

## Arc 용접시 Fume 발생량 평가에 관한 연구

### A Study on the Evaluation of Welding Fume Generated during Arc Welding

채 현 병\* · 김 정 한\* · 김 희 남\*\*

H.B. Chae · J.H. Kim · H.N. Kim

(1998년 5월 1일 접수, 1998년 5월 2일 채택)

#### ABSTRACT

The cases of welders illness by welding fume generated during arc welding are recently reported, which makes the legal regulation in the welding work place. Also, this situation makes the employers and welders be concerned about the welding fume seriously. At this point of time it is necessary that a standard testing method is developed as a fundamental tool for the evaluation of Fume Generation Rate(FGR) required for making progress in the development of low fume electrodes and welding process technology and also constructing the ventilation system in welding area.

However, the current standard(KS D 0062) is only applicable to the manual covered electrode arc welding. In this study the evaluation procedure for the FGR is established by developing the fume collection chamber which can be applicable to semiautomatic and automatic arc welding as well as manual arc welding. This evaluation system and procedure can be used as a tool not only to develop the low fume welding electrode and welding process technology but also to construct the equipment controlling the welding workshop atmosphere.

#### 1. 서 론

용접흡에는 여러 종류의 원소가 포함되어 있

고 그 종류에 따라 인체에 미치는 영향도 다르다<sup>1-3)</sup>. 최근 우리나라에서는 arc용접시 발생하는 흡이 안전위생 측면에서 문제점으로 부각되고

\* 한국생산기술연구원

\*\* 명지대학교 기계공학과

있다. 포항 철강공단 용접사 중 용접흠에 의한 망간중독 환자들이 발견되었고 콧속 연골에 구멍이 뚫리는 비중격천공(鼻中隔穿孔)이라는 병도 작업환경이 열악한 경우에 발생하는 것으로 보고되어 직업병으로 판정받아 산재요양이 승인된 사례가 있다<sup>4,5)</sup>. 이러한 시점에서 작업환경에 대한 법적규제는 한층 엄격하게 강화되고 있으며<sup>6)</sup> 다량의 흠을 발생시키는 재료에 대해서 용접사의 용접기피 현상이 증가되고 있는 실정이다.

이러한 문제점의 근본적인 해결책은 흠의 근원에서 발생하는 흠의 양을 저감시키기 위하여 저 흠 용접기자재 및 용접 process를 개발하여 적용하는 것이다. 작업자가 흠에 노출되는 것을 최소화할 수 있는 방안도<sup>7)</sup> 시급히 모색되어야 할 과제이다. 또한 2차적으로 용접 작업장의 환기장치 구축 등과 같이 작업자가 용접흠에 노출되는 것을 최소화할 수 있는 방안을 모색하여 적용하는 것도 중요하다.

따라서 이러한 용접흠에 대한 기초 연구 및 process 개발을 수행하기 위하여 그리고 용접작업 중 발생하는 흠량의 과대 평가에 의한 막대한 시설비 낭비 및 운영비 부담이나 과소 평가에 의한 작업자의 피해를 방지하기 위하여 용접시 발생하는 흠량을 정확하게 평가하는 것은 매우 중요하며 이러한 시점에서 흠 발생량 평가를 위한 표준시험법의 정립과 공인된 기관의 시험평가 지원체제 구축으로 국내 산업을 선도할 수 있는 기반조성이 필요하다. 해외에서는 이미 이러한 기술들에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔으나 국내의 경우는 매우 미비한 상태이며 이 기술의 미래 영향력이나 필요성을 고려할 때 국내에서도 적극적인 관심을 가져야 할 부분으로 판단된다.

현재 국내에서는 용접흠 발생량 측정 방법으로서 피복 arc용접법에 대해 발생하는 용접흠 전량을 여과지에 포집하여 그 무게를 측정하는 방법이 한국산업규격 KS D 0062에 규격화되어 있다<sup>8)</sup>. Fig. 1은 이 규격에서 사용되는 용접흠 포집장치를 보여 주고 있으며, 그림에서 보여 주는 바와 같이 이 방법은 수동 피복 arc 용접에서의 적용에 국한되어 있다. 그러나 용접재료 및 용접 process의 발달과 더불어 생산성 향상

과 노동력 절감을 위한 용접의 자동화 추세에 따라 반자동용접과 자동용접의 적용이 산업현장에 급속도로 확산되고 있다. 이러한 시점에서 기존의 흠 포집장치에 의해서는 현재 산업체에서 많이 사용되고 있는 여러 가지 용접법으로부터의 흠 발생량을 측정하고 평가하기에는 사실상 어려움이 있으며 기존의 장치로는 흠 발생량에 영향을 미치는 여러 용접조건도 기계적인 정확한 조절이 아닌 작업자의 기능에 의한 조절에 의존하게 되므로 정확한 흠 발생량 평가에는 문제점을 가지고 있다. 따라서 수동용접법 뿐만 아니라 자동과 반자동 등 모든 용접법을 수용할 수 있고 흠 발생량 측정시 오차를 야기시키는 인자들의 영향도 최소화할 수 있는 새로운 흠 포집장치 및 포집방법과 평가방법을 개발하고, 그에 따른 용접기초 제반기술을 확립하기 위한 기초 data를 마련할 수 있도록 흠발생량 표준평가 system을 정립 및 제시하고자 하는데 본 연구의 목적이 있다.

