

해양구조물용 RE36강의 용접부 부식거동에 관한 전기화학적 특성에 관한 연구

An electrochemical study on the corrosion behavior of welding part of RE36 steel for marine structure

김성중*, 김진경**, 문경만***

* 한국해양대학교 기관공학과 대학원, ** 한국해양수산연수원 기관학과 교수,

*** 한국해양대학교 기계소재공학과 교수

1. 서론

최근의 해양개발플랫폼, 해양탐사, 해저자원탐사용 등의 해양구조물은 종래의 천해역, 은난역에 머무르지 않고 심해역, 한냉(빙)해역에까지 진출하고 있다. 그러나 이들 해양구조물은 파랑, 조류, 해수 등에 의한 가혹한 부식환경에 노출되어 있으며, 모래 등의 마찰에 의한 마모, 지진, 폭풍우 게다가 국한지에서는 빙하의 충돌 등 모든 기후조건에 견딜수 있어야 한다. 특히 고정식플랫폼 등은 한번 설치되면 15~20년 정도 사용되며, 대부분이 수면하에 위치하고 있기 때문에 설치후 용접부의 검사, 보수는 대단히 어려운 실정이며 또한 큰 비용을 필요로 한다. 그러한 구조물등이 손상 또는 파괴되었을 경우는 그에 따른 인적, 경제적 손실은 실로 막대할 것으로 사료된다. 이러한 구조물의 파괴사태중 상당 부분이 용접부와 관련된 사고인 것으로 사료된다.¹⁾ 용접부 관련사고의 일부는 용접부 미세부위별 전위차로 인해 갈바닉부식을 초래하게 되나 이에 따른 연구결과를 접하기는 쉽지 않다. 따라서 본 연구에서는 해양구조물용 강으로 사용되는 RE36강의 용접부 주위 부식특성에 미치는 용접 후열처리효과의 영향에 대해서 각 부위별 부식특성효과를 전기화학적 방법 등으로 비교·고찰하였다.²⁾ 본 연구결과는 해양구조물 및 선박의 설계시공시에 용접부 부식의 억제대책에 좋은 참고자료가 될 것으로 기대된다.

2. 시험재 및 실험방법

2.1 시험용 재료 및 용접조건

본 연구에 사용된 시험편은 길이 400mm, 폭 355mm, 두께 27mm인 RE36강으로 화학적 조성은 Table 1과 같으며, E80T1-K2, 지름1.2mm인 용접봉을 사용하여 FCAW을 실시하였으며, 용접조건은 Table 2와 같다.

Table 1. Chemical composition of RE36 specimen

Material	C	Si	Mn	P	S
RE36	0.17	0.45	1.26	<0.0027	<0.0008

Table 2. Welding Parameters

Pass No.	Welding process	Shielding gas	Filler metals		Current		V	Travel speed (cm/min)
			AWA class	Dia (mm)	Type & polarity	A		
1	FCAW	CO ₂	E80T1-K2	1.2	DCRP	180~240	23~29	10~20
2	FCAW	CO ₂	E80T1-K2	1.2	DCRP	220~280	25~32	20~30
3~	FCAW	CO ₂	E80T1-K2	1.2	DCRP	250~300	28~32	20~40

2.2 실험방법

RE36시험편을 시간당 80°C씩 증온하여 550, 600, 650°C에서 90분 유지한 후 냉각시키는 용접후열처리를 시행하여, as weld시험편과 전기화학적 측면에서 상호 비교·평가하였다. 각각의 시험편을 2000번까지 샌드페이퍼로 연마한 후 나이트라에칭 처리하여 용접부, 열영향부, 모재 부위별로 마이크로 비커스 경도기를 사용하여 경도를 측정하였고, 미세 각 부위별로 노출면적이 8mm²이 되도록 한 상태에서 자연전위를 420분동안 측정하였다. 분극실험은 백금전극을 대극으로, 기준전극은 포화카로멜 전극을 사용하였으며, 분극시험용 포텐쇼스타트는 미국 Gamry사의 CMS100 전기화학적 부식측정

*시스템을 사용하여 실시하였다. 그리고 면적이 0.123cm²인 알루미늄합금 희생양극을 사용하여 용접 금속(6.5cm²)과 해수용액에서 부식셀을 형성한 후 1주일 동안 양단간에 흐르는 양극발생 전류량 및 희생양극 소모량을 측정하여 상호 비교·검토하였으며, 실험장치 개요도는 Fig. 1과 같다.

