

# 중금속 Fume에 의한 용접 작업장 내 오염도 평가에 관한 연구

## A Study on the Evaluation of Air Contamination by Heavy Metal Welding Fume in Small Working Shop

채현병, 김정환

한국생산기술연구원

### 1. 서론

용접작업중 발생하는 유해인자는 산업보건학적 유해인자인 각종 중금속 및 유해가스가 함유된 용접 fume과 소음, 아크광 및 열 등의 물리적 유해인자로 나누어질 수 있다<sup>1)</sup>. 1996년 국내에서는 용접근로자의 망간중독이 사회 문제화되기 시작하면서 정부에서는 전국 용접작업장 199곳을 포함한 202개 사업장의 작업자 2045명에 대하여 임시건강검진을 실시하였는데 이중 13명이 망간중독에 의한 직업병 유소견을 받았는데 모두 용접작업자였다<sup>2)</sup>. 또한 스테인레스 강의 용접시 발생하는 크롬중독에 의하여 콧속 연골에 구멍이 뚫리는 비중격천공(鼻中隔穿孔)환자들이 직업병으로 판정받아 산재요양이 승인된 사례가 있으며 6가 크롬과 니켈은 발암성 물질로도 잘 알려져 있다. 최근 이러한 계기로 인하여 작업환경에 대한 법적규제는 국내에서도 한층 엄격하게 강화되고<sup>3)</sup> 있는 실정이며 작업자와 사용자 모두 용접 fume에 대한 인식의 전환이 요구되는 때이다. Fig.1은 국내와 미국에서 적용되고 있는 작업장의 TLV를 보여주고 있다. 국내 기준치의 경우 크롬은 선진국과 같이 매우 강화되어있지만 그 외의 망간 및 니켈과 같은 유해성이 높은 금속은 기준치가 낮게 설정되어 있어 시급히 개정되어야 할 부분이다. 이와 같이 아크용접시 발생하는 fume은 그 총량도 중요하지만 각종 직업병을 유발시키는 각 중금속 원소들의 발생량을 고찰하는 것이 매우 중요하다.

따라서 본 연구에서는 아크용접중 발생하는 fume에 대한 총 FGR(Fume Generation Rate) 및 중금속 원소들의 원소별 FGR을 측정 평가하여 인체에 유해한 망간, 크롬, 니켈 및 기타 중금속 원소들의 발생동향을 고찰하였으며 국내 영세 용접작업장의 환경을 고려할 때 중금속 원소의 TLV(Threshold Limit Value)와의 관계를 규명하였다.

### 2. 실험방법

실험에 사용된 용접재료는  $\phi 1.2\text{mm}$ 의 flux cored wire로써 국산 1종, 외산 4종의 연강 및 스테인레스강용으로 모재는 두께 10mm의 STS 304와 21mm의 SS 400을 사용하였다. 용접은 125A(22V)의 저전류, 180A(25V)의 중전류 및 230A(30V)의 고전류로 나누어 입열량 증가에 따른 발생경향을 관찰하였으며, 또한 발생된 용접 fume의 중금

속 원소 분석에는 ICP-OES를 사용하였다. 총 FGR 측정은 한국산업규격(KS D 0062)에 따라 수행하였으며 중금속 원소의 화학분석 시료는 cellulose membrane filter를 사용하여 채취하였다. 용접 fume이 작업장의 TLV에 미치는 영향을 산출하기 위하여 작업장의 크기는 국내 일반 소규모 작업장(5m×5m×3m, 75m<sup>3</sup>)을 예로 들었으며 사용된 수치는 국내의 TLV를 적용하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 실험에 사용된 flux cored wire의 총 FGR을 나타낸 것이다. 제조기업에 따라서 용접와이어 성분 및 제조공정에 차이가 있으므로 총 FGR에 차이가 발생하는 것을 관찰할 수 있었다. 총 FGR이 가장 큰 것은 외산 A사 제품과 외산 D사 제품으로서 총 FGR이 가장 적은 외산 C사에 비하여 약 2배에 달하는 것을 알 수 있다. 그러므로 같은 용도의 용접재료라도 그 선택에 따라서 용접fume이 작업환경에 미치는 영향을 줄일 수도 있는 것이다. 전체적으로 용접부의 입열량이 증가하면서 총 FGR은 증가하고 또한 중금속 원소별 FGR도 총 FGR과 비례하여 증가하는 경향을 볼 수 있었다. 용접부에 입열량이 증가하면 발생하는 fume의 양이 증가하고 그 fume을 구성하는 원소들의 양이 증가하는 것은 당연한 결과이다. 그러나 이와 같이 발생하는 fume이 작업장의 농도에 영향을 미쳐 총 FGR이 가장 낮은 외산 C 용접 와이어 경우 입열량이 320~800 J/mm일 때 단 10분의 용접으로 TLV의 5~18배에 달하고 있음을 알 수 있다. 총 FGR이 가장 높은 외산 A 제품인 경우는 TLV의 10~36배에 달한다는 결론에 도달할 수 있다. 인체에 직접적인 유해인자를 제공하는 중금속 원소의 FGR을 살펴보면, Fig. 3은 각 용접재료별 입열량에 따른 크롬 발생량을 나타낸 것이다. 크롬은 Fig. 4에서 보듯이 스테인레스강 용접시 가장 많이 발생한다. 크롬 발생량이 가장 적은 국산 용접와이어를 예를 들어볼 때 800J/mm의 입열량으로 10분을 용접할 때 TLV의 약 2배 가량 초과되는 것을 볼 수 있다. 현실적으로 국내의 소규모 용접작업장에는 환기설비가 매우 미비하여 발생하는 fume을 충분히 처리하지 못하며 결국은 작업자들의 호흡기를 통하여 체내에 축적되는 것이다. Fig. 5는 망간의 발생량을 도시한 것으로 최근 망간중독에 의한 직업병 발병사례가 보고되어 큰 문제가 되고 있는 원소이다. 그러나 그림에서 보듯이 망간이 가장 적게 발생하는 국산 스테인레스강용 와이어도 TLV의 5배가 넘으며 연강용은 약 20배 가량이 초과되는 결과를 보여주는 바와 같이 망간의 경우는 일반 연강 용접의 경우, 더 큰 문제가 됨을 알 수 있다. Fig. 6과 Fig. 7은 니켈 및 몰리브덴의 발생량을 나타내는 것으로 이는 크롬 및 망간에 비하여 매우 낮은 수치를 보여준다.

