

CO₂ 용접에서 용접변수의 변화에 따른 용접흠 제어방법에 관한 연구

부산대학교 환경공학과, 한서대학교 환경공학과*, 두산환경센터**

오광중 · 김현수 · 손병현* · 지해성**

— Abstract —

A Study on Control of Fume for Various Parameters in CO₂ Welding

Kwang-Joong Oh, Hyun-Soo Kim, Byung-Hyun Shon*, Hae-Sung Jee**

*Dep. of Env. Eng. Pusan National University,
Dep. of Env. Eng. Hanseo University*, Doosan Env. Management Center***

The concentration of welding fume was measured by 221 welders themselves in chassis frame work-place of the manufactory from February, 1, 1996 to May, 31, 1997. Welding parameters were the welding current and the distance between helmet and arc. Those two optimum conditions were proposed by excess probability analysis using logistic regression, so the best position in the workplace was proposed considering two factors to control the welding fume. The results are as followings;

- 1) The excess probability of welding fume TLV was over 99% in above 260 Amperes of welding current and also in below 30cm of distance between helmet and arc.
- 2) The equation from logistic regression analysis using SPSS/PC+5.02 had the welding current as a independent variable and the excess of welding fume TLV as a dependent variable ($p < 0.05$).
 $\text{Logit}(\text{welding fume TLV}) = 0.1296 \times \text{welding current} - 28.8750$
- 3) The equation from logistic regression analysis using SPSS/PC+5.02 had the distance between helmet and arc as a independent variable and the excess of welding fume threshold limit value as a dependent variable ($p < 0.05$).
 $\text{Logit}(\text{welding fume TLV}) = -0.6809 \times \text{distance between helmet and arc} + 25.1665$
- 4) Considering both cases of 2) and 3), the result equation is following. ($p < 0.05$).
 $\text{Logit}(\text{welding fume TLV}) = 0.1346 \times \text{welding current} - 0.3859 \times \text{distance between helmet and arc} - 15.7382$

- 5) The excess probability of welding fume threshold limit value was 100% in above 240 Ampere of welding current. Thus, below 220 Ampere can be suggested to reduce the 40% number of welders who have a excess welding fume threshold limit value.
- 6) The excess probability of welding fume TLV was 100% in below 34cm of distance between helmet and arc. Thus, over 38cm can be suggested to reduce the 33% number of welders who have a excess welding fume TLV.
- 7) Considering both 5) and 6) cases, first of all, the best welding current can be 200 Ampere to have a below 15% of welding fume excess probability for the welders who works in distance of 34-37cm. Secondly, to have a below 30% excess probability of welding fume TLV, the working distance must be over 38cm in 220 Ampere and 32cm in 200 Ampere.
- 8) To reduce the average exposure concentration of welding fume ($8.21 \pm 5.83 \text{ mg/m}^3$), the movable local exhaust system equipped with flexible hoods can be used.

Key Words : CO₂ welding, Welding fume, Logistic regression

I. 서 론

오늘날의 산업은 기술의 혁신과 기계의 자동화로 우주, 해저 등 특수한 환경에서 전자, 핵, 레이저광선 등을 사용하여 과거에는 상상하지도 못했던 노동 환경과 작업방법으로 일하고 있다¹⁾. 산업 생산공정에 있어 용접은 모든 공작에 있어 필수적인 도구로서 그 응용분야는 규모면에서 작게는 트랜지스터나 진공관의 제작에서부터 크게는 선박, 항공기, 자동차, 철도, 차량, 교량, 각종압력용기, 저장탱크, 전기제품, 가정용품 등의 제조업체로부터 원자력에 이르기까지 그 사용 범위는 광범위하다²⁾.

용접의 역사를 살펴보면 1940년대에는 가스텅스텐 아크용접에서 사용하는 비소모성 용접봉 대신에 소모성 와이어 용접봉이 개발되었다. 원래는 두꺼운 열전도성 판을 용접하기 위하여 개발된 수동불활성 가스용접으로 알려진 가스금속 아크용접은 알루미늄, 구리, 마그네슘, 니켈합금, 티타늄, 철합금 등에 용접을 할 경우 많이 사용된다. 이 시스템은 중심에 소모성 와이어를 가지고 있고 이것이 용융되면서 아크를 유지하여 주게 된다. 용접봉 주위에는 헬륨, 아르곤, 이산화탄소, 질소, 또는 이들 가스의 혼합체를 흐르게 하기 위한 윤형의 통로가 있다. 와이어는 보통 모재금속과 같거나 비슷한 성분을 가지며, 전기를 잘 통하게 하고 녹을 방지하

기 위하여 구리로 피복을 한다^{3,4)}. 이러한 용접중에 발생하는 흡과 가스에 대한 보건학적인 관심은 오랜기간에 걸쳐서 무해론적 감각부터 용접 작업환경 중의 오염물질로 인한 모종의 호흡기 질병 발생론까지 갖가지로 논의되어 오다 1967년 AWS(미국 용접협회)가 용접흡과 가스에 관한 연구를 하기 시작했다⁵⁾.

용접시 발생하는 용접흡은 산화철이 대부분을 이루고 있고, 이용되는 용접와이어, 모재금속(base metal)의 재질, 모재금속에 피막된 도료의 성분, 도금의 여부 등에 따라 용접흡속에 여러 가지 종류의 금속이 포함될 수 있다. 용접시 용접흡의 발생량은 이용되는 용접 와이어의 직경과 종류 그리고 용접전류 등의 용접변수에 따라 달라질 수 있고, 용접 작업자의 용접흡 폭로농도는 이러한 용접변수 외에도 헬멧에서 아크까지의 거리에 의해서 많은 영향을 받을 수 있다⁶⁾. 이러한 요인에 대한 기본적인 연구가 영국, 미국, 스웨덴, 일본, 독일 등 대부분 용접과 관련된 연구소 실험실 환경에서 부분적으로 시도된 적이 있다^{7,8,9)}.

