

보건분야-연구자료
연구원 2000-36-186
H-RD-I-2000-36-186

환기시설 효율향상에 관한 연구

- CO₂ 아크용접작업을 중심으로 -

1999. 12

제 출 문

한국산업안전공단 이사장 귀하

본 보고서를 1999년도 산업안전보건연구원의 연구사업
중 “환기시설 효율향상에 관한 연구”에 대한 최종보고서로
제출합니다.

1999. 12.

주관연구부서 : 산업안전보건연구원 산업보건위생연구실
연구책임자 : 책임연구원 심 광 진

요 약 문

1. 과 제 명 : 환기시설 효율향상에 관한 연구

2. 연구기간 : '99. 1. 1. - 12. 31

3. 연 구 자 : 책임연구원 심광진

4. 연구목적 :

CO₂ 아크용접에 있어서 주위 기류의 변화와 작업자세에 따른 용접면
내외의 분진, 일산화탄소 및 오존 농도의 비교 실험결과를 소개하고, 결
론적으로 용접흠에 대한 관리방안을 제시함으로써, 용접사업장에서 작업
환경을 개선하는 데 조금이라도 도움이 되고자 한다.

5. 연구내용 :

- 해외 연구사례 조사
- CO₂ 아크용접에 있어서 주위 기류의 변화와 작업자세에 따른 용접
면 내외의 분진, 일산화탄소 및 오존 농도의 비교 실험

6. 활용계획 : 용접사업장에서 작업 및 작업환경 개선시 활용

7. 연구개요 :

작업환경개선에 있어서는 국소환기장치 등에 의한 흠발생원에서의 제
거 및 전체환기에 의한 청정한 작업환경을 만드는 것이 중요하므로, 용
접흠에 대한 관리방안을 제시함.

8. 중 심 어 : 국소배기조건, 분진농도, 오존농도, CO농도

차 례

I. 서	론	-----	1
II. 해외 연구사례	-----		4
III. 용접면 내외의 분진, 일산화탄소 및 오존농도 비교 실험			
1. 실험개요	-----		8
2. 실험방법	-----		8
3. 실험결과 및 고찰	-----		13
IV. 결	론	-----	21

참고문헌

I. 서론

용접은 금속과 금속을 서로 접합하는 방법으로 용접작업시 발생하는 유해환경요인은 용접흠, 분진, 산화철을 비롯한 각종 중금속 등의 입자상 물질과 오존, 이산화질소, 일산화탄소, 포스젠 등의 가스상 물질과 자외선 등의 유해광선이 있다. 이러한 유해요인에 의한 건강장애로서는 용접흠의 주성분인 철이 폐조직에 침착되어 발생하는 용접공폐증, 금속열, 폐기종, 폐부종, 만성 기관지염, 폐암, 페인트가 도포된 모재금속의 용접시 발생할 수 있는 납중독과 파킨슨씨병과 유사한 추체외로증상을 나타내는 망간중독 등의 각종 중금속 중독, 시력장애 등을 유발한다(ACGIH, 1984; NIOSH, 1974 and 1979; 국립노동과학연구소, 1984). 또한, 최근 용접사들의 망간중독 등으로 인하여 용접에 대한 관심이 날로 증가되고 용접흠에 대한 문제가 부각되어 사회문제로 대두되고 있는 실정이다.

현재 산업환경 측면에서의 용접흠에 대한 제어대책으로는 전체환기에 의한 방법과 국소배기에 의한 방법으로 크게 나눌 수 있다. 전체환기 대책은 대체로 비용이 많이 들고 작업자의 호흡영역 농도를 현저하게 감소시키는 효과를 기대하기 어렵다.

일본의 작업환경측정기준에는 등간격으로 취해진 5곳 이상의 측정점을 지닌 단위작업장의 기하평균농도와 표준편차에서 관리구분을 산출하여, 소위 현장관리에 기준한 당해 작업자의 분진오염상황을 평가하고 있다. 이것은 지역시료로 일반적으로 A측정이라 불리며, 개인의 노출량을 직접 측정하는 것이 아니고 환경농도에서 노출량을 간접적으로 평가하는 일본 특유의 방법이다. 그러나, 용접작업과 같이 작업자와 유해물의 발생원이 현저하게 근접한 형태의 작업에서는 용접분진이 환경중에 확산하기 이전에 다량으로 노출되므로, 측정된

환경농도에 용접작업자의 노출상황이 충분히 반영되지 않는다고 할 수 있다. 이를 보완하기 위해 유해물질의 환경농도가 최대가 된다고 판단되는 위치 및 시간에 개인시료인 B측정도 하도록 정해져 있으나, 아크점 부근에 발생하는 국소적 고농도역이나 아크에 의한 상승기류와 맞닿는 정확한 측정위치의 선정은 실제상 곤란한 경우가 많다.

용접작업자는 연마나 마무리작업 하는 등의 아크휴지시에는 용접면을 벗어난 상태이다. 따라서, 금회의 실험과 같이 시료채취기를 용접면 본체에 고정시킨 경우, 연마시의 시료채취기는 작업자의 머리위에 있어 호흡역 외에서 측정하는 것이 된다. 한편 Chung 등(1997)의 실험에서는 용접면의 헤드밴드에 매달거나 목부위에 고정하는 시료채취기가 검토되고 있으며, 이들은 항상호흡역 내에서 시료채취가 이루어지도록 고안한 것이다. 이와 같이 일부러 용접면 내외에서 농도차에 착안하여, 시료채취기가 단속적으로 호흡역 밖으로 나가버리는 것은 『정확한 노출량의 측정이라 하는 본래의 취지에 반하는 것은 아닐까?』라고 물어볼 수 있으나 측정대상이 되는 흠이 입경 $7\mu\text{m}$ 이하의 호흡성분진이라면 문제는 적을 것으로 생각된다. 작업자 부근에 보여지는 용접흠이 현저한 고농도역은 아크발생시에만 생기는 것이며, 또한 용접작업에 수반되는 연마분진은 입경 $10\mu\text{m}$ 이상의 조대입자가 대부분 점유하기 때문이다.

