

## 용접부의 부식특성과 용접공정에서 발생하는 유해물질에 관한 연구

### A study on the corrosion characteristics of weldment and harmful pollutants in welding process

윤영복, 이철구

서울산업대학교 기계공학과 & 친환경소재제품인력양성센터

**ABSTRACT** This paper reviews corrosion characteristics of welded in the area of 409 Stainless Steel, Aluminium and Carbon steel. The effects of alloying elements and welding conditions on the intergranular-corrosion in weldment of the 409 stainless steels(SS) were investigated. And then this was to investigate factors affecting the composition and concentrations of fumes generated from various types of welding processes. It is also suggested that the direct relationship between the corrosion characteristics and welding type be clarified by experimental and analytical results.

Key Words : Corrosion resistance, Tafel test, Composition and concentration of welding fumes,

#### 1. 서 론

현재 각종 자동차, 수송기기, 항공기의 경량화를 위한 기술 개발이 활발히 진행되고 있으며 이를 위해 알루미늄합금과 마그네슘합금 등 경량합금 부재의 적용이 빠른 속도로 확대되고 있다.<sup>(1)</sup> 뿐만 아니라 실생활에서는 배관용접에 사용되는 기술 또한 빠르게 향상되고 있다. 이러한 각종 기기 및 구조물의 조립은 용접 공정에 의해 이루어지는데 용접법은 기계 구조물 제작 작업의 용이성, 구조물의 단순화 등 많은 장점을 가지고 있다. 그러나 용접은 국부적으로 단시간에 가열, 냉각되기 때문에 용접부에서는 변형과 수축이 발생하고, 용접한 재료에 잔류응력이 생겨 구조물의 균열 발생 또는 균열 전파의 안전성에 악영향을 미치게 된다. 이처럼 각종 용접과 배관 용접은 기술적 경제적 그리고 환경적 측면에서 개선해야 할 많은 문제점을 지니고 있다.<sup>(1-2)</sup>

용접공정에서 발생하는 유해인자는 매우 다양하며 크게 흠(Fume) 및 가스(gas)와 같은 유해물질과 자외선, 소음 등과 같은 물리적 인자로 분류할 수 있다. 용접 작업 시 모재와 용접봉이 가열되어 금속 증기가 공기 중으로 방출되는데

이때 방출된 금속 증기는 공기 중에서 응축됨으로써 흠이 형성된다. 용접 중에 발생하는 유해물질의 종류와 농도는 매우 다양한 요인에 의해 결정된다.<sup>(3)</sup>

본 연구에서는 용접부의 부식특성에 관한 연구 동향과 용접 시 발생된 가스가 인체에 미치는 영향에 대하여 정리하고 각각의 문제점을 되짚어 보고자 한다.

#### 2. 배관 용접부의 부식특성

Cho et al<sup>(4)</sup>은 409 스테인레스강의 용접부 부식에 미치는 합금원소와 용접조건에 대한 영향을 연구하였으며, Yoo et al<sup>(1)</sup>은 알루미늄합금의 용접부에서 발생하는 부식특성에 대해 연구하였다. 또한 You et al<sup>(2)</sup>은 상·하수도 배관 용접부의 부식피로 특성을 정량화하기 위해 용접방법 및 용접부 형상에 따른 부식피로시험을 실시하여 용접부위에 대한 성장거동 및 피로수명을 평가하였다.

이들의 연구를 살펴보면 스테인레스강의 경우 얇은 두께의 1.5mm 판재에서 동일 강종의 용접부 입계부식에 미치는 용접조건에 미치는 영향은 무시할

Table 1 Experimental conditions of immersion test

Specimen	BM, FSW(SZ), MAW-4040(WM), GMAW-5356(WM)
Size (mm)	30×10×4
Time(hour)	24, 48, 120
Etching (1min at 95°C)	945ml reagent water + 50ml nitric acid + 5ml hydrofluoric acid
Test solution	57g sodium chloride + 10ml hydrogen peroxide + 1.0l reagent water

Table 2 Fatigue test according to welding methods

Method	Stress amplitude(MPa)	
	Fecl <sub>3</sub> 6%	NaCl 3.5%
Base metal	133	149
SMAW	133	145
FCAW	134	137
SAW	121	135

정도였으며 비안정화강의 경우에는 C와 N이 용접부 부식에 영향을 미치는 것으로 나타난다. 또한 409 스테인레스강의 경우 용접부에서 입계부식의 저항성은  $(Ti+0.75Nb)-(0.2+4(C+N))$ 의 값에 의존함을 알 수 있다. 이에 대한 결과는 Fig. 1에 나타나 있다.

