

용접 Fume의 허용농도와 필요 환기량

한희춘* · 이수인* · 정인수*

Threshold Limit Value of Welding fume

by

H. C. Han* · S. H. Lee* · I. S. Chung*

1. 서 론

중화학공업과 조선공업이 비약적으로 발달됨에 따라 우리나라의 용접기술은 진일보를 거듭하였다.

그러나 각종 용접에 따른 산업재해(감전, 용접 fume 및 가스에 의한 진폐, 중독, 화상 등)도 날로 증가하는 추세로 이러한 용접재해 중 용접흠(fume)으로 인한 안전위생 및 환경오염적인 측면에서 큰 문제점을 야기하고 있으나 아직 국내에서는 여기에 대한 관심 및 연구가 미비한 실정이다.

그러므로 본 고에서는 용접 fume에 대한 개괄적인 면을 소개하고, 그 중 현실로 직면하는 "현장 용접장의 흠(fume) 및 흠의 특정성분에 대한 관리허용농도의 현황과 흠 발생량에 따른 필요 환기량"을 기술하고자 한다.

2. 용접 Fume

일반적으로 작업환경의 대기 유해물의 형태로는 가스상 물질과 입자상 물질로 대별할 수 있으며 이중 입자상 물질은 다시 입자의 크기 및 특성에 따라 dust(100—150 μ m 정도) mist(수 μ m—100 μ m정도), fume(0.1 μ m—수 μ m 정도)으로 나눌 수 있는데, 여기서는 용접 fume에 대해 고찰해 보고자 한다.

2.1 정의 및 특성

현재 우리나라에서 용접시 발생하는 입자상의 물질에 대한 분명한 정의는 규정되어 있지 않으나, fume이란 분산매체가 기체이고 분산상이 고체로 부터 되는 colloid system인 aerosol로서 용접시 생성되는 금속 증기가 공기 중에서 냉각 고화하여 고체의 미립자로 된 후 공기중에 부유하고 있는 것으로 fume에 대한 정의를 할 수 있다.

용접부에서 발생하는 0.1 μ m—수 μ m 정도의 입경을 갖는 구상의 결정 입자를 용접 fume의 1차 입자라 하는데 이는 뚜렷한 틴들현상(tyndall-phenomenon)을 보이며 대단히 활발한 브라운운동(brownian motion)으로 입자 상호간 또는 입자와 타 물체와의 충돌에 의해 대전(electrification)되어 서로 흡착 응집하여 fume 형상을 대형화 하게 된다.

이렇게 대형화 된 입자를 fume의 2차 입자라 하며 보통 그 크기는 수 μ m—수십 μ m 정도로 중력에 의한 침강 속도의 증대로 서서히 침강하게 된다.

이러한 fume의 화학조성은 피복체의 성분에 기인하는 것으로 Fe₂O₃, MnO, Al₂O₃, TiO₂, SiO₂, K₂O, Na₂O 등의 금속산화물로 구성되어 있다.

2.2 용접 Fume 생성 기구

용접 fume 생성 기구에 대해서는 세계 각국에서 연구가 활발히 진행되고 있지만 일반적으로 알려진 바에 의

* 서한개발(주), 정회원

하면 증기압에 의한 fume의 생성을 들 수 있다. 즉 용접 중 존재하는 용액의 표면에는 그 물질의 증기가 잔재하고 증기압은 온도가 높을수록 높다. 특히 아아크 용접에 있어서 아아크는 수천 °C (약 3,000—6,000°C)나 되는 고온이므로 용접봉의 선단, 이행 중의 용접 및 용융지의 표면에서 금속증기 또는 플럭스 등을 구성하는 물질의 증기가 격렬하게 발생하고 있다.

이러한 증기가 주변의 공기 중에 방출되면 증기 전체가 급격히 냉각 고화하는 동시에 금속은 산화되어 극히 미세한 공기의 입자로 되며 고온 용접부에서의 상승기류와 함께 연기현상으로 되어 상승한다. 이것을 용접 fume (1차 입자)이라 하며 이렇게 발생된 fume은 물리적 운동으로 서로 흡착 응집하여 입자의 대형화 (2차 입자)를 이루어 공기 중에 부유하게 된다.

