연구논문

해양구조물용 RE36강의 용접부 부식거동에 관한 전기화학적 특성 연구

김 성 종* · 김 진 경** · 문 경 만***

* 한국해양대학교 대학원
** 한국해양수산연수원 기관학과 교수
*** 한국해양대학교 기계소재공학부 교수

An Electrochemical Property Study on the Corrosion Behavior of Welding Part of RE36 Steel for Marine Structure

Seong-Jong Kim*, Jin-Kyung Kim** and Kyung-Man Moon***

*Dept. of Engineering, Korea Maritime University, Pusan 606-781, Korea
**Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology, Pusan 608-080, Korea
**Dept. of Mechanical & Material Engineering, Korea Maritime University, Pusan 606-781, Korea

Abstract

The effect of Post Weld Heat Treatment(PWHT) of RE36 steel for marine structure was investigated with parameters such as micro-vickers hardness, corrosion potential and corrosion current density of weld metal(WM), base metal(BM) and heat affected zone(HAZ), and both Al alloy anode generating current and Al alloy anode weight loss quantity etc.

Hardness of post-weld heat treated BM, WM and HAZ is lower than that of As-welded condition of each region. However, hardness of HAZ was the highest among those three parts regardless of PWHT temperature and corrosion potential of WM was the highest among those three parts without regard to PWHT temperature. The amplitude of corrosion potential difference of each other three parts at PWHT temperature 550℃, 600℃ and 650℃ are smaller than that of three parts by As-welded condition and corrosion current density obtained by PWHT was also smaller than that of As-welded condition. Eventually, it was known that corrosion resistance was increased by PWHT. However both Al anode generating current and anode weight loss quantity were also decreased by PWHT compare to As-welded condition when RE36 steel is cathodically protected by Al anode. Therefore, it is suggested that the optimum PWHT temperature with increasing corrosion resistance and cathodic protection effect is 550℃.

(Received May 9, 2000)

Key Words : Post weld heat treatment(PWHT), Cathodic protection, Corrosion potential, Corrosion current density.

1. 서 론

최근의 해양개발 플랫폼, 해양탐사, 해저자원탐사용 등의 해양구조물은 종래의 천해역, 온난역에 머무르지 않고 심해역, 한냉(빙)해역에까지 진출하고 있는 추세이다. 그리고 이들 해양구조물은 파랑, 조류, 해수 등에 의한 가혹한 부식환경에 노출되어 있으며, 또한 모래 등의 마찰에 의한 마모, 지진, 폭풍우 게다가 극한지에서는 빙하와의 충돌 등 모든 기후조건에 견딜 수 있어야 한다. 특히 고정식 플랫폼 등은 한번 설치되면 최소 15~20년 정도 사용되며, 대부분이 수면하에 위치하고 있기 때문에 설치후 용접부의 검사, 보수는 대단히 어려운 실정이며 또한 이들 구조물의 검사와 보

수를 위한 경제적 비용은 대단히 큰 것으로 사료되며, 뿐만 아니라 이러한 구조물 등이 손상 또는 파괴되었을 경우 그에 따른 인적, 경제적 손실 또한 막대할 것으로 사료된다. 그리고 이러한 구조물의 파괴사례중 상당 부분이 용접부와 관련된 사고인 것으로 사료되며[1~4], 용접부 관련사고 원인중의 일부는 용접부 미세부위별 전위차로 인한 갈바닉부식에 기인한 것으로 보고되고 있다[5,6]. 일반적으로 용접후열처리(PWHT)는 용접잔류응력의 완화, 형상과 치수의 안정 등과 같은 잔류응력 및 변형대책과 열영향부의 연화, 용접금속의 연성 증대, 파괴인성의 향상, 함유가스의 제거, 크리이프 성능개선, 내식성 향상 그리고 피로강도의 개선 등과 같은 모재 · 용접부 · 구조물의 성능개선 등을 목적으로 하고 있다고 사료된다. 그리고 전술한 바와 같이 해양구조물의 경우 용접부 부식으로 인한 손상 문제는 결코 경시할 수 없는 사안이라고 사료되며, 용접후열처리에 의한 내식성 향상의 시도는 큰 의미가 있다고 사료된다.

따라서 본 연구에서는 해양구조용 강으로 사용되는 RE36강 용접부의 주위 부식특성에 미치는 용접후열처리효과[7~9]를 변수로 하여 각 부위별 부식특성에 대해서 전기화학적 방법을 이용하여 상호 비교 · 고찰하였다. 본 연구결과는 해양구조물 및 선박의 설계시공시에 용접부 부식의 억제대책에 좋은 참고자료가 될 것으로 기대된다.

