

아크용접에서의 총 폼 및 원소별 폼 발생량 평가법 (한국산업규격-KS D 0062 개정안)

The Method for Evaluating Total and Elemental Fume Generation Rate in Arc Welding Process

채 현 병, 김 정 한
한국생산기술연구원

1. 서론

현재 국내에서는 용접폼 관련 규격으로 한국산업규격(KS D 0062)이 있다. 현 규격은 피복아크용접봉에 의한 수동용접법 밖에는 적용이 되지 않는 한계를 가지고 있는 것으로 현대의 생산성 향상과 노동력 절감을 위한 용접공정의 자동화 및 로봇화가 급속하게 확산되고 있는 추세에 비추어 볼 때 자동 및 반자동의 용접공정에도 적용할 수 있도록 개정 및 정비가 시급한 실정이다. 또한 용접폼 발생량은 주어진 용접조건 및 기타 외부조건에 대한 정확한 설정 및 유지에 매우 민감하게 작용하는 특성을 지니고 있고 폼을 포집하는 순서 및 포집기술도 폼 발생량 평가에 중요한 인자이므로 이를 명확하게 정의할 필요성이 있다.

최근 Mn중독 및 Cr중독과 같은 용접폼의 피해사례가 급증함에 따라 생산현장의 노동자들도 용접폼에 대한 인식이 높아져 더 이상 용접폼 문제를 간과할 수 없을 뿐만 아니라 산업안전공단에서는 작업장내 유해원소의 노출기준 준수를 강화하기 위하여 측정횟수를 늘리고 있으며 수요자들도 용접재료 구매시 fume data를 요구하는 추세에 있다. 또한 노동부고시 제 1991-21호에 의거 용접흠을 '건강장해물질 중 유해물질'로 분류하고 있으며 최근 노동부고시 제 1996-12호를 통해 물질안전보건자료(MSDS : Material Safety Data Sheet)와 경고표지를 작성 및 비치하고 근로자에 대한 교육을 실시하도록 하고 있다. 따라서 한국생산기술연구원에서는 그 동안 수행해온 연구결과 및 축적된 Data에 의해 현 규격의 문제점을 개선하고 모든 아크용접공정에서 발생하는 용접폼을 정량적으로 평가할 수 있도록 현 규격에 대한 개정안을 도출하였다. 본문에는 현재 국립기술품질원에 개정 제안되어 현재 예고기간에 있는 한국산업규격(KS D 0062)의 개정안 전문이다.

2. 본문

한국산업규격

아크 용접에서의 총 품 및 원소별 품 발생량 평가법(개정안)

The Method for Measuring Total and Elemental Fume Generation Rate on Arc Welding Process

1. **적용범위** 이 규격은 아크 용접에서 수동, 자동 및 반자동 용접의 적용시 발생하는 총 품 및 원소별 품 발생량의 평가 방법에 대해서 규정한다.

1.1 본 규격은 다음 사항을 포함한다.

- (1) 포집될 샘플의 최소량
- (2) 여과지, 시험편 및 부속장비의 세부사양
- (3) 샘플 취급시 유의 사항
- (4) 결과데이터의 처리방법
- (5) 총 품 및 원소별 품 발생량 계산법
- (6) 품 포집장치 및 포집기술 검증시험

1.2 이 규격에 설명된 기술로 포집된 품은 화학분석에 사용될 수 있다.

1.3 이 규격에서 설명된 과정은 일반적으로 2분 이하의 단시간테스트에 적합하며 대다수의 용접공정에 적합하고 선택된 용접조건의 변화를 평가할 수 있다.

2. **인용규격** 이 규격의 관련규격은 다음과 같다.

- KS D 3503 일반 구조용 압연 강재
- KS D 3515 용접 구조용 압연 강재
- KS M 0050 기체 중의 더스트 시료 포집용 여과재의 모양, 치수 및 성능 시험 방법
- KS B 0545 용접 품 화학적 분석 방법

3. **용어의 뜻** 이 규격에서 사용하는 주된 용어의 뜻은 다음과 같다.

- (1) **총 품 발생량** 용접시에 발생하는 용접품의 전체 질량
- (2) **원소별 품 발생량** 총 품량 중 각 원소별 질량
- (2) **품 포집장치** 용접품을 전량 흡인하여 포집할 수 있도록 하는 장치

3. **목적**

3.1 아크 용접공정은 품과 가스를 부산물로 발생시킨다. 어떤 특정한 공정과 재료에 의해 발생하는 품의 양이나 발생율은 여러 가지 용접조건 및 외부 환경요인에 의해 영향을 받는다. 이 규격에서 설명된 품량 평가방법은 총 품 및 원소별 품 발생량에 영향을 미치는 용접재료, 용접공정 및 용접조건에서의 변수들의 영향을 정확히 평가하기 위해 만들어 졌다. 총 품 발생량은 용접공정을 사용하는 작업장의 적당한 환기시스템을 구축하고 올바른 작업공정을 선택하며