그림 1 및 사진 1은 fume 생성 과정과 1, 2차 입자 형태를 나타낸 것이다.

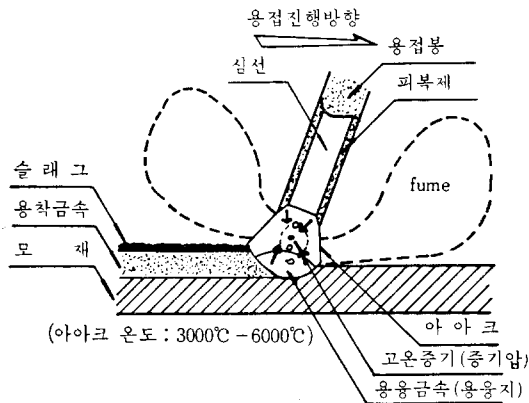
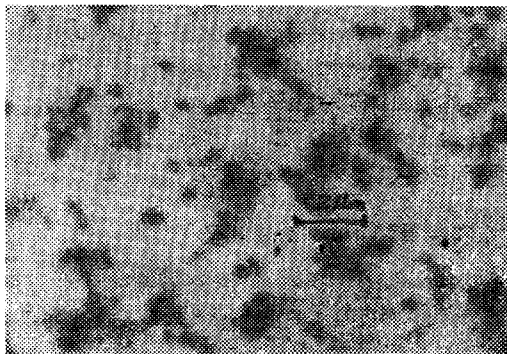
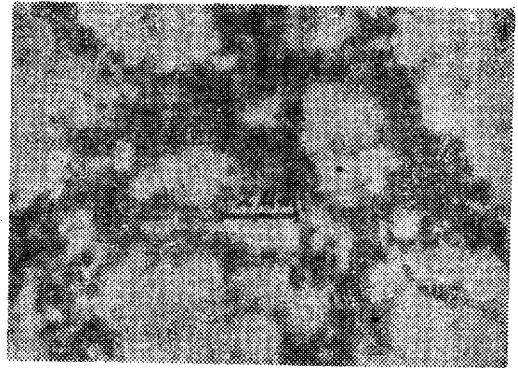


그림 1. 용접 fume의 생성 기구



(1차 입자)



(2차 입자)

사진 1. 용접 fume의 1차 입자와 2차 입자의 비교 (×1,700)

2.3 Fume이 인체에 미치는 영향

호흡에 의한 fume의 흡입은 비강—후두—기관지—폐포의 순으로 체내에 들어오며 여기서 fume은 기도(비강↔기관지)의 벽 또는 폐포의 벽에 침착하게 되는데 혈액 등에 용해되기 쉬운 성분은 용해된 후 신체 각부의 세포조직에 운반되어 특유의 증독을 일으키고 잘 용해되지 않는 성분은 기도와 세포의 벽에 침착되어 진폐 등을 유발시킨다.

fume을 다량 흡입할 경우에 생기는 인체의 장애로는 흡입 후 비교적 단시간에 발생하는 급성병상(두통, 발열 등)과 장시간에 걸쳐 축적되는 결과로 생기는 만성적 병상(진폐 등)으로 대별된다.

흡입된 무기입자 물질은 그림 2의 순환과정을 거치면서 인체에 장애를 일으키게 된다.

3. 용접 Fume의 허용농도 (Threshold limit value)

공기 중에 있는 화학 유해물질의 농도를 표시하는 것으로 다음과 같이 정의할 수 있다.

