										
ST-308 ³⁾	O	O	O							O		O	O	O	O	
K-71T ⁴⁾							O					O	O	O	O	O
CR-13 ⁵⁾					O					O				O		
〈Ventilation〉																
Welding booth	O			O		O										
Upward ventilation	O	O	O	O	O	O	O			O		O				O
〈Welding type〉																
TIG ⁶⁾	O	O	O							O		O	O	O	O	
CO ₂ ⁷⁾	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O

¹⁾KC-28(Mn, Fe₂O₃)⁴⁾K-71T(Mn, Fe₂O₃, TiO₂)⁶⁾TIG(Tugsten inert gas welding)²⁾KH-500LF(Fe₂O₃, TiO₂)⁵⁾CR-13(Mn, Fe₂O₃, TiO₂)⁷⁾CO₂(Flux cored arc welding)³⁾ST-308(Fe₂O₃, Cr³⁺, Ni, Mn, Cr⁶⁺)

2. 연구 방법

1) 시료 채취

용접 흙은 산화철, 망간, 총 크롬, 니켈(불용성), 이산화티타늄 등(이하 금속류로 한다)과 동시에 포집하기 위해 PVC(poly vinyl chloride) 여과지 대신에 MCE (mixed cellulose ester membrane filter 직경 37 mm, 공극 0.8 μm)를 데시게이터에서 24시간 건조 시킨 후, 소수점 다섯째 자리까지 표기되는 전자저울로 무게를 측정한 여과지를 사용하였다. 크롬(불용성 6가 크롬 화합물)은 PVC(직경 37 mm, 공극 5.0 μm)를 사용하였다. 시료 포집은 측정 전·후 유량 변동이 적은 개인 공기 시료 채취기(personal air sampler, SKC AirChek Touch, U.S.A)에 듀얼 타이콘 튜브를 사용하여 3-piece cassette filter에 장착 후 작업환경측정 및 정도관리 등에 관한 고시(고용노동부, 2020)에서 규정하는 유해 물질 시료의 채취는 근로자의 호흡 위치(근로자의 호흡기를 중심으로 반경 30cm 반구)에서 실시하였다. 금속류는 2.019~2.018 l/min의 유량으로 크롬(불용성 6가 크롬 화합물)은 1.016~1.011 l/min의 유량으로 여과채취방법을 사용하여 개인 시료 채취를 하였다. 채취 유량은 건식 유량 보정계(Defender 510, Gas flow calibrator, Sun Ray)를 이용하여 시료 포집 전·후 유량을 각각 보정 하였다.

소음은 KOSHA GUIDE W-23-2016(소음측정 및 평가 방법)에 따라 누적 소음 노출량 측정기(TSI QUEST, EG4P DOSIMETER, U.S.A)를 사용하여 청력 위치(근로자 청각을 중심으로 반경 30 cm 반구)에서 측정하였다. 소음을 정확하게 측정하기 위해 보정계(TSI QUEST, CALIBRATED, U.S.A)를 사용하였으며 측정 전·후로 114.0 dB(A)로 보정 하였다. 소음계의 청감보정회로는 A 특성, 지시침의 동작은 느린(slow) 상태, threshold : 80 dB, criteria : 90 dB, exchange rate : 5 dB로 설정하였다.

2) 시료 분석

용접 흙 분석은 시료 포집 전·후의 여과지 중량의 차를 유량으로 나누어 산출하는 중량 분석법으로 계산한다. 금속류의 분석은 시료 포집 후, 여과지 시료 포집 부분이 위를 향하도록 하고 마개를 닫아 밀폐된 상태에서 운반하여 일주일 이내에 원자 흡광도계(atomic absorption spectrophotometer, AAS)를 이용하여 분석하였다(OSHA Method ID-121, 2002). 6가 크롬 화합물의 분석은 시료 채취 후 즉시 여과지를 꺼내어 추출 용액(2% 수산화나트륨 + 3% 탄산나트륨) 5mL를 첨가하여 여과지를 완전히 적신 후 마개로 밀봉하고 냉장 보관 및 운반하여 일주일 이내에 이온 크로마토그래프

Table 2. Methods of sampling and analysis

Harmful factors	Sampling	Sample analysis
Iron oxide	A method ¹⁾	B method ²⁾
Manganese		
Total chromium		C method ³⁾
Nickel(not soluble)		
Titanium dioxide		
Chromium(VI)	D method ⁴⁾	D method ⁴⁾
Welding fumes		

¹⁾A method : Filtration collection method

²⁾B method : OSHA method ID-121

³⁾C method : NIOSH method 7605

⁴⁾D method : Weight analysis method

(Ion Chromatograph, IC)를 이용하여 분석하였다(NIOSH method 7605, 2003). 시료 채취 및 분석 방법은 <Table 2>와 같다. 소음 노출량은 제조사에서 만든 프로그램(Detection Management Software)으로 데이터(TWA)를 도출하였다.