알루미늄 합금의 용접은 주로 GMA 용접과 마찰교반용접이 사용된다. GMA 용접은 모재에 연속적으로 용가재(Filler wire)를 공급함으로써 아크열에 의해 용가재를 녹여 용융금속을 만들고 실딩 가스에 의해 용착금속을 외부로부터 보호하는 것이다. 마찰교반용접은 마찰열을 재료 내에 역상유동에 의해 접합하는 고상접합이다. Fig. 2는 이 두 용접법의 부식특성의 평가와 비교, 검토를 위해 전기 화학적 분석실험방법인 Tafel 방법으로 실시한 결과이다. Table 1과 같은 조건에서 전류 밀도는 FSW(마찰교반접합부)가 가장 낮게 측정되었고 BM(모재), GMAW(가스메탈아크 용접부) 순으로 증가하였다. 시편을 24h

48h, 120h에 침지에 부식시험 후 시편은 모재가

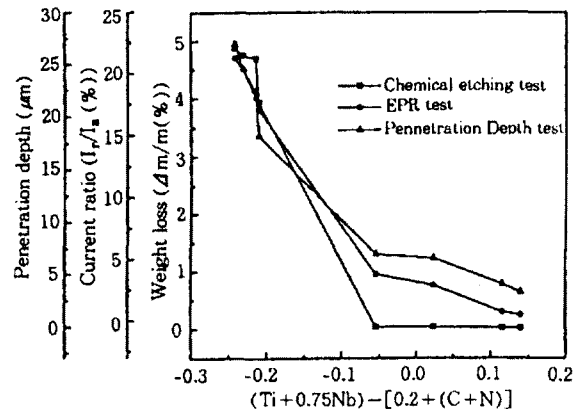


Fig. 1 Effect of  $(Ti+0.75Nb)-(0.2+4(C+N))$  on the weldment corrosion resistance of 409 stainless steels

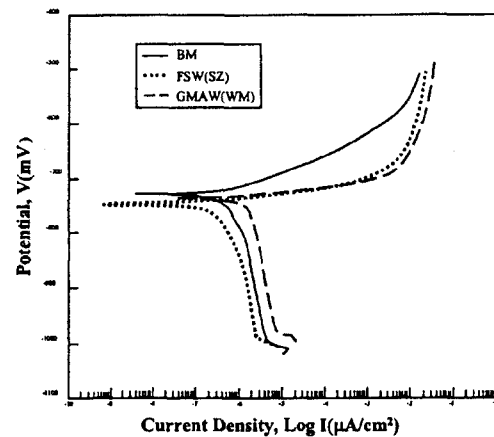


Fig. 2 Tafel polarization curves for Al 6061 alloys in 3.5% NaCl solution at various welding method

가장 적은 부식을 나타내었고 GMA 용접부 시편은 갈바닉 부식 현상을 보이고 있다. 또한 4000계열의 용접재료를 사용한 GMA 용접부보다 5000계열 용접재료를 사용한 GMA 용접부가 더 심하게 부식된 것을 알 수 있다. 부식 생성물의 XRD 분석결과, 모든 시편에서 Al(OH)<sub>3</sub>로 나타났다.

You et al<sup>(2)</sup>의 연구에서 사용된 재료는 상하수도 배관에 사용되는 탄소강 (JIS G 3456)을 모재로 사용하였다. 용접은 V-groove의 양측 경사각이 40도가 되도록 시험편을 가공하여 용접을 실시하였으며, 수동용접(Shielded Metal Arc Welding : SMAW), 반자동 용접(Flux Cored

Arc Welding : FCAW), 자동용접(Submerged Arc Welding : SAW)으로 각 용접방법으로 실험하였다. 실험방법은 배관재 부식을 알아보기 위해 용접별 시험편을 6% FeCl<sub>3</sub>, 3.5% NaCl에서 90일간 부식후 피로시험을 수행하였다. 용접방법에 따른 부식피로시험 결과 6% FeCl<sub>3</sub> 경우 고응력에서는 모재가 저응력에서 SMAW용접법이 가장 높은 피로수명을 나타내고 있었고 3.5% NaCl용액에서는 고응력에서 SMAW용접재가 저응력에서는 모재가 가장 높은 피로수명을 나타내었다.