용접흡 발생량의 차이는 용접공정, 전극, 전류, 아크길이/아크전압, 전극특성, 차폐가스, 용접기 모서리에서 모재까지의 거리, 금속이동모드 등이 있다. 이러한 변수들은 다른 변수에 영향을 주면서 상호연관 되어 있고 용접흡 금속폭로에 영향을 준다고 생각되며, 특히 중요한 인자는 흡 발생비율로서 용

접전류에 아주 의존성이 높다¹⁰⁾. 또한 여러 연구 보고서 중 그 통계에 있어 큰 차이가 있는 것은 용접 방법이나 모재의 성분에 따라 달라지는 발생기전의 특성때문이다⁵⁾.

이에 본 연구는 CO₂용접을 수행하는 용접작업장에서 용접흡 개인폭로에 영향을 많이 줄 수 있는 용접변수 중 고정된 용접변수 이외의 용접전류, 헬멧에서 아크까지의 거리를 이용하여 이들 용접변수의 변화에 따라 용접 작업자의 용접흡 폭로 농도의 초과확률을 제시하고, 또한 용접흡에 대한 노출기준치 초과확률을 감소시키기 위해 첫째, 용접전류의 적정 수치와 헬멧에서 아크까지의 적정 작업 거리를 제시하고, 둘째, 이들 양자를 함께 고려한 적정 수치를 제시하고자 하였으며 나아가 다른 용접공정의 용접변수로 인한 용접흡 발생량을 감소시킬 수 있는 방법에 대한 기초 자료를 제공하고 본 연구를 수행하였다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구대상

본 연구는 공정의 흐름이 일정하고 작업 방법의 변화가 거의 없다고 판단되는 샷시프레임을 제조하는 공정에서 수행하였다. 조사기간은 1996년 2월 1일에서 1997년 5월 31일에 걸쳐 1년 6개월 동안 실시하였고, CO₂용접 전문 작업자 221명이 연구에 참여하였으며, 작업환경은 비교적 공간이 넓고 기류의 흐름이 거의 일정하고 캐노피형 국소배기 장치를 가동하고 있었다. 또한 용접흡의 발생 형태는 작업자가 많고 자동화된 공정으로 연속적으로 발생되고 있는 상태이다. 용접 작업의 용접변수로는 표 1과 같다.

Table 1. Summary of welding parameters

Parameters	Variables
Electrode	ER70S-6
Electrode Diameter	1.2mm
Welding Position	All position
Shielding Gas	CO ₂
Gas Flowrate	42CFH
Welding Current	100-400 Amperes
Tip Angle	60 Degrees

2. 실험방법

1) 용접흡 시료포집과 분석

용접흡의 시료포집에 이용된 개인시료펌프는 전자 거품보정기(Ultra Flo Electronic Calibrator, SKC)를 이용하여 유량을 1.5 l/min으로 보정하였다. CO₂용접시 발생되는 용접흡은 직경 37mm, 기공 0.8μm MCE(mixed cellulose ester membrane)가 들어있는 카세트 홀드에 개인시료펌프(The Airchek 52, SKC)를 연결하여 작업자의 호흡기 영역에서 150분-200분 포집하였다. 용접흡의 시료포집과 분석과정은 NIOSH(National Institute for Occupational Safety and Health) 분석방법 500을 이용하였다¹⁰⁾.

진공 데시케이터에서 여지 MCE와 보조패드를 15분정도 건조 시킨 후 환경챔버에서 1시간 이상 여지를 균일화 시켰다. 그 다음에 중량(W₁)을 측정하고, 중량측정을 수행한 여지와 보조패드를 여지 카세트(filter cassette 225-1, SKC)에 넣고 조립한 후, 현장에서 시료를 포집하고 포집한 시료의 여지와 현장 공시료 여지의 중량(W₂)을 측정하였다¹¹⁾. 식 (1)에 따라 현장 공시료 여지의 중량변화를 고려하여 용접흡의 농도를 계산하였고, 농도계산에 이용되었던 유량은 시료 포집전과 후의 유량을 평균한 수치를 이용하였다¹²⁾.

중량분석에 이용하였던 천칭(electronic semimicro balance R210D, Satorius)은 10⁻⁵g까지 칭량할 수 있는 정밀한 것이었다.

$$C = \frac{(W_2 - W_1) \pm B}{V} \times 10^3 \text{ ----- (1)}$$

여기서, W₁ : 시료포집 전의 필터의 중량(mg)

W₂ : 시료포집 후의 필터의 중량(mg).

B : 시료포집전·후에 있어 현장 공시료 중량의 평균변화(+또는-) (mg)

V : 시료포집공기의 용적(l)

C : 용접흡의 농도(mg/m³)

2) 용접전류 및 헬멧에서 아크까지의 거리 측정

용접전류는 용접작업자가 용접을 수행할 때 이용하는 전류를 용접기의 전원공급장치(Chowel

MICOM Inverter Auto AT OM 350, Cho Hung Co.)에 있는 전류계에서 판독하였고, 헬멧에서 아크까지의 거리는 작업자가 용접을 수행할 때 현장에서 산업안전보건법 제18조 같은시행규칙 369조에 의한 국소배기장치의 정기자체검사시 반드시 갖추어야 할 측정기인 Scale(KAWASAKI KB-19)을 이용하여 5회 이상 측정하였다^{13,14)}.