사용하는 용접재의 종류에 따라 흠의 화학조성이 중요한 문제가 되는 경우도 있다. 금회의 실험에서는 연강용 솔리드와이어를 이용하였으므로 발생하는 흠은 거의 완전한 산화철 분진으로 보여지나 망간강 또는 스테인레스 용접에서는 흠중에 무시할 수 없을 정도의 유해중금속(망간, 크롬 등)이 함유될 가능성이 있다. 흠의 조성이 전부 산화철인 경우, 그 노출기준은 5 mg/m^3 이다.

한편, 망간과 크롬에 대해 정해져 있는 노출기준은 각각 1 mg/m^3 , 0.5 mg/m^3 로 되어 있으나, 흠중에 망간과 크롬이 어느 정도 이상 함유된 경우는

분진의 노출기준을 만족시켜도 상기 중금속의 노출기준을 넘어선다. 바꾸어 말하면, 망간강이나 스테인레스를 용접하는 현장에서는 흙을 분진으로서가 아니고 중금속으로 관리하는 의식도 중요하다 할 수 있다.

한편, 개인노출농도측정을 중심으로 한 분진관리를 채용하는 구미제국에서는 용접분진의 노출농도측정법에 관한 다양한 보고가 있다.

이에 따라, 해외연구사례를 소개하고 일본 노동성 산업의학총합연구소 공학실험동에서 공동으로 실험한 CO₂ 아크용접에 있어서 주위 기류의 변화와 작업자세에 따른 용접면 내외의 분진, 일산화탄소 및 오존 농도의 비교 실험결과를 소개하고, 결론적으로 용접흙 농도 측정위치 및 외란기류에 따른 작업자의 작업방향에 대한 의견을 제시함으로써, 용접작업자에 대한 용접흙 노출저감 및 용접사업장에서 작업환경을 개선하는 데 조금이라도 도움이 되고자 한다.

II. 해외 연구사례

용접작업에서는 아크에서 발생하는 강렬한 광선에서 눈을 보호하기 위해 용접면이 일반적으로 사용되며, 작업자는 안면이 완전히 덮이는 자세가 된다. 따라서 필연적으로 용접작업시(아크발생시) 작업자의 호흡역은 용접면 내측이 되어 용접분진의 실제 노출농도를 파악하는데 커다란 문제가 된다. 즉, 작업자의 바로 앞에서 강한 상승기류를 수반하여 발생하는 고농도의 용접흄(이하 흄)에 용접면을 착용하고 작업하는 경우, 호흡역이 존재하는 용접면 내측과 통상 시료채취기를 부착하는 어깨부위가 아닌 용접면 외측 등에는 흄농도가 크게 달라지는 것이 예상된다.

이러한 시료채취위치의 차이에 기인하여 흄농도차가 발생하는 것은 이전부터 수많은 연구자에 의해 지적되고 있으며, 초기의 연구조사로는 일반적인 용접현장 작업자 36명을 조사대상으로 한 Johnson(1959)의 보고가 있다. Johnson은 용접면의 입부분에서 내측의 공기를 5-6 l/min으로 흡인·여과포집하여 용접면 외측에서 측정한 흄농도와 비교하였다. 이에 의하면, 용접면 외부의 흄농도는 내부농도의 약 3.5배가 되어, 용접면 외부에서의 시료채취는 노출농도를 과대하게 평가할 우려가 있는 것으로 결론짓고 있다.

실험실내 연구로는 Alpaugh(1968)가 용접공과 유사한 인체모형에 용접면 및 시료채취기를 부착하여, 현장의 용접작업을 실험실내에 재현하여 인체모형에 노출되는 흄, 일산화질소 및 오존의 농도를 측정하였다. 이 인체모형은 인간의 호흡과 유사하게 콧구멍부분에서 공기를 토출하고, 아크점 부근에서 토치 이동에 따라 움직이게 하는 등 실제 용접작업자의 동작에 비슷하게 실현시켰다. 실험결과 용접면 내외에서 흄농도 및 오존농도에 현저한 차이가 나타나 용

접면에 의한 호흡보호구적인 효과(노출저감효과)가 확인되었다. 이것은 단시간의 작업에 있어서 용접면 내부는 그 외부와 실질적으로 차단된 공간이 되어 청정한 공기영역이 되기 때문이라 한다.

Frank(1969)는 미국 펜실바니아주의 현장에서 용접공의 흡노출실태를 조사하였다. 평균시료채취시간은 약 10분간으로 하고 용접면 내외에서 흡농도를 측정하여 용접면 외부의 흡농도는 내부에 비해 약 40% 높은 것이 확인되어 용접면 착용에 의한 노출저감효과를 확인하고 있다.

이상과 같이 용접면 착용에 의해 흡노출을 저감시키는 효과를 기대할 수 있다. Vorphal(1976)은 이 효과를 적극적으로 이용한 급기형 용접면을 고안하였다. 이것은 청정공기 급기관을 용접면 내부에 부착하여 용접작업중에는 항상 용접면내에 청정공기를 공급하는 것으로 흡의 침입을 방지하는 것이다. 실제로 이 용접면을 미국내의 전차제조공정에 적용하여 노출량을 획기적으로 저감시킬 수 있었다.