3.1 정 의

허용농도 (threshold limit value)란 작업자가 유해물 함유공기에 매일 노출될 때 농도가 이 수치 이하로 관리되면 작업자의 건강 장애를 일으키지 않는 농도라고 정의된다. 또한 용접장에서 용접 및 절단 작업시 발생하는 fume은 각 용접 재료별로 특성 있는 유해성분을

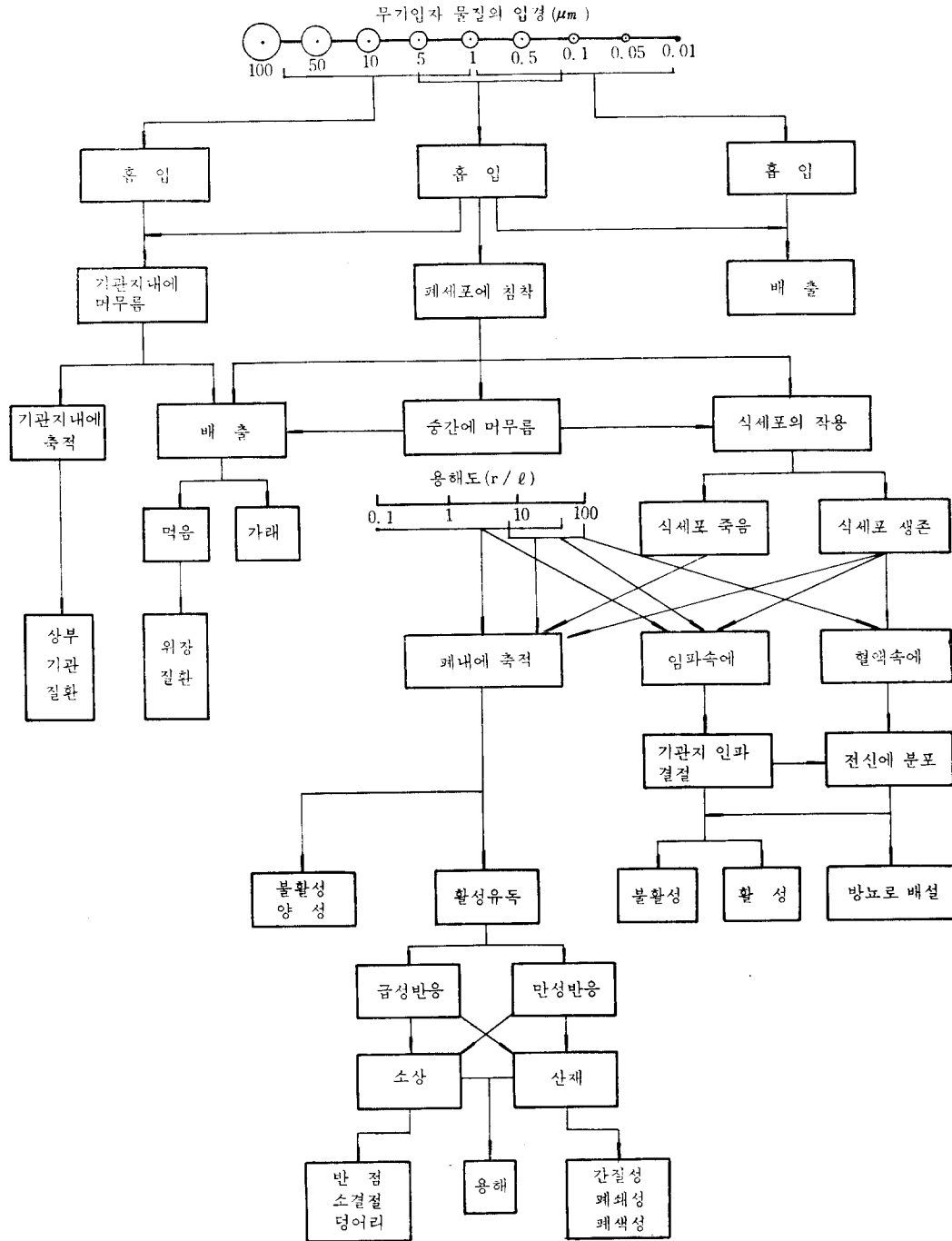


그림 2 흡입된 무기입자 물질의 순환

배출한다. 그러므로 이러한 유해성분을 관리하기 위하여 허용농도의 관리가 필요하며 허용농도는 크게 보아 표 1의 세가지로 분류할 수 있다.

