

**탈황 부식 분위기별 6% Mo 슈퍼 오스테나이트 스테인레스 강  
GTA 용접부의 내식성 비교 평가**  
(Corrosion Resistance of GTA Weldments of 6% Mo Super  
Austenitic Stainless Steel in Various Media  
of Simulated FGD Environments)

임채선\*, 성희준, 백광기  
현대중공업(주), 산업기술연구소

## 1. 서론

유황 산화물(SO<sub>2</sub>) 배출에 대한 규제가 강화됨에 따라 신규로 건설되는 화력 발전 소용 탈황 설비 중에서 absorber, duct 등에는 6% Mo 슈퍼 오스테나이트 스테인레스 강을 적용하고 있다.

6% Mo 슈퍼 오스테나이트 스테인레스 강은 염화물의 농도가 높은 부식 환경에 적용되는 소재로서, pitting 및 crevice 부식에 대한 내식성을 높이기 위해 Cr, Mo 및 N의 함량을 높인 오스테나이트계 스테인레스 강이다. 6% Mo 합금의 용접재료는 고내식성 Ni계 합금을 적용하고 있는데, 이는 용착 금속의 응고 시 Mo 및 Cr 등 내식성 원소의 편석에 기인한 선택적 부식을 방지하기 위한 것이다.<sup>1-2)</sup>

본 연구에서는 탈황 설비용 6% Mo 슈퍼 오스테나이트 스테인레스 강의 적용에 필요한 내식성 평가의 일환으로, 서로 다른 3종의 고내식성 Ni계 용접재를 이용한 GTA 용접부에 대해 pitting 부식 저항성을 부식 분위기별로 비교 평가하였다. 이는 탈황 설비 각 부위의 pH, chloride 농도, 온도 등이 서로 다르기 때문에 다양한 분위기에서의 pitting 부식 현상을 고찰할 필요가 있기 때문이다.

## 2. 실험

본 연구에 사용된 모재 및 용접재의 화학 성분을 Table 1에 나타내었다. 사용된 용접재는 모두 상용 Ni계 합금으로서, 각각의 pitting 부식 저항 지수 (PREN)가 모두 모재 보다 5~20 정도 높다. 용접은 6mm<sup>t</sup> 열간 압연 판재에 3 pass 편면 GTA 용접을 실시하였다. 용접 변수는 Table 2에 요약한 바와 같으며, 용접된 시편은 bead를 제거한 후 15<sup>w</sup>×50<sup>L</sup>×6<sup>t</sup> mm<sup>3</sup> 크기로 절단하고 SiC 연마지 #220 까지 연마하였다. 각 용접부의 pitting 부식에 대한 내식성 평가를 위한 시험 용액의 조성은 Table 3과 같다. 임계 공식 온도(Critical Pitting Temperature: CPT)를 평가하기 위해서, 각 시험 용액에서 24 시간 주기로 5℃ 간격으로 온도를 증가 시키면서 침지 시험을 했을 경우 10mg 이상의 무게 감량을 나타내는 최고 온도를 CPT로 평가하였다.

## 3. 결과 및 고찰

탈황 설비용 재질 선택은 주로 pH, chloride 농도, 온도 등에 좌우되는데, 유황 산화물을 제거하는 absorber의 부식 환경은 pH가 1.0~6.5, chloride 함량은 100~200,000 ppm

에 까지 이르는 것으로 알려져 있다.<sup>3)</sup> 이 중 6% Mo 합금의 적용이 추천되는 부식 분위기는 pH가 1.0 이상, chloride 농도는 1,000~50,000 ppm 범위이다.<sup>3)</sup> 본 연구에서 사용된 4가지의 시험 용액 중에서 6% FeCl<sub>3</sub> 용액(# 4)은 스테인레스 강의 pitting 부식 시험에 일반적으로 사용되는 용액으로 chloride 농도가 매우 높으며, pH는 1.7~1.8 정도 이다. 또한 "Green Death"로 알려진 두 종류의 용액은 탈황 분위기를 재현한 모의 시험 용액으로, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>를 다량 함유하고 있어 pH가 1 이하로 낮은 용액 이다.

