

공기분사노즐이 부착된 용접 토치를 이용한 용접흡 제어효율 평가

변세환¹⁾ · 김태형 · 하현철 · 김종철[‡] · 강호경

창원대학교 환경공학과 · 볼보건설기계코리아(주)¹⁾

Assessment of Welding Fumes Control by Using Jet Air Supply Welding Torch

Sea-Hwan Byun¹⁾ · Tae-Hyeung Kim · Hyun-Chul Ha · Jong-Cheul Kim[‡] · Ho-Gyung Kang

Department of Environmental Engineering, Changwon National University
Volvo Construction Equipment - Korea Co. Ltd¹⁾

Controlling of welding fumes is not an easy task. General and/or local ventilation techniques had been applied, but not satisfactory due to moving characteristics of welding. Several approaches, such as fumes extraction welding gun and air injecting welding mask, were developed and applied. Intrinsic shortcomings of these techniques hindered us from overcoming the difficulties of welding fumes control. A prototype of welding gun equipped with jet injection nozzle was thus developed in this study. This technique utilizes the flow inducement of jet due to the velocity of air. A jet nozzle was attached near the tip of welding gun. The air was injected toward in between welding point and welder. The welding fumes generated from welding point are moved toward the jet flow and then escaped from the breathing

zone of welder. By doing this, the direct and high exposure of fumes could be controlled. The jet air supply welding gun was tested in the experimental booth. The fumes reduction efficiencies ranges from 61.7% to 91.5%. Even in case of 0.3 ~ 0.5m/s crossdraft blowing toward the welder's front, the efficiency was 43%. In addition, two welders were selected and were ordered to weld in the real production line. The reduction efficiencies were 58.0% and 74.4%. Considering the difficulties of welding fumes control, the efficiencies with this technique were found to be very high. Further tests are to be needed in the future.

Key Words : welding fumes control, jet air supplying nozzle, fumes reduction, welding gun

I. 서 론

오늘날 산업화된 국가의 제조공정에서 80% 이상이 용접공정을 포함하고 있는 것으로 알려져 있으며, 그 중 아크용접은 총 용접공정 중 60~80%의 비중을 차지하고 있는 것으로 보고되고 있다(김정환,

1997). 이처럼 산업 전반에서 행해지고 있는 용접공정에서 인체에 유해한 다량의 용접흡이 발생되는데, 이는 호흡기 계통에 침착되어 각종 종양이나 염증을 유발시키고 중금속 중독을 일으키는 것으로 알려져 있다(NIOSH, 1974).

김광중(1991)등의 연구에서 공장내 지

역농도에 비해 작업자 호흡영역 농도가 4.2배 가량 높은 것으로 연구된 바와 같이 호흡영역의 용접흡 제어에 대한 중요성이 강조되고 있다. 이와 같이 작업자의 호흡역으로 이동하는 용접흡을 제어하기 위한 기본적인 공학적 대책으로 전체환기와 국소배기로 이루어진 산업환기에 의한 방법이 있다.

전체환기에 의한 방법은 작업자 호흡영역을 통과한 용접흡을 환기 또는 희석하

접수일 : 2004년 1월 29일, 채택일 : 2004년 4월 1일

‡ 교신저자 : 김종철(경남 창원시 사림동 9번지 창원대학교 환경공학과

Tel : 055-279-7945, E-mail : br119@lycos.co.kr

는 방법이기 때문에 고비용임에도 불구하고 실제 작업자의 호흡영역을 보호해 주지 못하는 단점이 있다(송세욱, 2000).

반면 국소배기 시스템의 용접흡 제어 효율을 평가한 이권섭(1994)의 연구 결과에 의하면, 국소배기 시스템 가동시 작업자 호흡영역의 용접흡 농도를 52% 정도까지 감소시키는 것으로 나타나, 용접흡 제어에 있어 국소배기 시스템의 효율이 매우 높은 것으로 나타났다. 하지만, 이동작업인 경우에 작업자가 작업위치에 후드를 이동시켜야 하는 불편함과 덕트와 후드가 작업에 방해되는 문제 등으로 인해 작업자들로부터 기피되고 있는 실정이다(Simcon et al, 2000; Tum Suden, 1990).

국소배기 시스템의 문제점을 해결하고 용접흡 제어효율도 높이기 위해 용접토치에 흡을 흡입(Suction)할 수 있는 장치를 갖춘 흡토치(Fume extracting welding gun)가 개발되었다. 최찬기(1999) 등의 연구에 따르면 흡토치의 용접흡 제어 효율은 95% 이상 높지만, 용접토치 두께가 두꺼워져 위빙(waving)이 어렵고 무게가 무거워 작업성이 떨어지며 흡토치 배기유량이 많은 경우 차폐가스(Shield gas)가 파괴되어 용접불량을 유발시킬 수 있는 단점이 있다(최찬기 등, 1999; Arnold, 1983).

최근에 송세욱(2000) 등의 연구에 의하면, 작업자의 호흡영역을 보호할 수 있는 용접흡 차단용 용접면(JASM : Jet Air Supplying welding Mask) 이 개발되었지만 있다.

용접흡 차단용 용접면의 원리는 용접면 외부에 미세한 구멍이 뚫려 있는 송기관을 통해 유입된 고압의 기류에 의해 용접면 외부에 에어커튼이 형성되고, 작업자 쪽으로 이동하는 용접흡은 에어커튼 기류를 따라 작업자 호흡역 바깥으로 확산된다. 개발된 용접면은 현장실험을 통해 작업자의 호흡영역에서 80% 가량의 용접흡 저감효과가 있는 것으로 밝혀졌으나, 용접면에 부착되는 에어라인(Air line)으로 인해 작업에 불편함을 주는 단점이 있었다.

용접흡 제어용 용접면과 같이 압축공기

를 이용할 경우, 작업자 호흡영역으로 이동하는 용접흡 차단 효과가 우수한 점을 착안하여 보다 편리하게 사용할 수 있는 방법을 고안하게 되었다. 본 연구에서 검토하고자 하는 용접흡 제어 방안은 용접토치에 압축공기를 분사할 수 있는 장치를 부착하여 1)용접흡 제어장치가 작업에 방해되지 않고, 2)추가 무게 부담이 없이 간편한 방법으로 용접할 수 있고, 3)용접 품질에도 문제가 되지 않으면서, 4)용접흡이 작업자의 호흡영역으로 접근하지 못하도록 확산시킬 수 있는 새로운 형태의 용접흡 제어 방법이다.

따라서, 본 연구는 공기분사기류를 이용한 새로운 형태의 용접흡 제어용 용접토치 개발을 위한 기초연구로서, 일반 CO₂ 용접토치에 공기분사노즐을 설치한 후 실험실과 실제 현장 조건에 따른 용접흡 제어 효율 및 용접 품질을 평가하였다.