3) 통계학적 분석

현상을 예측하는데 있어 관련된 변수를 식별하고 어떤 사건에 대한 발생여부를 예측하는 것은 중요하다. 이와 같은 현상을 예측하는데 있어 주로 선형회귀분석법이나 판별분석법 등이 사용되어 왔으며, 이 중 로지스틱회귀모형이 가장 많이 활용되고 있다. 로지스틱회귀분석이란 단지 2개의 값만을 가지는 종속변수와 독립변수들간의 인과관계를 모형식으로 추정하는 통계적 방법으로서, 로지스틱회귀 모형식은 S형태곡선을 이루고 있다. 즉 독립변수와 종속변수(발생확률)와의 관계는 비선형적이다.

이와 같은 종속변수가 이분적(dichotomous)인 것이면서 독립변수는 연속적인 것과 이산적인 것이

섞여 있어도 사용되는 분석기법으로서 로지스틱회귀 분석이 가장 일반적이다¹⁵⁾. 용접흡 폭로 노출기준치 초과여부에 대한 확률을 모형식으로 표현하는 경우 로지스틱모형이 적합하다고 판단된다.

자료는 SPSS/PC+ 5.02를 이용하여 분석하였다. 용접 작업자들이 이용하는 용접 전류와 헬멧에서 아크까지의 거리를 각각 4개의 군으로 나누어 평가했다. 연속자료는 평균과 표준편차로 요약하였다. 두 평균 사이의 통계적 차이는 Student t-test 그리고 두 평균 이상인 경우 일원분산분석(ANOVA)을 이용하여 평균 사이의 차이를 통계학적으로 평가하였다. 용접전류와 헬멧에서 아크까지의 거리 각각의 군에서 용접흡의 노출기준치를 초과한 작업자의 분포 비는 Chi-square 분석을 이용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 용접전류에 따른 농도

용접전류에 따른 용접흡 농도의 분포와 용접흡 노출기준치 이하 및 이상 폭로 작업자의 비율 분포는 표 2, 및 표 3과 같다. 용접전류에 따른 용접흡의

Table 2. Concentration of welding fumes by welding currents

Welding Current, Amperes	N	Concentration of Welding Fumes, mg/m ³	95% Confidence Interval, mg/m ³
<200	31	3.33 ± 0.88	3.01 - 3.65
200-240	101	4.70 ± 1.70	4.37 - 5.04
240-280	58	14.65 ± 6.10*	13.05 - 16.26
280<	31	12.44 ± 1.86	11.76 - 13.12
Total	221	8.21 ± 5.83	7.43 - 8.98

*p<0.05 by ANOVA using SPSS/PS+5.02

Table 3. Distribution of welders by under TLV, above TLV and welding currents

Welding Current,	N(%)	Under TLV	Above TLV	Exceeding percentage
<200	31(14.0)	30(13.6)	1(0.5)	3.2
200-240	101(45.7)	64(29.0)*	37(16.7)	36.6
240-280	58(26.2)	-	58(26.2)**	100
280<	31(14.0)	-	31(14.0)	100
Total	221(100.0)	94(42.5)	127(57.5)	57.5

*p<0.05 by Chi-square using SPSS/PS+5.02

**p<0.05 by Chi-square using SPSS/PS+5.02

농도 분포를 보면 용접전류 240-280암페어에서 14.65mg/m³으로 가장 높았고 200암페어 이하에서는 3.33mg/m³으로 가장 낮았다. 용접전류가 증가할수록 용접흡 농도가 비례적으로 증가하는 경향이 있었으나 280암페어 이상에서는 240-280암페어 보다 약간 낮은 용접흡 농도를 나타내었다.

용접전류에 따른 용접흡 노출기준치 이하와 이상 폭로 작업자의 비율 분포를 보면 전체적으로 볼때 221명의 작업자중 127명(57.5%)이 노출기준치를 초과하는 용접흡 농도에 폭로되었고 127명의 작업자중 용접전류 240-280암페어 군에서는 58명(26.2%), 200-240암페어 군에서는 37명(16.7%), 280암페어 이상 군에서는 31명(14.0%), 200암페어 이하 군에서는 1명(0.5%)이 용접흡의 노출기준치를 초과하는 농도에 폭로되는 것으로 나타났다. 용접전류 240-280암페어 군에서 용접흡 노출기준치를 초과하는 작업자의 비율이 가장 높았다.

또한 표 3에서 알 수 있듯이 용접전류 군내에서 240-280암페어 군 및 280암페어 이상 군에서는 100%, 200-240암페어 군에서는 36.6%, 200암페어 이하 군에서는 3.2%가 노출기준치를 초과하는

용접흡 농도에 폭로되었다. 노출기준치를 초과하는 용접흡 농도에 폭로된 작업자의 비율은 용접전류가 증가할수록 급격한 비율의 증가를 나타냈다.

2. 헬멧에서 아크까지의 거리에 따른 농도

헬멧에서 아크까지의 거리에 따른 용접흡 농도의 분포와 용접흡 노출기준치 이하 및 이상 폭로 작업자의 비율 분포는 표 4, 및 표 5와 같다. 헬멧에서 아크까지의 거리에 따른 용접흡 농도의 분포를 보면, 헬멧에서 아크까지의 거리가 34cm 이하에서는 15.66mg/m³으로 가장 높았고 40cm 이상에서는 3.70 mg/m³으로 가장 낮았다. 헬멧에서 아크까지의 거리가 가까울수록 비례적으로 용접흡 농도가 증가하는 경향성이 있었다.

