

용접흠 노출 제어용 이동식 국소배기장치의 효과

가톨릭대의대 예방의학교실·보건대학원 / 김 현 옥

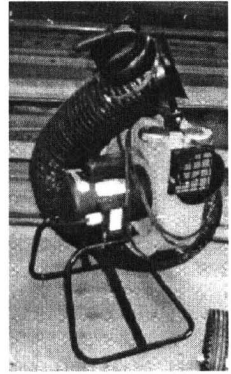
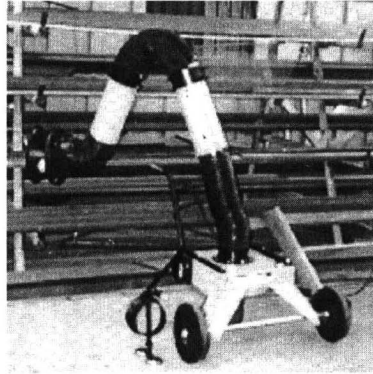
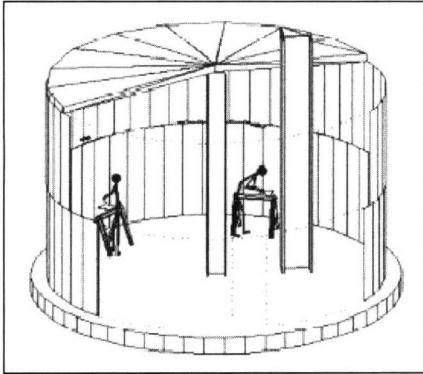
출처: Effectiveness of Local Exhaust for Reducing Welding Fume Exposure During Boiler Rehabilitation Applied Occupational and Environmental Hygiene 17(3):145-151, 2002

저자: Marjorie Wallace and Thomas Fischbach

서론

건설업에서 용접은 매우 흔히 볼 수 있는 작업이다. 특히 교량, 고층 건물, 철제 탱크, 철골 구조물 시설 등에서는 매우 많이 수행된다. 이 용접 작업 중 발생하는 흠은 그 자체로도 용접공폐증을 유발하며, 흠 내에 포함된 각종 중금속과 독성 분진은 다양한 건강상 문제를 유발할 수 있어 더 문제가 된다. 그러나 건설업 특성상 실외에서 작업이 많아 용접 흠을 효과적으로 제어하는데 어려움이 있다는 점을 들어 공학적인 대책을 세우지 못하고 있다. 본 연구에서는 보일러를 재건하는 과정에서 용접봉을 사용하는 용접 작업에 대해 이동식 국소배기장치를 사용한 효과에 대해 연구한 자료를 검토하기로 한다.

이 연구에서는 2가지 종류의 이동식 국소배기장치를 사용하였는데, 하나는 MEF(그림 1-Unit 1)로 바퀴달린 흠 제거용 장비로 2m 길이의 유연한 덕트를 가지고 있으며, 다른 하나는 BSFM-2101(그림 2-Unit 2) 휴대용 팬 장비로 이 역시 유연한 덕트를 가지고 있다. 이 장비들 모두 필터가 장착되어 있지 않아서, 포착된 흠은 발생원에서 바로 덕트를 통해 외부로 배출되도록 하였다. MEF 모델에서 유연한 덕트는 직경이 16cm이고 난연재의 PVC 코팅된 폴리아미드 재질로 되어 있으며 내부는 나선형 철심으로 지지되어 있다. 후드는 약간 원추형으로 되어 있다. 제작사의 권장 유량은 800-1,200m³/hr이고, 10미터 길이의 덕트를 부착하였을 때 후드에서 유량은 약 1,000m³/hr이며, 아무 것도 부착하지 않았을 때는 약 1,400m³/hr 유량이 나오도록 설계되었다. 팬은 0.5마력(370watt) 모터로 구동되었으며, 총 무게는 약 35kg 정도였다. 손잡이와 바퀴가 달려 있어 쉽게 움직일 수 있게 만들었다. BSFM-2101



〈그림 1〉 보일러 탱크와 내부 작업시 용접 위치 〈그림 2〉 모델 MEF 이동용 국소배기장치 〈그림 3〉 모델 BSFM 국소배기장치

모델에 부착된 덕트는 앞서 언급한 모델에 부착된 것과 유사하였으나, 후드는 원추형으로 설계되지 않았다. 이 모델은 팬 동력으로 1마력 모터를 사용하였으며, 아무 덕트도 부착하지 않았을 때 약 2,200m³/hr 유량이 나오도록 설계되었다.

이 연구의 목적은 2가지 형태의 국소배기장치를 용접 작업에 사용하였을 때, 용접 흡 제어 효과의 차이가 있는지를 알기 위하여 실시되었다.

방법

이 연구에서는 3명의 용접공을 참여시켜 25번 시료를 포집하였는데, 다양한 환기 형태와 공정 조건을 고려하여 외부에 설치된 반 밀폐상태의 보일러 탱크 내부에서 수행되었다. 이 보일러 탱크의 크기는 3.6m 높이에 직경이 6.1m이었으며, 천장의 절반 이상이 개방된 상태이었고, 1.8m×0.6m의 공간이 출입문 구실을 하였다. 또 건물 내부(길이 21m, 폭 10.4m, 높이 3m)에서도 용접을 수행하였다.