3) 설문지 내용 구성

특성화고 학생들과 산업현장 용접 공정의 근로자들에게 동일 질문으로 설문조사를 실시하였다. 설문 내용은 응답자의 일반적인 특성(나이), 용접이 진행되는 작업환경 및 실습환경 실태(주당 용접 시간, 용접에 대한 유해·위험성 교육 여부 등) 산업보건에 대한 인식(작업환경측정, 건강의 이상 유·무 등) 순이다.

III. 결 과

1. 용접 실습 과정 중 유해인자 노출량

특성화고 학생들의 용접 실습 시간은 240~280분 정도였으며 점심시간 1시간을 제외한 발생(실습) 시간 동안 연속으로 시료 채취하였다. 반면, 산업현장은 1일 8시간 작업으로 360분 이상 연속하여 시료 채취하였다. 시료 채취 후 산업현장의 노출농도와 동일 조건으로 비교하기 위해 ACGIH의 1일 8시간 평균 농도인 시간 가중 평균치(TWA) 환산값은 아래와 같다(수식 1).

$$TWA \text{ 환산 값} = \frac{C_1 T_1 + C_2 T_2 + \dots + C_n T_n}{8hr} \quad (1)$$

C : 유해인자 측정치(mg/m³)

T : 유해인자 발생 시간(hr)

총 32개(특성화고 학생 16개, 산업현장 용접 공정 16개) 모든 유해인자가 고용노동부 고시에서 규정하는 노출 기준 미만으로 나타났으나 특성화 고등학교 학생들의 유해인자 중 용접 흠은 산업현장 보다 높게 나타났다. 특히, 용접 흠의 노출량(산술평균)은 산업현장 0.12 mg/m³ 특성화고 학생 0.29 mg/m³로 약 2배 높은 수준이다. 금속류 노출량(산술평균)은 수치상으로 산업현장보다 높거나 비슷한 노출량으로 다음과 같이 노출되고 있었다. 산화철은 산업현장 0.09 mg/m³ 특성화고 학생 0.13 mg/m³, 망간은 산업현장 0.03 mg/m³ 특성화고 학생 0.03 mg/m³, 총 크롬은 산업현장 0.0006 mg/m³ 특성화고 학생 0.001 mg/m³, 니켈(불용성)은 산업현장 0.0003 mg/m³ 특성화고 학생 0.0003 mg/m³, 이산화티타늄은 산업현장 0.0008 mg/m³ 특성화고 학생 0.01 mg/m³, 6가 크롬은 산업현장 0.0003 mg/m³ 특성화고 학생 0.0006 mg/m³이다. 산업현장 대부분은 환기장치(용접 부스)가 설치되어 있지 않았지만, 다수의 창문이 존재하였으며 개구부 면적이 넓은 출입구 근처에서 용접 작업을 주로 실시하여 급기·배기(회석 환기)가 원활하였다.

Table 3. Comparison of the exposure level of welding fume from each groups (Unit: mg/m³)

Welding fumes	Specialized high school	Work sites
	TWA	TWA
1	0.1213	0.0912
2	0.2181	0.1687
3	0.1383	0.3978
4	0.1352	0.0725
5	0.2412	0.0868
6	0.1297	0.0818
7	0.6411	0.8270
8	1.8733	0.0915
9	0.2071	0.0869
10	0.2180	0.0822
11	0.0862	0.0911
12	0.0932	0.0729
13	0.1279	0.0845
14	0.1142	0.1508
15	0.1415	0.0868
16	0.0797	0.5910
N ¹⁾	16	16
AM ²⁾	0.29	0.12

¹⁾N : Number of sample

MoEL

²⁾AM : Arithmetic mean

[Standard : 5 mg/m³]

Table 4. Comparison of the exposure level of noise from each groups (Unit: dB(A))

Noise	Specialized high school	Work sites
	TWA	TWA
1	74.3	80.4
2	73.7	78.9
3	71.9	65.6
4	71.9	74.8
5	69.7	68.9
6	69.7	68.1
7	70.5	77.1
8	71.7	80.9
9	73.1	79.2
10	76.5	79.7
11	65.2	77.5
12	68.2	78.1
13	70.9	88.5
14	69.3	81.0
15	66.4	76.0
16	66.6	73.3
N ¹⁾	16	16
AM ²⁾	70.6	76.7