헬멧에서 아크까지의 거리에 따른 용접흡 노출기준치 이하와 이상 폭로 작업자의 비율 분포를 보면, 전체적으로 볼때 221명의 작업자중 127명(57.5%)의 작업자가 노출기준치를 초과하는 용접흡 농도에 폭로되었고, 127명의 작업자중 헬멧에서 아크까지의 거리 34cm이하 군에서는 61명(27.6%), 34-37cm 군에서는 43명(19.5%), 37-40cm 군에서는 21명

Table 4. Concentration of welding fumes by helmet to arc distances

Helmet to Arc Distances, cm	N	Concentration of Welding Fumes, mg/m ³	95% Confidence Interval, mg/m ³
<34	61	15.66±5.13*	14.35 - 16.98
34-37	73	6.41±3.12	5.68 - 7.14
37-40	56	4.93±2.16	4.35 - 5.51
40<	31	3.70±1.66	3.09 - 4.30
Total	221	8.21±5.83	7.43 - 8.98

*p<0.05 by ANOVA using SPSS/PS+5.02

Table 5. Distribution of welders by under TLV, above TLV and helmet to arc distances

Helmet to Arc Distances, cm	N(%)	Under TLV	Above TLV	Exceeding percentage
<34	61(27.6)	-	61(27.6)**	100
34-37	73(33.0)	30(13.6)	43(19.5)	58.9
37-40	56(25.3)	35(15.8)*	21(9.5)	37.5
40<	31(14.0)	29(13.1)	2(0.9)	6.45
Total	221(100.0)	94(42.5)	127(57.5)	57.5

*p<0.05 by Chi-square using SPSS/PS+5.02

**p<0.05 by Chi-square using SPSS/PS+5.02

(9.5%), 40cm이상 군에서는 2명 (0.9%)의 작업자가 노출기준치를 초과하는 용접흡 농도에 폭로되는 것으로 나타났다. 헬멧에서 아크까지의 거리가 멀어 질수록 노출기준치를 초과하는 용접흡 농도에 폭로된 작업자의 비율이 감소하였다.

헬멧에서 아크까지의 거리에 따른 폭로 정도에서 34cm이하 군에서 100%, 34-37cm 군에서 58.9%, 37-40cm 군에서 37.5%, 40cm이상 군에서 6.45%가 노출기준치를 초과하는 용접흡 농도에 폭로되는 것으로 나타났다. 노출기준치를 초과하는 용접흡 농도에 폭로된 작업자의 비율은 헬멧에서 아크까지의 거리가 감소할수록 급격한 비율의 증가가 있었다.

3. 용접전류에 따른 초과확률 분석

용접전류에 따른 용접흡의 초과확률을 구하기 위해 용접흡의 폭로농도를 노출기준치 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 이하이면 "0", $5\text{mg}/\text{m}^3$ 이상이면 "1"로 이분변수화 하였다. 이러한 방식으로 용접흡에 대한 폭로농도를 이분변수(dichotomous variable)화 하였으므로 로지스틱 회귀분석의 관점에서 볼 때 통계학적 분석을 위한 각 용접 작업자의 종속 변수는 "0" 또는 "1"로 설정된다. 용접흡 노출기준치 초과여부에 대한 이분변수(종속변수) 그리고 용접전류(독립변수)간의 관계는 로지스틱회귀분석을 이용하여 분석하였다. 용접전류를 독립변수, 용접흡의 노출기준치 초과여부에 따른 이분변수를 종속변수로 하여 SPSS/PC+5.02를 이용하여 로지스틱회귀분석을 하였으며 결과는 다음과 같다.

	Chi-Square	df	Significance
Model Chi-Square	187.704	1	0.0000
Improvement	187.704	1	0.0000

Classification Table for DVWD

		Predicted		Percent Correct
		0	1	
Observed	0	87	7	92.55%
	1	10	117	92.13%
		Overall		92.31%

로지스틱회귀분석한 모델이 얼마나 적합한가를 평가하는 한가지 방법은 예측 및 관측치의 분석결과를 비교하는 것이다. 독립변수가 용접전류인 조건하에서 분석결과를 예측하면 노출기준치를 초과하지 않는 94명중 87명인 92.55%가 옳게 분석되었고 노출기준치를 초과하는 127명중 117명인 92.13%가 옳게 분석되었다는 것을 알 수 있다. 전체 221명중 204명인 92.31%가 옳게 분석되었음을 알 수 있다.

$$\text{Logit(용접흡 노출기준치)} = 0.1296 \times \text{용접전류} - 28.8750 \quad (2)$$

분석 결과 얻은 방정식은 식 (2)와 같고 로지스틱 회귀방정식은 통계적으로 유의성이 있었으며 ($P < 0.05$), 독립변수인 용접전류도 역시 통계적으로 유의성이 있었다 ($P < 0.05$). 식 (2)를 이용한 용접전류에 따른 용접흡 노출기준치 초과확률 및 로짓은 표 6 및 그림 1과 같다. 용접전류가 높아질수록 용접흡의 노출기준치 초과확률은 증가하는 것으로 나타나고, 용접전류 200암페어에서 240암페어 사이에서 급격한 증가를 보였고, 용접전류 260암페어 이상에서는 용접흡 노출기준치 초과확률이 약 99% 이상을 나타냈다.