II. 연구 진행 과정

본 연구의 수행과정은 booth 내에서 다양한 용접상황을 연출하여 실시한 실험실적 연구와 이를 토대로 현장실험을 실시하여 연구목표를 검증하였다. 이에 대한 내용은 아래 Figure 1과 같다.

III. 장치 및 방법

1. 실험장치

본 연구의 실험장치는 아래 Figure 2와 같이 용접기와 모재, 마네킨(Manikin), 턴테이블(Turn-table) 그리고 시료포집장치로 구성되어 있다.

(1) 용접기 및 공기 분사노즐(Push nozzle)

용접기는 Miller delta 651모델의 CO₂ 용접기를 사용하였고, 용접와이어는 탄산가스 아크 용접용 플럭스 코어드 와이어(Flux cored wire) 1.2mm(고려용접봉, ZO-

26)를 사용하였다. 실험용 용접토치는 Figure 3과 같으며 용접토치(Welding torch)에 부착된 공기 분사노즐은 입구가 0.5mm 폭의 선형으로 절개된 타원형 노즐로, 공기의 분사폭은 약 100°(유효공기량의 95% 이상이 분사되는 각)로 기류의 형태는 평편형(flat)으로 형성시켰다. 또한 용접시 발생하는 고열과 부식성 가스에 견딜 수 있도록 스테인레스(Stainless) 재질로 제작되었다.

분사용 공기는 공장내 설치되어 있는 압축공기(Max pressure 7kgf/cm)를 사용하였으며, 공기 분사량은 유량조절기(Regulator)와 기체유량계(Dwyer, RK-1600 series)를 설치하여 0~35 l/min으로 조절할 수 있도록 하였다. 여기서 공기 분사량에 따른 기류 유속은 노즐로부터 0.1m 거리에서 15 l/min 일 때 4±0.5m/s, 20 l/min (7±0.5m/s), 25 l/min (9±0.5m/s) 가량 유지되었다.

(2) 모재

본 연구에 사용된 모재(Base metal)는 한국공업규격(KS D 0062) 피복 아크용접봉의 전체 흡량 측정 방법에 준하여 가로 400mm × 세로400mm × 두께18mm인 일반 구조용 압연강재(SS41)를 사용하였다(공업진흥청, 1995).

와이어 브러쉬(Brush)를 이용하여 용접 모재 표면에 붙어 있는 이물질 제거하여, 이물질로 인한 기공(Blow-hole)등의 결함과 흡의 이상 발생요인을 최소화하였다.

(3) 마네킨(Manikin) & 턴테이블(Turn-table)

용접작업자에 대한 흡 노출정도를 확인하고, 동일조건에서의 반복실험을 위해 작업자 대신 인체모형인 마네킨(Manikin)을 이용하였고, 용접량과 흡 발생량을 유사하게 재현하기 위하여 작업대가 회전할 수 있도록 모터(motor)가 내장된 턴테이블(Turn-table)을 사용하였으며, 여기에 모재를 올려놓고 용접작업을 수행하였다. Turn-table의 회전속도는 실험자가 임의로 조절할 수 있도록 설계되었다.

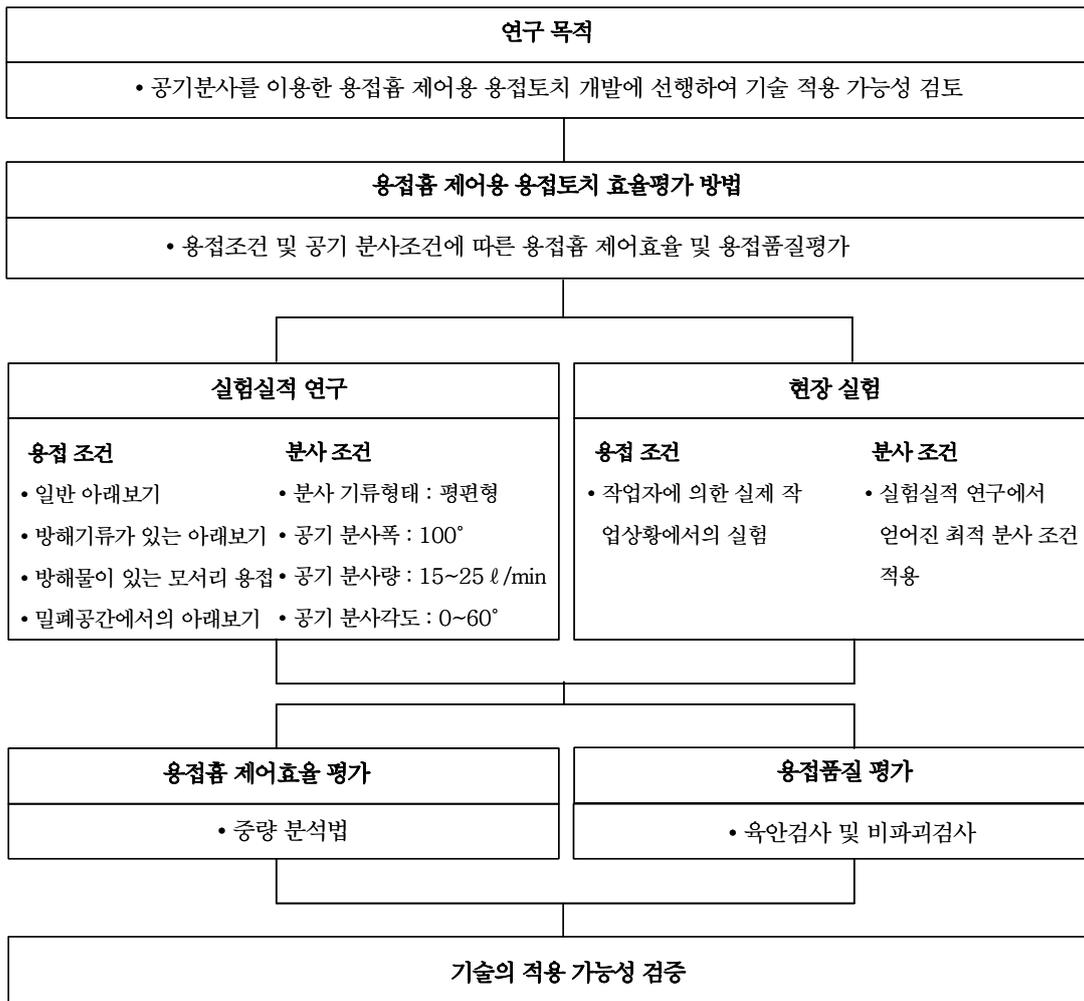


Fig 1. The process of this study

2. 실험방법

(1) 용접조건

본 연구는 경남 창원시 소재 건설기계를 제조하는 A사의 생산공장에서 수행하였다.