2.3 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 RE36강을 E80T1-K2용접봉을 사용하여 FCAW용접한 후 용접후열처리를 시행하지 않은 시험편(이하 0℃로 표기)과 용접후열처리(550, 600, 650℃에서 90분 유지한 후 노냉)를 시행한 시험편의 경도분포를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 용접후열처리를 하지 않은 시험편이 용접후열처리를 시행한 시험편에 비해 전반적으로 높은 경도값을 나타내고 있음을 알 수 있으며, 또 열처리온도가 높아질수록 조금씩 경도값이 저하하는 경향을 나타내고 있다. 특히 열영향부에서는 0℃인 경우 311~319Hv정도의 높은 경도값을 나타냈으며, 용접후열처리온도가 550, 600, 650℃인 경우 각각 256~269, 243~244, 205~222Hv정도로 낮아지는 경향을 나타내고 있다. 그리고 용접후열처리유무에 무관하게 열영향부, 용착부, 모재부순으로 경도값이 낮아지는 경향을 알 수 있다.

Fig. 3은 용접후열처리 변수에 따른 각 미세부위별 420분동안 자연전위를 측정된 후의 부식전위를 나타낸 그래프이다. 그림에서 알 수 있듯이 0℃인 경우가 WM부에서 가장 귀한 -622mV(SCE전극기준)이고, HAZ부에서는 가장 비한 -650mV로 상호 전위차는 28mV정도임을 알 수 있다. 그리고 550, 600 및 650℃인 경우 각각 3mV, 7mV 그리고 4mV로 용접후열처리를 시행하지 않은 경우에 비해 상호간의 전위차가 현저히 저하되는 경향으로 미루어볼 때 각 미세부위별 갈바닉부식이 발생할 가능성이 줄어들 것으로 사료된다. 그리고 전체적인 경향은 WM부위가 가장 귀한 전위를 나타냈으며, BM부, HAZ부순으로 나타났다. 스텐레스강 용접부에서 발생하는 Weld decay 현상과 알루미늄 용접부에서 흔히 발생하는 현상과 유사하게 열영향부에서 가장 내식성이 열악한 특성을 나타내고 있음을 알 수 있었다.³⁾

Fig. 4는 용접부(모재부, 열영향부, 용착부포함)를 노출면적 6.5cm²로 하여 용접후열처리 변수에 따른 시간변화별 부식전위의 변화를 나타낸 그래프이다. 300분후의 자연전위를 볼 때 0℃에서 가장 비한 값을 나타냈으며, 550℃에서 가장 귀한 전위를 나타내고 있음을 알 수 있었으며, 용접후열처리를 시행한 시험편은 용접후열처리를 시행하지 않은 시험편에 비해 귀한 전위를 나타내는 것으로 보아 내식성이 다소 향상될 것으로 사료된다. Table 3은 타펠시험결과를 나타낸 표이다.

Stern-Geary의 식

$$i_{corr} = \frac{1}{2.3} \frac{I_{(applied)}}{\Delta \psi} \left(\frac{\beta_c \beta_a}{\beta_c + \beta_a} \right) \text{-----} (1)$$

이다. (1)식을 적용한 경우는 Table 3의 I_{corr}에서 I의 data이고, 음극반응의 농도분극이 지배될 때는 부식전류가 확산한계전류와 같게 된다. 이 때는 β_c가 대단히 크므로

$$i_{corr} = \frac{\beta_a}{2.3} \frac{I_{(applied)}}{\Delta \psi} \text{-----} (2)$$

로 된다. (2)식을 적용한 값이 Table 3에서 I_{corr}에서 II의 data라 할 수 있다. Fig. 5는 부식전류(I_{corr})를 (1), (2)식을 적용한 경우를 그래프의 횡축 1, 2로 표기하여 용접후열처리 변수에 따른 부식전류 값을 나타낸 그래프이다. 그래프에서 알 수 있듯이 (1), (2)식에 무관하게 0℃인 경우가 550~650℃로 용접후열처리를 시행한 경우보다 부식전류값이 크다는 사실을 알 수 있으며, 용접후열처리를 실시한 경우는 거의 유사한 부식전류값을 나타내고 있다는 사실을 알 수 있었다. 그리고 Table 3에서의 부식속도도 용접후열처리를 시행한 경우가 용접후열처리를 시행하지 않은 경우에 비해 감소했다는 사실을 알 수 있었다. 그리고 희생양극에 의해서 음극방식하였을 경우에는 음극(모재부, 열영향부, 용착부 포함)과 양극의 면적비는 53:1로 실험하였다. Fig. 6은 정지중인 용액에서 Al양극과 시험편 사이에 흐르는 양극발생 전류량의 변화를 나타낸 그래프이다. 그래프에서 알 수 있듯이 용접후열처리를 시행하지 않은 시험편이 용접후열처리를 시행한 경우에 비해 훨씬 높은 양극발생 전류량을 나타내고 있음을 알 수 있으며, 용접후열처리를 시행한 시험편은 큰 차이는 나타나지 않으나 600℃에서 가장 높은 양극발생 전류량을 나타냈고, 650℃, 550℃로 갈수록 낮은 양극발생 전류량을 나타내고 있음을 알 수 있다. 여기서 양극발생 전류량이 적다는 것은 양극소모량이 작다는 것을 추측할 수 있으며, 이는 내식성이 우수하다는 것을 의미하는 것으로 사료된다. Fig. 7은 용액이 유동중