이로부터 4년 후의 Bancroft(1980)의 보고에서는 급기형 용접면의 발전형이라 할 수 있는 헬멧식 호흡기가 소개되고 있다. 이것은 머리와 얼굴 전체를 덮는 헬멧의 후두부에 부착한 소형팬과 에어필터에 의해서 외부에서 여과한 공기를 강제적으로 흡인하여 항상 헬멧내를 청정공기로 채워서 노출방지를 꾀하고 있다. 용접전용으로 개발된 것은 아니나 범용성이 높으므로 일반적인 분진 노출대책에 유효하며, 이동을 수반하는 공정에서도 작업성을 저해하지 않고 이용할 수 있는 등 용접흡 대책에 효과를 기대할 수 있다.

현장의 용접작업은 통상 용접 외에 덧살제거, 가우징, 연마 등 부수된 일련의 작업을 반복하게 된다. 따라서, 용접작업자는 아크정지시(비용접시)에는 연마분진과 같은 물리화학적 성상이 용접흡과 다른 분진에도 노출되게 된다. Goller(1985)에 의한 현장조사에서는 이 점을 고려하여, 동일작업자에 부착한

시료채취기에 흙과 연마분진 등이 혼입되지 않도록 연구하고 있다. 그 결과, 용접면내의 구강의 직전 위치에서 채취된 흙농도는 용접면 외부에서 측정된 농도의 36~71%인 것이 판명되어, 호흡역이 존재하는 용접면내에서의 시료채취의 타당성이 확인되었다.

흙의 화학조성에 대해서는 네델란드의 Van Der Wal(1985)이 용접작업자를 대상으로 조사하였다. 흙의 조성은 대부분이 산화철이나 사용하는 용접모재, 전극, 피복재의 종류에 따라서 크롬, 망간 등 유해성이 높은 중금속이 함유되는 경우도 있다. Van Der Wal은 용접면내부에서 3시간 연속으로 시료채취하고 아울러 작업자로부터 2m 떨어진 위치에서 흙농도를 측정하여 비교해 본 결과, 용접면 내부의 농도가 높은 것을 확인했다. 이것은 용접면의 저감효과를 통해서도 노출농도가 환경농도를 상회하는 사실을 보여주고 있다. 또 흙중의 6가크롬농도는 극히 짧은 시간에 감소하므로 채취후에 시간이 경과한 시료를 분석하면 크롬노출량을 과소평가할 우려가 있음을 지적하고 있다. 이것은 용접 작업장에 있어서 중금속 측정시 유의해야 할 점이다.

일본의 浦島(1986)는 실험실적 조사 및 작업장에 있어서 용접면 내외의 분진농도를 비교하여, 평균치로서 용접면 외부값이 비교적 큰 값을 보인다고 한다. 그러나, 그 차는 Johnson, Alpaugh, Frank, Goller 등이 보고한 수치보다 현저하게 작았다. 또한 작업장조사에는 분진농도가 최대가 되는 위치 및 장소를 결정하는 것은 곤란했다고 하는 점 및 작업상황에서 예상한 최대농도는 개인노출농도보다 낮은 값이었다고 하는 점에서 B측정치로서 개인노출농도의 측정이 바람직하다고 기술하고 있다.

위에 설명한 바와 같이, 대부분의 조사 및 연구결과는 용접면내 시료채취에 의한 흙의 개인노출농도 측정을 긍정하고 있다. 그러나, Liu 등(1995)의 실험에서는 이에 대해 부정적인 결과를 보여주고 있다. 이에 의하면, 실험실내에 설

치한 챔버내에서 현직 용접공으로 하여금 용접작업을 시켜 세부동작에 이르기까지 충실히 현장을 재현하여 노출자료를 얻은 결과, 용접면내와 작업자 어깨부분에 있어서 노출농도 측정치에 명확한 차이를 보였다고 한다. 여기서는 용접면에 의한 노출저감효과를 기대할 정도는 아니며, 그 재현성도 낮으므로 비교적 저농도의 노출에서 용접면외의 호흡역에 있어서 노출농도를 측정하는 것이 바람직하다고 결론짓고 있다. 이와 같이 종래의 다른 연구자와 다른 결과를 얻은 이유로서 Liu 등은 저농도하에서 실험한 것, 인체모형이 아닌 실제 용접공을 이용한 실험실내 측정인 것, 사용한 용접면의 형상이 다른 사례에서 사용한 것과 다른 것 및 시료채취시간의 차이 등을 들고 있다.

90년대 후반의 연구로는 Chung 등(1997)에 의한 보고가 있다. 여기서 우선 European Standard(CEN 1996)와 British Standard(BS 6691)에 준하여 채용된 각국의 용접흡용 시료채취기가 소개되어 각각의 장단점이 설명되고 있다. 이미 CEN 1996이나 BS 6691에서는 흡의 노출농도 측정위치를 용접면내로 하도록 규정하고 있어, 각국형의 시료채취기도 용접면내 부착이 가능하도록 설계되어 있다. 모두 여과포집방식의 것으로 필터의 포집면이 노출시 부착한 흡이 박리하기 쉬운 점, 시료채취기 윗부분이 얼굴면에 접촉하여 작업자에 불편한 점 등이 공통의 결점으로 되어 있다.

Chung 등에 의한 1999년의 보고에서는 영국, 독일, 프랑스, 덴마크에서 사용되는 흡용 시료채취기를 구하여, 용접공에 유사한 인체모형에 장착해서 노출농도를 비교하여 각 시료채취기의 성능차 및 면체내의 부착위치 등에 관해 검토하고 있다. 이 인체모형은 매분 20회, 1회에 1ℓ의 공기를 흡입하도록 제조되어 있다. 그 결과, ①각국형 시료채취기 간에 큰 차는 없다. ②시료채취위치는 용접면내의 좌우간에 큰 차는 없다. ③어깨 등의 용접면 위치는 난기류의 영향을 받기 쉬우므로 시료채취에는 부적하다는 사실이 명확해졌다.