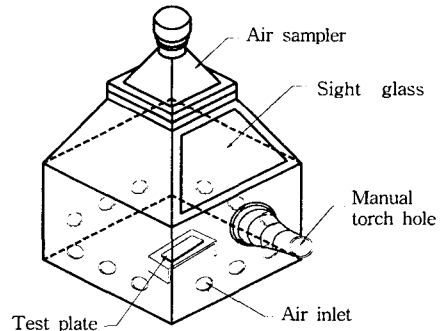


Fig. 1 Fume Collection Chamber Employed in KS D 0062

## 2. 흠 포집장치 개발

### 2.1 설계 주안점 및 특성

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 측정하고 조절할 수 있도록 장치를 구성하

였다. 전류와 전압은 용접 중 다소 변하는 경향이 있으므로 기록장치를 따로 두어 정확하게 기록하여 평균 전류 및 전압을 구할 수 있도록 하였다. 그리고 수동용접을 위해서 흡 포집상자 전면에는 수동 용접용 hole을 마련하였으며 상단부에는 테스트 과정을 지켜볼 수 있도록 관찰창을 설치하였다. 또한 하단부에는 공기의 흡입을 위해 각 면당 3개씩 전부 12개(Ø40mm)의 hole을 가공하였다.

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. torch는 위치, 높이 및 각도가 정확하게 조정되는 torch holder에 의해 지지되어 있고, 용접은 속도 조절이

가능한 turn table 위에서 수행되도록 하였으며 용접과 흡 포집은 timer를 이용해 0.1초 단위로 정확한 시간 동안 수행될 수 있도록 하였다.

흡박스 내에서 용접에 의해 발생한 흡은 high volume air sampler를 이용해 여과지를 통과시켜 포집한다. 흡 포집시 여과지는 filter assembly와 filter사이의 틈으로 흡이 새는 것을 방지하기 위해 기밀성 유지를 위한 봉합이 필요하다. 그러므로 filter assembly의 여과지와 맞닿는 모든 부분은 연철고무로 sealing하여 샘플링 도중에 흡이 새어나가는 것을 방지했다. Pressure drop gage를 사용하여 용접흡 포집중 여과지가 정상적인 역할을 하고 있는지 평가할 수 있도록 하였으며 air sampler의 motor에 가변속도 장치와 mechanical valve를 설치해 용접흡의 흐름과 arc특성에 영향을 미치지 않는 공기의 적정 추출 속도와 적정차압을 조절할 수 있도록 하였다. Fig. 2에 개선된 흡 포집장치의 내부 및 외부 모양을 도시하였으며 Fig. 3은 흡 발생량 측정을 위한 전체 system의 개략도를 보여주고 있다.

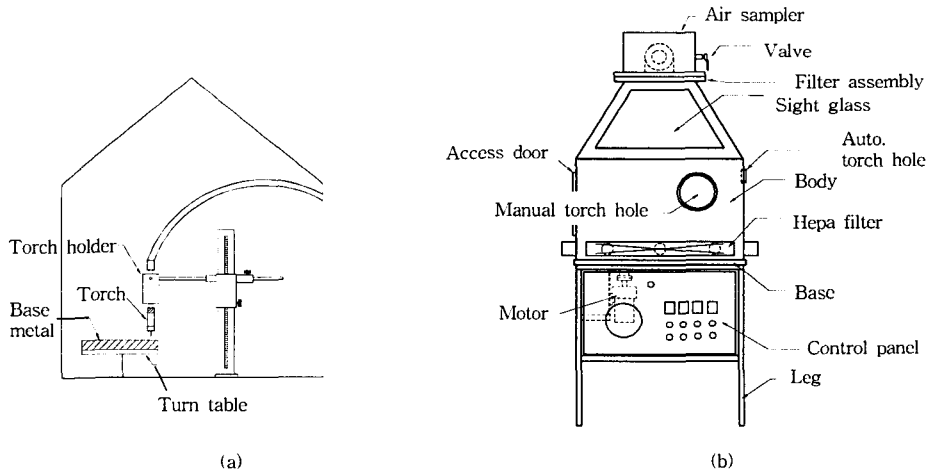


Fig. 2 Schematic Drawing of the Fume Collection Chamber Remodeled for Manual, Semiautomatic and Automatic Welding Processes which has the Capability of the Exact Control of Welding Conditions :  
a) Internal View of Fume Collection Chamber which shows the Torch Holder,  
b) External View of Fume Collection Chamber