표 1. 허용농도의 분류

구 분	정 의
시간 가중 평균 허용농도 (Threshold limit value-time weighted average: TLV-TWA)	1일 8시간 주 40시간 동안 노출되는 것을 기준으로 건강 장애가 나타나지 않는 농도
단시간 노출 허용농도 (Threshold limit value-short time exposure limit : TLV-STEL)	15분 동안 계속적으로 노출되어도 인체에 영향을 미치지 않거나 작업능률을 감소시키지 않을 수 있는 최고 농도로 1일 동안 5회 이상 허용치를 초과해서는 안되며 시간 가중 평균농도를 초과 해서도 안된다.
최고치 허용농도 (Threshold limit value-ceiling: TLV-C)	어떠한 경우에도 이 허용농도의 기준치를 초과 해서는 안되는 농도

3.2 각국에서의 허용농도 규정 현황

용접 작업환경에 대한 fume의 허용농도에 관해서는 1960년 국제용접학회 (International Institute of Welding : IIW)에서 공기 중의 fume 함유량은 저수소계 : $\leq 10mg/m^3$, 비저수소계 : $\leq 20mg/m^3$ (저수소계는 피복제에 Calcium fluoride: CaF_2 를 다량 함유하므로 용접 중 발생된 fume의 성분 중 불화물의 영향으로 인체에 더욱 악영향을 미치므로 저수소계의 허용치가 비저수소계 보다 낮다.)로 제시한 이후 각국에서도 용접 fume에 대한 허용농도의 규정으로 작업환경의 안전 위생에 대한 대응책을 강구하고 있다.

3.2.1 미 국

국제용접학회 (IIW)의 용접fume에 대한 허용농도 제시 이후 1974년 미국노동위생전문관회의 (America conference of governmental industrial Hygienists : ACGIH)에서 $5mg/m^3$ 의 허용농도를 제안 권고하였는데, 이에 따라 국제용접학회에서도 ACGIH의 제안을 검토한 결과 용접 fume에 대한 허용농도를 $5mg/m^3$ 로 결정 하였다.

ACGIH의 용접 fume에 대한 허용농도(TLV) 권고치가 세계적으로 채용되는 경향이 있으며 아울러 ACGIH에서는 용접 특정 성분에 대한 허용농도를 다음의 표 2

에 나타난 바와 같이 세분하여 규정하였다.

표 2. ACGIH의 용접시 fume 특정 성분에 대한 TLV

금속	형 태	TLV (mg/m^3)
Al	아라담 (Al_2O_3)	10
Ca	CaO	5
Cd	CdO fume (Cd에서)	0.05C
Co	금속 fume과 dust	0.1
Cr	Cr산과 Cr 산염(Cr에서) 가용성 Cr 염(Cr에서)	0.05 0.5
Cu	fume	0.2
Fe	산화철 fume	5
Mg	MgO fume	10
Mn	단체와 화합물 (Mn에서)	5C
Mo	가용성 화합물 불용성 화합물	5 10
Ni	금속과 불용성 화합물(Ni에서) 가용성 화합물(Ni에서)	1 0.1
Pb	무기 fume과 dust	0.15
Sb	단체와 화합물(Sb에서)	0.5
Sn	무기 화합물(Sn에서)	2
Ti	TiO_2	10
V	V_2O_5 dust(V에서) V_2O_5 fume(V에서)	0.5 0.5C
W	가용성 화합물 불용성 화합물	1 5
Zn	ZnO fume	5
F	불화물(F에서)	2.5

* C:어떠한 경우에도 이 허용농도의 기준치를 초과해서는 안되는 농도

3.2.2 일 본

일본은 1976년 일본용접협회(The Japan Welding Engineering Society)에서 용접 fume에 대한 관리허용 농도로 $5mg/m^3$ 을 제정 관리하다가 그후 1982년 $3mg/m^3$ 이하로 강화하여 작업자의 환경안전위생관리에 대처하고 있는 실정이다. 일본용접협회(WES)의 fume의 특정 성분 및 가스에 대한 관리 규정은 표 3에 보인 바와 같다.