III. 용접면 내외의 분진, 일산화탄소 및 오존농도 비교 실험

1. 실험개요

외국에서 보고된 조사연구를 참고로 모델실험결과를 다음에 소개한다. 전술한 보고예에 의하면, 용접면 착용은 흡노출을 어느 정도 억제하는 효과가 있다고 생각된다. 바꾸어 말하면 우리나라에 있어서 흡노출의 정확한 측정에는 용접면내 시료채취가 유용하다고 생각된다. 그러나, 이중에는 용접면의 노출저감 효과를 의문시하는 보고도 있어 확증은 얻을 수 없다. 게다가 현장 특유의 부정확한 요인이 미치는 영향에 대해서도 아직 충분히 연구되지 않은 실정이다.

따라서 본 연구에서는 용접로봇과 인체모형을 이용하여, 작업자의 자세 및 외란기류의 두 가지 요인에 의해 이들이 노출수준에 미치는 영향에 대해서, 하향 용접자세에서 탄산가스 아크용접시 주위기류가 없을 때와 앞과 뒤, 옆에서 급기시 용접면 내외의 분진, 일산화탄소 및 오존 농도를 측정하여 비교함으로써 노출농도 측정에 미치는 영향에 대해서 검증실험을 하였다.

2. 실험방법

가. 실험장치

표 3-1에 실험재료, 그림 3-1에 실험장치의 개요도를 보여준다.

용접공과 유사한 인체모형에 용접면을 착용시켜, 그 전면에서 용접로봇

으로 용접작업을 하여, 용접면 내외 및 좌우 어깨위치의 4개소에서 노출농도를 측정했다. 용접모재용 강판의 위치는 인체모형의 전면이 아니고, 오른손잡이의 작업자에 의한 용접작업을 감안하여 약간 우측으로 설정하고, 인체모형의 입부분에서 강판표면까지의 거리는 500mm로 하였다. 인체모형의 경사각도는 20~80°의 범위에서 가변되게 하여, 입부분에 연결된 興研(주)의 호흡시뮬레이터의 작동에 의해 약 800cc의 호흡을 매분 20회 하였다.

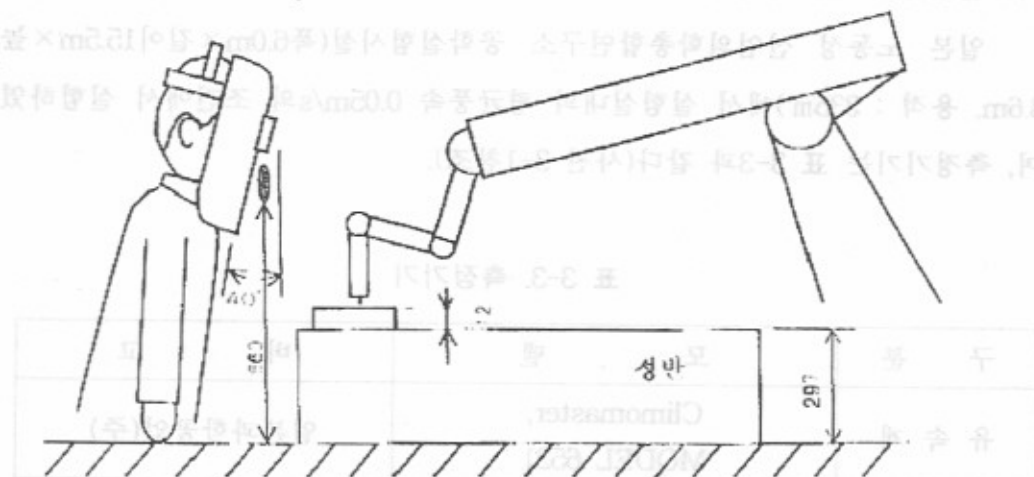
표 3-1. 실험재료

구 분	규 격	비 고
와이어	φ1.2mm 연강용 Solid Wire	JIS Z3312
실드가스	용접용 탄산가스	
강 판	평판 비드용접 : 12T×75W×500L	JIS G3101 SS400

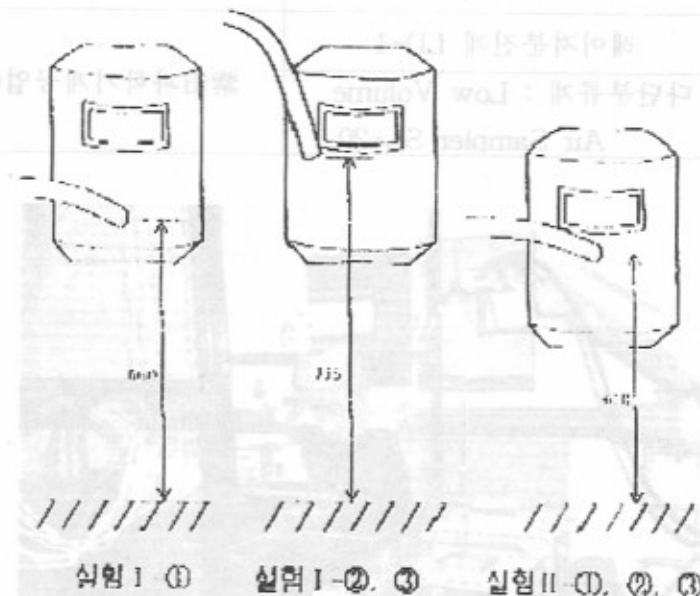
외란기류 발생장치는 興研(주)의 푸쉬풀형 환기장치 실험기를 이용하여 수평방향으로 균속류의 급기를 하였다. 이것은 200V 3상 인버터제어에 의해 3.7kW 터보팬(60 m³/min, 180 mmH₂O)과 균속류를 만들기 위한 벌집구조의 알루미늄 정류격자(1000mm×500mm) 및 플렉시블덕트(φ300mm, 길이 5m)로 구성되어 다양한 풍속으로 급기가 가능하다.