## 2.2 상세 설계

### 2.2.1 Air sampler

Air sampler의 용량을 선택함에 있어서는 흡입시 여과지로 인해 발생하는 압력차를 고려하여 적정범위를 선택하여야 한다. 실험결과, 여과

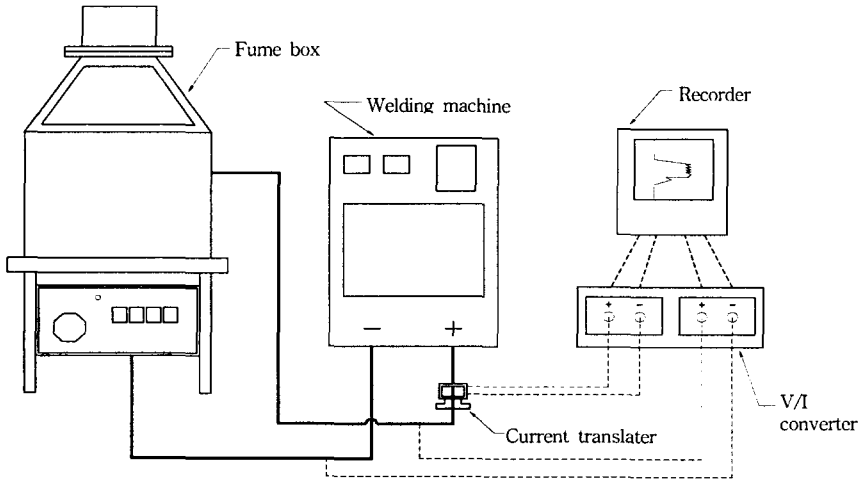


Fig. 3 Schematic Drawing of Fume Collection System

지에 걸리는 초기 차압이 약 200~250mmH<sub>2</sub>O 정도의 범위에서 용접 후 약 5분의 포집시간으로 잔여흡을 모두 제거할 수 있었다. 따라서 air sampler의 용량은 2.3~2.8m<sup>3</sup>/min정도가 적당하다고 하겠다. 그리고 흡 발생량은 주어진 용접 조건에 따라 변화하므로 각 용접조건에 따라 약 10%의 범위 내에서 차압설정을 변환시킬 수 있어야 한다. 그러므로 적당한 차압설정을 위해 가변속도 펌프를 채택하는 것이 바람직하며 fan은 효율이 좋은 blower나 turbo fan이 적당하다. 전체적인 모양은 국내에서 구하기 쉬운 여과지의 모양이 각형이기 때문에 여과지의 모든 면적을 활용할 수 있도록 air sampler의 모양도 각형으로 제작하였다. Air sampler의 구조를 살펴보면 크게 upper cover, motor와 fan 그리고 lower cover와 같이 세 부분으로 나뉘며 motor 부분은 control box의 가변속도장치와 포집시간을 정확하게 조절하기 위한 timer와 접속이 되어있다. 재질은 stainless steel(SUS 304)이고 air sampler의 개략도를 Fig. 4에 도시하였다.

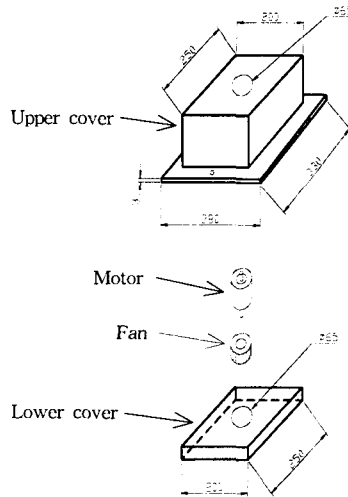


Fig. 4 Schematic Drawing of Air Sampler

2.2.2 Filter assembly

Filter assembly는 장착되는 여과지가 각형 (254×203mm)이므로 filter set(Fig.5의 (b))의 내부 size는 여과지 크기와 같도록 제작하였다. Assembly는 여과지의 장착 및 탈착의 편의를 위해 크게 두 부분으로 설계하였으며 Fig.5의 (a)

는 filter set의 위치를 잡아주는 frame으로 air sampler와 chamber사이에 영구적으로 장착된다. (b)는 윗부분과 아랫부분으로 나뉘어지며 그 사이에 여과지가 장착된다. (c)는 여과지가 장착되었을 때의 단면도인데 여과지와 assembly가 서로 맞닿는 곳은 연결고무를 사용하여 기밀성 유지를 꾀했으며, 여과지의 윗면 방향에는 약 3mm거리를 두고 stainless steel mesh로써 지지대를 구성하여 샘플링 도중 여과지의 터짐을 방

지하도록 설계하였다.

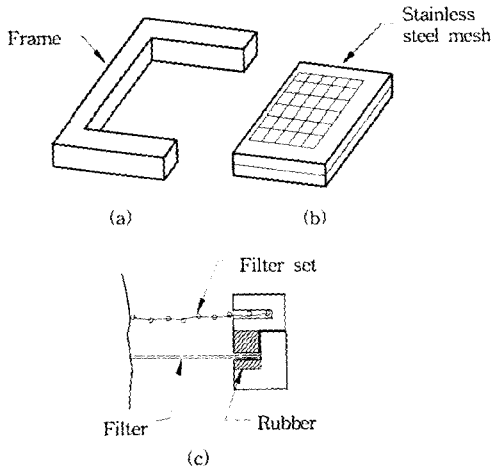


Fig. 5 Schematic Drawing of Filter Assembly :  
(a) Frame to Place the Filter Set, (b) Filter Set,  
(c) Cross Section View of Filter Assembly