¹⁾N : Number of sample School Health Act²⁾AM : Arithmetic mean [Standard : 55 dB(A)]

8번째 시료(G 학교 용접실습실)는 1.8733 mg/m³로 다른 용접실습실과 비교하여 상대적으로 높게 나타났다. 해당 용접실습실은 용접 부스가 설치되어 있지 않았고 외부식 상방형 환기장치가 설치되어 있음에도 불구하고 학생들은 환기장치를 사용하지 않은 점에서 나타난 수치이다. 용접실습실의 환경 및 환기장치는 산업현장보다 더 쾌적하게 조성이 되어 있으나, 16개 시료 중 용접실습실 과반수는 용접 흠에 대하여 산업현장보다 높게 나타났다<Table 3>.

산업현장에 대한 소음 관련 규제는 산업안전보건법 기준에 관한 규칙 512조(소음 및 진동에 의한 건강장해의 예방 정의)에 따라 1일 8시간 작업 기준 85dB(A) 이상의 소음을 '소음작업'이라 정의한다. 반면 특성화 고등학교 학생들에 대한 소음에 관한 규제는 학교보건법 시행규칙 제3조(환경위생 및 식품위생의 유지관리) 별표 4에는 '교사 내 소음은 55dB(A) 이하로 할 것'이라고 정의되어 있다. 하지만 특성화 고등학교 학생들의 소음 노출량(산술평균)은 55dB(A)보다 높은 수치인 70.6 dB(A)로 나타났다<Table 4>.

2. 국외 노출 기준을 적용한 유해인자 노출량

특성화 고등학교 용접실습실에서 노출되는 유해인자

Table 5. Comparison of international exposure standards for manganese exposure levels in specialized high school students (Unit: mg/m³)

N ¹⁾	Moel TLV	ACGIH TLV	HSE WEL	OSHA PEL	NIOSH REL	France OEL
	1 mg/m ³ TWA	0.02 mg/m ³ TWA	0.05 mg/m ³ TWA	0.2 mg/m ³ TWA	1 mg/m ³ TWA	0.2 mg/m ³ TWA
1	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013
2	0.0217	0.0217	0.0217	0.0217	0.0217	0.0217
3	0.0110	0.0110	0.0110	0.0110	0.0110	0.011
4	0.0160	0.0160	0.0160	0.0160	0.0160	0.016
5	0.2128	0.2128	0.2128	0.2128	0.2128	0.2128
6	0.0062	0.0062	0.0062	0.0062	0.0062	0.0062
7~8	→ Not used welding rods containing manganese					
9	0.0041	0.0041	0.0041	0.0041	0.0041	0.0041
10	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130
11~13	→ Not used welding rods containing manganese					
14	0.0186	0.0186	0.0186	0.0186	0.0186	0.0186
15	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067
16	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
AM ²⁾	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
% ³⁾	3%	150%	60%	3%	3%	15%

¹⁾N : Number of samples²⁾AM : Arithmetic mean³⁾% : Ratio of level

Table 6. Comparison of international exposure standards for Chromium (VI) exposure levels in specialized high school students (Unit: mg/m³)

N ¹⁾	Moel TLV France OEL	ACGIH TLV NIOSH REL	HSE WEL	OSHA PEL
	0.01 mg/m ³ TWA	0.0002 mg/m ³ TWA	0.025 mg/m ³ TWA	0.005 mg/m ³ TWA
1	0.0004	<u>0.0004</u>	0.0004	0.0004
2	0.0008	<u>0.0008</u>	0.0008	0.0008
3	0.0004	<u>0.0004</u>	0.0004	0.0004
4	0.0006	<u>0.0006</u>	0.0006	0.0006
5	$N \cdot D^{4)}$	$N \cdot D$	$N \cdot D$	$N \cdot D$
6	$N \cdot D$	$N \cdot D$	$N \cdot D$	$N \cdot D$
7~16	→ Not used welding rods containing chromium(VI)			
AM ²⁾	0.0006	<u>0.0006</u>	0.0006	0.0006
% ³⁾	6%	<u>300%</u>	2.4%	12%

¹⁾N : Number of samples²⁾AM : Arithmetic mean³⁾% : Ratio of level⁴⁾N · D : Not Detected

는 우리나라 규정 노출 기준(TLV) 미만으로 나타났다. 그러나 국외에서 규정하고 있는 노출 기준인 미국 (ACGIH-TLV, 2019), 영국(HSE-WEL, 2002), 미국 (OSHA-PEL, 2014), 미국(NIOSH-REL, 1997), 프랑스(OEL, 2018-2019)를 적용하면 일부 학생들은 유해 인자(6가 크롬 화합물, 망간)에 대하여 기준 초과 수준으로 노출되거나, 노출 기준 대비 높은 수준으로 노출되고 있었다. 망간은 <Table 5>, 6가 크롬 화합물은 <Table 6>이다.