각 조건별 용접흡 발생량은 모재 위에 단순 용접비드를 형성시켜 측정하였다. 용접자세는 일반적인 아래보기 용접에서 수행하였으며, 실험실적 연구를 통해 노즐을 통한 적정한 Push 기류조건을 찾고, 현장에서 쉽게 접할 수 있는 상황을 연출하여 용접토치의 흡제어 성능을 평가하였다.

용접토치를 평가함에 있어서 용접기 작동조건은 현장에서의 용접조건과 동일하게 맞추어 수행하였으며, Table 1에 정리한 바와 같다.

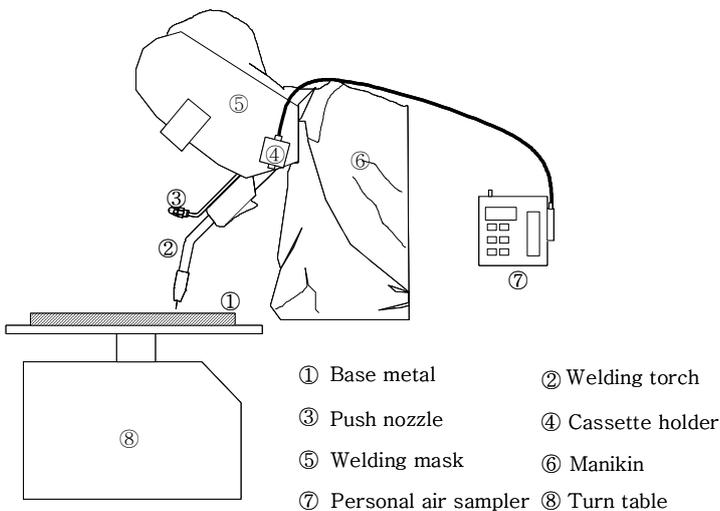


Fig 2. Schematic drawing of experimental set up

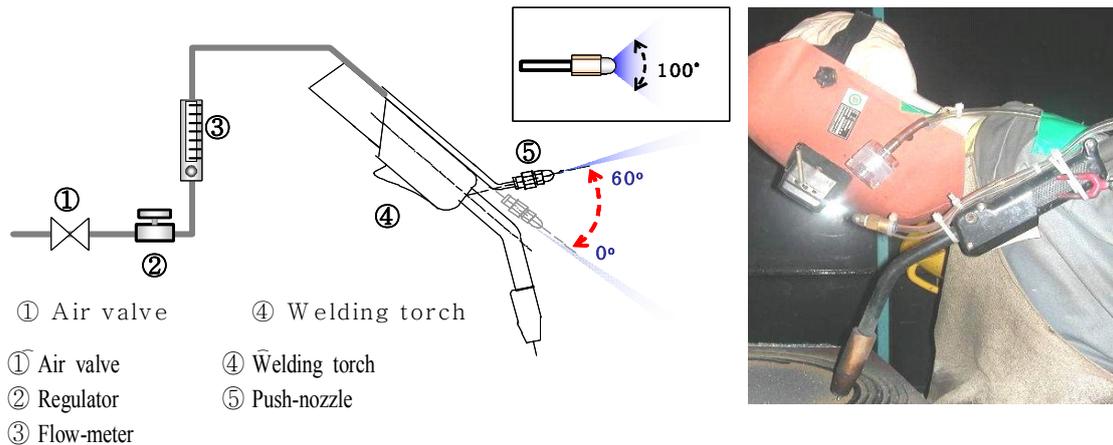


Fig 3. Jet air supply welding torch for this study

Table 1. Welding conditions

Arc voltage	38V
Welding speed	1.2m/min
Wire thickness	ø1.2 mm
Wire speed	700mm/sec
Welding current	410A
Shield gas (CO ₂)	25 l/min

(Radio Graphic Testing)으로 X선을 투과시켜 용접불량을 확인하였다(한중순, 2001). 조사된 X선은 Ir-192 type, Curie 54 Ci 였으며, Film은 AGFA-D7을 사용하였다.

IV. 실험실적 연구

(2) 용접흡 시료포집 및 분석

용접흡의 시료포집에 이용된 샘플러(Listed 124U SKC Inc. USA)의 흡인유량은 2±0.1 l/min으로 하였고, 호흡역 부근에 노출된 흡의 측정오차를 최소화하기 위하여 2대의 샘플러를 사용하여 호흡기 좌우 양측에서 동시에 시료를 포집하였다.

용접토치의 흡제어 성능평가는 AWS (American welding society) F1.2-92 분석방법을 사용하여 중량 분석하였다(AWS, 1992). 시료포집 전 여과지(Polyvinyl chloride filter, pore size 5µm, diameter 37mm, SKC inc, USA)는 건조기에서 항량시킨 후 칭량하였다. 여지의 무게는 0.01mg까지 칭량할 수 있는 정밀분석용 저울(Electric balance, Sartorius R160)을 사용하였다. 포집 후의 여지 또한 포집 전과 동일하게 조작 후 칭량하였다.

실험 결과는 동일 조건에서 5회 이상 반복 수행하여 기하평균값(Geometric mean, GM)을 취하였다.

(3) 방해기류 측정

본 연구에 있어서 방해기류에 대한 영향을 확인하기 위해 2차원적 기류흐름을 측정할 수 있는 Flow point (Model 1500 Flow point, TSI, USA)를 이용하여 유속을 측정하였다. 이 장비는 기류의 주 방향과 세기를 감지하는 센서, 세기를 유속으로 변환하는 본체, 그리고 측정값을 저장하고 나타내는 컴퓨터로 구성되어 있다. 방해기류 측정시 센서의 위치는 용접공정 1m 전방에 위치한 후 발연관을 피워 주 기류 방향을 확인하고 센서를 주 기류 흐름방향으로 설치하여 측정하였다.

(4) 용접 품질 평가

Push 기류에 의한 용접 불량률 확인하기 위하여 용접된 비드 표면의 기포 발생 여부를 육안으로 전수검사 하였고, 비드 내부에 기포발생이 의심되는 일부 경우에 있어서 비파괴 검사(Nondestructive Examination)를 실시하였다. 사용된 비파괴 검사방법은 KS기준인 비파괴검사기술기준 (KEPIC-MEN)에 따라 방사선투과시험법

공장내 예측할 수 없는 방해기류의 영향을 배제한 기초적인 실험결과를 얻기 위하여 길이 5m × 너비 3m × 높이 2.5m 규모의 부스(Booth)를 설치하여 고압 분사노즐의 분사조건에 따른 호흡영역에서의 용접흡 저감효과를 평가하였다. 용접 자세는 아래보기 자세에서 수행하였다.