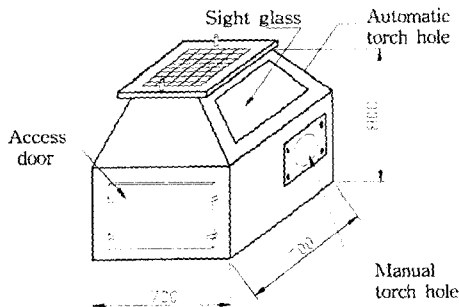


Fig. 6 Schematic Drawing of Chamber

### 2.2.3 Chamber

Chamber의 규격은 Fig. 6에서와 같이 KS D 0062 (700mm×700mm×800mm)를 따랐으며<sup>7)</sup> 약 2mm 두께의 stainless steel(SUS 304)로 제작하였다. 전면부에는 샘플링 과정을 관찰할 수 있도록 관찰창을 설치했고, 수동과 반자동 용접공정을 테스트하기 위해 chamber의 전면에 수동용접용 hole을 가공하였으며, 수동 및 반자동 용접시 assembly를 장착하고 자동 용접시에는 hole을 막아줄 수 있도록 하였다. 수동 및 반자동 용접용 assembly는 용접시 손을 넣었을 때 밴드가 조여져서 공기 흐름의 차단이 가능하고 손

이 chamber내를 움직이는데 불편이 없도록 제작하였으며 내열성 재질을 사용하여 용접시 spatter가 튀어도 영향이 없도록 하였다.

자동 용접시에는 옆면의 hole을 통해 torch를 삽입할 수 있도록 하였으며 torch와 chamber 사이의 틈은 teflon으로 제작한 원판을 끼워 막아 줄 수 있도록 하고 teflon 원판의 고정장치는 chamber의 외부에 만들어 내부 공기의 흐름에 방해가 주지 않도록 하였다. 수동용접용 hole의 위치는 관찰창이 있는 chamber전면의 우측으로부터 1/3 지점이고 높이는 수동 용접시 용접사의 작업높이를 고려하여 설계하였다.

### 2.2.4 용접테이블

테이블의 4면에는 chamber를 틈새없이 끼울 수 있도록 보조벽을 설치하였고 용접 중 spatter의 부착방지와 외부의 충격이나 진동, 그리고 air sampler의 회전으로부터 오는 떨림현상으로 인하여 초기 setup한 용접조건이 변화될 수 있는 가능성을 배제하기 위해 테이블 바닥에 두께 15mm, 무게 약 80kg의 동판을 깔아 두 가지 문제를 동시에 해결하였다.

전면부에는 control panel이 설치되어 있으므로 바닥재인 동판과는 절연을 시켜 용접전류나 arc전압이 control부에 영향을 미치지 않도록 하였다. Fig. 7에 테이블 본체의 개략도를 도시하였다.

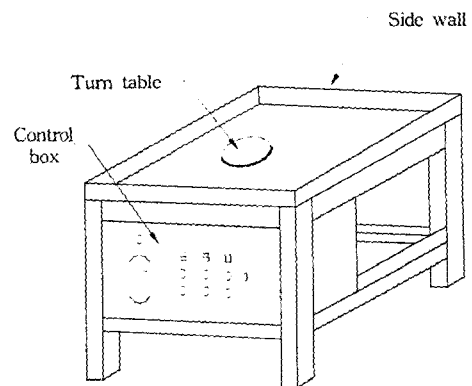


Fig. 7 Schematic Drawing of Welding Table

### 2.2.5 송급속도 측정 장치

용접조건에 따른 용접봉의 소모량에 따라 흡

발생량이 변화하므로 용접시간에 대한 송급된 전체 wire의 무게를 측정하기 위해 feeder의 roller에 rotary encoder를 설치하여 소모된 용접봉의 길이를 측정할 수 있게 하였다. 또한 필요시 제작된 측정기를 high speed용 feeder에 장착하여 사용할 수 있기 때문에 고용착 용접시험에서도 송급속도를 측정할 수 있도록 제작하였으며 송급속도 측정장치의 개략도를 Fig. 8에 도시하였다.

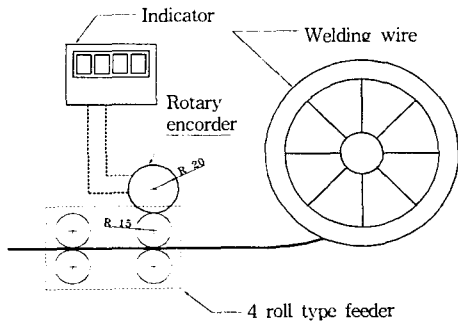


Fig. 8 Schematic Drawing of Wire Feed Speed Measuring System

2.2.6 용접 이송속도 측정 장치

용접 이송속도는 turn table이 회전한 각과 turn table중심에서 용접봉까지의 거리에 따라 달라진다. 정확한 회전각을 측정할 수 있도록 turn table의 축에 rotary encoder를 설치하였고 turn table의 반경에 따라 track을 설정하여 turn table의 회전각( $\theta$ )과 반경(R)의 관계 계산식에 따라 산출된 결과값을 Table화하여 정확한 용접 이송속도의 측정을 꾀했다. 이송속도 측정장치의 개략도를 Fig. 9에 도시하였다.