인 경우 Al양극과 시험편 사이에 흐르는 양극발생 전류량의 변화를 나타낸 그래프이다. 정지중인 경우와 비교해볼 때 전체적으로 양극발생 전류량이 다소 높다는 사실을 알 수 있다. Fig. 8은 용액의 유동과 용접후열처리 변수에 따른 Al양극의 소모량을 나타낸 그래프이다. 전체적으로 보아 정지중인 경우가 유동중인 경우에 비해 양극발생전류량이 작았으며, 아울러 Al양극 소모량도 용접후열처리 변수에 무관하게 적다는 사실을 알 수 있었다. Al양극발생 전류량이 가장 작았던 550℃에서 양극소모량 또한 가장 작다는 사실로 미루어 보아 최적의 용접후열처리 온도일 것으로 사료된다.

Table 3. Results data of Tafel test

		I _{corr} (A/cm ²)		β_a (mV/decade)	β_c (mV/decade)	R _p (ohm · cm ²)	Corr' Rate (mm/yr)
		I	II				
0	All	1.937 × 10 ⁻⁵	2.27 × 10 ⁻⁵	128.4	749.1	2.458 × 10 ³	0.225
	BM	1.497 × 10 ⁻⁵	2.23 × 10 ⁻⁵	95.1	194.2	1.851 × 10 ³	0.174
	WM	1.887 × 10 ⁻⁵	2.48 × 10 ⁻⁵	71.9	231.5	1.263 × 10 ³	0.219
	HAZ	1.151 × 10 ⁻⁵	1.39 × 10 ⁻⁵	85.7	411.7	2.677 × 10 ³	0.134
550	All	1.311 × 10 ⁻⁵	1.67 × 10 ⁻⁵	110.6	404.0	2.876 × 10 ³	0.152
	BM	2.573 × 10 ⁻⁵	2.67 × 10 ⁻⁵	107.5	306.4	1.753 × 10 ³	0.299
	WM	6.113 × 10 ⁻⁶	9.69 × 10 ⁻⁶	39.3	67.2	1.763 × 10 ³	0.071
	HAZ	1.161 × 10 ⁻⁴	2.21 × 10 ⁻⁴	454.9	502.8	8.933 × 10 ²	1.348
600	All	1.409 × 10 ⁻⁵	1.72 × 10 ⁻⁵	113.7	513.0	2.869 × 10 ³	0.164
	BM	4.796 × 10 ⁻⁵	7.01 × 10 ⁻⁵	89.7	195.1	5.564 × 10 ²	0.557
	WM	8.927 × 10 ⁻⁵	1.90 × 10 ⁻⁴	441.4	390.3	1.008 × 10 ³	1.306
	HAZ	5.216 × 10 ⁻⁵	7.00 × 10 ⁻⁵	96.8	283.7	6.009 × 10 ²	0.605
650	All	1.447 × 10 ⁻⁵	1.81 × 10 ⁻⁵	111.1	448.0	2.672 × 10 ³	0.168
	BM	3.923 × 10 ⁻⁵	6.83 × 10 ⁻⁵	168.8	228.1	1.074 × 10 ³	0.455
	WM	1.184 × 10 ⁻⁵	1.49 × 10 ⁻⁵	105.6	414.4	3.087 × 10 ³	0.137
	HAZ	1.978 × 10 ⁻⁵	2.80 × 10 ⁻⁵	90.0	217.7	1.399 × 10 ³	0.230