나. 용접조건

용접은 정격 350A의 인버터식 범용반자동용접기(SENSARC SP 350, 神戸製鋼)를 사용하고, 용접자세는 하향으로 하였다.



(a) 용접 자세



(b) 시료채취 위치

그림 3-2. 용접 자세 및 시료채취 위치

다. 실험장소 및 측정기기

일본 노동성 산업의학총합연구소 공학실험시설(폭6.0m×길이15.5m×높이 3.6m, 용적 : 335m³)에서 실험실내의 평균풍속 0.05m/s의 조건에서 실험하였으며, 측정기기는 표 3-3과 같다(사진 3-1참조).

표 3-3. 측정기기

구 분	모 델	비 고
유 속 계	Climomaster, MODEL 6521	일본과학공업(주)
가스농도 측정기기	일산화탄소 : CO85FL	理研계기(주)
	오존 : SC-90	
분 진 계	레이저분진계 LD-1	紫田과학기계공업(주)
	다단분류계 : Low Volume Air Sampler SL-20	

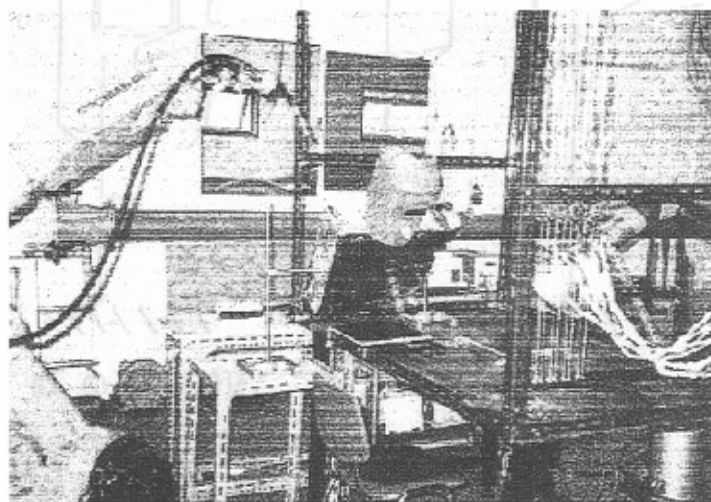


사진 3-1. 실험장치 전경

3. 실험결과 및 고찰

가. 용접면 내외의 일산화탄소와 오존농도

하향 용접자세로 평판비드용접시 용접면 내외의 일산화탄소와 오존농도는 각각 표 3-4, 표 3-5와 그림 3-3과 같다.

표 3-4. 용접면 내외의 일산화탄소와 오존농도

구분	풍 속 (m/s)	주위기류 방향 / 용접점과 측정점의 거리	CO 농도(ppm)			O ₃ 농도(ppm)		
			내부(Ic)	외부(Oc)	Oc/Ic	내부(Io)	외부(Oo)	Oo/Io
I	①무 풍	무 풍 / 660 mm	7	27	3.9	0.15	0.50	3.3
			12	36	3.0	0.30	0.80	2.7
			-	-	-	0.15	0.40	2.7
			5	16	3.2	0.15	0.65	4.3
	②무 풍	무 풍 / 775 mm	8	26	3.4	0.19	0.59	3.1
			7	7	1.0	0.25	0.65	2.6
	③용접점 :1.0-1.1	전방기류 / 775 mm	205	77	0.4	0.50	0.30	0.6

표 3-5. 용접면 내외의 일산화탄소와 오존농도

(용접점과 측정점의 거리 : 620mm)

구분	풍 속 (m/s)	주위기류 방향 / 용접점과 측정점의 거리	CO 농도(ppm)			O ₃ 농도(ppm)		
			내부(Ic)	외부(Oc)	Oc/Ic	내부(Io)	외부(Oo)	Oo/Io
II	①무 풍	무 풍 / 620 mm	7	14	2.0	0.10	0.30	3.0
			9	32	3.6	0.10	0.55	5.5
			13	53	4.1	0.10	0.35	3.5
		평 균	9.7	33	3.4	0.10	0.40	4.0
	②용접점 : 0.55	좌측기류 / 620 mm	13	14	1.1	0.10	0.20	2.0
			5	7	1.4	0.05	0.15	3.0
		평 균	9	10.5	1.2	0.075	0.175	2.5
	③용접점 : 0.35	후방기류 / 620 mm	27	421	15.6	0.05	0.80	16.0
			15	317	21.1	0.05	1.00	20.0
			4	437	109.0	0.05	1.55	31.0
			6	480	80.0	0.05	1.45	29.0
		평 균	13	414	31.8	0.05	1.20	24.0

실험결과를 보면, 무풍시와 좌측기류의 경우, 용접면 내부농도가 외부의 농도보다 낮아서 용접면의 착용효과를 확인할 수 있었으나 좌측기류조건에서는 무풍시에 비해 내외의 농도비가 작아졌으며, 후방기류의 경우 외부농도가 매우 높아졌고, 특히 전방기류의 경우에는 용접면 내외부의 일산화탄소농도가 모두 급격히 상승함과 동시에, 일산화탄소 및 오존의 용접면 내부농도가 외부농도에 비해 약 2배로 높아지는 역전현상이 나타나므로 용접작업시 전방기류에 대해서는 작업자가 각별히 주의하여 작업방향을 정해야 할 것으로 생각된다.

