

技術講座

기술강좌를 시작하며,

'98년도부터는 학회지내에 용접기술과 관련된 분야중 학계나 산업계에서 관심이 큰 기술에 대해 소개하는 기술강좌를 개설하고자 합니다. 기술강좌의 주제는 용접기술과 관련된 최근의 기술동향이나 학계나 산업에서 개발되거나 도입된 용접기술이면 좋을 것으로 생각합니다. 또한 이와 더불어 용접기술을 적용함에 있어서 겪은 문제점과 대책 등에 대한 소개는 관련 분야에 종사하는 회원들의 직접적인 도움이 될 수 있어 매우 효과가 클 것으로 기대됩니다. 이러한 기술강좌를 통해서 용접학회 전 회원들의 용접기술에 대한 이해를 높이고 이를 통해 학계나 산업계의 용접기술을 한단계 더 높일 수 있는 계기가 될 수 있도록 회원 여러분의 적극적인 협조와 노력을 부탁드립니다.

〈편집위원회〉

용접 Fume 저감을 위한 용접재료의 개발동향

한 종 만

Review on Flux Cored Wire Development for Welding Fume Reduction

Jong Man Han



한종만/대우중공업
(주)선박해양기술연
구소/1956년생/소재
개발 및 용접야금

1. 배 경

최근 포항공단 내 철 구조물 용접작업자가 Mn에 의한 뇌병변이 국내 최초로 발견되어 CO₂ 용접시 발생하는 Mn Fume에 기인한 것으로 의심을 하

고 있으며, 이 문제가 언론을 비롯한 관련기관에서 쟁점화 된 바가 있지만 확실한 결론이 도출된 것으로는 보이지 않는다. 본고에서는 CO₂ 용접시 Fume의 발생 기구 및 이의 영향에 대한 검토와 용접 Fume을 줄일 수 있는 용접재료 측면에서의 대책과 현황에 대해 검토하고자 한다.

2. 용접 Fume의 발생기구 및 그 영향

2.1 용접 Fume의 발생기구

Arc 용접에 있어 Arc는 수천 도의 온도이고, 용접봉이나 Wire의 선단 이행중의 용적 및 용융지의 표면에서는 금속증기 또는 Flux 등을 구성하는 물질의 증기가 발생한다. 이 증기가 Arc의 주변공기층으로 방출되면 급속도로 냉각, 산화되며, 극히 미세한 고체의 입자로 되어 고온의 용접부위로부터 상승기류가 함께 연기로 되어 상승하는데 이를 용접 Fume이라고 한다. Fume의 개별입자는 대단히 미세한 구상에 가까운 형상을 하고 있으나, 공기 중에 부유하는 상태에서는 개별입자가 다수 응집되어 보통 0.1 μ ~수 μ 크기의 2차 입자를 형성한다. 일반적으로 Fume이라고 하는 것은 주로 고온 물질에서 증발되는 승화된 증기가 응축됨에 따라 생기는 공기중의 부유미립자(2차 입자)를 말한다.

Fume의 조성은 증기압이 높은 성분 즉, 증발하기 쉬운 성분일수록 Fume 중에 농축되기 쉽고, Fume 조성은 항상 용접재료나 용접금속과는 같지 않다는 점에 유의해야 한다. 국산과 일산 Flux Cored Wire를 이용하여 CO₂ 용접 시 발생하는 Fume을 다량으로 채취하여 화학 분석한 결과를 표 1에 표시한다. 강의 용접에서는 산화철이 주요성분으로 약 40%를 차지하고 있으며, 알칼리(Na₂O)가 약 24% 함유되어 있으며, 이중 문제가 되고 있는 MnO 함유량은 약 15%를 보이고 있다.

국내 산업체 현장에서 사용중인 Flux Cored Wire의 Fume 발생량은 1.2 ψ 의 경우 표준용접조건(280A)에서 약 800~900mg/min 수준이나 1.4 ψ 는 표준조건이 350A에서 1200~1300mg/min으로 나타나 1.2 ψ 에 비해 약 50% 높은 발생량을 보이고 있

다. 이것은 Wire의 직경이 증가함에 따라 용접전류가 상승하며, 이에 따라 Fume 발생량은 용접전류가 거의 직선적으로 비례하여 증가되기 때문이다.

2.2 용접 Fume의 인체에 미치는 영향

용접 Fume에 포함된 Mn분진이 인체내로 흡입되면 비교적 배설은 빠르게 진행되면, 췌장, 뇌사 후체에 다량 축적되나 위장관에서의 흡수율은 낮다. 급성중독으로는 철흡수 저해로 인한 증상이 나타나며, 비교적 저 농도의 산화망간을 흡입할 때 폐렴이 생기며, 만성중독으로는 중추신경장애가 생긴다. 특히 망간화합물은 간뇌에 선택적으로 작용하여 추세의운동신경 계통에 침범되었을 때 임상 증상이 나타난다.