공기 정화시스템 구축에 매우 유용하다. 또한, 아크용접공정에서 생성되는 품은 구성성분별에 따라 용접자에게 미치는 독성효과가 매우 광범위하므로 특정 유해원소에 대해서는 원소별 품 발생량 평가를 통한 별도기준치를 설정하여 용접 환경에서 작업자를 보호하여야 한다. 따라서 작업자들의 안전과 위생적인 작업환경을 구축하기 위해서는 총 품 발생량을 정확히 평가하고 다양한 용접공정에서 발생하는 품의 구성성분을 규명하는 원소별 품 발생량 평가가 매우 중요하다.

4. **용접조건**

4.1 용접전류 및 아크전압은 용접봉 제조자가 추천하는 적정 범위에서 사용된다.

4.2 용접자세는 아래보기로 하고 시험편 위의 연속된 스트링 비드로 용접한다.

5. **품 포집에 필요한 장비 및 재료**

(1) **용접와이어** 용접와이어는 녹 및 다른 부착물을 방지하기 위하여 포장상태가 양호한 용접봉을 최초 개봉하여 사용하는 것을 원칙으로 하며 피복용접봉은 제조자가 추천하는 조건으로 재건조하여 사용한다.

(2) **시험편** 품 발생량 평가에 사용되는 시험편은 KS D 3503(일반 구조용 압연 강재)에 규정한 2종(SS400) 또는 KS D 3515(용접 구조용 압연 강재)에 규정한 1종(SM 400B)으로 하며 두께는 14mm이상, 크기는 260×260으로 한다.

(3) **여과지** 총 품 발생량 평가를 위한 여과지는 KS M 0050(기체 중의 더스트 시료 포집용 여과재의 모양, 치수 및 성능 시험 방법)에서 규정하는 각형 여과재 중 0.3 μ m의 입자에 대해서 99.9%이상의 포집율을 가진 유리섬유체로써 크기는 254 × 203mm으로 한다.

(4) **품 포집장치** 품 포집장치는 자동 및 반자동, 그리고 수동용접공정에 모두 적용될 수 있도록 설계되었다. 특히 용접시간, 포집시간, 용접속도, 용접봉 송급속도를 정확히 측정할 수 있도록 장치를 구성하였으며 토치각 및 턱과 시험편간 거리의 설정도 자유롭다. 또한 수동용접공정의 적용을 위해 품 포집장치 전면에 수동용접용 구멍에 수동용접용 어셈블리를 장착하여 손을 집어넣어 용접을 수행할 수 있도록 하였고 상단부에는 테스트과정을 지켜볼 수 있도록 관찰창을 설치했다. 포집장치의 하단부에는 공기의 흡입을 위해 12개(ϕ 40)의 구멍을 가공하였다. 여과지 장착부는 여과지와 여과지의 파손방지를 위한 지지대, 압력차 측정을 위한 차압계, 그리고 흡인펌프로 구성되어 있으며 여과지를 장착한 부분에서 공기가 누설되어서는 안된다. 품 포집장치의 외관 및 내부구조를 그림 1과 그림 2에 나타낸다.

6. **부속장비 규정**

(1) **흡인 펌프** 흡인 펌프는 품 포집전 여과지를 장착한 상태에서 약 1.5-2.3m³/min의 흡인용량을 가진 것이 적당하다.

(2) **건조로** 건조로는 포집 전과 후에 주위 분위기의 습기에 의해 오염된 여과지를 건조하는데 사용되며 건조로 내

의 온도는 약 93~107℃정도가 적당하다.

(3) 전자저울 용접품의 무게 측정을 위한 전자저울은 정확도 1 mg의 것을 사용하고 용착금속 측정에는 정확도 0.1 g의 것을 사용한다.

(4) 타이머 타이머는 정확한 용접시간 및 포집시간을 조정하기 위해 사용되며 용접시간은 2분 이내의 단시간이고 포집시간은 5분 이내이므로 약 0~10분 정도 범위에 0.1초 단위까지 측정 가능한 것으로 한다.

(5) 기록장치 용접전류와 전압의 정확한 측정을 위해서는 기록장치를 필수적으로 사용하여야 한다.

7. 폼 포집 순서 실제 폼 포집을 수행하기에 앞서 요구하는 용접조건이 맞게 설정되어 있는지를 확인하기 위해서는 반드시 시험용접을 수행하여야 한다. 폼 포집에 사용되는 용접조건은 전류, 전압 및 보호가스 등 사용하는 용접봉에 적합한 범위를 선택하여야 하며 용접시간은 플럭스 코어드 와이어를 사용하는 경우 30초, 솔리드 와이어를 사용하는 경우는 1분을 용접한다. 시험편은 표면에 녹이나 잔여물을 깨끗이 제거하기 위하여 샌드 블라스팅으로 표면의 녹이나 잔여물을 완벽히 제거하고 아세톤에 의한 표면처리로 마감한 후 용접을 수행한다.