Table 6. Exceeding probability to welding fumes by welding currents

Welding Current, Amperes	Exceeding Probability and Logit to Welding Fume TLV	
	Logit P(X)	P(X).%
100	-15.91	0.00
120	-13.32	0.00
140	-10.73	0.00
160	-8.14	0.02
180	-5.54	0.38
200	-2.95	4.93
220	-0.36	40.96
240	2.22	90.26
260	4.81	99.19
280	7.41	99.93
300	10.00	99.99
320	12.59	99.99
340	15.18	99.99
360	17.77	99.99
380	20.37	99.99
400	22.96	99.99

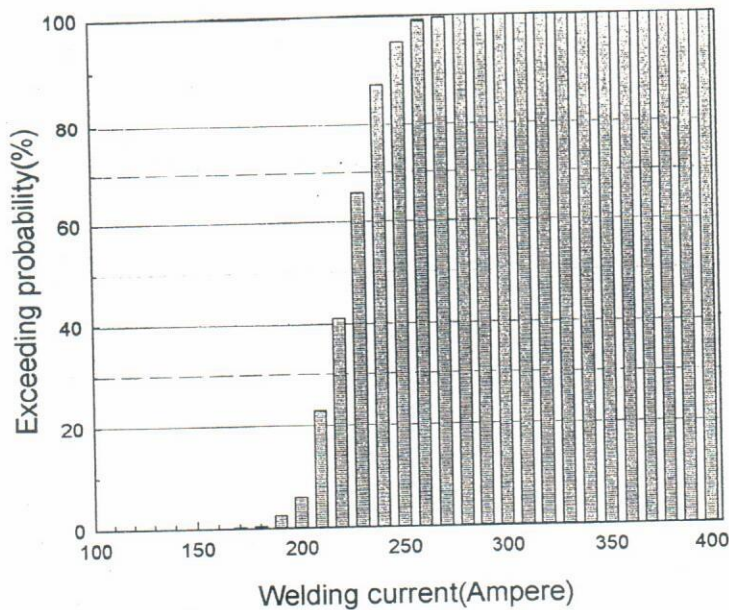


Fig. 1. Exceeding probability to welding fumes threshold limit value by current.

또한 CO₂ 용접시 이용하는 용접전류는 240암페어 이상이 될 때는 용접흠에 대한 노출기준치의 초과 백분율이 100%이었다. 따라서 용접흠에 대한 노출 기준치를 초과하는 작업자의 숫자를 감소시키기 위해서는 용접시 이용하는 용접전류를 220암페어 이하로 감소시키는 공학적 방안을 제시할 수 있다.

4. 헬멧에서 아크까지의 거리에 따른 초과확률 분석

헬멧에서 아크까지 거리에 따른 초과확률을 분석하기 위해 용접흠에 대한 폭로농도를 이분변수화하고 헬멧에서 아크까지의 거리를 독립변수, 용접흠 노출기준치 초과 여부에 따른 이분변수를 종속변수로 이용하여 SPSS/PC+5.02를 이용한 로지스틱회귀분석 결과는 다음과 같다.

	Chi-Square	df	Significance
Model Chi-Square	104.900	1	0.0000
Improvement	104.900	1	0.0000

Classification Table for DVWD

Predicted		Percent Correct
0	1	
0	1	

Observed

0	0	65	29	69.15%
1	1	104	104	81.89%
Overall				76.47%

독립변수가 헬멧에서 아크까지의 거리인 조건하에서 분석결과를 예측하면 노출기준치를 초과하지 않는 94명중 65명인 69.15%가 옳게 분석되었고 노출 기준치를 초과하는 127명중 104명인 81.89%가 옳게 분석되었음을 알 수 있다. 전체 221명중 169명인 76.47%가 옳게 분석되었음을 알 수 있고, 독립변수가 용접전류인 조건의 모델 적합 정도 92.31% 보다는 낮은 비율로 나타났다.

Logit(용접흠 노출기준치) =

$$-0.6809 \times \text{헬멧에서 아크까지의 거리} + 25.1665$$

----- (3)

분석 결과 얻은 방정식은 식 (3)과 같은 로지스틱 회귀방정식은 통계적으로 유의하였고 ($P < 0.05$), 독립변수인 헬멧에서 아크까지의 거리 역시 통계적으로 유의성이 있었다 ($P < 0.05$). 식 (3)을 이용한 헬

멧에서 아크까지의 거리에 따른 용접흠 노출기준치 초과확률(로짓)은 표 7과 그림 2와 같다. 헬멧에서 아크까지 거리가 감소할수록 용접흠 노출기준치 초

Table 7. Exceeding probability to welding fumes by helmet to arc distance

Helmet to Arc Distance, cm	Exceeding Probability and Logit to Welding Fume TLV	
	Logit P(X)	P(X).%
20.00	11.54	99.99
22.00	10.18	99.99
24.00	8.82	99.98
26.00	7.46	99.94
28.00	6.10	99.77
30.00	4.73	99.13
32.00	3.37	96.70
34.00	2.01	88.24
36.00	0.65	65.79
38.00	-0.70	33.01
40.00	-2.06	11.20
42.00	-3.43	3.13
44.00	-4.79	0.82
46.00	-6.15	0.21
48.00	-7.51	0.05
50.00	-34.04	0.00

과확률은 증가하는 것으로 나타나고, 거리 34, 36, 38, 40cm 사이에서 급격한 증가가 있었으며, 헬멧에서 아크까지의 거리가 30cm에서는 용접흠 노출기준치 초과확률이 약 99% 이상을 나타냈다.

또한 CO₂용접시 헬멧에서 아크까지의 거리가 34cm이하에서는 용접흠에 대한 노출기준치 초과 백분율이 100%이었으므로 현재 가장 많은 분포의 용접 작업자의 거리 형태는 34-37cm이다. 용접흠에 대한 노출기준치를 초과하는 작업자의 숫자를 감소시키기 위해서는 헬멧에서 아크까지의 거리가 38cm이상 되도록 안전보건교육을 시키는 것이 좋을 것으로 판단된다.