3. 설문 결과

산업현장과 특성화고 학생들의 작업환경 실태 및 산업 보건에 대한 인식도를 비교하고자 작업환경측정 후 진행한 설문조사는 IBM SPSS 27.0을 이용하여 교차분석, T-test를 실시하였다. 각 Table의 Group A는 특성화 고등학교, Group B는 산업현장을 나타낸다.

주당 용접하는 시간의 문항은 교차분석으로 $\chi^2=16.675$, $p=0.001$ 나타났다. 유의수준 0.01 기준에서 두 집단의 주당 용접하는 시간은 통계적인 차이가 있으므로 ‘용접하는 시간은 같지 않다.’라고 할 수 있다. 특성화고 학생들은 주당 6~7시간이 15명(37.5%)으로 가장 높은 빈도를 보인다. 반면, 산업현장 근로자들은 한 주당 10시간 이상이 15명(37.5%)으로 가장 높으므로 특성화고 학생들은 산업현장보다 용접 작업 시간은 적은 것으로 나타났다<Table 7>.

Table 7. Welding work time for a week (cross analysis)

Group	Welding frequency [hour]					N=80
	2~3	3~4	4~5	6~7	10 ↑	
A ¹⁾	3	9	11	15	2	40
[%]	7.5	22.5	27.5	37.5	5	100
B ²⁾	1	1	11	12	15	40
[%]	2.5	2.5	27.5	30	37.5	100
$\chi^2(p)$	16.675(0.001)**					

¹⁾A : Specialized high school students²⁾B : Work sites

두 집단의 평균 차이를 비교하기 위해 용접에 대한 유해성과 위험성 인식 교육 여부(Q1)의 T-test 분석 결과, $t=-2.637$, $p=0.01$ 로 유의수준 0.05를 기준으로 통계적 유의성이 있다. 따라서 ‘용접에 대한 유해성 ·

Table 8. T-test for two groups (Q1)

Group	Risk awareness training			N=80
	N ³⁾	AM ⁴⁾	SD ⁵⁾	
A ¹⁾	40	2.68	1.16	-2.637
B ²⁾	40	3.28	.85	(.010)*

¹⁾A : Specialized high school students²⁾B : Work sites³⁾N : Number of samples⁴⁾AM : Arithmetic mean⁵⁾SD : Standard deviation

* < .05

Table 9. T-test for two groups (Q2)

Group	Medical condition within the last 3 months			N=80 <i>t</i> (<i>p</i>)
	N ³⁾	AM ⁴⁾	SD ⁵⁾	
A ¹⁾	40	3.35	1.08	-2.261
B ²⁾	40	3.83	.78	(.027)*

¹⁾A : Specialized high school students * $\leq .05$

²⁾B : Work sites

³⁾N : Number of samples

⁴⁾AM : Arithmetic mean

⁵⁾SD : Standard deviation

위험성 인식 교육 여부의 평균 차이가 있다'라고 할 수 있다. 특성화 고등학교 학생들은 평균 2.68, 산업현장 근로자들은 3.28로 근로자들이 유해성, 위험성 인식 교육에 대해 상대적으로 높은 평균 점수를 보였다<Table 8>.

최근 3개월 내 용접으로 인한 몸의 이상 여부(Q2)를 알아보기 위하여 T-test 분석 결과, $t=-2.261$, $p=0.027$ 로 유의수준 0.05를 기준으로 통계적인 유의성이 있다. 따라서 '최근 3개월 내 용접으로 인한 몸의 이상 여부의 평균 차이가 있다'라고 할 수 있다. 특성화 고등학교 학생들은 평균 3.35, 산업현장 근로자는 3.83으로 근로자들이 몸의 이상 여부에 대해 상대적으로 높은 평균 점수를 나타냈다<Table 9>. 작업환경 및 실태 파악 문항 중 국소배기장치 설치 유무 및 만족도 문항은 두 집단의 평균 차이가 없으므로 통계적인 유의성이 없다.