용접 Fume의 허용도와 필요 환기량

표 3. WES 규정 관리허용농도(WES9007-1982)

물 질	관리허용농도(TLV)		
	mg/mm ³	ppm	
fume	3	—	
fume중의 특정 성분	Cu	0.2	—
	Ni	1	—
	Cr	0.05	—
	V	0.05	—
	Co	0.1	—
	Pb	0.15	—
	Sb	0.5	—
	F	2.5	—
	Ag	0.1	—
	Cd	0.05	—
	P	1	—
가 스	CO	—	50
	CO ₂	—	5000
	NO	—	25
	NO ₂	—	5
	O ₃	—	0.1

3.2.3 한 국

현 국내에서는 노동부에서 제정한 “유해물질의 허용농도 및 측정요령”에서 개괄적으로 작업 환경의 유해물질에 대한 허용농도(TLV-TWA, TLV-STEL)만 규정하고 있는 실정이다.

3.3 용접장의 Fume 농도 및 특정 성분 측정방법

3.3.1 Fume 농도 측정방법

fume 농도 측정방법에는

- i) 여과지에 의한 측정방법
- ii) 광산탄식 농도계에 의한 측정방법

의 두가지 방법이 통상적으로 적용되는데 이 방법들을 소개하면

1) 여과지에 의한 측정방법(Low volume air sampler method)

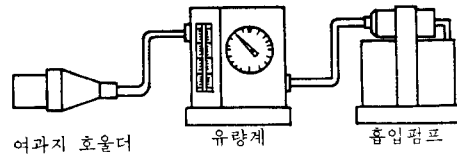


그림 3. 측정장치

위의 측정장치에 의해 일정량의 공기 sample을 채취하여 아래의 식에 의해 용접 fume의 농도를 산출한다.

$$C = \frac{W_2 - W_1}{Q} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

- C : 용접 fume의 질량농도(mg/m³)
- W₁ : 용접 fume포집 전 여과지의 질량(mg)
- W₂ : 용접 fume포집 후 여과지의 질량(mg)
- Q : 공기 흡입량(L)

측정위치는 통상적인 근로자의 작업위치로 바닥에서 1-1.5m 높이로 하며 유해물질의 발생이 정상적일 때는 반복의 측정치로부터 평균치를 산출하고 간헐적이고 불규칙 할 때에는 한주기 동안 유해물질을 포집 측정한다.

2) 광산탄식 농도계에 의한 측정방법(JIS Z 3950-1975년)

동일 입자 system의 용접 fume의 질량농도에 대한 산란광량을 측정 적산해서 표시 가능한 광산탄식 농도계를 사용하여 측정하는 것으로, 측정하고자 하는 장소에서 광산탄식 농도계를 작동시켜 1분간의 적산치를 구해 다음식에 의해 용접 fume의 농도를 계산한다.

$$C = KR \dots\dots\dots (2)$$

- C : 용접 fume의 질량농도(mg/m³)
- K : 용접 fume에 대한 계측기의 계수(mg/m³)
- R : 1분간의 적산치

3.3.2 fume의 특정 성분 농도 측정방법

fume의 특정 성분 농도는 fume 중의 그 특정 성분 함의 백분율(%)을 산출하여 다음 식에 의해 계산된다.

$$CE = \frac{C \cdot PE}{100} \dots\dots\dots (3)$$

- CE : 특정 성분의 공기 중 농도(mg/m³)
- C : fume의 질량 농도(mg/m³)
- PE : 특정 성분의 fume 중 백분율(원자흡광분석 등에 의거 산출)

위 식에서 구해진 fume의 특정 성분 농도(CE)가 TLV를 초과 할 때에는 용접장의 환기 등으로 관리해야 한다.

4. 필요 환기량(Nominal Hygienic Air Requirement:NHL)

필요 환기량은 대기 중의 유해물질(여기서는 용접

fume)로 오염된 작업장을 적절한[환기에 의한 허용농도 관리 체계인데, 그 산출식은 다음과 같다.