수동 용접이나 반자동 용접의 경우는 박스 전면부에 설치된 수동 용접용 구멍에 수동용접용 어셈블리를 설치하고 한 손을 집어넣어 용접을 수행한다. 정확하고 반복적인 결과치를 얻기 위해서는 적용된 용접변수들을 일정하게 유지시키도록 한다.

폼 포집 순서를 단계별로 살펴보면 다음과 같다.

7.1 초기설정 후 시험용접을 수행하여 시험하고자하는 용접조건이 맞게 설정되어 있는지를 확인한다. 폼 포집 중에는 전류 및 전압 등 기타 용접조건을 변환시키지 않도록 한다.

7.2 폼 포집을 시작하기 전 시험편의 무게를 0.1g까지 측정 및 기록한다. 단, 수동용접일 경우에는 용접봉의 길이와 0.01g까지 용접봉의 무게도 측정 및 기록한다.

7.3 시험편을 회전테이블 위에 놓고 원하는 토치각과 팁과 모재간 거리를 설정한 후 문을 닫는다.

7.4 무게를 재기 전 여과지는 약 93~107℃의 건조로에서 약한시간 이상 건조시키고 1mg단위까지 무게를 측정 및 기록한다. 여과지의 취급에 있어서는 깨끗한 편셋 등을 이용하여 분진 등이 부착하지 않도록 주의한다.

7.5 여과지를 폼 포집장치에 장착한다. 이 때 여과지주변과 여과지 장착부의 밀폐성을 확인한다.

7.6 기록계를 작동시키고 용접을 수행한다. 또한 자동 및 반자동 용접의 경우 소모된 용접 와이어의 송급량을 측정 및 기록한다.

7.7 용접시간은 1분으로 하며 0.1초 단위까지 측정한다. 다만, 품질이 많은 등의 이유로 용접시간을 단축할 필요가 있을 경우에는 최저 30초까지 단축할 수 있다.

7.8 흡인 펌프에 의한 흡인은 용접개시와 동시에 시작하고 용접 종료후 포집장치 내부에 용접품이 보이지 않을 때까지 계속하는 것으로 한다. 다만 용접종료 후 5분을 초과할 필요는 없다.

7.9 폼 포집이 끝나면 폼 포집장치에서 여과지를 탈착해 즉시 건조로에 넣어 약 1시간 이상 건조시킨 후 무게를 측정 및 기록한다.

7.10 용접 후 용접모재의 무게를 측정하여 용착량을 계산하고 수동용접의 경우는 잔여 용접봉의 길이와 무게를 측정하여 소모된 용접봉의 길이 및 무게를 계산한다.

7.11 용접은 동일조건에서 3회 측정하여 평균값으로 나타낸다. 총 폼 발생량은 용도에 따라 표 1에 주어진 계산식에 의해 산출한다.

8. 원소별 폼 발생량 평가

8.1 원소의 화학분석에는 KS B 0545(용접 폼 화학적 분석 방법)에 따른다.

8.2 원소별 폼 발생량 계산 원소별 FGR은 측정된 총 폼 발생량과 8.1절에서 설명한 화학분석법에 의해 측정된 품의 농도를 이용하여 다음의 식에 의해 산출된다.

$$FGR_e = FGR_t \times C_i$$

여기서 FGR_e는 원소별 폼 발생량을 나타내며 FGR_t는 총 폼 발생량 그리고 C_i는 품내 성분원소의 화학조성을 나타낸다.

9. 폼 포집장치 및 포집방법의 검증시험

9.1 용접조건이 잘못된 설정이나 폼 포집 및 측정방법, 그리고 포집장치 등의 오류로 인해 폼 량 측정시 오차가 발생할 수 있고 또한 포집된 폼량에 대해서 결과치의 재연성이 매우 중요하므로 측정시 오류를 방지하고 실험의 신뢰성을 확보하기 위해서는 검증시험을 반드시 수행하여야 한다. 따라서 검증시험을 위한 표 2의 용접조건을 설정하였으며 이 조건하에서 7항에서 설명한 포집방법으로 다수의 반복된 실험을 통해 도출된 결과치를 기초로 표 3의 검증시험 기준을 설정하였다.

9.2 총 폼의 중량분석시 오차를 최소화하기 위해 최소 0.2g 이상 포집하는 것이 바람직하다.