작업환경측정 및 특수건강진단 인지 수준(Q3)에 대한 T-test 분석 결과, $t=-2.267$, $p=0.026$ 으로 유의수준 0.05를 기준으로 통계적인 유의성이 있다. 따라서 '작업환경측정 및 특수건강진단 인지 여부의 평균 차이가 있다'라고 할 수 있다. 특성화 고등학교 학생들은

Table 10. T-test for two groups (Q3)

Group	Awareness of work environment measurement and special health diagnosis			N=80 <i>t</i> (<i>p</i>)
	N ³⁾	AM ⁴⁾	SD ⁵⁾	
A ¹⁾	40	2.42	.96	-2.267
B ²⁾	40	2.95	1.11	(.026)*

¹⁾A : Specialized high school students * $\leq .05$

²⁾B : Work sites

³⁾N : Number of samples

⁴⁾AM : Arithmetic mean

⁵⁾SD : Standard deviation

Table 11. T-test for two groups (Q4)

Group	Awareness of protecting oneself from harmful factors			N=80 <i>t</i> (<i>p</i>)
	N ³⁾	AM ⁴⁾	SD ⁵⁾	
A ¹⁾	40	4.68	.69	-2.680
B ²⁾	40	4.28	.64	(.009)**

¹⁾A : Specialized high school students ** $\leq .01$

²⁾B : Work sites

³⁾N : Number of samples

⁴⁾AM : Arithmetic mean

⁵⁾SD : Standard deviation

평균 2.42, 산업현장 근로자들은 2.95로 근로자들이 작업환경측정 및 특수건강진단 수준에 대해서 상대적으로 높은 평균 점수를 보였다<Table 10>.

유해인자로부터 자신을 보호할 필요 여부(Q4)를 알아보기 위해 T-test 분석 결과, $t=-2.680$, $p=0.009$ 로 유의수준 0.01을 기준으로 통계적인 유의성이 있다. 따라서 '유해인자로부터 자신을 보호할 필요 여부의 평균 차이가 있다'라고 할 수 있다. 특성화 고등학교 학생들은 평균 4.68, 산업현장 근로자들은 4.28로 학생들이 유해인자로부터 자신을 보호할 필요 여부에 대해 상대적으로 높은 평균 점수를 나타냈다<Table 11>.

현재 실시 중인 작업환경측정의 지속 희망(의무화) 여부(Q5)를 알아보기 위해 T-test 분석 결과, $t=9.076$, $p=0.000$ 으로 유의수준 0.001을 기준으로 통계적인 유의성이 있다. 따라서 '현재 실시 중인 작업환경측정의 지속 희망(의무화) 여부의 평균 차이가 있다'라고 할 수 있다. 특성화 고등학교 학생들은 평균 3.98, 영세 사업장 근로자들은 2.10으로 학생들이 작업환경측정의 지속 희망(의무화) 여부에 대해서 상대적으로 높은 평균을 나타냈다<Table 12>.

Table 12. T-test for two groups (Q5)

Group	Hopeness to continue work environment measurement (Mandatory)			N=80 <i>t</i> (<i>p</i>)
	N ³⁾	AM ⁴⁾	SD ⁵⁾	
A ¹⁾	40	3.98	1.12	9.076
B ²⁾	40	2.10	.67	(.000)***

¹⁾A : Specialized high school students *** $\leq .001$

²⁾B : Work sites

³⁾N : Number of samples

⁴⁾AM : Arithmetic mean

⁵⁾SD : Standard deviation

IV. 고 찰

본 연구는 우리나라 특성화고 학생들이 어린 나이임에도 불구하고 건강에 악영향을 미치는 유해인자에 노출되고 있는 실태를 파악하였다. 향후 우리나라 산업현장의 주축이 될 특성화고 학생들이 산업보건의 중요성을 인식하도록 하고, 작업환경측정 의무화 제도를 통해 산업재해 및 직업병을 예방하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 전남지역 특성화 고등학교 용접실습실 학생들의 호흡기에 노출되고 있는 유해인자 노출량과 산업보건에 대한 인식도를 평가하고 전남지역 영세 사업장 중 용접 공정과 비교하였다. 또한, 학생들의 유해인자 노출량을 해외 노출 기준적용으로 노출량의 실태를 비교하였다. 작업환경측정에 참여한 학생들(40명)과 근로자들(40명)을 대상으로 산업보건의 인식, 작업환경측정 지속 희망(의무화) 여부, 최근 3개월 내 용접으로 인한 몸의 이상 여부 등 설문조사를 실시하였다.

작업환경측정 후 동일 조건으로 1일 8시간 작업을 기준으로 하는 시간가중평균(TWA)으로 노출량을 비교한 결과 특성화 고등학교 용접실습실의 유해인자(소음 제외) 노출량이 일반 산업현장 용접 공정보다 더 높거나 유사한 수준이다. 특히, TWA로 환산한 특성화고 학생들의 용접 흡 평균 수치는 0.29 mg/m^3 로 산업현장 0.12 mg/m^3 보다 약 2.4배 높은 수준으로 노출되고 있었으며 학생들의 실제 용접을 하는 시간의 평균 노출수준(TWA 수치로 환산하지 않은 '측정치')은 0.49 mg/m^3 로 약 4배 정도로 높게 노출되고 있었다(16개 표본의 산술 평균).