측정시 수집한 자료는 공기량, 온도, 습도 및 용접 흡 농도이었다. 용접 흡은 중량 농도와 함께 6가 크롬, 비소, 크롬, 망간, 철, 니켈, 기타 금속 등을 분석하였다. 통계 분석은 작업자의 호흡 영역에서 포집한 용접 흡을 종속 변수로 하고 환기 종류, 용접 봉 형태, 용접봉 굵기를 독립변수로 하여 분산 분석을 실시하였다.

용접은 기술 형태와 작용 공정에 따라 shielded metal arc(SMAW), gas metal arc(GMAW), gas tungsten arc(GTAW) 등으로 나뉜다. 본 용접에서는 스테레스 스틸을 SMAW 용접을 하면서 4가지 다른 용접봉을 사용하였는데 AWS 308, 309-16,

〈표 1〉 환기 형태별 용접 흠 개인노출농도

(mg/m³)

Ventilation used	GM	Std. dev	n	Range	Mean
Unit 1. tank	7.00	3.76	4	4.82 - 13.08	7.58
Unit 2. tank	6.76	3.38	5	3.23 - 12.15	7.42
None, tank	9.28	19.44	34	1.54 - 62.00	17.43
Unit 2, indoors	1.59	—	1	—	1.59
None, indoors	7.69	—	1	—	7.69

316, 347 용접봉이다. 이 300 시리즈 용접봉은 미국 용접협회로부터 크롬-니켈 함량이 가장 많은 것으로 보고되어 있다. 이 용접봉의 직경은 0.24, 0.32, 0.40, 0.48cm 4가지였다.

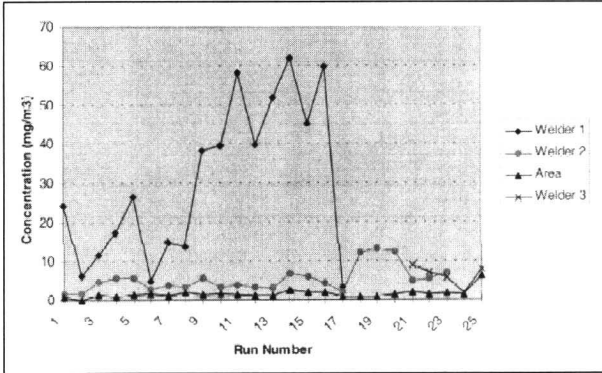
시료 포집은 5m 기공의 37mm, PVC 필터를 이용하여 closed-face로 개인 호흡 영역에서 13리터/분 유량으로 단기 측정을, 지역 시료에서는 단기 및 8시간 포집을 하였다. 용접 흠의 농도는 NIOSH 0500 총분진 분석법으로 중량 분석을, 흠 내 금속 물질은 NIOSH 7300 방법으로, 6가 크롬은 NIOSH 7600 방법으로 분석하였다.

환기 장치의 평가는 열선풍속계(TSI VelociCalc)로 포착속도와 면속도를 측정하였다. 작업자 주위의 공기 흐름은 발연관을 이용하여 관찰하였다.

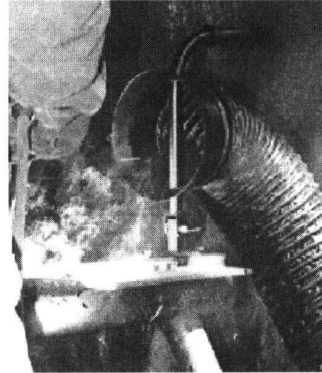
결과

그림 4에 총 용접 흠 농도를 나타내었다. 총 45개의 개인시료에서 29개가 ACGIH 용접 흠 TLV 기준인 5mg/m³을 초과하였고, 지역시료에서는 30개 중 1개만 초과하였다. 국소배기장치를 사용하지 않은 용접공 1의 결과는 국소배기장치를 사용한 다른 용접공 2와 3 결과보다 5배 정도 높은 농도를 보였다. 용접봉의 굵기가 증가함에 따라 환기장치를 사용하지 않은 상태에서 흠 발생량이 증가하였다. 용접봉 번호 316과 347이 다른 두 종류보다 더 많은 흠을 발생시켰다. 그러나 환기 장치 없이 포집한 시료 1-16까지의 결과에서는 용접봉의 종류나 굵기는 흠 발생에 영향을 주지 않았다.

환기장치에 따른 용접 흠 농도를 비교해 보면(표 1), 기하평균치로 나타낸 흠 농도는 매우 흡사하지만 BSFM 장치의 경우가 약간 농도가 낮게 나타났다. 34개의 시료를 환기장치를 사용하지 않은 탱크 내에서 포집하였는데, 환기장치를 사용하지 않았을 때의 기하평균 농도가 환기장치를 사용했을 때보다 매우 높았다. 실내에서 환기장치를 사용했을 때 흠 농도는 사용하지 않았을 때 보다 개인노출 농도가 5배 정도 차이가 났



〈그림 4〉 용접공별 용접흡 농도 변화



〈그림 5〉 BSFM 국소배기장치가 용접흡을 효과적으로 제어하는 모습

다. 통계적으로 분산 분석을 하였을 때도 노출 자료에 유의한 차이를 보여주었다 ($p < 0.02$).