2. 시험편 및 실험방법

2.1 시험용 재료 및 용접조건

본 연구에 사용된 용접 시험편은 길이 400mm, 폭 355mm, 두께 27mm인 RE36강으로 용접부 형상은 Fig. 1에서 알 수 있듯이 그루브 각도 35±5°이며, 루트간격은 10mm, 그리고 루트면은 2mm로 하였으며, 세라믹 백킹재료를 사용하였다.

그리고 RE36강의 화학적 조성과 기계적 성질은 Table 1과 같으며, E80T1-K2, 지름 1.2mm인 용접와이어를 사용하여 FCAW을 실시하였으며, 용접조건은 Table 2와 같다.

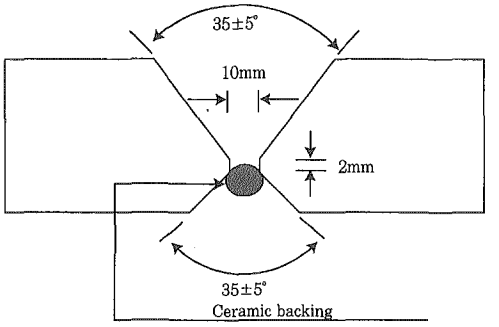


Fig. 1 Schematic diagram of welding groove

Table 1 Chemical composition and mechanical properties of RE36 steel specimen

(a) Chemical composition

C	Si	Mn	P	S
0.17	0.45	1.26	0.0027	0.0008

(b) Mechanical properties

T · S(MPa)	Y · S(MPa)	Elongation(%)
597	360	26.6

2.2 실험방법

RE36시험편을 시간당 80°C씩 승온시켜 550, 600, 650°C에서 90분 동안 유지한 후 노냉시켜, 후열처리한 시험편과 As-welded시험편의 부식특성을 전기화학적 측면에서 상호 비교 · 평가하였다. 그리고 각각의 시험편을 2000번까지 사포로 연마한 후 나이탈로 에칭하여 용접부, 열영향부, 모재 부위별로 마이크로비커스 경도기를 사용하여 경도를 측정하였다. 그리고 부식 시험편은 길이 6cm, 폭 1.5cm이었으며, 용착부의 경우 용착부 종방향의 중앙에 노출면적은 8mm^2(2mm×4mm)로 하여 4mm인 곳이 종방향과 같게 하여 측정하였고, 모재부는 열영향부와 모재부의 경계에서 10mm 떨어진 곳에서 측정하였다. 또한 열영향부는 종방향에 대해 2mm, 폭방향에 4mm를 노출시킨 다음 420분 동안 부식전위를 측정하였다. 그리고 분극실험은 백금전극을 대극으로, 기준전극은 포화카로멜전극(SCE)을 사용하였으며, 분극시험용 포

Table 2 Welding parameters

Pass No.	Welding process	Shielding gas	Filler metals		Type & polarity	Current (A)	Voltage (V)	Travel speed (cm/min)
			AWS class	Dia. (mm)				
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
3~8	FCAW	CO_2	E80T1-K2	1.2	DCRP	250~300	28~32	20~40

텐쇼스타트는 Gamry사의 CMS100 전기화학적 부식 측정 시스템을 사용하여 실시하였으며, 자연전위 측정 부위와 동일한 위치에서 분극실험도 실시하였다. 실험 장치 개요도는 Fig. 2와 같다.