이 의미는 특성화고 학생들의 용접 작업방식, 용가재 선정 등이 실제 산업현장과 동일시 진행된다는 의미로 봐도 무방하다. 산업현장과 동일 수준(1일 8시간 작업으로 하는 기준)에서 노출량을 비교하였을 때 오히려 보호받아야 할 학생들이 성인 근로자들보다 더 많이 노출되고 있으므로 관련 법 개정 및 관심이 촉구된다.

고용노동부 고시 내용 중 망간에 대한 노출 기준은 1 mg/m^3 , 6가 크롬 화합물(불용성)에 대한 노출 기준은 0.01 mg/m^3 로 규정하고 있다. 반면, 국외 노출 기준을 검토한 결과 ACGIH-TLV는 망간에 대한 노출 기준이 0.02 mg/m^3 , HSE-WEL은 0.05 mg/m^3 , OSHA-PEL 및 프랑스-OEL은 0.2 mg/m^3 로 우리나라보다 낮게 규정하여 엄격히 관리한다. 6가 크롬 화합물 또한 ACGIH-TLV 및 NIOH-REL은 0.0002 mg/m^3 , HSE-WEL은

0.025 mg/m^3 , OSHA-PEL은 0.005 mg/m^3 로 낮게 규정하여 엄격히 관리한다.

국외 노출 기준을 적용하여 학생들의 노출수준을 평가하면 일부 학생들은 노출 기준 초과 또는 노출 기준 대비 약 50% 높게 노출되고 있었다.

이러한 결과를 고려하여 성장기 학생 또는 미성년자 관점에서 심각하게 받아들이며 현재 우리나라 노출 기준에 대한 개정 필요성이 제기된다.

설문 결과에 따르면 용접의 유해·위험성 인식 교육(Q1), 용접으로 인한 최근 3개월 내 용접으로 인한 몸의 이상 여부(Q2), 작업환경측정 및 특수건강진단의 인지 여부(Q3) 문항에서 산업현장 근로자보다 특성화 고등학교 학생들이 더 낮은 수준으로 통계적 유의성을 나타낸다. 하지만 유해인자로부터 자신을 보호할 필요의 여부(Q4), 작업환경측정의 지속 희망(의무화) 여부(Q5)에 대해서는 산업현장 근로자보다 학생들이 더 높은 수치로 통계적 유의성을 보인다. 특히, '최근 3개월 내 용접으로 인한 몸의 이상 여부(Q2)'를 응답하는 문항에서 학생들은 평균 3.35, 산업현장 근로자는 3.83으로 근로자들이 학생들보다 더 높은 수준으로 통계적 유의성을 나타내었다. 하지만 누구보다 건강할 것이라고 예상되는 학생들의 평균 수치는 근로자의 수치와 유사하였다. 이는 현재 특성화 고등학교 학생들이 산업안전보건법 시행규칙 별표 21에 명시된 '작업환경측정 대상 유해인자'에 노출되나 근로자가 아니라는 명목으로 우리나라 법의 사각지대에 있어 보호받지 못한 것을 반증하고 있다.

Shin(2003) 연구에 따르면 청소년은 세포, 조직, 장기가 발육하고 성숙하는 과정이므로 담배의 독성물질 또는 화학물질과 접촉하는 경우 그 손상 정도가 성숙한 세포나 조직에 비해 더욱 크다. 그러므로 학생들은 금속류, 분진, 소음 등에 대해 취약하다고 보이며 미미한 노출량이라도 더 큰 영향을 받는다. 발달 과정에 있는 청소년의 뇌는 발달이 끝난 성인의 뇌에 비해 생물학적으로 약물 및 물질에 더 취약하므로 같은 노출값에 비해 더 크게 건강에 영향을 받으며 또한, 뇌에 미치는 악영향의 발현 속도도 빠르다(Kim & Kim, 2002). 미국 인디애나주 퍼듀대학교 Guojun Jane Li 박사의 '용접공의 용접 흡, 금속류 등에 대한 직업적 노출 연구'에 따르면 놀라운 점은 용접공으로서의 경력이 적음에도 불구하고 나이가 어린 용접공의 혈청 망간 수치가 더 높은 것으로 나타났다는 사실이며 철분과 아연의 혈청

농도도 마찬가지이다. 생리학적 요인(예: 빠른 호흡률, 더욱 활발한 심장 기능), 신체 활동(예: 일반적으로 젊은 용접공의 긴 작업 시간) 또는 경험 부족(예: 안전하지 않은 작업 관행)으로 인해 더 높은 노출이 발생할 수 있다(Li et al, 2004). 특성화고 학생들은 직접 수작업으로 용접 실습을 배우게 되는 시간은 주 6~8시간, 연간 많게는 170시간, 적게는 150시간 정도로 노출되어 사실상 미성년자에게는 유해하다.

