

Stainless Steel 용접 Fume의 중금속 원소 거동에 관한 연구

A Study on the Behavior of Heavy Metal Elements in Stainless Steel Welding Fume

채현병, 김정환

한국생산기술연구원

1. 서론

스테인레스 강의 용접작업에서는 크롬을 비롯한 기타 유해성 중금속 원소들이 함유된 흠이 발생하게 되는데 이들은 작업자들의 건강에 많은 영향을 미치는 것으로 보고되어 있다. 최근 국내에서는 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 있는 실정이며 작업자와 사용자 모두 용접흠에 대한 인식의 전환이 요구되는 때이다. 이렇듯 스테인레스 강의 용접시 발생하는 흠은 그 총량도 중요하지만 각종 직업병을 유발시키는 각 중금속 원소들의 발생량을 고찰하는 것이 매우 중요하다.

따라서 본 연구에서는 스테인레스 강의 아크용접시 발생하는 흠에 대한 총 흠 발생량 및 중금속 원소들의 발생량을 측정 평가하여 인체에 유해한 크롬, 니켈 및 기타 중금속 원소들의 발생동향을 고찰하였다. 또한 이들 원소들의 발생원을 규명하기 위하여 흠 발생량에 영향을 미치는 용접와이어 및 모재의 상대적인 영향을 비교 분석하였다.

2. 실험방법

실험에 사용된 용접재료는 $\phi 1.2\text{mm}$ 의 flux cored wire로써 국산 1종, 외산 4종의 스테인레스강용으로 모재는 두께 10mm의 STS 304를 사용하였다. 용접은 125A(22V)의 저전류, 180A(25V)의 중전류 및 230A(30V)의 고전류로 나누어 입열량 증가에 따른 발생경향을 관찰하였으며, 또한 발생한 용접흠의 중금속 원소 분석에는 ICP-OES를 사용하였다. 총 흠 발생량 측정은 1999년 12월 27일부로 한국생산기술연구원에서 제안한 개정안이 채택되어 개정된 한국산업규격(KS D 0062)에 따라 수행하였으며 중금속 원소의 화학분석 시료는 cellulose membrane filter를 사용하여 채취하였다.

흠 발생량에 대한 용접와이어 및 모재의 상대적인 영향을 비교하기 위해서 국산 1종의 용접재료를 STS 304모재와 SS 400 연강 모재에 용접하여 두 경우 발생하는 크롬량을 비교하여 고찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1은 실험에 사용된 스테인레스강용 flux cored wire의 총 흠 발생량을 나타낸 것이다. 제조기업에 따라서 용접와이어 성분 및 제조공정에 차이가 있으므로 총 흠 발생량에 차이가 발생하는 것을 관찰할 수 있었다. 총 흠 발생량이 가장 큰 것은 외산 A사 제품과 외산 D사 제품으로서 총 흠 발생량이 가장 적은 외산 C사에 비하여 약 2배에 달하는 것을 알 수 있다. 그러므로 같은 용도의 용접재료라도 그 선택에 따라서 용접흠이 작업환경에 미치는 영향을 줄일 수도 있는 것이다. 전체적으로 용접부의 입열량이 증가하면서 총 흠 발생량은 증가하고 또한 중금속 원소들의 발생량도 총 흠 발생량과 비례하여 증가하는 경향을 볼 수 있었다. 용접부에 입열량이 증가하면 발생하는 흠의 양이 증가하고 그 흠을 구성하는 원소들의 양이 증가하는 것은 당연한 결과이다. 그러나 모든 원소들이 양의 증가에 따라서 흠에서 차지하는 함량비가 비례하여 증가하는 것은 아니다. 스테인레스강의 가장 많이 함유된 합금원소인 크롬은 Fig. 2와 Fig. 3에서 보여지듯이 입열량에 따라 그 양과 함량비가 동시에 증가하지만 Fig. 4와 Fig. 5의 타이타늄이나 Fig. 6과 Fig. 7의 몰리브덴과 같은 경우는 입열량에 따라 그 양은 증가하지만 흠에서의 함량비는 오히려 감소하는 경향을 볼 수 있었다. 이와 같은 결과를 나타내는 가장 큰 원인으로서는 각 원소들의 vaporization energy의 크기가 다른 이유를 들 수 있다. 예를 들어 vaporization energy가 작은 원소는 적은 입열량에서도 증발하기가 쉽기 때문에 입열량 증가에 따라 흠을 구성하는 비율이 증가하는데 반하여 vaporization energy가 큰 원소들은 그 양은 증가하지만 상대적으로 함량비는 감소되는 결과를 낳는다. Table 1은 본 연구에서 분석한 원소들의 vaporization energy를 나타내었다. 각 원소들을 vaporization energy의 크기 순으로 나열하여 보면 망간 < 크롬 < 철 < 니켈 < 타이타늄 < 몰리브덴 순으로 열

거할 수 있다. 본 연구에서 사용된 용접재료에서는 위의 순서대로 각 원소들의 함량비 증가량이 일치하는 것은 아니나 니켈의 vaporization energy가 370.4kJ/mol이고 타이타늄은 421kJ/mol임을 볼 때 vaporization energy가 약 400kJ/mol의 원소를 기준으로 그 이하인 원소는 입열량에 대해 발생량 뿐만 아니라 흡내 함량비도 함께 증가하며 이상인 경우는 양은 증가하지만 흡내 함량비는 감소하는 경향을 보여준다.