Fig. 1은 Table 3에 나타낸 4종의 용액별로 6% Mo 합금 모재의 pitting 부식 시험 결과를 나타낸 것이다. 용액별로는 23% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>를 함유하여 pH가 가장 낮은 시험 용액(#1) 하에서 가장 먼저 pitting이 발생하였으며, 나머지 용액하에서는 70°C 이상에서 나타났다. 그러나 7% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>를 함유한 시험 용액(# 3)이 임계 온도에서의 무게 감량이 가장 커서, 임계 공식 온도를 평가하기에 적당한 것으로 나타났다. Fig.2는 7%H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+3%HCl+1wt%FeCl<sub>3</sub>+1wt%CuCl<sub>2</sub> 용액(# 3)하에서 용접재별로 임계 공식 온도를 비교한 것으로, 용접재 (B)와 (C)를 적용한 용접부의 CPT는 70°C 이상으로 나타나 모재와 유사한 값을 나타내었다.

용접부에서 pit의 발생은 대부분 fusion line 부근의 unmixed zone에서 발생하였으며, 이 부분은 autogeneous 용착 금속과 동일한 미세 조직과 화학 조성을 갖게 되어 우선적으로 부식 당하는 것으로 알려져 있다.<sup>2)</sup> Pit의 성장은 Fig.3에서 보는 바와 같이, 용접재가 모재 보다 내식성 원소의 함량이 높음에도 불구하고 주로 용착 금속으로 진행되는 것으로 나타났다.

#### 4. 결론

- 1) 4종의 시험 용액 중에서 7%H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+3%HCl+1wt%FeCl<sub>3</sub>+1wt%CuCl<sub>2</sub> 용액이 탈황 설비용 6% Mo 합금 모재 및 용접부의 임계 공식 온도를 평가하기에 적당하였다.
- 2) 용접재별 pitting 부식 저항성은 Filler (B) > Filler (C) > Filler (A) 순으로 높았다.
- 3) 용접부에서 pitting의 초기 발생은 주로 fusion line 부근의 unmixed zone에서 나타났다.

#### 참고 문헌

- 1) G. Rabensteiner : Welding in the world, 27, (1989), 2.
- 2) A. Garner : Mat. Performance, 21, (1982), 9.
- 3) W. H. D. Plant : Werkstoff und Korrosion, 43, (1992), 293.

Table 1. Chemical compositions of 6%Mo SUS base metal and filler metals(wt.%)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Fe	Nb	W	N	PRE <sup>*</sup>
Base Metal	0.02	0.45	0.74	0.002	0.002	21.7	20.88	6.02	Bal.	-	-	0.23	48.5
Filler Metal	A	0.03	0.10	0.07	0.007	22.0	Bal.	9.08	3.86	3.38	-	-	52.0
	B	0.01	0.05	0.21	0.004	20.5	Bal.	14.25	2.39	-	3.06	-	67.5
	C	0.02	0.04	0.12	0.004	0.001	18.5	Bal.	16.5	3.6	-	4.05	-

\*) PRE (Pitting Resistance Equivalent) = %Cr + 3.3×%Mo + 30×%N

Table 2. Welding parameters used for manual GTA welding with filler alloys listed in Table 1.

Welding Current-Voltage	1 Layer : 105A-9V 2~3 Layers : 115A-10V
Welding Speed	5.6~9.7 cm/min
Heat Input	7.1~10.1 KJ/cm
Ar Gas Flow Rate	Torch : 10 ℓ/min Back Sealed : 20 ℓ/min
Groove Design	V-Joint (60° ), Root Gap : 3~4mm
Interpass Temp.	< 150°C

Table 3. Chemical compositions of corrosion test solutions.

No.	Test Solution	Remarks
1	23% $H_2SO_4$ +1.2%HCl+1% $FeCl_3$ +1% $CuCl_2$	ASTM G28B
2	11.5% $H_2SO_4$ +1.2%HCl+1% $FeCl_3$ +1% $CuCl_2$	"Green Death" solution
3	7% $H_2SO_4$ +3%HCl+1wt% $FeCl_3$ +1wt% $CuCl_2$	
4	6% $FeCl_3$	ASTM G48A