9.3 용접봉은 생산업체에 따라 화학성분의 차이가 크지 않은

직경 1.2mm의 KS D 7025 (ER70S-6)의 솔리드 와이어를 사용하였다. 주어진 용접조건 하에서 포집된 결과치가 표 3의 값과 ±5% 이상의 오차를 보이는 경우, 각종 오차의 발생원인을 찾아 교정한 후 재 검증시험을 통하여 허용오차를 만족한 다음 본 실험이 수행되어야 한다.

9.4 포집된 품은 흡습성이 매우 강해서 주위 공기 중의 습도에 매우 민감하다. 따라서 품 포집 전과 후에 있어서 여과지의 중량분석은 주위공기의 습도에 대한 영향을 배제시킬 수 있는 항온항습실(50% RH이하)에서 실시되는 것이 바람직하다.

10. 기록 측정기록으로서 그림. 3에 표시한 사항에 대해서 기록하는 것이 좋다.

표 1. 품 발생량 계산식

총 품 발생량	계산식	사용용도의 예
1 단위 시간당 품 발생량 (g/min)	$\frac{\text{포집후 여과지의 무게}(g) - \text{포집전 여과지의 무게}(g)}{\text{테스트 시간}(min)}$	작업장의 환기장치 구축
2 소모된 용접봉 단위부게당 품 발생량 (g/g _{electrode})	$\frac{\text{포집후 여과지의 무게}(g) - \text{포집전 여과지의 무게}(g)}{\text{소모된 용접봉의 무게}(g)}$	저 품 용접재료 개발
3 소모된 용접봉 단위길이당 품 발생량 (g/cm _{electrode})	$\frac{\text{포집후 여과지의 무게}(g) - \text{포집전 여과지의 무게}(g)}{\text{소모된 용접봉의 길이}(cm)}$	피복아크 용접봉의 품 발생량
4 용착급속 단위부게당 품 발생량 (g/kg _{deposit})	$\frac{\text{포집후 여과지의 무게}(g) - \text{포집전 여과지의 무게}(g)}{\text{용착급속의 무게}(kg)}$	용접생산성 향상

표 2. 검증시험을 위한 용접조건

검증시험 용접조건		
용접조건	팁과 모재간 거리 (mm)	20
	토치각 (deg)	90
	용접봉 송급속도 (m/min)	9
	용접 전류 (A)	270
	아크 전압 (V)	30
	용접 속도 (mm/s)	6
	용접 시간 (sec)	60
용접봉	종 류	ER70S-6
	지름 (mm dia.)	1.2 φ
시험편	종 류	SS 400
	크 기 (mm)	260 × 260 × 21
용접기 종류 및 극성	SCR Type, DCEP	
초기차압 (mmAq.)	200	
보호가스	성 분	CO ₂
	유 량 (ℓ/min) / 노즐 직경 (mm dia.)	20/19

표 3. 검증시험 기준치

검증시험 기준치			
아크 전압 (V)	용접봉 송급속도 (m/min)	총 품 발생량 (g/min)	소모된 용접봉의 단위 무게 당 품 발생량 (mg/g _{electrode})
30	9	0.395	5.16

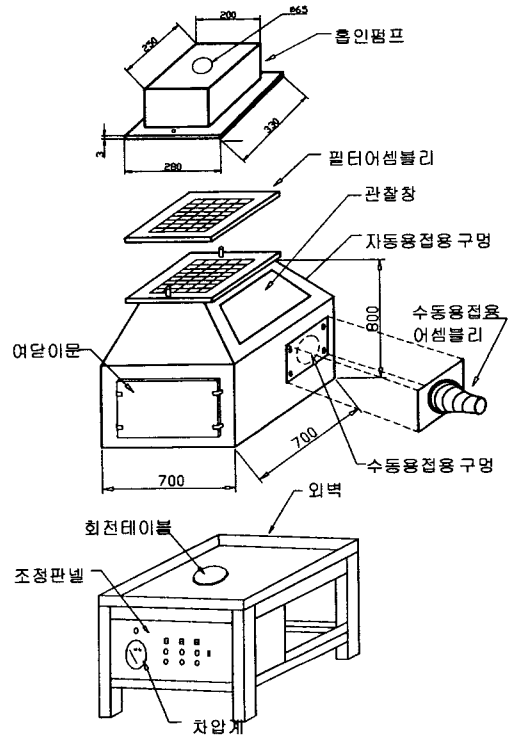


그림 1. 품 포집장치

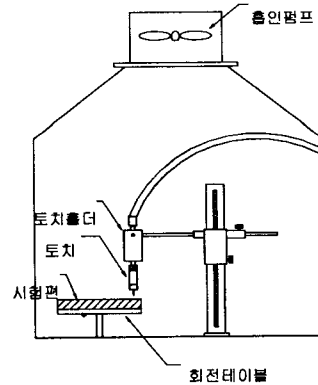


그림 2 품포집장치의 내부구조