망간에 의한 건강장애는 주로 만성중독에 의한 중추신경계 장애를 초래하여 파킨슨씨병 유사한 소견을 나타내며, 초기증상으로는 식욕부진, 수면장애, 기억력 및 집중력 장애, 탈력감, 하지경련, 말초의 마비나 통증 등 불특정 다수의 증상이 나타나고, 중독이 진행될 경우 근육의 이상긴장, 사지나, 몸의 진전, 언어장애, 돌진증, 자세이상, 소지증 및 손가락의 사용에 장애가 오게되는 것으로 알려져 있다.

3. 용접재료에서 Mn 역할 및 첨가량

CO₂ 용접재료인 Flux Cored Wire는 합금원소가 나중의 분말형태로 미세화 되어 Flux로 첨가된다. 이러한 Flux는 용접시 Arc열에 의해 용융되어 대부분 용착금속으로 혼입되며, 일부는 용융금속과 피복재의 반응에 의해 Slag로 되고, 그 중 일부는 중

표 1. 용접 Fume의 구성성분

용접재료	용접조건	화 학 성 분(%)								
		Na ₂ O	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	FeO	ZnO	MgO
국산 FCW	39V, 450A	24.22	6.12	2.73	0.17	1.83	14.54	41.56	8.82	-
일산 FCW	44V, 450A	7.77	7.48	2.70	0.04	2.72	19.67	39.87	10.94	8.82
TLV 기준 (mg/m ³)		-	-	-	5	2	5	5	5	10

기상 상태에서 응축되면서 산화물 형태로 응집되어 Fume으로 발생된다.

통상 용착금속의 기계적 성질(인장 및 충격치)은 대상 모재의 물성보다 높게 설계되어 진다. Flux Cored Wire를 이용한 CO₂ 용접에서 용접부의 기계적 성질을 만족시키기 위해 첨가되는 주요 합금원소는 Mn, Si, Ni 등이 있으며, 이들 합금원소의 첨가량에 의해 용접부의 강도 및 인성이 결정된다. 이러한 Mn, Si, Ni 등의 합금원소는 용접재료 중 Wire Strip에 부분적으로 함유되고, 대부분은 Flux에 분말형태로 첨가된다.

특히 Mn은 용착금속의 주 탈산, 탈황제로 작용하며, 용착금속의 "S"와 결합하여 균열저항성과 인장강도 및 충격인성을 향상시킨다. Flux Formulation시 균열방지 목적 및 탈산과 물성확보를 위해 용착금속 중에는 Mn 성분이 1.2-1.5wt% 정도 함유되어져야 하며, 이를 만족하기 위한 Flux중의 Mn 함유량(Fe-Mn 분말)은 2.2-2.7wt% 정도가 되어야 한다.

현재의 용접재료의 제조공정에서 Mn은 용접성을 확보하기 위한 필수적인 원소이며, Fume 중의 Mn 함유량을 감소시키기 위해서는 Wire Strip의 Mn 함량 증대, Fe-Mn의 입도 조절 및 대체합금(Ni, Cr 등)의 첨가 등이 필요하나 이에 따른 기술적인 문제

와 용접재료의 원가상승 등의 문제가 대두된다.

4. 용접 Fume 저감을 위한 대책 및 현황

위에서 검토한 바와 같이 용접시 Fume 발생은 피할 수 없는 문제이며, 또한 용접재료 측면에서도 문제가 되고 있는 Mn 함량을 줄이는 것은 불가능한 실정이다. 따라서 용접으로 인한 용접 Fume의 피해를 줄이는 방법은 용접 Fume 발생량 자체를 줄이는 것이 최선의 방안이라고 생각된다. 이와 더불어 용접 Fume의 인체에 미치는 영향을 줄이기 위해서는 Fume 입도 조절을 통해 인체로 흡입되기 어렵게 Fume의 입도를 0.5 μ 이하로 미립하는 방안과 5 μ 이상으로 크게 하는 방안도 고려할 필요가 있다.

최근 일본 용접재료 제조회사에는 기존 용접재료에 비해 용접 Fume이 저감된 용접재료가 개발되어 상용화되고 있고, 또한 국내에서도 관련업체에서 개발되어 현장 적용이 진행되고 있으며, 향후 그 사용량이 증가할 것으로 예상되고 있다. 용접 Fume이 저감된 용접재료가 널리 사용되면 국내 산업계 현장의 작업장 환경 개선으로 용접작업자의 건강에서 커다란 기여를 할 것으로 기대되고 있다.