2.2.7 전류·전압 기록장치

전류와 전압은 용접초기에서는 다소 높게 출발했다가 모재가 가열됨에 따라 점차 낮아지는 경향이 있다. 용접 중 이러한 조건의 미세한 변화에 의해서도 전류 및 전압은 영향을 받으므로 기록장치는 필수적으로 사용하여야 한다. 기록장치의 내부연결을 살펴보면, 전류는 500A 용량의 current translator(CT)와 V/I converter를 지나면서 0~5V range의 직류 전압으로 환산된다. 기록계는 그 range에 맞는 mode로 설정하고

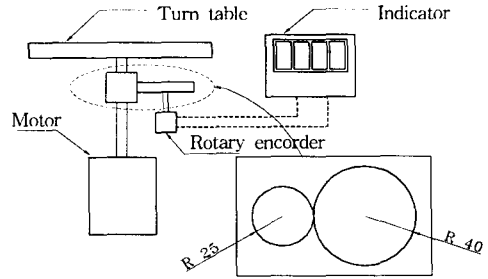


Fig. 9 Schematic Drawing of Welding Travel Speed Measuring System

V/I converter로부터 나오는 신호를 받아들여 기록한다. 용접은 고전류 저전압이기 때문에 전압기록은 전류에서와 같이 CT와 같은 기구를 사용하여 낮은 값으로 환산할 필요가 없다. 따라서 용접단자에서 직접 V/I converter를 지나 기록계로 연결되며 Fig. 3에서 개략적으로 보여주는 바와 같이 용접기 및 포집기에 연결된다.

2.2.8 토치의 용접각도 측정

토치의 용접각도를 측정하는 방법이 Fig. 10에 보여지고 있다. Angle gage는 평면에 수직으로 세워진 stand에 각도기를 부착하고 각도기의 영점에 추를 달아 제작하였다. 이 angle gage로써 토치의 심선과 추와의 각( $\theta$ )을 구하여 ( $90^\circ - \theta$ )의 간단한 식에 의해 용접각도를 측정할 수 있다.

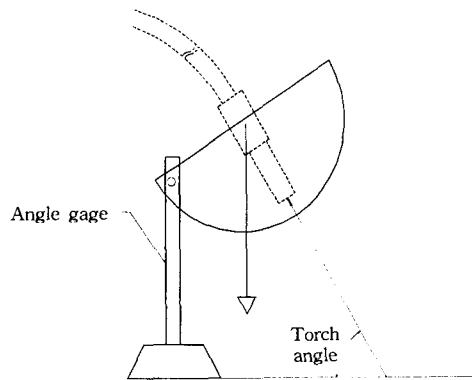


Fig. 10 Torch Angle Measuring Gage

2.2.9 Torch holder

Torch holder는 홉박스 내부에 설치되어 있

으며 상하좌우, 각도변환이 자유롭게 설계되었다. 용접에서 CTWD나 torch angle은 흠 발생량 변화에 큰 영향을 미치는 변수이므로 제작된 torch holder에서는 이러한 변수를 정확하게 유지시켜줄 수 있도록 설계하였으며 자동 및 반자동 용접용 토치 뿐만 아니라 수동 용접용 토치에도 장착할 수 있도록 하였다. 수동 용접시에는 토치를 holder에 고정시키고 상하 level조정 손잡이로써 arc간극을 조정하면서 용접할 수 있도록 하였다. Torch holder의 개략도를 Fig. 11에 도시하였다.

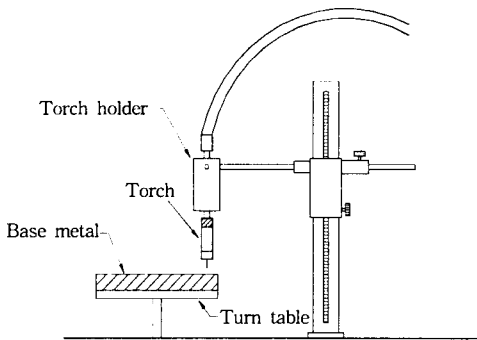


Fig. 11 Schematic Drawing of Torch Holder

### 2.2.10 Control box

용접기 및 흠 포집장치와 관련된 모든 control 장치와 display장치를 일목요연하게 작동 및 감시할 수 있도록 한 panel 위에 배치하였다. 좌측 상단 부에는 전원 lamp가 달려있고 좌측 하단에는 포집시간 동안 여과지의 작동을 감시하는 차압계, 포집 및 용접시간을 setting할 수 있는 timer들, 용접 이송속도를 control할 수 있는 속도조정 손잡이가 있다. Fig. 12에 control box의 개략도를 도시하였다.

## 3. 흠 포집 및 평가법

### 3.1 흠 포집에 필요한 기구 및 장비

#### 3.1.1 흠 포집장치

흠 포집을 위해 제작된 포집장치에 관해 위 2.에서 자세히 설명하였다.

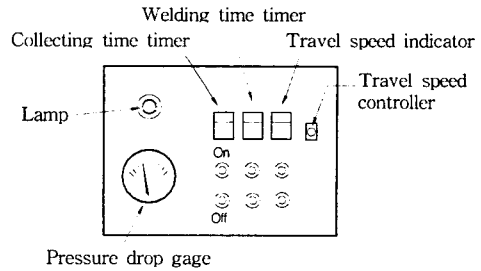


Fig. 12 Schematic Drawing of Control Box

#### 3.1.2 건조로

건조로는 포집 전·후에 주위 분위기의 습기에 의해 오염된 여과지를 건조하는데 사용된다. 또한 포집된 흠은 양이 매우 적고 흡습성이 강해 주위 공기 중으로부터 수분을 흡수하여 흠의 무게측정시 영향을 줄 수 있다. 흠은 먼지와 같은 미립자이기 때문에 건조로 내의 온도가 너무 높으면 대류하는 공기에 의해 날릴 수 있고 반대로 너무 낮으면 습기가 증발되지 않기 때문에 건조로 내의 온도는 약 93~107℃정도가<sup>9)</sup> 적당하다.