Fig. 8은 철의 발생량을 나타낸 것으로 스테인레스 강이라도 70%이상은 철로 이루어져 있기 때문에 다른 원소들에 비하여 현저히 높은 발생량을 나타내는 것을 관찰할 수 있었다. Fig. 9는 망간의 발생량을 도시한 것으로 최근 망간중독에 의한 직업병 발병사례가 보고되어 큰 문제가 되고 있는 원소이다. 그러나 그림에서 보듯이 스테인레스 강의 용접시에는 일반 연강용접보다 망간의 발생량이 현저하게 적은 것을 관찰할 수 있어 망간의 경우는 일반 연강용접의 경우, 더 큰 문제가 됨을 알 수 있다.

기존의 연구에 의하면 SMAW에서 총 흡 발생량에 대해 용접봉은 약 85~90%, 그리고 모재는 10~15%의 범위에서 영향을 미친다고 보고되어있다. GMAW 및 FCAW 공정에서는 고전류를 사용하기 때문에 모재의 가열이 더욱 심화된다. 따라서 SMAW에 비하여 흡 발생량에 대해 모재에서 발생하는 흡의 양이 입열량이 증가할수록 점차 증가하는 경향을 보였지만 그 양에 대해서는 Fig. 10과 같이 약 10~16%로 SMAW과 비교하여 거의 같은 결과를 나타내었다. 본 실험은 스테인레스 용접와이어를 이용하여 STS 304 모재와 크롬이 함유되지않은 SS 400의 연강모재에 용접을 수행하여 발생하는 흡에서 크롬량을 측정 비교하여 흡 발생량에 미치는 영향정도를 평가하였다.

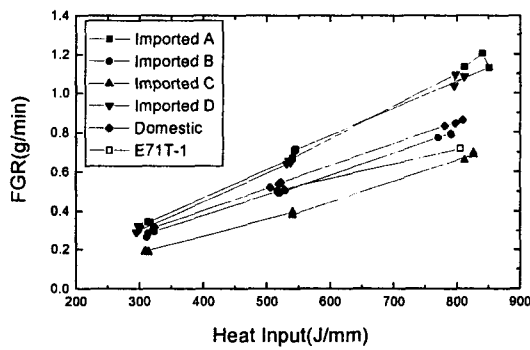


Fig. 1 The variation of total fume generation rate(FGR) of the stainless steel flux cored arc welding as a function of heat input

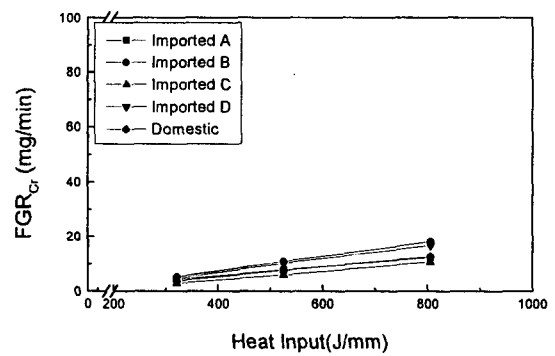


Fig. 2 The variation of FGR_{Cr} of the stainless steel flux cored arc welding as a function of heat input

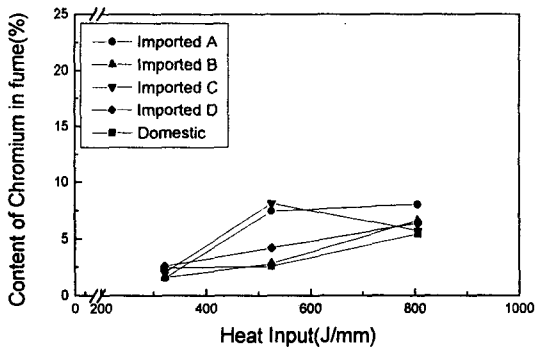


Fig. 3 The variation of chromium content in the stainless steel flux cored arc welding fumes as a function of heat input

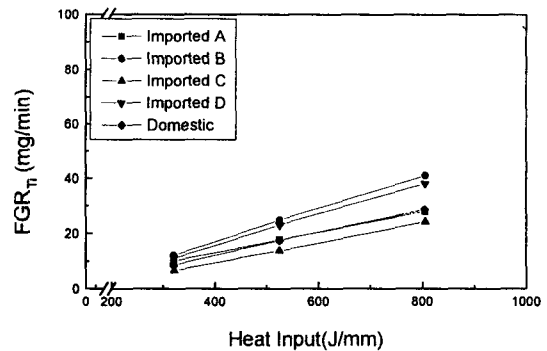


Fig. 4 The variation of FGR_{Ti} of the stainless steel flux cored arc welding as a function of heat input