오광중 등(1998)의 연구에서 용접거리(용접부위와 작업자의 호흡역 사이 거리)가 호흡역의 흡 농도분포에 큰 영향을 미치는 것으로 연구되었는데, 용접거리가 가까울수록 용접흡 노출량이 증가하는 것으로 밝혀졌다. 또한 실험대상작업자 중 용접거리에 따라 작업자 분포(distribution)를 분석해본 결과 용접거리가 34cm이하인 경우는 27.6%를 차지하였으며, 34 ~ 37cm의 경우 33.1%, 37 ~ 40cm의 경우 25.3%, 40cm이상의 경우 14%로 34 ~ 37cm의 경우가 가장 많은 분포를 나타내었다. 따라서 본 연구에서는 비교적 용접흡 노출정도가 높고, 작업자들이 많이 취하는 용접거리인 35cm로 고정하여 실험을 수행하였다. 용접은 모재가 1회 회전할 때를 1사이클

(Cycle)로 하여 매 사이클마다 용접 트랙 (Track)을 바꾸어 용접하였다. 1사이클에는 80초 가량 용접이 지속되었으며, 1개 시료당 총 4~6사이클 동안의 용접작업량에 대하여 샘플링 되었다.

1. Case 1 - 일반 아래보기 용접실험

① 실험방법

본 실험은 Figure 4에 나타난 것과 같은 부스(Booth) 내에서 수행하였으며, 용접흡이 누적되지 않도록 부스 천장을 개방시켰다.

실험은 노즐 분사각도(θ)에 따라 0°, 20°, 45°로 조정하였으며(Figure 5. 참조),

각 분사각도에 대해 공기 분사량을 15 l/min, 20 l/min, 25 l/min 으로 변화시켜 실험하였고, 모든 실험은 5회이상 반복하여 수행하였다.

② 실험결과 및 고찰

일반적인 아래보기 용접에서 노즐의 사용 유무에 따라 Figure 6과 Figure 7의 결과를 얻을 수 있었다. 노즐을 사용하지 않은 Figure 6을 살펴보면 작업자의 호흡영역 내로 용접흡이 많이 상승하고 있음을 알 수 있고, 반면에 노즐을 사용한 Figure 7은 작업자의 호흡영역 내로 유입되는 용접흡이 상당히 감소한 것을 알 수 있다.

Table 2는 노즐의 분사조건별 호흡영역

에서 용접흡 발생량을 정리한 결과인데, 공기를 분사하지 않은 경우의 용접흡 발생농도는 48.0mg/m³으로 나타났다. 이와 달리 공기 분사량이 15~25 l/min 범위에서 공기를 45°로 분사했을 경우 75.5~37.5mg/m³, 20°로 분사했을 경우 24.7~9.7mg/m³, 0°로 분사했을 경우 20.2~11.5mg/m³의 범위를 보였다.

Figure 8은 호흡영역에서 용접흡 제거 효율을 나타낸 결과인데, 공기 분사각도가 높은 45°의 경우에 비해 상대적으로 낮은 0°와 20°의 경우에 호흡영역에서 용접흡 제거효율이 우수한 것으로 나타났으며, 동일 분사각도에 있어서도 공기 분사량이 증가할수록 흡 제거효율이 대체로

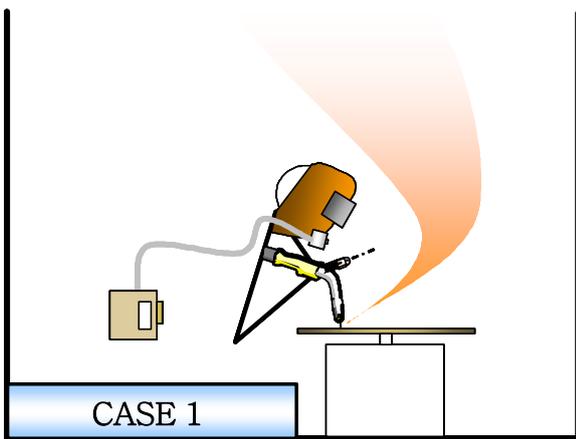


Fig 4. Schematic diagram of flat welding position

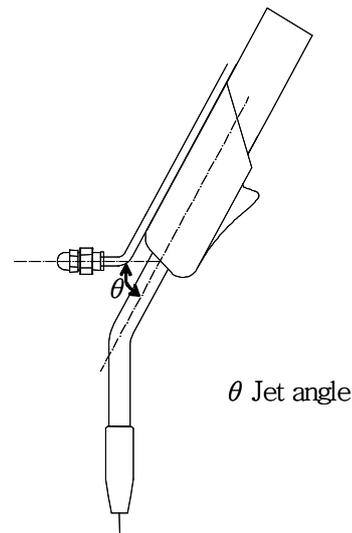


Fig 5. Schematic drawing of blowing angle of push-nozzle

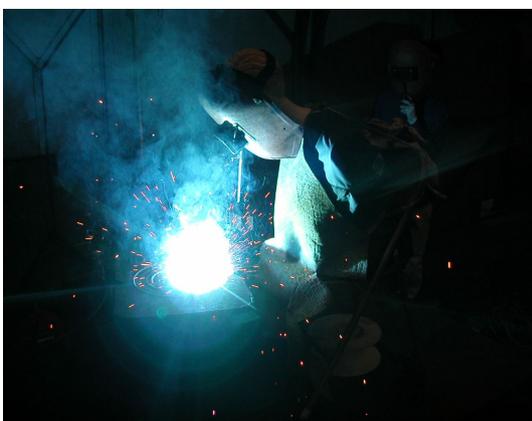


Fig 6. Photo of fumes distribution by general welding torch



Fig 7. Photo of fumes distribution by welding torch with push nozzle (20°, 20 l/min)

Table 2. Fume concentrations in the breathing zone by air jet supply (Case 1)
unit : mg/m³

Jet angle (°)	No air supply	Air flow rate		
		15 l/min	20 l/min	25 l/min
0		20.2	11.6	11.5
20	45	24.7	4.1	9.7
45		75.5	41.1	37.5

우수하게 나타났다. 다만 분사각도가 큰 45°의 경우 공기 분사량이 적은 15 l/min에 대해서 오히려 흡 노출량이 증가하였는데, 이는 노즐에서 분사된 공기가 흡을 멀리 밀어내지 못하고 호흡영역 내에서 와류를 형성시켜 용접흡이 정체되었기 때문으로 생각되어진다.

실험 조건에서 공기 분사각도가 45°, 공기 분사량이 15 l/min의 경우를 제외하면 14.4 ~ 91.5%의 흡 제거효율이 발생한 것으로 분석되었다. 따라서 일반적인 아래보기 용접에 있어서 방해기류가 없는 경우 공기의 분사각도와 분사량을 적절히 조절한다면 호흡역에서 용접흡 발생을 효과적으로 감소시킬 수 있으리라 기대된다.