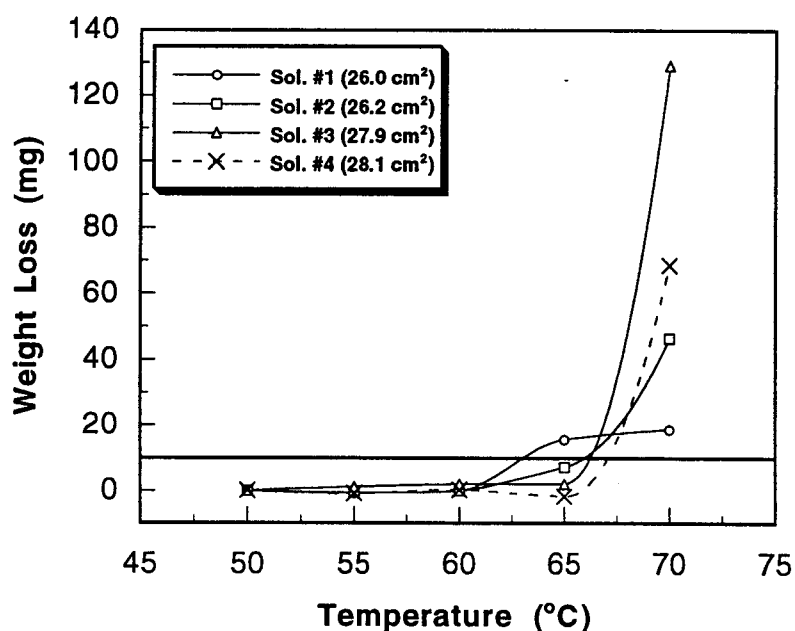


Fig.1 Weight loss/Temperature curves of base metal in various solutions. Surface area of test coupons are shown in the legend box.

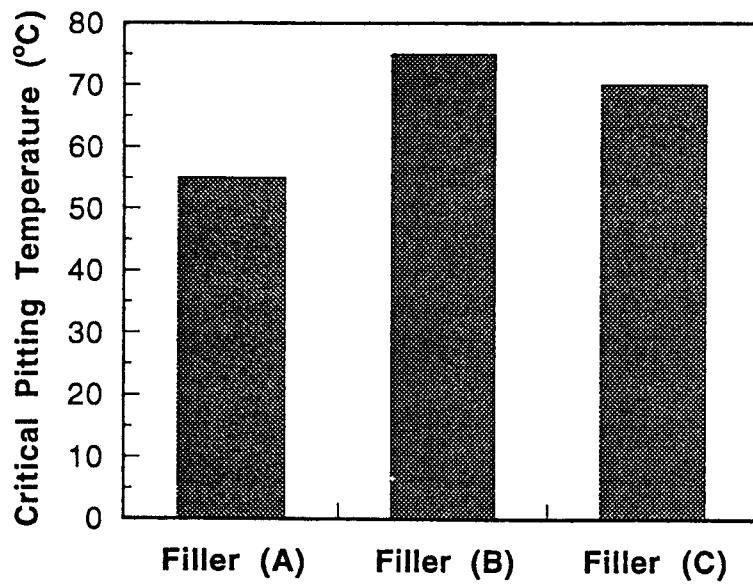


Fig.2 CPT test results performed on welded specimens in green death(7% $H_2SO_4$ +3% $HCl$ +1wt% $FeCl_3$ +1wt% $CuCl_2$ ) solution.

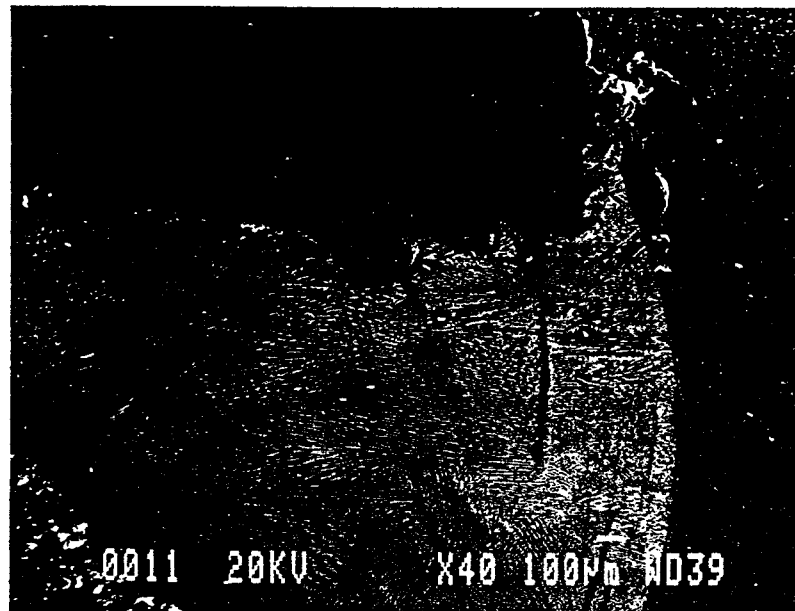


Fig.3 Pitting corrosion attack of 6% Mo super austenitic stainless steel welded with filler (C).