### 3. 용접공정에서 발생한 유해물질

용접 흡 중에는 다양한 종류의 금속이 존재하는데, 일반적으로 철(Fe), 망간(Mn), 납(Pb), 아연(Zn), 니켈(Ni), 크롬(Cr), 구리(Cu) 및 카드뮴(Cd) 등으로 알려져 있다.<sup>(3)</sup>

측정방법은 노동부 작업환경측정실시규정에 따라 유해물질 시료의 채취는 근로자의 호흡위치(근로자의 호흡기를 중심으로 반경 30cm)에서 이루어졌다. 조사대상 업체에서 사용하고 있는 용접봉 및 모재의 Mn 함량은 0.38 ~ 2%였고, 공기 중에 발생한 용접 흡의 Mn 함량은 피복아크 용접봉의 경우 2.5 ~ 4.0%, CO<sub>2</sub>아크용접의 경우 4.7% ~ 9.9%였다. 이와 같은 결과로 보아 용접봉 용착금속의 금속조성과 용접 흡의 금속조성은 차이가 있음을 알 수 있다. 이와 같이 모재나 용접봉에 함유된 Mn의 함량보다 용접 흡 중의 Mn의 함량이 높게 나타난 이유는 Mn의 증기압으로 비교적 높아 흡으로 발생하는 비율이 높기 때문이다.

철 구조물을 제조하는 세 업체에서 측정 시 총 흡 등의 공기 중 유해 물질 농도는 피복 아크 용접 및 서브머지 아크용접보다 CO<sub>2</sub>아크용접에서 훨씬 높았다. 즉 CO<sub>2</sub>아크용접은 피복 아크용접에 비해 공기 중 총 흡 농도 평균 6배, Mn 농도는 평균 15배, Zn 농도는 평균 7배 정도 높게 나타났다. 이 같은 결과는 용접공정에서 공기 중 흡 농도는 일반적으로 용접봉류 또는 방법에 따라 크게 좌우되는 것을 말해 준다. 밀폐작업장과 개방작업을 비교했을 때 Mn의 농도는 1.8배 높았다.

### 4. 결 론

실생활에 많이 사용되는 스테인레스강과 알루미늄

합금의 용접법, 마찰교반용접부와 GMA 용접법, 상수도 배관용접에 쓰이는 수동용접, 반자동용접, 자동용접별 부식특성을 파악하였다. 뿐만 아니라 용접 공정에서 공기 중으로 발생하는 공기 중 용접흡 조성과 농도에 영향을 미치는 요인에 대한 조사연구를 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 409 스테인레스강의 용접부에서 입계부식 저항성은  $(Ti+0.75Nb)-(0.2+4(C+N))$ 의 값에 의존하였으며, 용접부 부식의 억제에 이 값이 0.024일 때 미흡하였으나, 0.12 이상일 때는 효과적이었다.
- 2) 알루미늄합금의 Tafel 분극 시험 결과, 마찰교반용접부가 가스메탈아크용접보다 더 우수한 부식저항성을 나타내었다. Immersion 시험 결과는 5000계열 용접재료를 사용한 GMA용접이 가장 활발한 부식을 나타내었고 FSW 접합부가 가장 우수한 부식특성을 나타내었다. 부식 후 생성된 부식 생성물은 Al(OH)<sub>3</sub>로 확인되었다.
- 3) 상하수도 배관재 용접에서 용접방법에 따른 부식피로시험 결과 FeCl<sub>3</sub>수용액의 경우 모재에 비해 SAW가 약 9%정도 낮은 수치를 나타내고 있다. 또한 3.5% NaCl에서는 모재에 비해 SAW가 10%낮은 수치를 나타내었다.

### 참 고 문 헌

1. 윤병현, 노중석, 김홍주, 장웅성 : 알루미늄 합금 접합부의 부식 특성 연구, 대한용접학회 춘계 학술발표대회, 2004, pp. 293-295
2. 유형주, 박경동, 정주화 : 상하수도 배관재의 용접 부식피로특성 연구, 대한환경공학회 추계학술연구 발표회, 2006, pp. 1864-1871
3. 신용철, 이광용, 박승현, 이나루, 정지연, 박정근, 오세민, 문영한 : 용접공정에서 발생한 공기중 흡의 조성과 농도에 영향을 미치는 요인에 관한 연구, 한국산업위생학회지, 1997, Vol.7, No.2, pp.181-195
4. 조미자, 박상수, 김대룡 : 409 스테인레스강의 용접부 부식에 미치는 합금원소(C, N, Ti, Nb)와 용접조건의 영향, 한국부식학회지, 1997, Vol. 26 No. 2, pp. 75-88
5. S. P. Pednekar and R. H. Pugh, in Innovative ideas for controlling the decayingstructure (eds., V. Chaker), NACE, Houston, 1995, p. 215