용접흡 제거효율은 다음과 같은 식으로 구할 수 있다(AWS, 1992).

Removal Efficiency (%)

$$= \frac{(C_0 - C_i)}{C_i} \times 100$$

여기서, C₀는 공기를 분사하지 않은 경우의 호흡역에서의 흡 발생농도이고, C_i는 공기를 분사했을 경우의 각 조건별 흡 발생농도이다.

2. Case 2 - 방해기류가 있는 아래보기 용접실험

① 실험방법

차폐가스(Shield gas)를 사용하는 CO₂ 용접에 있어서 공장내 기류와 용접 품질은 아주 밀접한 관계가 있다. 지금까지 알려진 바로는 하향 평판비드용접시 쉴드가 스량이 20 l/min의 경우, 아크점에서 방

해기류가 0.7m/s 이상이 되면 용접금속에 기공이 발생하고, 쉴드가스량이 30 l/min의 경우는 아크점에서 1.2m/s 이상이던 기공이 발생한다고 한다. 또한 방해기류가 작업자의 호흡역에 미치는 영향으로는 작업자 정면에서 방해기류가 불어 올 경우 가스 및 용접흡에 노출될 가능성이 가장 큰 것으로 연구되어진 바 있다(일본용접협회, 1995).

따라서 Figure 9에서 나타낸 바와 같이 방해기류에 의해 작업불량이 발생되지 않으면서, 작업자가 용접흡에 노출될 위험성이 가장 높은 경우로 설정하기 위해 마네킨 전방에 이동식 송풍기(Portable fan)를 설치하여 0.3 ~ 0.5m/s의 기류를 형성시켜 실험하였다. 이때 앞선 일반 아래보기 용접의 결과에서 우수한 용접흡 제어효율을 나타낸 노즐 분사각도 20°, 공기 분사량 25 l/min의 조건으로 고정시켜 호흡영역의 흡 발생농도를 측정하였다.

② 실험결과 및 고찰

실험결과는 Figure 10에 나타낸 바와 같이, 마네킨 정면에서 방해기류(0.3 ~ 0.5m/s)가 불 때, 공기분사용 토치를 사용할 경우 39.0mg/m³으로 나타나 일반 토치의 경우인 69.1mg/m³에 비해 호흡영역에서 43%의 흡 제거효율이 있는 것으로 나타났다. 따라서 작업자의 정면에서 부는 방해기류에 대해서도 호흡영역에서 흡 제거효율이 있음을 알 수 있었다.

3. Case 3 - 방해물이 있는 아래보기 용접실험

① 실험방법

본 실험은 Figure 11과 같이 피용접물체의 모서리 용접이나 용접공정이 공장 가장자리의 벽면에 위치하고 있을 경우의 흡 제어 특성을 확인하기 위해 마네킨 전방에 방해물체를 설치하여 실시하였다. 회전하는 모재와 고정되어 있는 방해판이 서로 용접되지 않도록 용접부위와 방해물체와의 거리는 10cm 내외로 간격을 두어 실험하였다.

실험은 노즐 분사각도(θ)에 따라 0°,

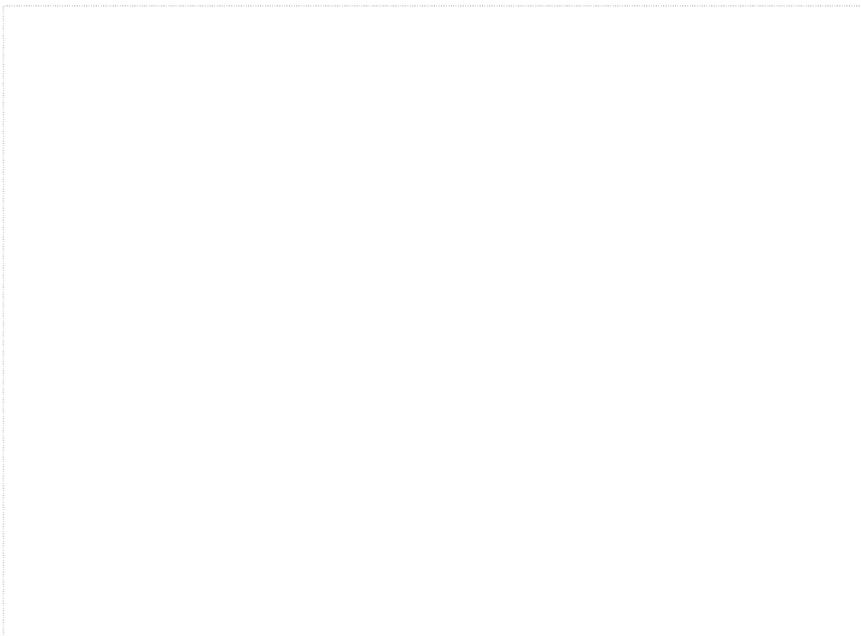


Fig 8. Removal efficiencies of welding fumes in the breathing zone by air jet supply (Case 1)

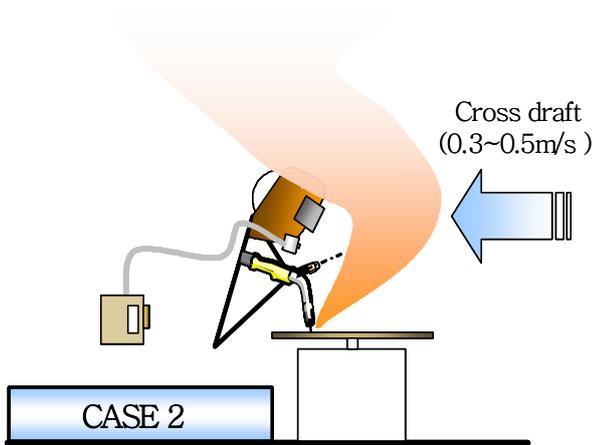


Fig 9. Schematic diagram of cross draft (Case 2)

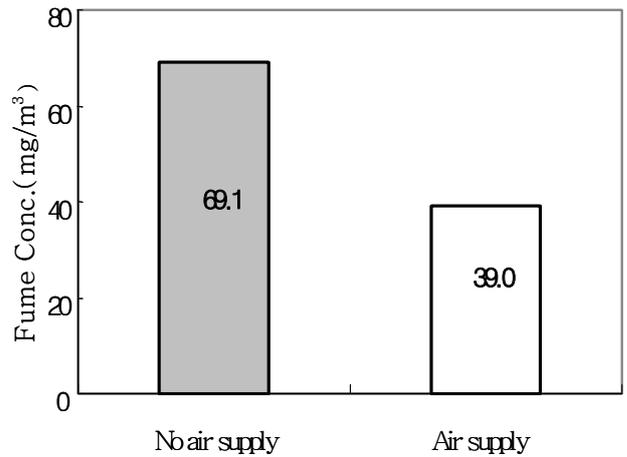


Fig 10. Fume concentrations in the breathing zone by air jet supply (Case 2)

20°, 45°, 60°로 조정하였으며, 각 분사각도에 대해 공기 분사량을 15 l/min, 20 l/min, 25 l/min 으로 변화시켜 실험하였다. 모든 실험은 5회이상 반복하여 수행하였다.