CO농도(ppm) · O₃농도($\times 10^{-2}$ ppm)

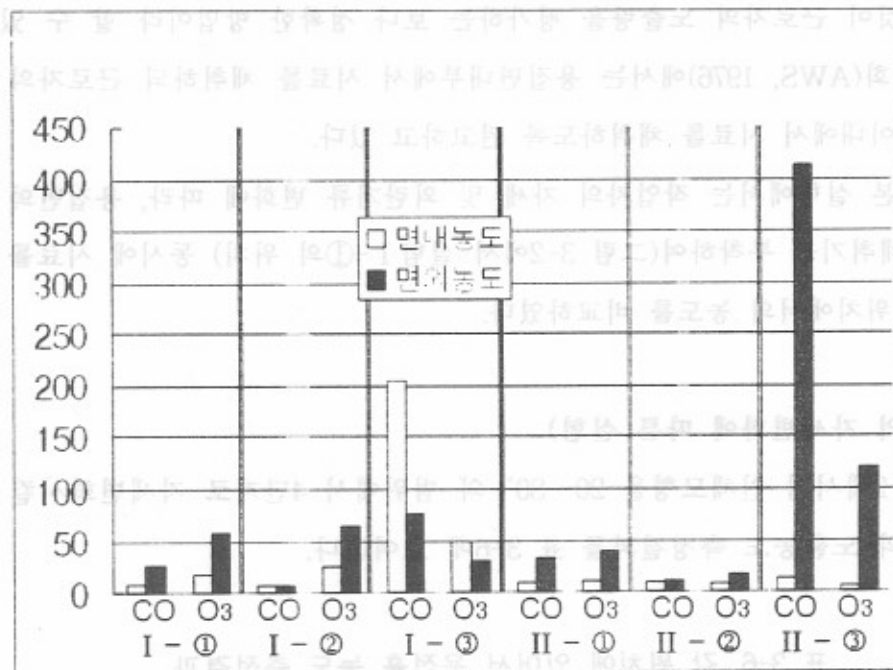


그림 3-3. 풍향·풍속에 따른 용접면 내외의 일산화탄소 및 오존농도

나. 용접흡 농도 측정

작업환경측정 및 정도관리규정(노동부, 1997)에는 근로자의 유해물질 노출수준을 평가하기 위해 근로자의 호흡위치(호흡기를 중심으로 반경 30 cm인 반구)에서 시료를 채취해야 한다고 명시되어 있다. 용접작업자의 유해물질 시료채취위치에 대해 따로 언급된 바 없고, 단지 호흡위치에서 시료를 채취하도록 규정되어 있으므로 용접면외부라도 호흡기를 중심으로 30 cm 이내에서 시료를 채취한다면 별 문제가 없는 것으로 되어 있다.

그러나, 용접작업의 경우 용접면은 오염물질을 어느 정도 차단하는 효과가 있으므로 호흡위치내라고 하더라도 용접면내외의 농도는 차이가 있을 것이다. 근

로자의 실제 노출수준은 용접면내부의 농도에 좌우되므로 용접면내부의 농도를 측정하는 것이 근로자의 노출량을 평가하는 보다 정확한 방법이라 할 수 있다. 미국용접학회(AWS, 1976)에서는 용접면내부에서 시료를 채취하되 근로자의 입에서 5 cm 이내에서 시료를 채취하도록 권고하고 있다.

따라서, 본 실험에서는 작업자의 자세 및 외란기류 변화에 따라, 용접면의 내외에 시료채취기를 부착하여(그림 3-2에서 실험 I-①의 위치) 동시에 시료를 채취하여 두 위치에서의 농도를 비교하였다.

(작업자의 자세변화에 따른 실험)

그림 3-2에서의 인체모형을 20~80°의 범위에서 4단계로 자세변화시킬 때의 용접흡의 노출농도 측정결과를 표 3-6에 보여준다.

표 3-6. 각 위치에 있어서 용접흡 농도 측정결과

인체모형 경 사 각	평균 흡농도(mg/m ³)				평균농도비		
	우측어깨(C _R)	좌측어깨(C _L)	용접면내(C _I)	용접면외(C _O)	C _R /C _I	C _L /C _I	C _O /C _I
20°	61.87 (27.98)	58.93 (10.38)	29.47 (10.37)	112.13 (26.77)	2.177 (0.679)	2.315 (0.977)	3.964 (2.348)
40°	30.13 (7.779)	45.63 (20.88)	27.60 (9.504)	141.87 (41.65)	1.315 (0.803)	1.894 (0.909)	4.801 (1.531)
60°	29.73 (11.22)	21.87 (12.31)	16.40 (7.707)	112.00 (15.855)	2.092 (0.860)	1.479 (0.763)	8.529 (4.037)
80°	25.60 (8.018)	35.87 (10.57)	16.53 (5.933)	70.00 (18.545)	1.665 (0.598)	2.253 (0.424)	4.180 (1.533)

흡의 시료채취위치는 용접면의 내측, 외측과 좌우 어깨위의 4개소로 하고, 용접점과 시료채취기간 거리는 500mm, 시료채취시간은 아크가 발생하고 있는 5분간 했다. 측정치는 이 5분간의 시간평균 질량농도이다.

모든 측정치는 10회 측정치의 평균치이며, 표중의 괄호내는 표준편차이다. 이 실험에 의해 다음과 같은 결과를 얻었다.

- ① 무풍상태에서 용접작업자는 매우 고농도의 흡에 노출되는 것이 예상되며, 측정위치에 따라서 100 mg/m³를 넘는 경우도 있다.
- ② 어깨 시료채취농도(C_R , C_L)는 좌우간에는 격차가 없었으나 자세가 직립에 가까울수록 높은 농도가 되었다.
- ③ 작업자세에 관계없이 용접면외부(정면)의 농도(C_O)는 다른 모든 측정위치에서의 농도보다 높았다.
- ④ 작업자세에 관계없이 용접면내부농도(C_I)는 다른 모든 측정위치에서의 농도보다 낮았다. 어깨위와 용접면내부의 농도는 최대 약 2.3배의 차가 있었다.
- ⑤ 용접면내외의 농도비(C_O/C_I)는 작업자세 60° 경사에서 최대가 되었다.