4. 결론

해양구조물용 강의 전기화학적 특성에 관한 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 용접후열처리 온도가 높을수록 낮은 경도값을 나타냈으며, 용접후열처리 유무에 무관하게 열영향부에서 가장 높은 경도값을 나타냈으며, 용착부, 모재순으로 나타났다.
2. 용접후열처리 온도에 무관하게 열영향부의 부식전위가 가장 낮게 나타났으며, 용착부가 가장 높은 부식전위를 나타내는 것으로 보아 열영향부는 부식에 대한 저항성이 가장 낮을 것으로 사료된다.
3. 용접후열처리를 시행함으로써 각 부위별 갈바닉 셀에 의한 부식전위차가 감소되었으며, 따라서 부식에 대한 저항성을 향상시킬수 있을 것으로 사료되며, 550℃에서 가장 작은 부식전위차를 나타내는 것으로 보아 갈바닉 부식이 발생할 가능성이 가장 낮을 것으로 사료된다.
4. 타펠시험결과를 통해서도 부식전류와 부식속도를 비교해볼 때 최적의 용접후열처리 온도는 550℃ 일 것으로 사료된다.
5. 시험편을 Al양극으로 음극방식하였을 경우 용액의 유동에 무관하게 용접후열처리를 시행한 경우가 시행하지 않은 시험편에 비해 양극발생전류량과 양극소모량이 현저히 저하되었음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 溶接學會編, 溶接·接合技術, 産報出版, 1993, pp.292~304
2. Denny A. Jones, Principles and prevention of corrosion, Macmillan publishing company, 1992 pp. 315-330
3. ASM Handbook, Corrosion, Vol. 13, ASM International, 1998, pp. 344~368

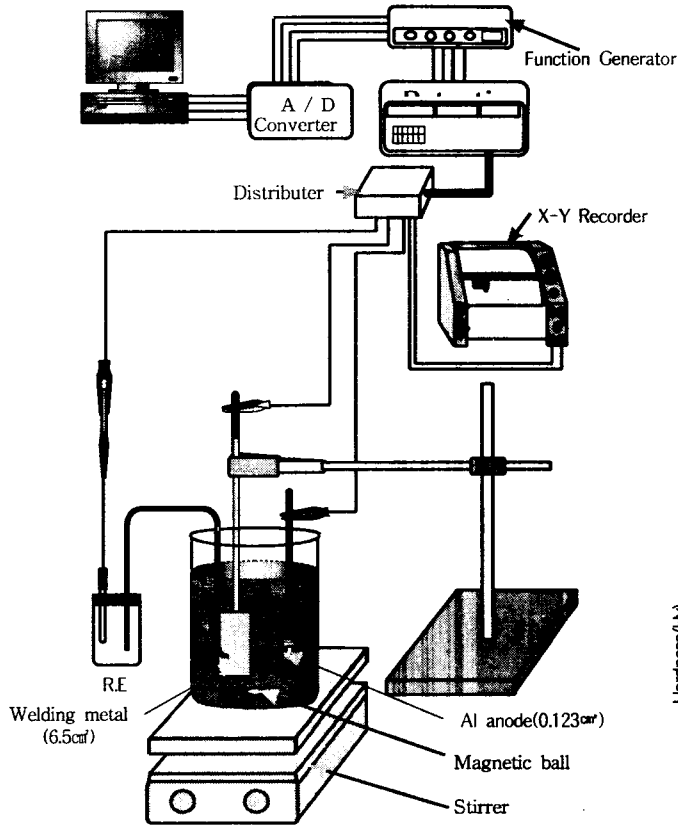


Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus by Al sacrificial anode test method

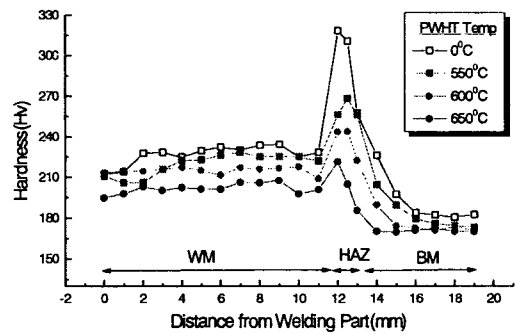


Fig. 2 Variation of micro-vickers hardness as a function of PWHT temperature

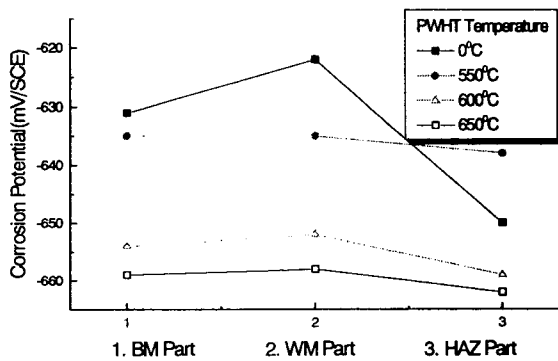


Fig. 3 Variation of WM, BM and HAZ corrosion potential as a function of PWHT temperature after testing time 420min