이와 같은 결과를 비추어볼 때 사회적으로 문제가 되고 있는 크롬 및 망간은 사용재료에 따라서 발생량이 타 금속에 비하여 현저히 많으므로 작업자의 건강장해를 일으키는 주원인이 되어왔으며, low fume 용접재료가 개발되고는 있으나 현재까지 인체에 유해한 중금속의 양을 획기적으로 감소시킨 용접재료는 없으므로 작업자 및 사용자 모두 용접 fume에 대한 안전의식을 고취하여야 한다. 또한 용접작업장내의 작업자를 보호하기 위해서 환기장치는 작업공간, 시간 및 사용재료 등을 고려하여 충분한 용량으로 설계되어야 하며, 용접작업자는 자신을 보호하기 위해서 가능하면 개인 보호용구를 착용하는 것이 바람직하다.

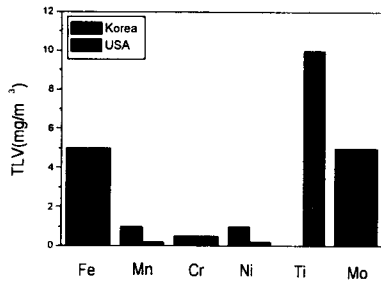


Fig. 1 Comparison of threshold limit values regulated by between MOL in Korea and ACGIH in USA

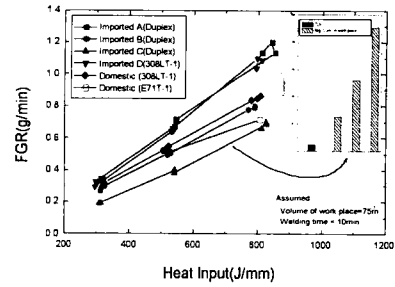


Fig. 2 The variation of total fume generation rate(FGR) in the flux cored arc welding as a function of heat input

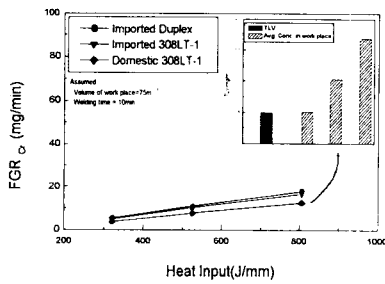


Fig. 3 The variation of  $FGR_{Cr}$  in the stainless steel flux cored arc welding as a function of heat input

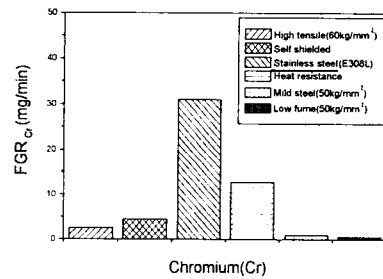


Fig. 4 The comparison of  $FGR_{Cr}$  among different welding consumables

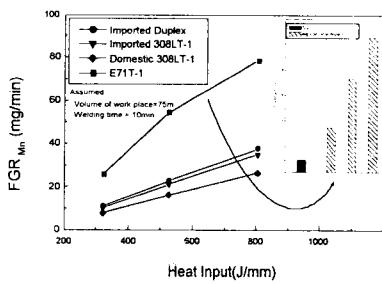


Fig. 5 The variation of  $FGR_{Mn}$  in the stainless steel flux cored arc welding as a function of heat input

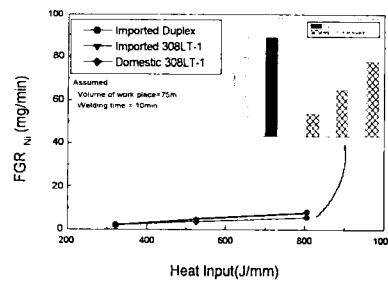


Fig. 6 The variation of  $FGR_{Ni}$  in the stainless steel flux cored arc welding as a function of heat input

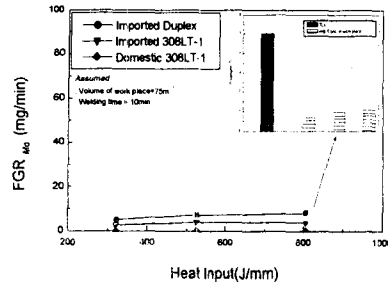


Fig. 7 The variation of  $FGR_{M10}$  in the stainless steel flux cored arc welding as a function of heat input

### [참고문헌]

- 1) American Industrial Hygiene Association : Welding Health and Safety Resource Manual, pp. 5-7 (1984)
- 2) 이채필 : 최근 직업병 발생동향과 산업 보건 정책방향, 용접관리대책, 제 30회 산업 안전보건세미나, 산업안전공단, pp. 5-10 (1997)
- 3) 노동부 : 노동부고시 제 91-21호, 1991