선행 연구인 Hwang 등(2001)의 연구는 충청남도에 소재하고 있는 공업고등학교 용접실습실의 용접 흠에 대하여 작업환경 측정된 결과, 전체 표본 73개의 시료 중 50개(68.5%)의 시료가 평균 농도로 우리나라 용접 흠의 노출 기준인 5 mg/m^3 을 초과하는 것으로 보고되었으며 국소배기장치의 실태(부적절한 캐노피 후드 사용 등)와 성능을 측정하여 특성화 고등학교 용접실습실 환경의 열악함을 나타내었다.

반면, 본 연구인 전남지역 특성화 고등학교 용접실습실 작업환경측정 결과, 모든 시료는 노출 기준 미만으로 나타났다. 과거 용접 공정에는 환기시설이 미흡하였으나, 현재는 환경이 개선되고 있어 과거 노출농도와 차이가 있는 것으로 생각된다. 또한, 용접실습실의 용접 작업대마다 캐노피 후드를 사용하였으나 추가적인 이동식(flexible) 후드와 전체 환기장치를 동시에 가동하여 용접 실습 과정 중 발생하는 용접 흠 등에 대한 제어가 가능한 환경이었다. 산업현장의 근로자들은 용접 유해 인자의 유해·위험성을 인지하고 있기에 급·배기가 잘 되는 장소 또는 환기장치를 적절히 사용하고 있다. 하지만, 일부 특성화고 학생들의 경우, 용접 유해·위험성에 대한 인지력이 부족하여 적절하게 작동하지 않는 것으로 나타났다.

본 연구 과정에서는 다음과 같은 한계를 가진다. 첫째, 데이터의 한계로써 전남지역 특성화 고등학교 작업환경측정 표본을 16개, 영세 사업장 표본 16개로 한정하였다. 우리나라 전국의 특성화 고등학교 용접실습실과 산업현장을 대상으로 연구를 진행하였다면 표본이 많아 통계적인 유의성을 나타내는데 확실한 근거가 될 것이다. 둘째, 변수의 한계로써 용접 과정 중 발생되는 유해인자의 노출량은 국소배기장치 가동 여부 및 수준에 따라 상이하다. 따라서 향후 용접실습실의 국소배기장치 제어 속도(포집 효율)를 평가하고 부가적인 환경 연구를 추가로 진행한다면 구체적이고 심도 있는 연구가 될 것으로 판단한다. 마지막으로, 설문조사에서 고등

학생들의 흡연율을 고려하여 작업환경측정 한다면 향후 직업병을 판정하는 기초 자료 활용에 기여할 것으로 기대한다.

V. 결 론

작업환경측정이 본래의 목적대로 직업병 예방을 위한 자료로 활용되기 위해서 산업현장에서는 의무적으로 진행해야 한다. 하지만 신진대사가 활발한 미성년자 시기부터 산업안전보건법 시행규칙 별표 21에 명시된 유해 인자에 노출되고 감수성이 예민한 특성화고 학생들에게 작업환경측정 또한 의무 사항으로 진행하지 않는 현실이다. 실태조사를 통해 본 연구의 의의를 다음과 같이 정리한다.

첫째, 특성화 고등학교 용접실습실 환기장치에 대한 명확한 지침이 필요하다. 실습실 내 국소배기장치가 설치되어 있음에도 불구하고 학생들이 활용하지 못하여 상대적으로 높은 TWA 값이 발생한 사례를 본 연구에서 도출하였다.

둘째, 1주일 주기로 용접 실습 후 자신 신체 이상 여부를 스스로 점검하는 호흡기 체크리스트를 마련해야 한다. 누구보다 건강할 것이라고 예상되는 학생들 과반수가 기침, 가래 등 이상이 있다고 응답하였고 유해인자로부터 보호받기를 희망하고 있었다.

셋째, 특성화고 학생 노출 유해인자에 대하여 학교보건법에 노출 기준 제정과 성장기 학생인 점을 고려하여 용접 실습 시간제한이 필요하다. 특성화고 학생들은 성인 근로자보다 높은 노출량으로 주당 용접 실습 시간을 3~4시간으로 제한하고 해외 노출 기준과 같이 엄격하게 적용할 필요가 있다.