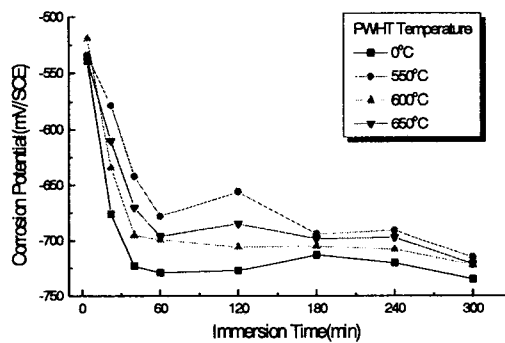


Fig. 4 Variation of corrosion potential as a function of PWHT temperature

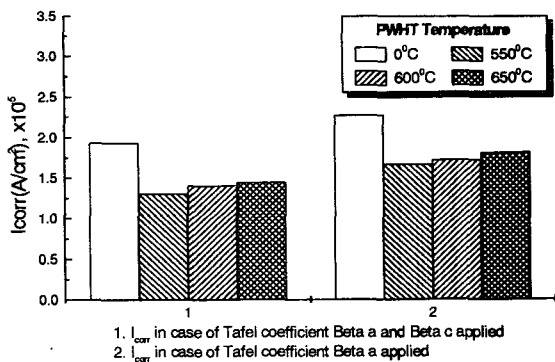


Fig. 5 Variation of I_{corr} both in case of Tafel coefficient β_a and β_c applied and in case of Tafel coefficient β_a applied

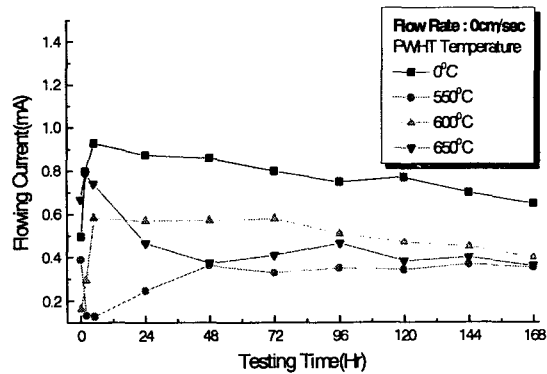


Fig. 6. Variation of flowing current between welding metal and Al anode in case of flow rate 0cm/sec as a function of PWHT temperature. (Area ratio, Al : Welding metal = 1 : 53)

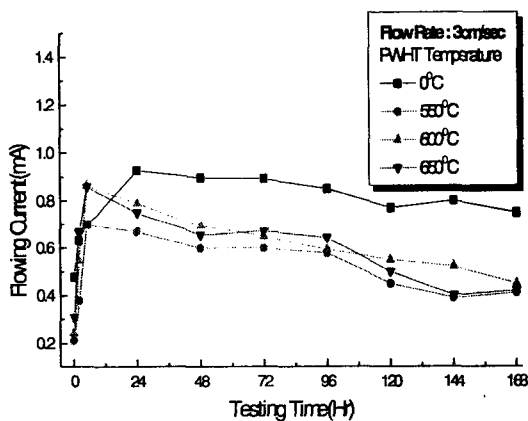


Fig. 7 Variation of flowing current between welding metal and Al anode in case of flow rate 3cm/sec as a function of PWHT temperature. (Area ratio, Al : Welding metal = 1 : 53)

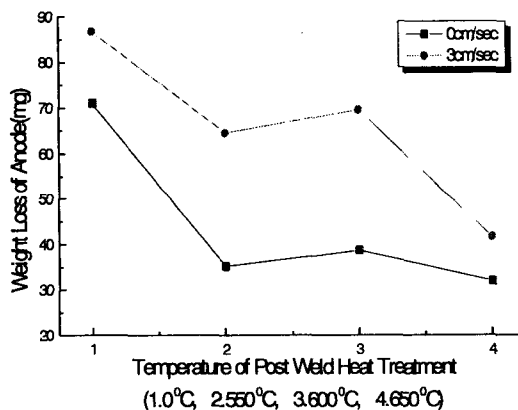


Fig. 8 Comparison of Al anode weight loss quantity in case of flow rate 0cm/sec and 3cm/sec as a function of PWHT temperature.