#### 3.1.3 전자저울

용접흠의 무게 측정을 위한 전자저울은 정확도 1mg의 것을 사용하고 용착금속 측정에는 정확도 0.1g의 것을 사용한다<sup>8)</sup>. 일반적으로 사용되는 10<sup>-3</sup>g정도의 미소저울은 주위 먼지나 바람의 영향으로 인해 측정값이 변하는 것을 막기 위한 유리 칸막이가 제조사에서부터 설치되어 나오는데 이러한 저울에 여과지의 무게를 재려면 여과지의 size때문에 여과지를 동그랗게 말아 측정하여야 한다. 그러나 여과지는 재질이 glass fiber이기 때문에 마는 도중에 꺾이거나 찢어질 가능성이 크며 취급 시 오염될 우려가 있다. 따라서 여과지를 펼친 그대로 무게를 측정하기 위해서는 저울의 유리 칸막이를 제거한 후 투명한 아크릴이나 플라스틱 재질을 사용한 box안에 저울을 설치하고 여닫이문은 밀봉이 잘 되도록 하는 것이 필요하다.

#### 3.1.4 Timer

Timer는 정확한 포집시간과 용접시간을 조정하기 위해 사용된다. 용접시간은 2분 이내의 단

시간이고 포집시간은 5분이내이므로 timer는 약 0~10분 정도 범위에 0.1초 단위까지 측정 가능한 것으로 한다.

3.1.5 전류계·전압계

용접전류와 arc전압을 원하는 값으로 설정해 놓더라도 용접 arc가 매우 불안하기 때문에 눈금을 시각적으로만 측정하기는 매우 어렵다. 따라서 용접전류와 전압의 정확한 측정을 위해서는 기록장치를 필수적으로 사용하여야 한다. 용접은 일반적으로 500A, 50V이하에서 이루어지므로 전류계는 약 0~500A정도 범위의 것과 전압계는 약 0~50V정도 범위의 것이 적당하다.

3.1.6 여과지

용접 arc는 매우 고온이므로 여기에서 발생된 용접흄의 온도도 상당히 높다. 따라서 여과지는 불활성이고 흡습성이 적은 glass fiber filter가 적당하며 치수는 절단된 상태로 구입이 가능한 254×203mm로 선택하였다. 여과지는 0.6~1.2μm의 pore size가 적당한데 pore size가 너무 작으면 여과지의 눈막힘 현상이 너무 빨리 일어나 더 이상의 포집이 불가능하고 반대로 너무 크면 통과하는 흄의 양이 많아지기 때문에 정확한 측정을 할 수 없다. 따라서 0.3μm입자에 대해 99%이상의 포집률을 가지는 위의 pore size범위가 적당하다고 할 수 있다. glass fiber filter는 입자의 포집형식이 surface loading type(Fig. 13)이므로<sup>10)</sup> 흄 포집시 여과지의 눈막힘 현상이 발생한다. 테스트시간은 용접봉의 흄 발생량에 따라 달라지며 여과지의 눈막힘 현상이 일어나는 시간보다는 짧아야 한다. 정확한 측정을 위해서는 포집된 흄의 양이 적어도 0.2g이 되어야 한다. 만일 포집된 흄의 양이 이보다 작으면 오차범위가 10%의 표준편차를 넘어서기 때문에 data의 신뢰성을 확보하기가 어렵다. 테스트를 수행하는 도중 여과지의 눈막힘이 발생하였다면 더 이상의 흄 포집은 이루어 질 수 없다. 따라서 포집시간을 감소시켜 다시 테스트를 수행해야 한다. 또한 glass fiber filter의 경우 filter mesh로부터 흄입자를 분리해 내는 것이 매우 어렵기 때문에 화학분석을 위한 포집에는 적당하지 않으며 여과지의 연소나 용해에 의해 흄입자의 분

리가 용이한 cellulose fiber filter를 선택하는 것이 바람직하다.

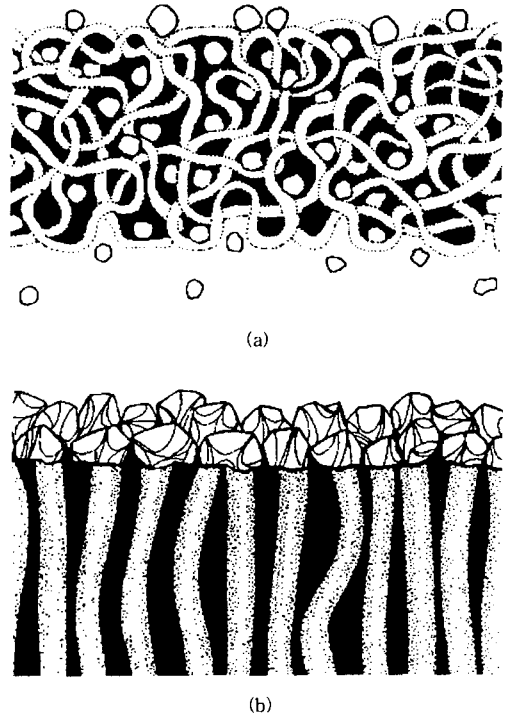


Fig. 13 Schematic illustration of Filter Types : (a) Depth Filter, (b) Surface Filter

3.1.7 Turn table

용접시 정확한 흄 발생량의 측정을 위해서는 torch를 이송하는 방법보다는 base가 이송되는 방식이 바람직하다. 또한 좁은 공간에서 작업이 가능한 turn table을 사용하여 실제 용접에서 많이 사용되는 이송속도 범위에서 조절이 가능하도록 하였다.