Table 3. Results of welding quality

Used air (l/min)	Jet angle (°)			
	0	20	45	60
15	Reject	Accept	Accept	Accept
20	Reject	Accept	Accept	Accept
25	Reject	Reject	Accept	Accept

② 실험결과 및 고찰

방해물체가 있는 아래보기 용접에서는 노즐에서 분사되는 공기가 방해물체에 부딪혀 역류되면서 쉴드가 가스를 교란시켜 용접불량을 일으킬 수 있다. 이를 확인하기 위하여 비드 표면의 육안검사와 비드 내부의 비파괴검사(방사선투과검사)를 수행하였으며, 그 결과를 Table 3과 Figure 1

2~13에 나타내었는데, 분사각도가 0°인 경우 실험된 모든 분사량(15~25 l/min)에 대해 용접비드에 기포가 발생하였으며, 20°의 경우 25 l/min의 분사량에 대해 기포가 발생하였다. 또한 방사선투과검사 결과에서도 이들 조건에서 모두 KS 4등

급으로 불량(Reject)을 확인할 수 있었고, 그 외 조건에서는 KS 1등급의 정상(Accept) 판정을 얻을 수 있었다.

Table 4는 공기 분사시 기포가 발생하지 않는 조건에 대해서 호흡영역에서의 용접흡 발생량을 나타낸 결과이다. 이를 참조하면 공기 분사량이 15~25 l/min 범위에서 분사각도가 20°인 경우 21.1~31.6 mg/m³, 45°인 경우 27.0~54.2 mg/m³, 60°인 경우 41.2~69.8 mg/m³의 흡 농도를 나타내었으며, 이때 공기를 분사하지 않은 경우의 용접흡 발생농도는 55.1mg/m³으로 나타났다.

Figure 14는 호흡영역에서의 용접흡 제거효율을 나타낸 결과로서, 공기를 분사하지 않은 경우와 비교해 최고 61.7%의 제거효율을 나타내어, 방해물체가 있을 경우에도 공기 분사각도와 분사량을 적절히 조절한다면 호흡영역에서 용접흡 발생량을 효과적으로 저감시킬 수 있을 것으로 판단된다.

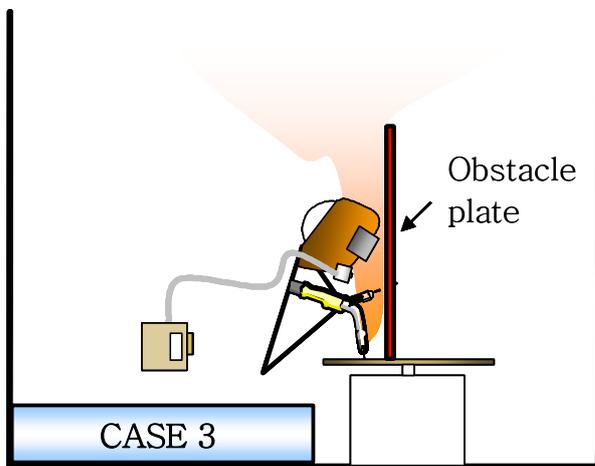


Fig 11. Schematic diagram of obstacle plate (Case 3)

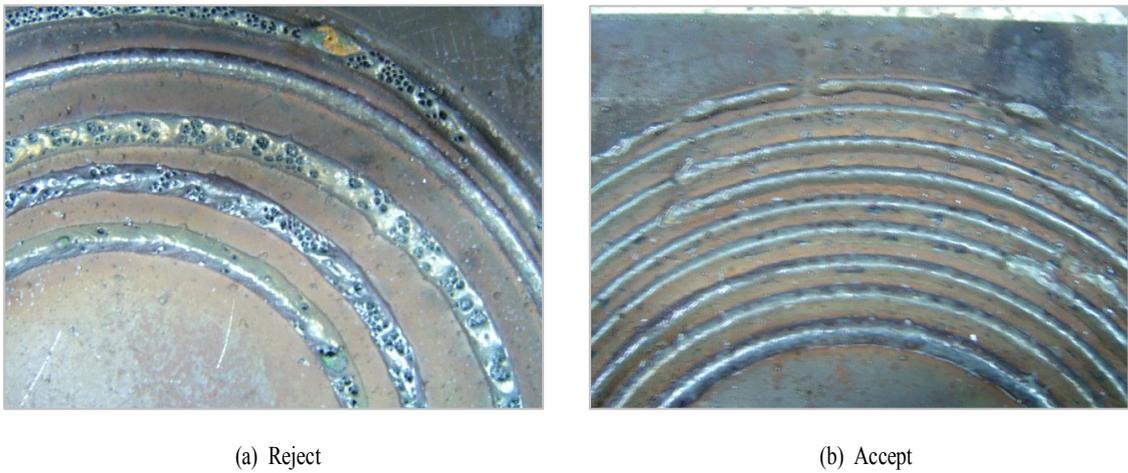


Fig 12. Photo of base metal in welding bead

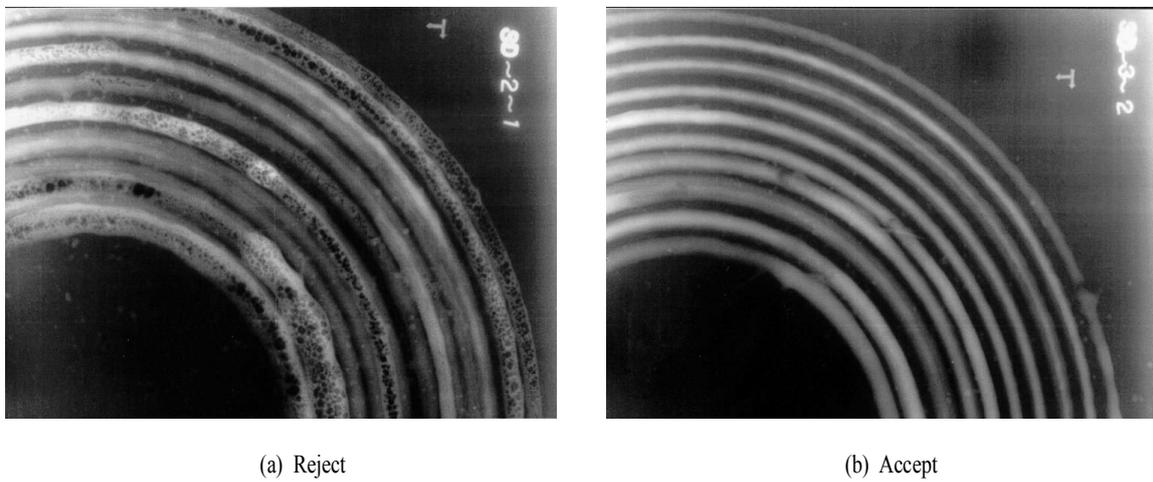


Fig 13. Film of radiographic examination

Table 4. Fume concentrations in the breathing zone by air jet supply (Case 3)

