

## 용접 Process 발달에 따른 Fume 발생량 평가 System 구축에 관한 연구

채 현병\*, 김 정한\*, 김희남\*\*  
한국 생산 기술 연구원\*, 명지 대학교\*\*

### 1. 서론

용접흡에는 여러 종류의 유해원소가 포함되어 있고 그 종류에 따라 인체에 미치는 영향도 다르다<sup>1,2,3)</sup>. 최근 우리나라에서는 Arc용접시 발생하는 흠에 의해서 용접작업자들의 망간중독이나 비중격천공(鼻中隔穿孔)과 같은 질병이 발생하는 사례가 보고됨에 따라 작업 환경에 대한 법적 규제가 강화되고 있으며<sup>4,5,6)</sup>, 용접흡에 대한 관심도 높아지고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위한 근본적인 대책은 흠의 근원으로부터 발생하는 흠양을 저감시키기 위해서 저 흠 용접재료와 용접 Process를 개발하여 사용하는 것이다. 또한 2차적으로 작업자가 발생된 용접흡에 노출되는 것을 방지 또는 감소시키기 위한 용접작업장의 환기장치의 구축이 필요하다. 이러한 흠 관련 재료, 공정 및 장비를 개발하고 구축하기 위해서는 흠발생량의 정확한 측정이 필수적이며 또한 관련 연구 및 기술개발을 수행하기 위해서 흠발생량 평가를 위한 표준 시험법의 정립이 절실하다.

그러나 최근 실제 산업현장에서는 생산성 향상과 노동력 절감을 위한 용접 자동화 추세에 따라 반자동용접과 자동용접의 적용이 급속도로 확산되고 있음에도 불구하고 기존의 관련 한국공업규격(KS D 0062)은 수동 피복 Arc용접에 적용이 국한되어 있다<Fig. 1><sup>7)</sup>. 따라서 본 연구에서는 수동용접을 포함한 반자동 및 자동용접에 까지 확대시킬 수 있는 흠 포집장치와 포집법을 개발하여 흠 발생량에 영향을 미치는 인자들을 평가할 수 있는 용접기초 제반기술을 확립하기 위한 기초 Data를 마련할 수 있도록 표준 흠발생량 평가 System의 구축을 목적으로 하고 있다.

### 2. 흠 포집장치 개발

Arc용접시 발생하는 흠의 양은 용접조건을 비롯해 Arc에 영향을 미치는 모든 인자의 영향을 받으므로 이와 같은 점을 고려하여 제작된 흠 포집장치는 용접시간, 용접길이, 송급속도, 이송속도, 토치각도, CTWD 및 흠포집 시간을 정확히 측정할 수 있도록 장치를 구성하였으며 용접전류와 전압은 기록장치를 따로 두어 정확하게 기록할 수 있도록 하였다. 수동용접을 위해서 흠 포집상자 전면

에는 수동 용접용 Hole을 마련하였고 상단 부에는 테스트 과정을 지켜볼 수 있도록 관찰창을 설치하였으며 하단 부에는 공기의 흡입을 위해 각 면당 3개씩 전부 12개(Ø40mm)의 Hole을 가공하였다. 또한 포집되는 흡의 양은 상당히 미량이기 때문에 주위환경이 취약한 경우 흡입공기에 의한 영향을 극소화하기 위해 흡입구 전면에는 Hepa Filter를 설치하여 Chamber내로 들어오는 공기를 정화할 수 있도록 하였다.

흡포집을 위한 Filter Assembly는 여과지, 여과지의 터짐방지를 위한 Steel Mesh, 위치고정을 위한 Frame으로 구성되어 있으며 Air Sampler와 Chamber사이에 장착된다. <Fig. 2>에서 보여지는 것과 같이 용접은 위치, 높이 및 각도를 정확하게 조정할 수 있는 Torch Holder에 의해 지지되고 있는 용접 Torch를 이용해 속도 조절이 가능한 Turn Table 위에서 수행되도록 하였으며 용접과 흡 포집은 Timer를 이용해 0.1초 단위의 정확한 시간 동안 수행될 수 있도록 하였다.