넷째, 특성화고 학생들이 받는 안전보건교육은 동영상 매체를 활용하여 학생들의 눈높이에 맞는 교육을 마련하여 이해도를 높여야 한다. 특성화고 학생들은 용접 유해인자 유해·위험성 인지력이 낮은 것으로 나타났으므로 용접 유해인자를 흡입하지 않도록 조기 교육하고 차후 산업현장에 나아가서도 자신의 건강을 스스로 지키도록 해야 한다.

다섯째, 특성화고 학생들은 화학물질 및 물리적 인자의 노출 기준(고용노동부 고시 제2020-48호)의 용접 흠, 금속류, 소음에 노출되므로 주기적인 작업환경측정과 특수 건강 진단의 실시가 필요하다.

졸업 후 전문적인 용접 기능사가 될 미래 산업현장

근로자로서 더욱더 교육의 필요성이 제기된다. 또한 특성화고 학생들에게 올바른 보호구 착용 등을 인식시켜 준다면 향후 우리나라 산업재해 및 직업병 예방에 큰 도움이 될 것이다.

감사의 글

본 연구의 실태분석 및 설문조사에 협조해 주신 전남 지역 특성화 고등학교 학생들에게 감사드립니다.

References

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH). TLVs and BEIs; 2019
- Baek NW. Disclosure of welders and weld fumes. *Labor Sci* 1987;29:57-63
- European Chemicals Agency(ECHA). [Accessed 2024 January 5]. Available from: URL: <https://echa.europa.eu/>
- Ferry JJ, Ginther GB. Gases produced by inert arc welding. *Am Ind Hyg Assoc* 1952;13(4):196-198
- Guidotti TL, Lappi VG, Langard S. Hazards of welding technologies. *Environment and occupational medicine*. Rom NW (ed) 2nd Edition, Little Brown & Company 1992, p. 831-840
- Hwang SH, Son BS, Jang BK, Park JA. Welding fume concentration and local exhaust in a technical high school welding lab. *J Kor Soc Ind Hyg* 2001;11(1):1-8
- Health and Safety Executive(HSE). List of workplace exposure limits for use with the Control of Substances Hazardous to Health Regulations EH40/2005, (30); 2002
- International Agency for Research on Cancer(IARC). [Accessed 2023 November 6]. Available from: URL: <https://www.iarc.who.int/>
- Kim HS, Kim MH. The relationship between drinking and drug abuse and delinquency in Korean adolescents a correlation. *Neuropsychiatry* 2002;41(3):472-485
- Korea Occupational Safety and Health Agency(KOSHA). Guide W-23-2016: Noise measurement in the workplace and an evaluation method. 2016
- Li GJ, Zhang LL, Lu L, Wu P, Zheng W. Occupational exposure to welding fume among welders: alterations of manganese, iron, zinc, copper, and lead in body fluids and the oxidative stress status. *J Occup Environ Med* 2004;46(3):241
- Morgan WK, William WK. *Occupational Lung Diseases*. New York W. B. Saunders Company. 1975, p. 321-334
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Notice on work environment measurement and quality control(MoEL Public Notice No. 2020-44).; 2020. p. 2
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Pocket Guide to chemical Hazards, Cincinnati, OH 1997 [Accessed 2024 January 04]. Available from: URL: <https://www.cdc.gov/>
- National Institute of Occupational Safety & Health (NIOSH). Method 7605; 2003
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA). Method ID-121; 2002
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA). Chemical Management and Permissible Exposure Limits (PELs) 2014 [Accessed 2024 January 04]. Available from: URL: <https://www.osha.gov/>
- Occupational Safety and Health Act. 2023 [Accessed 2024 January 5]. Available from: URL: <https://www.moleg.go.kr/>
- Phi YH. A Study on the Work Environment Measurement System under the Occupational Safety and Health Act - Seoul Metropolitan Government A New Study on Asbestos Exposure and Work Environment Measurement System in Underground Subway Station Centering on the direction of perception. *Environ Law Res* 2004;26(2):313-330
- Shin SC. Drinking, smoking, drugs, food and oral health. Seoul: Dankook University Press.; 2003, p. 9
- School Health Act. 2022 [Accessed 2023 June 8]. Available from: URL: <https://www.moleg.go.kr/>
- The Japan Society for Occupational Health (JSOH). Recommendation of occupational exposure limits; 2019, p. 419-452

<저자정보>

김화일(교수), 김민주(석사), 장성은(대학원생)