5. 용접전류와 헬멧에서 아크까지의 거리를 고려한 초과확률분석

용접전류와 헬멧에서 아크까지의 거리를 함께 고려한 초과확률을 분석하기 위해 용접흠에 대한 폭로 농도를 앞의 분석방법과 같이 이분변수화하고 용접 전류, 헬멧에서 아크까지의 거리를 독립변수, 용접 흠 노출기준치 초과여부에 따른 이분변수를 종속변수로 이용하여 SPSS/PC+5.02를 이용한 로지스틱 회귀분석 결과는 다음과 같다.

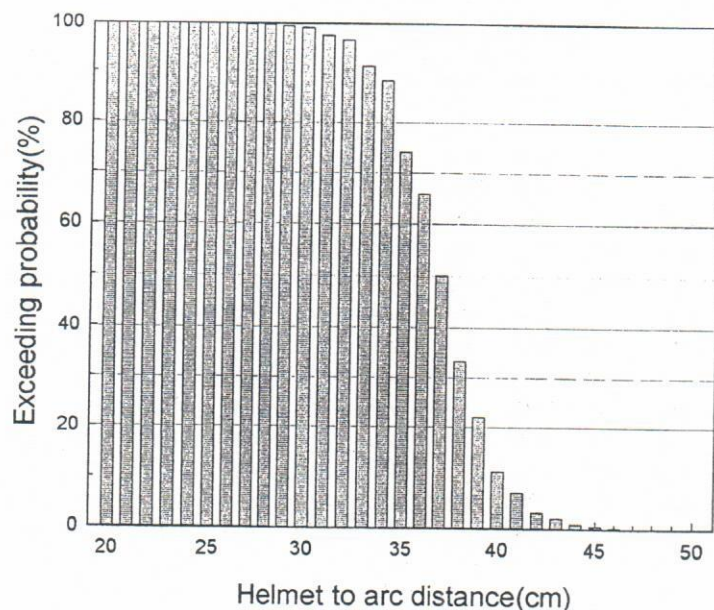


Fig. 2. Exceeding probability to welding fumes threshold limit value by helmet to arc distance.

	Chi-Square	df	Significance
Model Chi-Square	194.180	1	0.0000
Improvement	194.180	1	0.0000

Classification Table for DVWD

Predicted		Percent Correct
0	1	
0	1	

Ovserved

0	0	91	3	96.81%
1	1	91	114	92.13%
Overall				94.12%

독립변수가 용접전류, 헬멧에서 아크까지의 거리인 조건하에서 분석결과를 예측하면 노출기준치를 초과하지 않는 94명중 91명인 92.55%가 옳게 분석되었고 노출기준치를 초과하는 127명중 117명인 92.13%가 옳게 분석되었다는 것을 알 수 있다. 전체 221명중 208명인 94.12%가 옳게 분석되었음을 알 수 있고, 모델의 적합 정도는 독립변수를 용접전

류와 헬멧에서 아크까지의 거리로 했을 때 평가한 각각의 적합도보다 높게 나타난 것을 알 수 있다.

Logit(용접흡 노출기준치) =

$$0.1346 \times \text{용접전류} - 0.3859 \times$$

$$\text{헬멧에서 아크까지의 거리} + 15.7382$$

(4)

분석 결과 얻은 방정식은 식 (4)와 같고 로지스틱 회귀방정식은 통계적으로 유의성이 있었으며 ($P < 0.05$), 독립변수인 용접전류, 헬멧에서 아크까지의 거리 역시 통계적으로 유의성이 있었다 ($P < 0.05$). 식 (4)를 이용한 용접전류와 헬멧에서 아크까지의 거리에 따른 노출기준치의 초과확률(로짓)은 표 8과 표 9 및 그림 3과 같다. 용접전류 증가와 헬멧에서 아크까지의 거리 감소에 따라 용접흡 노출기준치 초과 확률은 급격히 증가하였고 용접전류 280암페어 이상에서는 헬멧에서 아크까지의 거리에 상관없이 용접흡 노출기준치 초과확률은 약 90% 이상을 나타냈다. 다시 말하면 용접전류 280암페어 이상에서는 용접흡 노출기준치 초과 확률에 있어 헬

Table 8. Exceeding probability to welding fume TLV by welding currents and helmet to arc distances

Helmet to Arc Distance, cm	Exceeding Probability to Welding Fume TLV, %															
	Welding Current, Ampere															
	100	120	140.00	160.00	180.00	200.00	220.00	240.00	260.00	280.00	300.00	320.00	340.00	360.00	380.00	400.00
20	0.00	0.06	0.98	12.78	68.39	96.96	99.78	99.98	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	100.00	100.00
22	0.00	0.03	0.45	6.34	50.00	93.65	99.54	99.96	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	100.00	100.00
24	0.00	0.01	0.21	3.03	31.60	87.21	99.01	99.93	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	100.00	100.00
26	0.00	0.00	0.09	1.42	17.60	75.92	97.89	99.85	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	100.00
28	0.00	0.00	0.04	0.66	8.98	59.30	95.55	99.68	99.97	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	100.00
30	0.00	0.00	0.02	0.30	4.36	40.24	90.86	99.32	99.95	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99
32	0.00	0.00	0.00	0.14	2.06	23.73	82.12	98.54	99.90	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99
34	0.00	0.00	0.00	0.06	0.96	12.57	67.98	96.90	99.78	99.98	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99
36	0.00	0.00	0.00	0.03	0.44	6.23	49.53	93.54	99.53	99.96	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99
38	0.00	0.00	0.00	0.01	0.20	2.98	31.20	87.00	98.99	99.93	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99
40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	1.40	17.33	75.58	97.85	99.85	99.98	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99
42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.65	8.83	58.85	95.47	99.68	99.97	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99
44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.30	4.28	39.89	90.70	99.31	99.95	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99
46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	2.02	23.40	81.85	98.52	99.89	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99
48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.94	12.37	67.58	96.85	99.78	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99
50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.44	6.12	49.07	93.43	99.52	99.96	99.99	99.99	99.99	99.99

멧에서 아크까지의 거리의 영향은 거의 무시할 수 있을 정도로 작았으며 용접전류 220암페어 이하에서는 헬멧에서 아크까지의 거리를 증가시키면 용접흡 노출기준치 초과 확률을 상당히 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다.