이상에서 용접면에 의한 흡노출 저감효과가 확인되었다. 따라서 작업자 주변에 외란기류나 환기설비가 있지 않는 한 용접면외 또는 그 부근에서의 시료채취는 노출농도를 과대평가할 우려가 있는 것으로 판명되었다. 그러나, 용접면내외의 농도비는 작업자세에 의해 2배정도 달라지며, 항상 일정한 노출저감효과를 기대할 수 없음을 시사하고 있다. 과거의 조사연구에서도 용접면효과를 보여주는 수치에는 범위가 있어, 작업자의 다양한 자세가 영향을 미친 가능성이 높다. 실험결과에 의하면 자세 20°에서 용접면내외 농도비는 최소가 되나, 이것은 직립에 가까운 자세에서는 상승한 흡이 용접면의 턱부분의 틈새로 침입하기 때문일 것이다.

(외란기류에 의한 실험)

외란기류발생장치를 인체모형의 전방 1m 위치에 두고 정면방향에서 수단계의 기류를 부여한 경우의 노출농도를 측정했다. 외란기류의 풍속측정은 용접면 표면 전방 직전위치(용접면 정면상에 바깥방향으로 부착한 시료채취기의 채취구로부터 약 2~3 cm 위치)에서 하고, 인체모형의 경사각은 일반적인 작업자세를 고려하여 40°로 했다. 이로부터 인체모형이 정면에서 받는 약 0.2 m/s이상의 기류는 각 시료채취 위치에서 농도가 현저하게 저하되어 외란기류가 고농도환경하에서 노출농도측정에 대해 매우 큰 영향을 미치는 것이 확인되었다. 표 3-7에는 정면에서의 수평외란기류가 약 0.25 m/s인 경우의 각 위치에서 농도와 농도비를 보여준다. 모든 값은 10회 측정한 평균치로 괄호내는 표준편차이다.

표 3-7. 정면에서 외란기류를 부여한 경우, 각 위치에 있어서 용접흠 농도

평균 흠농도(mg/m ³)				평균농도비		
우측어깨(C _R)	좌측어깨(C _L)	용접면내(C _I)	용접면외(C _O)	C _R /C _I	C _L /C _I	C _O /C _I
20.67 (5.375)	11.87 (8.336)	21.20 (5.348)	3.20 (1.600)	1.017 (0.302)	0.578 (0.383)	0.153 (0.077)

표 3-6과 비교하면, 무풍상태에서 최대였던 용접면외 농도(C_O)가 최소로 되며, 용접면내외의 농도가 역전되는 것을 보여준다. 이것은 정면에서 오는 기류에 의해 본래 수직방향으로 상승하는 흠이 용접면 턱부분의 틈새로 침입하기 때문이라 생각되며, 용접면 착용에 의해 거꾸로 고농도 노출이 될 가능성이 있을 것으로 판단된다. 균속기류중에 작업자가 들어가서 용접작업하는 경우, 이 점을 감안하여 정면방향의 기류에는 주의하여야 한다.

표 3-8에는 외란기류발생장치를 인체모형의 좌측방 1m의 위치에 두고, 횡방향에서 수평으로 약 2.5 m/s 의 기류를 부여한 경우의 노출농도를 보여준다. 풍속측정위치는 용접면의 전방직전으로 했다. 측정결과 4개의 시료채취위치 전체에 있어서 노출농도가 크게 저감되었다. 이것은 노출농도의 측정상 외란기류의 존재가(미약하더라도) 매우 중요한 것을 시사하고 있으며, 관점을 바꾸어 흡제어에 필요한 풍속을 구해보는 것이 흥미롭다.

표 3-8. 좌측면에서 외란기류를 부여한 경우, 각 위치에 있어서 용접흠 농도

평균 흠농도(mg/m ³)				평균농도비		
우측어깨(C _R)	좌측어깨(C _L)	용접면내(C _I)	용접면외(C _O)	C _R /C _I	C _L /C _I	C _O /C _I
1.87 (2.33)	0.93 (1.34)	1.60 (2.22)	0.53 (1.60)	1.17 (0.58)	0.46 (0.42)	0.50 (1.00)

통상의 배기장치는 공기중 유해물질을 흡인하는 것이나 용접작업에서의 국소적 고농도역 해소에는 미약한 기류의 급기도 유효한 것으로 생각된다. 급기류는 흡인기류에 비해 먼 지점에 있어서 풍속확보가 용이한 것도 유리해진다.

아크용접에서 가스실드의 파괴는 용접금속중에 내부결함(Blowhole)을 발생시키며, 0.3~0.5 m/s 이하의 풍속이라면 그 위험성은 작다고 한다(일본용접협회, 1995). 아크점 주변에 적절한 방향에서 0.2~0.3 m/s의 풍속으로 급기하여 작업자의 고농도 노출을 억제하고, 작업장의 환경농도를 전체환기에 의해 저감을 피하는 것이 현실적인 흡대책의 하나로 생각된다.

표 3-9에는 외란기류발생장치를 인체모형의 후방 1m의 위치에 두어, 뒷면에서 수평으로 약 0.25 m/s 의 기류를 부여한 경우의 노출농도를 보여준다.

표 3-9. 뒷면에서 외란기류를 부여한 경우, 각 위치에 있어서 용접흠 농도

평균 흠농도(mg/m ³)				평균농도비		
우측어깨(C _R)	좌측어깨(C _L)	용접면내(C _I)	용접면외(C _O)	C _R /C _I	C _L /C _I	C _O /C _I
34.00 (6.23)	59.20 (5.44)	19.33 (3.44)	40.93 (9.12)	1.79 (0.35)	3.17 (0.64)	2.02 (0.75)

풍속측정위치는 인체모형의 뒷면상부 부근이다. 이에 의해 뒷면으로부터의 외란기류는 작업자에 차폐되어 용접면외 농도(C_O) 이외에는 측정상의 영향은 작은 것으로 판단된다. 용접면외 농도(C_O)가 무풍상태의 30% 뒷면으로부터의 외란기류는 작업자에 차폐되어 용접면외 농도(C_O) 이외에는 측정상의 영향은 작은 것으로 판단된다. 용접면외 농도(C_O)가 무풍상태의 30% 적어진 것은 용접면 직전까지 상승해 온 흠이 두부 주변 내지 양어깨 윗부분에서 우회해 오는 기류에 포착되기 때문일 것이다.