3.1.8 차압계

이 gage는 흄 포집시 흄이 여과지에 걸리는 정도를 나타내며 어느 시점에 여과지의 눈막힘이 발생하는지를 알려준다. 테스트 전 초기차압은 일반적으로 270~330mmH<sub>2</sub>O가 적당한데 이것은 흄박스 내의 유속이 용접 arc에 영향을 주지 않으면서 용접 후 2분 이내에 잔여흄을 빨아 내기에 충분하다.



### 3.2 흠 포집 순서

실제 본 테스트를 수행하기에 앞서 요구하는 용접조건이 맞게 setting되어 있는지를 확인하기 위해서는 반드시 시험용접을 수행하여야 한다. 테스트에 사용되는 용접조건은 전류, 전압 및 보호가스 등 사용하는 용접봉에 적합한 범위를 선택하여야 하며 모재는 brushing이나 sand blasting을 하고 acetone으로 후처리하여, 표면에 잔여물이 남아있지 않도록 한 후 용접을 수행한다.

Torch는 박스 내에 상하좌우 및 각도를 변환할 수 있는 torch holder에 고정시키고 모재는 속도조절이 가능한 turn table에 의해 이송시켜 준다. 그리고 적당한 contact tip-to-work distance(CTWD)와 torch angle을 맞춘다. 수동 용접이나 반자동 용접의 경우는 박스 전면부에 설치된 수동 용접용 hole에 한 손을 집어넣어 테스트를 한다.

정확하고 반복적인 결과치를 얻기 위해서는 테스트를 수행하는 도중에 적용된 용접변수들, 예를 들어 용접간극(CTWD), 토치각(torch angle), 전압(arc length)등을 유지하는데 아주 세심한 주의가 필요하다.

흠 포집 순서를 단계별로 살펴보면 다음과 같다.

- 1) 초기 setup 후 시험용접을 수행하여 원하는 용접조건을 설정하며 흠 포집 중에는 전류 및 전압 등 기타 용접조건을 변환시키지 않도록 한다.
- 2) 흠 포집을 시작하기 전 cleaning한 모재의 무게를 0.1g까지 잰다. 단, 수동용접일 경우에는 용접봉의 길이와 0.1g까지 용접봉의 무게도 잰다.

- 3) 모재를 turn table위에 놓고 원하는 torch angle과 CTWD를 설정한 후 access door를 닫는다.
- 4) 무게를 재기 전 여과지는 93~107℃의 dry oven에서 약 한시간 이상 건조시키고 1mg단위까지 무게를 잰다. 여과지의 무게측정은 미소저울의 눈금이 안정화되기까지 기다렸다가 수행하고 매번 측정 때마다 영점 조정한다.
- 5) 여과지를 filter assembly에 장착한다.
- 6) Filter assembly를 chamber에 장착한다. 이때 clamp를 등간격, 등분포의 힘으로 조인다. 그렇지 않으면 포집 중 흠이 새거나 여과지가 찢어질 수 있다.
- 7) 기록계를 작동시키고 용접을 시작한다. 이때 여과지의 눈막힘 현상이 발생하는 지를 알기 위해 차압계를 주시한다. 또한 자동 및 반자동 용접의 경우 소모된 용접 wire의 양을 알기 위해 송급속도를 측정한다.
- 8) 용접이 끝나면 filter assembly에서 조심스럽게 여과지를 탈착해 즉시 dry oven에 넣어 약 한시간 이상 건조시킨 후 무게를 측정 및 기록한다.
- 9) 용접 후 용접모재의 무게를 측정하여 용착량을 계산하고 수동 용접의 경우는 잔여 용접봉의 길이와 무게를 측정하여 소모된 용접봉의 길이 및 무게를 계산한다.
- 10) 용도에 따라 Table 1에 주어진 계산식에 의해 흠 발생량을 산출한다.

### 3.3 총 흠 발생량 평가

흠 발생량은 주어진 시간에 발생하는 흠의 무게를 나타내는 fume formation rate(FFR)과

Table 1 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	용착급속 단위무게당 흠 발생량 (g/kg <sub>deposit</sub> )	$\frac{\text{포집후 여과지의 무게}(g) - \text{포집전 여과지의 무게}(g)}{\text{용착급속의 무게}(kg)}$

소모된 용접봉이나 용착금속의 단위 무게당 발생한 흠의 무게를 나타내는 fume generation rate(FGR)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 시스템을 구축하는 경우 매우 유용하다. g/kg<sub>weld</sub>는 단위 시간당 흠발생량을 용접금속의 용착속도로 나눈 것으로 g/min의 단위와는 달리 용접법의 생산성과 관련되므로 작업시 발생하는 총 흠의 감소와 관련하여 사용하면 편리하다. 그의 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 비교시 사용되며 저 흠 용접봉 개발시 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 FGR평가시 흠포집은 용접재료 및 공정의 종류에 따라 다르지만 일반적으로 2분 이하의 시간이면 평가가 가능한 것으로 나타났다.