또한 CO₂ 용접에 있어 용접전류와 헬멧에서 아크

까지의 거리를 함께 고려하여 평가하면 첫째, 용접 흡 노출기준치 초과 확률을 감소시키기 위해서는 작업자의 습관을 고려할 때 많은 분포를 차지하는 34-37cm거리 작업자의 용접흡 초과확률을 약 15%이하로 낮추기 위해서는 용접전류를 200암페어 이하로 사용하도록 권고하는 것이 바람직하며 둘째, 많은

Table 9. Logit to welding fume TLV by welding currents and helmet to arc distances

Helmet to Arc Distance, cm	Exceeding Probability to Welding Fume TLV, %															
	Welding Current, Ampere															
	100	120	140.00	160.00	180.00	200.00	220.00	240.00	260.00	280.00	300.00	320.00	340.00	360.00	380.00	400.00
20	-9.99	-7.30	-4.61	-1.92	0.77	3.46	6.15	8.84	11.53	14.23	16.92	19.61	22.30	24.99	27.69	30.38
22	-10.76	-8.07	-5.38	-2.69	0.00	2.69	5.38	8.07	10.76	13.46	16.15	18.84	21.53	24.22	26.92	29.61
24	-11.53	-8.84	-6.15	-3.46	-0.77	1.92	4.61	7.30	9.99	12.68	15.38	18.07	20.76	23.45	26.14	28.84
26	-12.31	-9.61	-6.92	-4.23	-1.54	1.14	3.84	6.53	9.22	11.96	14.69	17.30	19.99	22.68	25.37	28.06
28	-13.08	-10.39	-7.69	-5.00	-2.31	0.37	3.06	5.76	8.45	11.14	13.83	16.52	19.22	21.91	24.60	27.29
30	-13.85	-11.16	-8.47	-5.77	-3.08	-0.39	2.29	4.98	7.68	10.37	13.06	15.75	18.44	21.14	23.83	26.52
32	-14.62	-11.93	-9.24	-6.55	-3.85	-1.16	1.52	4.21	6.90	9.60	12.29	14.98	17.67	20.36	23.06	25.75
34	-15.39	-12.70	-10.01	-7.32	-4.63	-1.93	0.75	3.44	6.31	8.81	11.52	14.21	16.90	19.59	22.28	24.98
36	-16.17	-13.47	-10.78	-8.09	-5.40	-2.72	-0.01	2.67	5.36	8.05	10.74	13.44	16.13	18.82	21.52	24.20
38	-16.94	-14.25	-11.55	-8.86	-6.17	-3.48	-0.79	1.90	4.59	7.18	9.97	12.66	15.36	18.05	20.74	23.43
40	-17.71	-15.02	-12.33	-9.63	-6.94	-4.25	-1.56	1.16	3.82	6.51	9.20	11.89	14.58	17.28	19.97	22.66
42	-18.48	-15.79	-13.10	-10.41	-7.71	-5.02	-2.33	0.35	3.05	5.74	8.43	11.12	13.81	16.51	19.20	21.89
44	-19.25	-16.56	-13.87	-11.18	-8.48	-5.79	-3.10	-0.41	2.27	4.97	7.66	10.35	13.04	15.73	18.43	21.12
46	-20.02	-17.33	-14.64	-11.95	-9.26	-6.56	-3.87	-1.18	1.50	4.19	6.89	9.58	12.27	14.96	17.65	20.35
48	-20.80	-18.10	-15.41	-12.72	-10.03	-7.34	-4.64	-1.95	0.73	3.42	6.12	8.81	11.50	14.19	16.88	19.57
50	-21.57	-18.88	-16.18	-13.49	-10.80	-8.11	-5.42	-2.72	-0.03	2.65	5.34	8.03	10.73	13.42	16.11	18.80

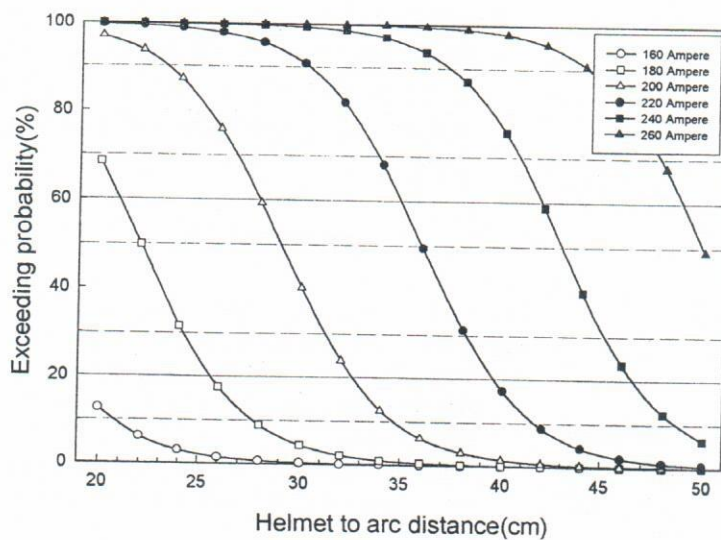


Fig. 3. Exceeding probability to welding fumes threshold limit value by welding current and helmet to arc distance.