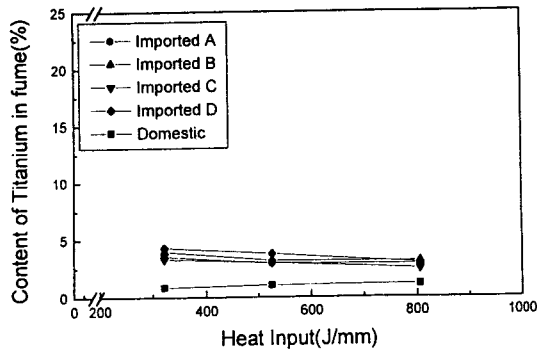


Fig. 5 The variation of titanium content in the stainless steel flux cored arc welding fumes as a function of heat input

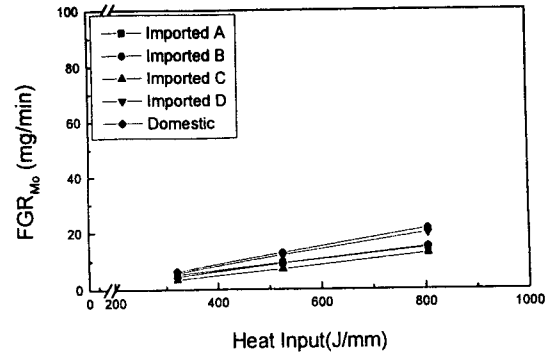


Fig. 6 The variation of FGR_{Mo} of the stainless steel flux cored arc welding as a function of heat input

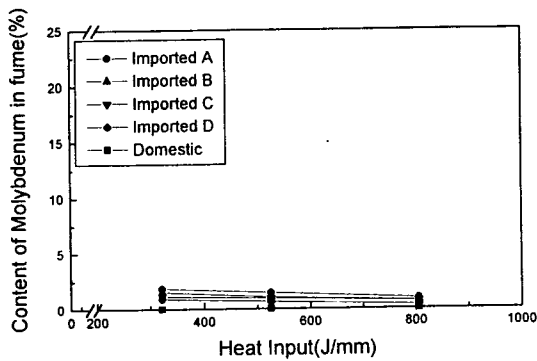


Fig. 7 The variation of molybdenum content in the stainless steel flux cored arc welding fumes as a function of heat input

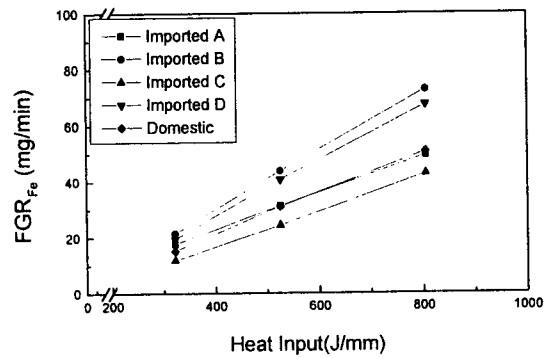


Fig. 8 The variation of FGR_{Fe} of the stainless steel flux cored arc welding as a function of heat input

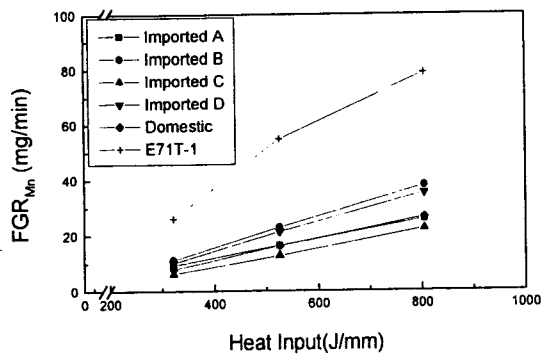


Fig. 9 The variation of FGR_{Mn} of the stainless steel flux cored arc welding as a function of heat input

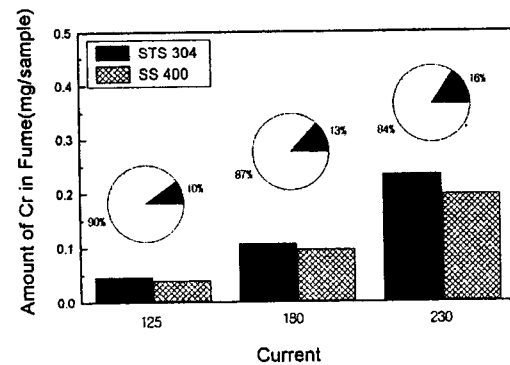


Fig. 10 Relative input of welding consumable and base metal on the amount of fume generated by comparing the amount of chromium in the fumes generated by welding the stainless steel wire on the STS 304 and SS 400 base metals

Table 1 Vaporization energy of elements employed in this study

Element	Mn	Cr	Fe	Ni	Ti	Mo
ΔH_v (kJ/mol)	226.00	344.30	349.60	370.40	421.00	598.00