흡박스 내에서 용접에 의해 발생한 흡은 High Volume Air Sampler를 이용해 여과지를 통과시켜 포집한다. 여과지는 포집시 용접흡이 Filter Assembly와 Filter사이의 틈으로 새는 것을 방지하기 위해 기밀성 유지를 위한 봉합이 필요하다. 그러므로 Filter Assembly의 여과지와 맞닿는 모든 부분은 전부 연결고무로 Sealing하여 샘플링 도중에 흡이 새어나가는 것을 방지했다. Pressure Drop Gage를 사용하여 용접흡 포집 중 여과지가 정상적인 역할을 하고 있는지 평가할 수 있도록 하였으며 Air Sampler의 Motor에 가변속도장치와 Mechanical Valve를 설치해 용접흡의 흐름과 Arc특성에 영향을 미치지 않는 Air의 적정 추출 속도와 적정차압을 조절할 수 있도록 하였다. <Fig. 3>에 개선된 흡 포집장치의 개략도를 도시하였다.

### 3. 흡 포집법

실제 본 테스트를 수행하기에 앞서 요구하는 용접조건이 맞게 Setting되어 있는지를 확인하기 위해 반드시 시험용접을 수행하여야 한다. 테스트에 사용되는 용접조건은 전류, 전압 및 보호가스 등 사용하는 용접봉에 적합한 범위를 선택하여야 하며 모재는 Brushing이나 Sand Blasting을 하고 Acetone으로 후처리한다. 수동용접이나 반자동 용접의 경우는 박스 전면부에 설치된 수동용접 용 Hole에 한 손을 집어넣어 테스트를 한다. 정확하고 반복적인 결과치를 얻기 위해서는 테스트를 수행하는 도중에 적용된 용접변수들을 유지하는데 아주 세심한 주의가 필요하다.

흡 포집 순서를 단계별로 살펴보면 <Table 1>과 같다.

### 4. 총 흡 발생량 평가

흡 발생량은 주어진 시간에 발생하는 흡의 무게를 나타내는 FFR(Fume

Formation Rate)과 소모된 용접봉이나 용착금속의 단위 무게당 발생한 흠의 무게를 나타내는 FGR(Fume Generation Rate)로 평가될 수 있다. 일반적인 단위는 분당 흠이 발생하는 속도(g/min), 용착된 금속의 단위 무게당 흠 발생량(g/kg<sub>weld</sub>), 사용된 용접봉 단위무게 및 단위길이당 발생량(g/g<sub>electrode</sub>, g/cm<sub>electrode</sub>) 등이 있다. g/min은 시간당 흠 발생량으로 외관상 흠의 많고 적음을 나타내는 것으로 작업장의 적당한 환기 시스템을 구축하고 올바른 작업공정을 선택하며 또한 공기정화 시스템 구축하는 경우 매우 유용하다. g/kg<sub>weld</sub>는 단위 시간당 흠 발생량을 용접금속의 용착속도로 나눈 것으로 g/min의 단위와는 달리 용접법의 생산성과 관련되므로 작업 시 발생하는 총 흠의 감소와 관련하여 사용하면 편리하다. 그 외 g/g<sub>electrode</sub>와 g/cm<sub>electrode</sub>는 포집된 흠의 무게를 포집시간 동안 소모된 용접봉의 무게 또는 길이로 나누어 준 것으로 용접봉에 따른 흠 발생량 비교 시 사용되며 저 흠 용접봉 개발 시 유용하다. 흠포집에 있어서 흠 포집장치의 정확성과 용접공정의 재연성도 중요하지만 흠 포집기술 또한 매우 중요하다. 포집된 흠샘플을 다루거나 보관할 때 오염에 의해 무게가 변하지 않도록 하기 위한 주의가 필요하며 용접재료 및 조건에 따라 적당한 포집시간의 책정도 매우 중요하다. 총 FGR평가 시 흠포집은 용접재료 및 공정의 종류에 따라 다르지만 일반적으로 2분 이하의 시간이면 평가가 가능한 것으로 나타났다.

위에 설명된 포집과정에서 획득한 Data를 이용하여 <Table 2>의 식들에 의해 여러 형태의 흠 발생량을 계산할 수 있다.