4.1 점 의

필요 환기량(NHL)은 한시간 동안 연속으로 용접했을 때 fume 중의 각 성분이 허용농도(TLV)이하로 희석 관리되기 위한 필요 공기량으로 정의되며 4.2절에서 정의된 산출식에 의해 이론적으로 구할 수 있다.

4.2 필요 환기량의 산출식

$$NHL=10 \cdot G \left(\frac{Dim}{5} + \frac{Mn}{2.5} + \frac{F}{2.5} + \frac{X}{x} + \frac{Y}{y} \right) m^3/h \dots\dots\dots (4)$$

- G : fume 발생량(g/h)
- Dim : Fe₂O₃, SiO₂, Al₂O₃ 등 fume 중의 불활성 성분량(%) (100-Σ Mn, F, X, Y)
- Mn, F : fume 중의 Mn, F량(%)
- X, Y : fume 중의 기타 주요 성분량(%)
- 5, 2.5, x, y : fume성분에 대한 TLV(mg/m³)

* 일례를 들어 현재 사용 중인 철분 산화철계 용접봉의 fume 발생량에 따른 필요 환기량을 고찰해보면 다음과 같다.

1) fume 발생량 및 화학조성

- 용접조건 { 용접방법 : 수평필렛 용접
 용접전류 : 220-230amp,
 fume 발생량 측정방법 : by low volumeOair sampler method
 (시간당 fume량 채취방법)

2) 산출(NHL 산출식 적용)

표 4, 표 5에 나타난 바와 같이 용접장의 환경요

표 4. fume 발생량 및 화학조성 비교

구분	항목	fume 발생량 (g/h)	fume의 화학 조성(%)								
			Fe ₂ O ₃	SiO ₂	MnO	TiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
Non low fume type electrode (KS E4327)		33*1	44.69	34.65	7.65	Tr	1.21	Tr	0.75	5.03	4.78
Low fume type electrode (KS E4327)		18*2	42.95	32.85	8.25	0.44	2.40	Tr	0.13	4.53	5.87

주) * 1:550mg/min×60min=33g/h
 * 2:300mg/min×60min=18g/h

표 5. 필요 환기량 비교

Low fume type 용접봉 사용(KS E4327)	Non low fume type 용접봉 사용(KS E4327)
$NHL=10 \times 18 \left(\frac{89.17}{5} + \frac{8.25}{2.5} \right)$ $=180 \times (17.83+3.30)$ $=3803(m^3/h)$	$NHL=10 \times 33 \left(\frac{91.11}{5} + \frac{7.65}{2.5} \right)$ $=330 \times (18.22+3.06)$ $=7022 (m^3/h)$

염은 여러요인 중 fume 발생원(용접재료)의 fume 발생량에 따라 크게 차이가 있으며 여기에 따른 필요 환기량도 용접재료에 따라 큰 차이가 있음을 알 수 있다.

그러므로 용접방법, 용접조건, 용접재료 선택 등의 1차적인 방법과 허용농도 관리를 위한 환기시설 등 2차적인 방법으로 용접장의 작업 환경오염 방지를 위한 대책을 제시할 수 있다.

5. 결 론

이상으로 용접 fume에 대한 개괄적인 면을 소개하고 용접장의 안전 위생적인 측면에서 용접 fume의 허용농도 및 필요 환기량에 대해서 고찰해 보았다.

용접 기술의 선진국으로 내닫고 있는 현 시점에서 용접 기술의 발전은 물론 여기에 따른 안전관리에도 관심을 높여 작업 환경보호에 만전을 기울일 때 라고 본다.

참 고 문 헌

- 1) 尾上久浩, 小林實, 現代溶接技術大系 溶接施工管理・安全衛生, pp.215~234.
- 2) 松田泰, 木林彰, 溶接現場における局所集塵, pp.77~80.
- 3) 溶接 ヒューム 濃度の 測定方法, JIS Z 3950-(1975)
- 4) 溶接 作業 環境 管理 基準, WES, 9007(1682)
- 5) 유해 물질 허용농도 및 등 측정 요령. (노동부 예규 제 225호)
- 6) AWS, *Fume and Gases in the Welding Environment PART II. Arc Welding Fumes and Gases.*