IV. 결 론

본 실험결과는 국소적으로 현저하게 고농도역이 발생하는 용접작업장에 있어서 작업자의 노출상황을 정확히 파악할 수 있는 개인노출농도 측정의 실시 방법에 적극적 가치를 보여준다. 현행의 작업환경측정과 보완적으로 병용하면, 용접작업장의 환경관리향상에 기여할 것이다. 그러나, 적용시에는 유의해야 할 점이 있다.

실험결과, 무풍상태와 후방 및 측방기류시 용접면내외의 가스 및 흡농도차가 발생하는 것이 재확인되었다. 용접중 작업자의 호흡역은 용접면 내부에 들어가 기 때문에 정확한 가스 및 흡농도를 측정하려면 용접면 내부에 시료채취기를 부착하는 것이 적당한 것으로 판단된다. 또 용접면에 의한 노출저감효과는 작업자세 및 외란기류에 크게 영향을 받으며, 후자의 경우 그 방향이 중요한 것으로 판명되었다.

그러나, 정면에서 외란기류를 부여한 경우, 가스 및 용접흠의 용접면 내외의 농도가 역전된다. 이것은 정면에서 오는 기류에 의해 본래 수직방향으로 상승하는 가스 및 흠이 용접면 턱부분의 틈새로 침입하기 때문이라 생각되며, 용접면 착용에 의해 거꾸로 고농도 노출이 될 가능성이 있을 것으로 판단된다. 균속기류중에 작업자가 들어가서 용접작업하는 경우, 이 점을 감안하여 정면방향의 기류에는 주의하여야 한다.

향후 용접작업장의 작업환경개선을 위해서 용접방법 및 용접재료와 모재의 재질변화에 따른 가스 및 용접흠 발생실태에 대해서 추가적으로 실험연구가 필요하다고 판단된다.

참 고 문 헌

부 록 VI

- 노동부 : 작업환경측정 및 정도관리규정, 노동부고시 제97-53호, 1997.
- 노동부 : 화학물질 및 물리적인자의 노출기준, 노동부고시 제97-65호, 1998.
- 신용철, 이광용, 박승현, 이나루, 정지연, 박정근, 오세민, 문영한 : 용접공정에
서 발생된 공기중 흙의 조성파 농도에 영향을 미치는 요인에 관한 연구, 한
국산업위생학회지 제7권 제2호, pp.181~195, 1997.
- ACGIH(American Conference of Governmental Industrial Hygienists):
Welding Health and Safety Resource Manual. ACGIH, Akron, OH, 1984
- American Welding Society(AWS) : Methods for Sampling Airborn
Particulates Generated by Welding and Allied Process, ANSI/AWS
F1.1-78. Miami, FL: AWS. p. 8, 1976.
- B. Bancroft et al. Measurement of the dust protection and airflow of a helmet
respirator. Ann. occup. Hyg. 23 pp. 295-304, 1980.
- C.Frank et al. Exposure to Iron Oxide Fume at Arcair and Powder-Burning
Operations. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. March-April 143-46, 1969.
- D.Liu et al. Welding Helmet Airborne Fume Concentrations Compared to
Personal Breathing Zone Sampling. Am.Ind.Hyg.Assoc.J. 56 280-83, 1995.
- E.L.Alpaugh et al. Ventilation Requirements for Gas-Metal-Arc Welding
versus Covered-Electrode Welding. Am.Ind.Hyg.Assoc.J.November-December
551-57, 1968.
- J.F.Van Der Wal. Exposure of Welders to Fumes, Cr, Ni, Cu and Gases in
Dutch Industries. Ann. occup. Hyg. 29(3) 377-89, 1985

J.W.Goller and N.W. Paik : A Comparison of Iron Oxide Fume Inside and Outside of Welding Helmet. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 46(2):89-93, 1985.

K.Y.K.Chung et al. Development and Testing of a New Sampler for Welding Fume. Ann. occup. Hyg.41(3) 355-72, 1997.

K.Y.K.Chung et al. Laboratory Evaluation of a Protocol for Personal Sampling of Airborne Particles in Welding and Allied Processes. Appl. Occup. Environ. Hyg. 14, 107-18, 1999.

K.W.Vorpal. Chrome Alloy Welding Fume Study. Am.Ind.Hyg.Assoc.J. 37 566-69, 1976

NIOSH(National Institute of Occupational Safety and Health): Engineering Control of Welding Fumes, DHEW Publication No. (NIOSH) 75-115, 1974.

NIOSH(National Institute of Occupational Safety and Health): Assessment of Selected Control Technology Techniques for Welding Fumes, DHEW Publication No. (NIOSH) 79-125, 1979.

W.M.S.Johnson. An Investigation into the True Exposure of Arc Welders by Means of Simultaneous Sampling Procedures. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. June 194-96, 1959

日本熔接協會：熔接の研究, No.34, pp.105~137, 1995.

浦島幸昌：熔接作業場の粉じん環境調査結果, 労働衛生, 27(9), pp.28-33, 1986

환기시설 효율향상에 관한 연구

연구자료(연구원 2000-36-186)

발 행 일 : 2000. 2

발 행 인 : 산업안전보건연구원장 정호근

연구책임자 : 책임연구원 심광진

발 행 처 : 한국산업안전공단

산업안전보건연구원

주 소 : 인천광역시 부평구 구산동 34-6

전 화 : (032)5100-906

F A X : (032)518-0864

비매품