## 5. 흠 포집장치의 검증시험

용접조건이 잘못된 Setup이나 흠포집 및 측정방법 그리고 포집장치 등의 잘못으로 인해 FGR 측정 시 오류가 발생할 수 있으며 이를 방지하기 위해 표준 검증 시험법을 정립하여 포집 전 검증시험을 수행할 필요가 있다. 따라서 검증 시험을 위해 <Table 3>의 표준 용접조건을 설정하였으며 이 조건하에서 앞의 3.에서 설명한 포집 및 분석방법으로 다수의 반복된 실험을 통해 도출된 Data를 기초로 <Table 4>의 Calibration Value를 설정하였다. 용접 Wire는 생산업체에 따라 화학성분의 차이가 크지 않은 직경 1.2mm의 KS D 7025 YGW12(AWS A5.18 ER70S-6)의 Solid Wire를 사용하였다. 주어진 용접조건 하에서 흠을 포집한 결과가 Calibration Value와 10% 이상의 오차를 보이는 경우에는 각종 오차의 발생원인을 찾아 교정한 후 재 검증시험을 통해 합격한 다음 본 실험을 수행하여야 한다.

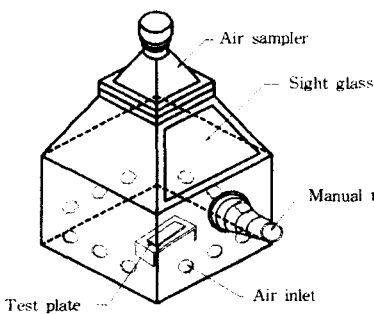
## 6. 결 론

위에서 설명한 새로운 흠 포집장치의 구축과 평가법 확립으로 기존의 피복 Arc용접법에서 밖에 적용시키지 못했던 흠 발생량 평가를 자동과 반자동 용접까

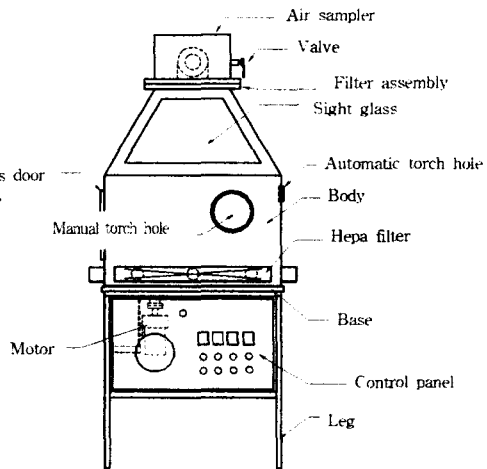
지 확대하여 실제 산업현장에서 사용되고 있는 거의 모든 용접재료 및 용접 Process에 대해 적용·평가할 수 있게 되었다. 또한 위 포집장치는 전압·전류 변화에 큰 영향을 미치는 CTWD나 Torch Angle, Travel Speed 등과 같은 흠 발생량 변화의 직접적 인자들을 철저히 고려하여 설계했기 때문에 용접재료별 및 Process에 따른 흠 발생변수 도출이 가능해졌고 포집과정의 표준화에 따른 평가 System구축으로 인하여 용접재료 및 Process특성에 대한 체계적이고 정량적인 평가기준을 제시할 수 있게 되었다. 이러한 기술은 단순히 제품의 표준화 및 규격화를 유도하는 제품의 평가기술로 그치지 않고 제품의 설계 및 제작 과정에도 반영되어 궁극적으로는 저 흠 용접재료 개발과 저 흠 용접공정의 개발을 위한 핵심 기초기반 기술로 활용될 수 있으리라 기대된다. 그리고 저 흠 용접재료 및 공정의 개발은 더 나아가서 안전위생 및 환경 오염적인 측면에서도 용접 작업장울 깨끗이 유지시켜 줌으로써 작업자의 건강도 보호하고 쾌적한 작업조건 조성에 의한 용접생산성 향상 및 용접부의 품질향상도 도모할 수 있으리라 사료 된다.

## 7. 참고 문헌

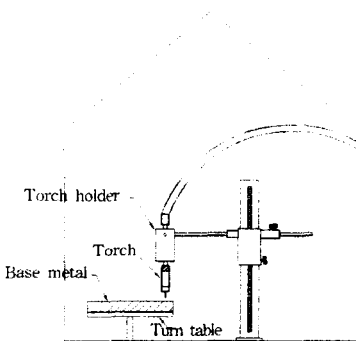
- 1) G. Kraume : Welding Fumes and Gases, National Occupational Health and Safety Commission Australian Government Publishing Service, Canberra, Australia, (1990)
- 2) 김규상 : 용접작업자의 건강관리, 제 30 회 산업안전보건대회 용접작업 관리대책 세미나, 한국 산업안전관리공단, p.67, (1997)
- 3) 홍영습 외 : 용접흠 폭로 근로자들의 폐기능에 관한 연구, 용접기술 세미나, 한국 생산 기술 연구원, (1997)
- 4) 한국일보, 1996년 12월 15일
- 5) 중앙일보, 1997년 2월 13일
- 6) 노동부 : 노동부고시 제 91-21호, (1991)
- 7) 공업진흥청 : 피복 아크용접봉의 전체 품량 측정방법, 한국산업규격, KS D 0062, (1995)