따라서 국소배기장치를 사용하는 것이 모든 경우에 있어 TLV 이하로 노출을 낮출 수는 없었지만 용접공들의 흡 노출을 확실히 줄여주는 효과가 있었다. 두 국소배기장치를 비교한 결과, 통계적으로 유의한 차이가 있었으며($p = 0.03$), BSFM과 국소배기장치를 사용하지 않은 경우 간에도 유의한 차이가 있었다($p = 0.006$) 즉, BSFM을 사용하였을 때 용접공들의 흡 노출이 MEF 모델이나 국소배기장치를 사용하지 않은 경우들과 비교했을 때 가장 낮았다.

28개 시료에서 원소분석을 한 결과, 5개의 금속(비소, 크롬, 철, 망간, 니켈)이 문제가 있었다. 45개 개인시료 중 44개(98%), 그리고 지역시료 30개 중 8개(27%)에서 5개 시료에서 5개 중 하나 이상의 물질이 기준치를 초과하였다. 그 중 망간과 니켈이 개인과 지역시료 중 노출 초과치의 70%를 차지하였다.

일부 금속 물질의 경우, 가장 낮은 기준 농도보다 훨씬 높게 나왔다. 한 예로 니켈의 경우 NIOSH의 권고치인 REL은 $15\text{g}/\text{m}^3$ 인데, 측정된 결과 중 가장 높은 경우는 $667\text{g}/\text{m}^3$ 로 REL의 45배이었다. 5개의 금속 중 비소(7개 시료)와 크롬(10개 시료)은 미국 산업안전보건청(OSHA)의 PEL기준도 초과하였다. 이런 높은 농도는 국소배기장치를 가동하고 있던 중에 포집된 16개 시료에서 발견되었다. 16개 시료 중 2개는 OSHA의 PEL 기준치를 초과하였고, 다른 것들은 REL이나 TLV를 초과하였다. 용융봉의 형태나 굵기는 원소 노출 농도에 영향을 미치지 않았다.

6가 크롬의 경우, 대부분의 시료가 ACGIH TLV의 $50\text{g}/\text{m}^3$ 이나 NIOSH REL $1\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하였다. NIOSH는 이 물질을 발암성으로 보고 있다. 총 흡 농도에서 발견된 유사한 이유로 용접공들의 개인 노출 농도간 차이는 작업 중 용접공의 머리 위치가 어디에 있는지에 따라 다를 것으로 사료된다. 국소배기장치를 사용하는 경우, 비록 TLV 기준치를 초과하기는 하지만, 노출을 줄여주는 효과가 있음이 확연히 나타났다 ($p < 0.04$). 그 중에서도 국소배기장치 BSFM를 사용하는 경우 흡 농도가 낮았다.

결론

본 연구에서 용접공들은 거의 작업의 67% 이상 시간동안 높은 농도의 스테레스 스틸 용접 흡에 노출되어 있었다. 개인 노출의 경우 농도가 매우 높았으며, 비소, 크롬, 철, 망간, 니켈의 경우 많은 경우에서 노출기준을 초과하고 있었다. 용접공의 작업 행태에 따라 흡 농도가 매우 큰 차이를 보였다. 국소배기장치는 기종간 흡 제어에 차이를 보였다. 그러나 일부 기종은 흡 제어를 하기는 하였지만 자연 환기를 사용한 경우와 비교해 통계적인 차이는 없었다. 이것은 작업장내의 방해기류가 개인 노출에 중요한 역할을 하기 때문인데, 이런 이유로 실외에서 작업할 경우 바람의 영향을 피하기 위해 바람의 상류 측에 위치하는 것이 흡 노출을 줄이는 길이다.

이 연구는 실외에서 용접 작업을 하는 건설업의 경우에서도 국소배기장치가 효과적으로 용접 흡을 제어하는 유용성을 보여주고 있다. 그러나 실제 현장에서 실외 작업이라 국소배기장치를 설치할 수 없다는 이유를 들어 아무런 대책을 세우지 않거나 개인 보호구에만 의존하려는 경향이 있는데, 이런 일부 기업들의 행태는 바뀌어야 한다.

또 용접 작업 교육을 통해 용접공 자신이 흡 노출을 감소시킬 수 있도록 적절한 작업 자세와 작업 방법을 배우고, 바람의 영향을 고려하여 작업자의 위치를 잡도록 교육하여야 한다. 기업체에서는 가능한 한 최대한 공학적인 대책을 이용하여 노출을 감소시키고, 관리적 대책을 세우며, 그래도 안되는 경우만 개인보호구를 착용하도록 하여야 건설업에서 용접 흡에 의한 건강상 문제를 줄일 수 있을 것이다. ☺