Jet angle (°)	No air supply	Air flow rate		
		15 l/min	20 l/min	25 l/min
20		21.1	31.6	-
45	55.1	54.2	27.0	53.5
60		69.8	41.9	41.2

하였다. 실험은 노즐 분사각도 (θ)에 따라 0°, 20°, 45°로 조정하였으며, 각 분사각도에 대해 공기 분사량을 15 l/min, 20 l/min, 25 l/min 으로 변화시켜 실험하였다. 모든 실험은 5회 이상 반복하여 수행하였다.

4. Case 4 - 밀폐공간에서의 아래보기 용접실험

① 실험방법

본 실험은 Figure 15와 같이 부스를 밀폐시킨 후 실시하였다. 이는 조선소의 블록(Block)내 용접과 같이 용접공간이 밀폐되어있는 상황에서의 공기 분사에 따른

용접흡 제어특성 및 성능을 평가하기 위함이었다.

실험하는 동안 시료당 용접 사이클(Cycle) 수는 4개로 제한하였고, 한 시료의 포집이 끝난 후 다음 포집 때까지 부스내부를 이동식 송풍기(Portable fan)를 이용하여 환기시켜 지역농도 증가로 일어날 수 있는 실험간의 오차를 최소화하고자

② 실험결과 및 고찰

Table 5는 공기 분사조건에 따른 호흡영역에서의 용접흡 발생량을 나타낸 결과로서, 공기 분사량이 15 ~ 25 l/min의 범위에서 분사각도가 45°인 경우 39.0 ~ 21.9mg/m³, 20°인 경우 51.6 ~ 28.6mg/m³, 0°인 경우 74.2 ~ 21.8 mg/m³의 흡 농도를 나타내었으며, 이때 공기를 분사하지 않은 경우의 호흡영역에서의 흡 농도는

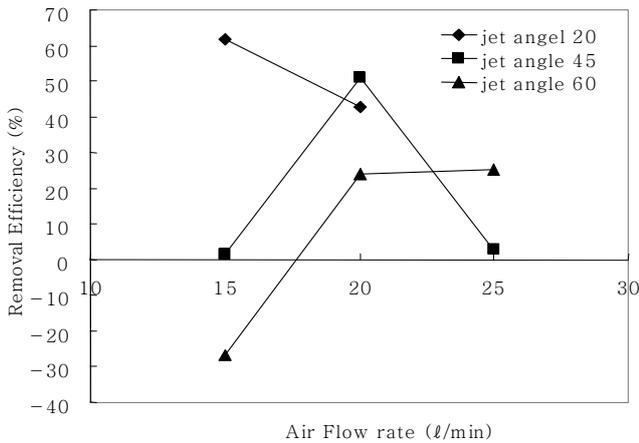


Fig 14. Removal efficiencies of welding fumes in the breathing zone by air jet supply (Case 3)

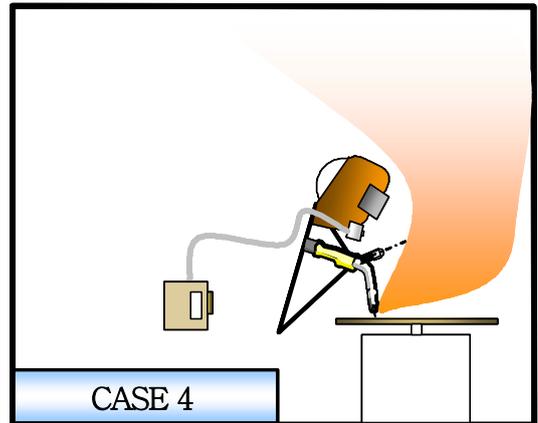


Fig 15. Schematic diagram of confined space (Case 4)

Table 5. Fume concentrations in the breathing zone by air jet supply (Case 4)

Jet angle °	No air supply	Air flow rate		
		15 l/min	20 l/min	25 l/min
0		74.2	21.8	33.4
20	203.2	51.6	45.0	28.6
45		39.0	26.5	21.9

있었다. 따라서 실제 생산현장에서 밀폐 공간 내의 지역농도를 감소시키고, 보충 공기가 작업자를 거쳐 배기될 수 있는 간단한 환기시설만 설치되어 있다면 더 큰 효과를 거둘 수 있으리라 판단된다.

V. 현장실험 평가

1. 실험방법

실험실적 연구를 통해 공기를 분사할 경우, 그렇지 않은 경우와 비교해 용접흡 제어효과가 우수한 것을 알 수 있었다. 따라서 실제 작업현장에서도 이와 같은 결과를 얻을 수 있는지 검증하기 위하여 본 연구에서는 실험실적 연구를 수행했던 A사의 생산현장에서 용접작업자의 도움을 받아 현장실험을 수행하였다. 실험에 참여한 용접작업자는 2명이었고 작업형태는 평판 모재를 용접하는 아래보기 용접 자세를 취하였다. 용접은 작업자마다 2시간씩 수행하였다.

공기 분사조건은 앞선 실험실적 연구의 일반 아래보기 용접에서 흡 제어효율이 우수한 노즐 분사각도 20°, 공기 분사량 25 l/min으로 고정시켜 호흡영역에서 흡 발생농도를 비교하였다.

203.2mg/m³로 나타났다.

앞선 경우들과 비교해 호흡영역에서의 용접흡 발생량이 많은 이유는 고온의 부력으로 상승하려는 용접흡이 부스의 지붕이 낮고 밀폐되어 쉽게 상승하지 못하고 작업자의 호흡영역 내에서 체류하는 시간

이 길어졌기 때문으로 판단된다.