분포를 찾아하는 200-220암페어 용접전류 사용 작업자의 용접흡 노출기준치 초과확률을 약 30% 이하로 감소시키기 위해 작업자의 작업 거리는 220암페어를 사용할 경우 38cm이상, 200암페어를 사용할 경우 32cm이상 되도록 하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

IV. 결 론

샷시프레임 제조공정의 용접 전문 작업자 221명을 대상으로 실시한 용접변수의 변화에 따른 용접흡 폭로시 용접흡 발생에 대한 제어방법의 실험결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 용접전류에 따른 초과확률은 260암페어 이상에서는 용접흡 노출기준치 초과확률이 약 99% 이상을 나타냈고, 헬멧에서 아크까지의 거리에 따른 초과확률은 30cm이하에서 용접흡 노출기준치 초과확률이 약 99% 이상이었다.
2. 용접전류, 헬멧에서 아크까지의 거리, 그리고 용접전류 및 헬멧에서 아크까지의 거리를 독립변수로 하고 용접흡 노출기준치 초과여부에 따른 이분변수를 종속변수로 이용하여 SPSS/PC+5.02를 이용한 로지스틱 회귀분석한 방정식은 각각 다음과 같다($p < 0.05$).

Logit(용접흡 노출기준치) =

$$0.1296 \times \text{용접전류} - 28.8750$$

Logit(용접흡 노출기준치) =

$$-0.6809 \times \text{헬멧에서 아크까지의 거리} + 25.1665$$

Logit(용접흡 노출기준치) =

$$0.1346 \times \text{용접전류} - 0.3859 \times \text{헬멧에서 아크까지의 거리} + 15.7382$$

3. CO₂ 용접시 이용하는 용접전류는 240암페어 이상이 될 때는 용접흡에 대한 노출기준치의 초과확률 백분율이 100%이었다. 따라서 용접흡에 대한 노출기준치를 초과하는 작업자의 숫

자를 약 40%이하로 감소시키기 위해서는 용접시 용접전류를 220암페어 이하로 감소시키는 공학적 방안을 제시할 수 있다.

4. CO₂ 용접시 헬멧에서 아크까지의 거리가 34cm 이하에서는 용접흡에 대한 노출기준치 초과 백분율이 100% 이었다. 따라서 용접흡 노출기준치를 초과하는 작업자의 숫자를 약 33% 이하로 감소시키기 위해서는 헬멧에서 아크까지의 거리를 38cm 이상이 되도록 안전보건교육 실시 및 작업수칙을 준수하면 직업병이 없는 쾌적한 환경이 될 수 있다고 판단된다.
5. 용접전류와 헬멧에서 아크까지의 거리를 함께 고려하여 평가하면 첫째, 용접흡 노출기준치의 초과확률을 감소시키기 위해서는 많은 분포를 차지하는 34-37cm거리 작업자의 용접흡 초과확률을 약 15%이하로 낮추기 위해서는 용접전류를 200암페어 이하로 사용하도록 권고하는 것이 바람직하며, 둘째, 많은 분포를 차지하는 200-220암페어 용접전류 사용 작업자의 용접흡 노출기준치 초과확률을 약 30% 이하로 감소시키기 위해서 작업자의 작업 거리는 220암페어를 사용할 경우 38cm이상, 200암페어를 사용할 경우 32cm이상이 되도록 하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
6. 용접흡에 대한 평균폭로 농도($8.21 \pm 5.83 \text{ mg/m}^3$)를 감소시킬 수 있는 공학적 방안으로 신축형 후드가 부착된 이동형 국소배기 장치의 보완으로 용접흡을 발생원에서 차단 하는 방안이 요구된다.

REFERENCES

- 1) 조규상 : 산업보건학, 수문사, 1991, 15-17.
- 2) 김교두 : 최신 용접 핸드북, 대광서림, 1989, 1-25.
- 3) Burgess WA : Recognition of health hazards in industry, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1981; 110-127.
- 4) American Welding Society : Recommended practices for gas metal arc welding, Florida, American Welding Society, 1978; 1-55.
- 5) 대한산업보건협회 : 작업공정별 보건관리 매뉴얼, 대

- 한산업보건협회, 1993; 98-141.
- 6) Jeung JY, Kim YK, and Kim JM : Influencing factors to worker's exposure of welding fumes and metals in gas metal arc welding using AWS ER70S-6, 1.2mm solid wire. Korean J. Occup. Health 1995; 34(4): 144-154.
 - 7) Gray CN, Hewitt PJ : Control of particulate emission from electric-arc welding by process modification. Ann. Occup. Hyg. 1982; 24(4): 431-438.
 - 8) Hewitt PJ, Madden MG : Welding process parameters and hexavalent chromium in mig fume. Ann. Occup. Hyg. 1986; 30(4): 427-434.
 - 9) Moreton J : The case for standardization of tests for welding fume emission rate and chemical composition determination. Ann. Occup. Hyg. 1986; 30(4): 435-444.
 - 10) APHA : Method of air sampling and analysis. American public health association, 2nd Ed., 1977; 481-484.
 - 11) Bisesi MS, Kohn JP : Industrial hygiene evaluation methods. CRC Press Inc. London, 1995; 7/1-7/9.
 - 12) American Industrial Hygiene Association : Welding health and safety resource manual: The aim of this manual is to assemble considerable information relative to welding and to hazards from a variety of resources into a useful and usable resource, Ohio: AIHA, 1984; 7-33.
 - 13) 한국산업안전공단 : 환기시설의 이론과 설치요령, KISCO-T-89-03-25, 한국산업안전공단 기술자료 1991; 253.
 - 14) 노동부 : 작업환경측정 실시규정, 노동부 고시 제92-17호, 1992.
 - 15) 이승욱 : 로지스틱 분석법의 실제, 서울대학교 보건대학원, 1991, 89-91.