#### 4. 흠 포집장치의 검증시험

용접조건이 잘못된 setup이나 흠포집 및 측정 방법, 그리고 포집장치 등의 잘못으로 인해 FGR 측정시 오류가 발생할 수 있고 또한 포집된 결과 data의 재현성이 상당히 중요하기 때문에 측정시 오류를 방지하고 실험의 신뢰성을 확보하기 위해 표준 검증 시험법을 정립하여 포집된 검증시험을 수행할 필요가 있다. 따라서 검증시험을 위해 Table 2의 표준 용접조건을 설정하였으며 이 조건하에서 앞의 3.2에서 설명한 포집 및 분석방법으로 다수의 반복된 실험을 통해 도출된 data를 기초로 Table 3의 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 경우, 각종 오차의 발생 원인을 찾아 교정한 후 재 검증시험에서 허용오차를 만족한 다음 본 실험이 수행되어야 한다.

Table 2 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 3 The Standard FGR 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

#### 5. 결 론

위에서 설명한 새로운 흠 포집장치의 구축과 평가법 확립으로 기존의 피복 arc-용접법 외에는

적용시키지 못했던 흠 발생량 평가를 자동과 반자동 용접까지 확대하여 실제 산업현장에서 사용되고 있는 모든 용접재료 및 용접 process에 대해 적용·평가할 수 있게 되었다. 또한 위 포집장치는 CTWD나 torch angle, travel speed 등과 같은 기존의 흠 포집장치로는 정확한 조정이 불가능했던 조건을 정확하게 유지시킬 수 있게 설계하였기 때문에 흠 발생량 변화의 직접적 인자인 전압 및 전류의 변화를 크게 둔화시켰다. 그것으로 인하여 정확한 용접조건 조절에 의한 흠 발생변수 도출이 가능해졌을 뿐만 아니라, 향후 수행될 흠 관련 실험에 있어서 신뢰성을 확보할 수 있다는 중요한 의의가 있다. Fig. 14는 구축된 포집장치와 포집기술의 정확성을 나타내는 중요한 지표이다. 따라서 이와 같이 흠포집과정 전반에 걸친 표준화에 따른 평가 system 구축으로 인하여 용접재료 및 process특성에 대한 체계적이고 정량적인 평가기준을 제시할 수 있게 되었으며 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 더 나아가서 저 흠 용접재료 및 공정의 개발은 안전위

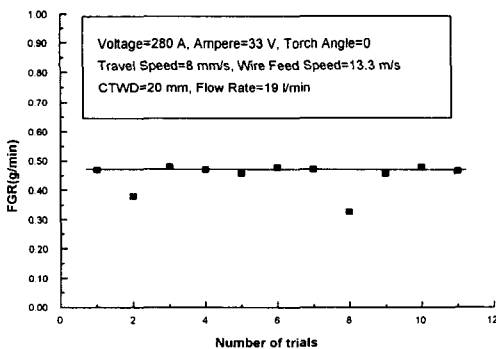


Fig. 14 The Repeatability of Welding Fume Collection Procedure

생 및 환경 오염적인 측면에서도 용접작업장을 깨끗이 유지시켜 줌으로써 작업자의 건강도 보호하고 쾌적한 작업조건 조성에 의한 용접생산성 향상 및 용접부의 품질향상도 도모할 수 있으리라 사료된다.

이 논문은 산업자원부의 공업기반기술사업의 지원으로 연구되었음.

### 참 고 문 헌

- 1) G. Kraume, Welding Fumes and Gases, National Occupational Health and Safety Commission Australian Government Publishing Service, Canberra, Australia, 1990.
- 2) 김규상, 용접작업자의 건강관리, 제30회 산업안전보건대회 용접작업 관리대책 세미나, 한국 산업안전관리공단, p.67, 1997.
- 3) 홍영습 외, 용접흠 폭로 근로자들의 폐기능에 관한 연구, 용접기술 세미나, 한국생산기술 연구원, 1997.
- 4) 한국일보, 1996년 12월 15일.
- 5) 중앙일보, 1997년 2월 13일.
- 6) 노동부, 노동부고시 제91-21호, 1991.
- 7) N.C. Balchin, et al., Health and Safety in Welding and Allied Process, An Abington Publishing Special Report, The Welding Institute, Cambridge, U.K., p. 53, 1983.
- 8) 공업진흥청, 피복 아크용접봉의 전체 품량 측정방법, 한국산업규격, KS D 0062, 1995.
- 9) American Welding Society, Laboratory Method for Measuring Fume Generation Rates and Total Fume Emission of Welding and Allied Processes, An American National Standard, ANSI/AWS F.1.2-92, 1992.
- 10) N. Jenkins, et al., Welding Fume-Sources Characteristics Control, The Welding Institute, Cambridge, U.K., 1, p.137, 1981.