Figure 16은 호흡영역에서의 용접흡 제거효율을 나타낸 결과로서, 공기 분사각도와 분사량이 증가할수록 효율은 우수한 것으로 나타났으며, 실험조건에 따라 63.5~89.3%의 높은 제거효율을 나타내고

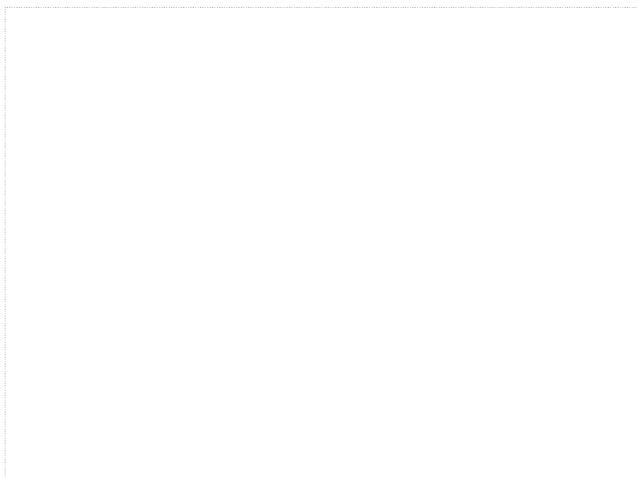


Fig 16. Removal efficiencies of welding fumes in the breathing zone by air jet supply (Case 4)

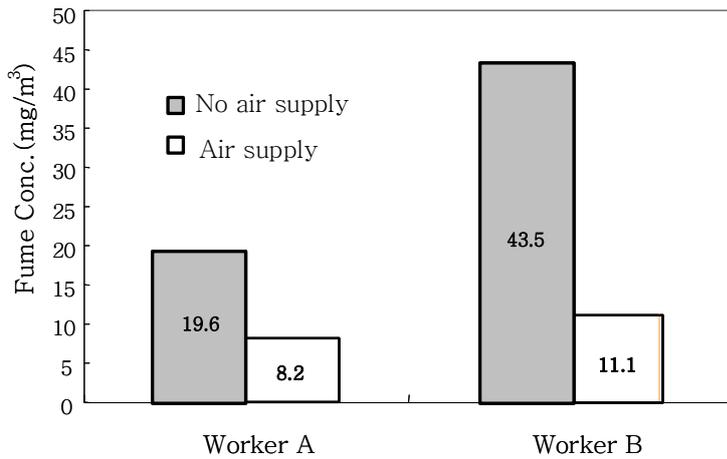


Fig 17. Fume concentrations in the workplace experiment

Table 6. Removal efficiencies of fume generated at the workplace

Worker	Removal efficiency (%)	Cross draft [average] (m/s)
A	58.0	0.05 - 0.38 [0.18]
B	74.4	0.28 - 0.54 [0.34]

2. 실험결과 및 고찰

실제 생산현장에서 2명의 용접작업자(작업자A, 작업자B)에 의해 실시된 용접흡 제어효율 결과를 Figure 17과 Table 6에 나타내었다. 이를 참조하면 공기를 분사할 경우 그렇지 않은 경우에 비해 작업자 A는 58.0%, B는 74.4%의 제거효율이 발생한 것을 알 수 있었다. 이때 작업장내 방해기류는 작업자 A의 경우 평균 0.18m/s였고 작업자 B의 경우 0.34m/s로 불고 있었다.

따라서 생산현장에서 작업자에 의해 수행된 실험에 있어서도 앞선 실험실적인 연구결과와 마찬가지로 용접흡을 효과적으로 제어하고 있음을 알 수 있었다.

VI. 결 론

공기분사기류를 이용한 용접흡 제어용 용접토치 개발을 위한 기초연구로서 공기

분사노즐이 부착된 용접토치로 호흡영역 부근에서 흡 노출량을 효과적으로 저감시킬 수 있음을 확인할 수 있었고, 이에 대한 결론은 다음과 같다.

1. 방해기류가 없는 일반 아래보기 용접의 경우 최고 91.5%의 흡 제거효율이 있었다.
2. 용접불량이 발생하지 않는 범위(0.3~0.5m/s)의 방해기류가 마네킨 정면에서 불 때 공기를 분사할 경우 호흡영역에서 43%의 흡 제거효율이 있었다.
3. 마네킨 전방에 방해물체가 있는 경우 공기를 분사하지 않은 경우와 비교해 최고 61.7%의 제거효율이 있었다. 하지만 작업자가 공기 분사조건을 적절히 조절하지 않는다면 방해물체로 인해 작업자의 호흡영역내 흡 발생량이 오히려 증가하고 용접불량도 발생할 수 있음을 확인할 수 있었다.
4. 밀폐된 공간에서 용접을 수행할 경우 공기 분사각도와 분사량이 증가할수록 효율은 우수하였고, 실험조건에 따라 최

고 89.3%의 높은 제거효율이 있었다.

5. 실제 생산현장에서 2명의 용접작업자(작업자A, 작업자B)에 의해 수행된 용접흡 노출농도 실험결과, 공기를 분사할 경우가 그렇지 않은 경우에 비해 작업자 A는 58.0%, B는 74.4%의 제거효율이 있어 향후 용접흡을 제어할 수 있는 새로운 용접토치를 고안함에 있어 충분한 기술적 가치가 있음을 확인할 수 있었다.

REFERENCES

김광중, 송기창. 모 조선업 작업장의 공기 중 용접흡농도에 관한 조사. 한국산업위생학회 1991;1(1):68-72

김정환. 용접작업의 특성 및 발생 유해인자. 한국산업안전공단, 1997. (61-90 쪽.)

공업진흥청. 피복 아크용접봉의 전체 흡량 측정방법. 한국산업규격 KS D0062, 1995

송세욱, 김종길, 하현철, 김태형, 김종철. 압축공기를 이용한 용접흡 제어용 용접면(JASM)의 개발. 한국산업위생학회 2000;10(2):98-108

이권섭, 백남원. 용접작업 형태별 공기중 용접흡 농도와 금속 성분에 관한 조사연구. 한국산업위생학회 1994;4(1): 71-80

일본용접협회. 용접연구원, 1995. (105-137 쪽.)

오광중, 김현수. CO₂ 용접에서 용접변수의 변화에 따른 용접흡 제어방법에 관한 연구. 한국산업위생학회 1998; 8(1):76-87

최찬기, 김태형, 하현철, 원정일. 흡토치 성능 평가에 관한 연구. 한국산업위생학회 1999;9(2):90-99,

한중순. KEPIC 가이드 전기저널 2001; 2:46-57

American Welding Society. Laboratory Method for Measuring Fume Generation Rates and Total Fume Emission

- of Welding and Allied Processes; 1992. ANSI/AWS F1.2-92.
- Arnold RA. An Investigation of Welder Exposure to Welding Fume in a Large Maintenance Workshop. Australian Welding Journal 1983;14-18
- NIOSH. NIOSH Engineering Control of Welding Fumes. DHEW publication;1974. p. 75-115.
- Simcon NJ, Stebbins A, Guffey S, Atallah R, Hibbard R, Comp J. Hard Metal Exposures. Part 2: Prospective Assessment. Appl Occup Environ Hyg 2000;15(4):342-353
- Tum Suden KD, Flynn MR, Goodman R. Computer simulation in The Design of Local Exhaust Hoods for Shielded Metal Arc Welding. Am Ind Hyg Assoc J 1990;51(3):115-126