<Fig. 1> Fume Collection Chamber  
Used in KS D 0062.



<Fig. 3> Schematic Drawing of the Fume Collection Chamber Remodeled for Manual, Semiauto-matic and Automatic Welding Processes which has the Capability of the Exact Control of Welding Conditions.



<Fig. 2> The Inside View of Fume Collection Chamber.

<Table 1> The Collecting Sequence of Welding Fume

### 흡 포 집 순 서

- 초기용접 조건을 Setup한다.
- 모재의 무게를 잰다. 단, 수동용접일 경우에는 용접봉의 길이와 무게도 잰다.
- 여과지는 93~107℃의 Dry Oven에서 약 한시간 이상 건조시킨 후 무게를 잰다.
- 여과지를 Filter Assembly에 장착한 후 Assembly를 Chamber에 장착한다
- 기록계를 작동시키고 용접을 시작한다
- 소모된 용접 Wire의 양을 알기 위해 송급속도를 측정한다(자동 및 반자동 용접의 경우).
- 용접이 끝나면 Filter Assembly에서 조심스럽게 여과지를 탈착해 즉시 Dry Oven에 넣는다.
- 약 한시간 이상 건조시킨 후 여과지의 무게를 잰다.
- 용접 후 용접모재의 무게를 측정하여 용차량을 계산하고 수동용접의 경우는 잔류 용접봉의 길이와 무게를 측정한다.
- 용도에 따라 <Table 2>에 주어진 계산식에 의해 흡 발생량을 산출한다.

<Table 2> The Formulas for the Calculation of Total Fume Generation Rate.

1	단위 시간당 흠 발생량 (g/min)	$\frac{\text{포집후 여과지의 무게}(g) - \text{포집전 여과지의 무게}(g)}{\text{테스트 시간}(min)}$
2	소모된 용접봉 단위무게당 흠 발생량 (g/g <sub>electrode</sub> )	$\frac{\text{포집후 여과지의 무게}(g) - \text{포집전 여과지의 무게}(g)}{\text{소모된 용접봉의 무게}(g)}$
3	소모된 용접봉 단위길이당 흠 발생량 (g/cm <sub>electrode</sub> )	$\frac{\text{포집후 여과지의 무게}(g) - \text{포집전 여과지의 무게}(g)}{\text{소모된 용접봉의 길이}(cm)}$
4	용착금속 단위무게당 흠 발생량 (g/kg <sub>deposit</sub> )	$\frac{\text{포집후 여과지의 무게}(g) - \text{포집전 여과지의 무게}(g)}{\text{용착금속의 무게}(kg)}$

<Table 3> The Standard Welding Condition and Materials for the Calibration of Fume Collection Chamber and Procedure.

Calibration Condition		
Welding Parameters	CTWD(mm)	20
	Torch Angle (deg)	0
	Wire Feed Speed(m/min)	10.3/13.3
	Current(A)	250/280
	Voltage(V)	28/33
	Travel Speed(mm/s)	8
	Test Time Elapsed(sec)	60
Electrode	Type	Solid Wire
	Dia(mm)	1.2
Test Plate	Type	A36(cleaned)
	Dimension(mm)	260 × 260 × 21
Type and Polarity of Current	DCEP	
Initial Pressure Drop(mmH <sub>2</sub> O)	300	
Shielding Gas	Composition	CO <sub>2</sub>
	Flow Rate(ℓ/min) / Nozzle Dia.(mm)	19/19

<Table 4> The Standard Values under Calibration Condition.

Calibration Value			
Arc Volt (V)	Melt-off Rate (kg/hr)	Fume Generation Rate (g/min)	Fume wt. / Consumed Electrode wt. (g/g <sub>electrode</sub> )(%)
33	280	0.47	0.42
28	250	0.39	0.45