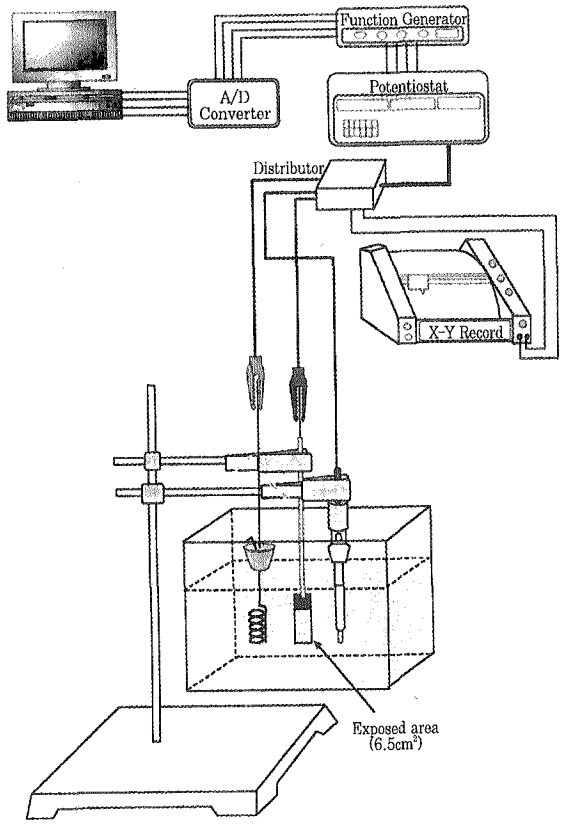


Fig. 2 Experimental apparatus for corrosion behavior measurement

그리고 면적이 0.123cm²인 알루미늄 합금 희생양극을 사용하여 용접금속(6.5cm²)과 해수용액에서 부식셀을 형성한 후 교반기를 사용하여 유동을 주었으며, 1주일 동안 양단간에 흐르는 양극발생 전류량 및 희생양극 소모량을 측정하여 상호 비교·분석하였다. 희생양극으로 사용된 알루미늄 합금양극의 화학조성은 Table 3과 같다.

Table 3 Chemical compositions of Al alloy sacrificial anode

Composition	Fe	Si	Cu	Zn	In	Al
Weight percent(%)	0.084	0.0375	0.0325	5.24	0.0175	Balance

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 3은 RE36강을 E80T1-K2용접와이어를 사용하여 FCAW용접한 후 용접후열처리를 시행하지 않은 시험편(이하 As-welded로 표기)과 용접후열처리(550, 600, 650℃에서 90분 유지한 후 노냉)를 시행한 시험편의 경도분포를 나타내고 있다.

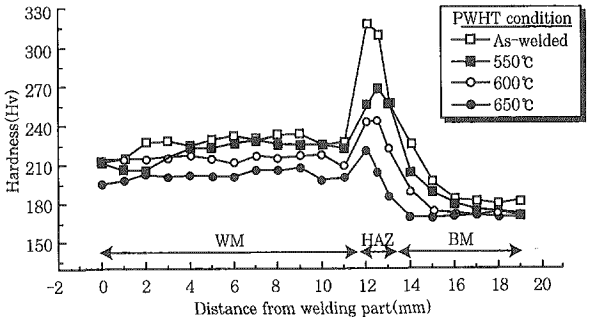


Fig. 3 Variation of micro-vickers hardness as a function of post weld heat treatment condition of RE36 steel

이 그림에서 알 수 있듯이 후열처리하지 않은 시험편이 용접후열처리를 시행한 시험편에 비해 전반적으로 높은 경도값을 나타내고 있음을 알 수 있으며, 또 열처리온도가 높아질수록 조금씩 경도값이 저하하는 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이는 용접으로 경화된 조직이 열처리에 의하여 다소 연화되었기 때문으로 사료된다. 특히 열영향부에서는 후열처리하지 않은 경우 311~319Hv 정도의 높은 경도값을 나타냈으며, 용접후열처리온도가 550, 600, 650°C인 경우 각각 256~269, 243~244, 205~222Hv 정도로 낮아지는 경향을 나타내고 있다. 그리고 용접후열처리 유무에 무관하게 열영향부가 가장 높고 용착부, 모재부 순으로 경도값이 낮아지는 경향을 알 수 있다.

Photo. 1은 RE36강의 용접후열처리 온도(As-welded, 550℃, 600℃ 및 650℃) 변수에 따른 각 미세부위별(BM, HAZ 및 WM부) 조직사진을 나타낸 것이다.

Photo. 1에서 알 수 있듯이 용접후열처리를 시행하지 않은 경우 BM부위는 페라이트, 펄라이트 조직을 나타내고 있으며, 펄라이트 밴드는 용접후열처리 온도가 증가할수록 확산으로 인해 조금씩 소멸되고 있는 것으로 사료된다. HAZ부는 BM부에 비해 결정립이 다소 커져 있음을 알 수 있으며, 베이나이트 조직과 마르텐사이트 조직이 혼재되어 있으나 용접후열처리 온도가 상승함에 따라 마르텐사이트 조직이 안정화 되어 가는 것으로 사료된다. WM부는 페라이트와 베이나이트 조직인 것으로 사료된다.

Fig. 4는 용접후열처리 변수에 따른 각 미세부위별에 대한 420분 동안의 부식전위의 변화를 나타낸 그래프이다.

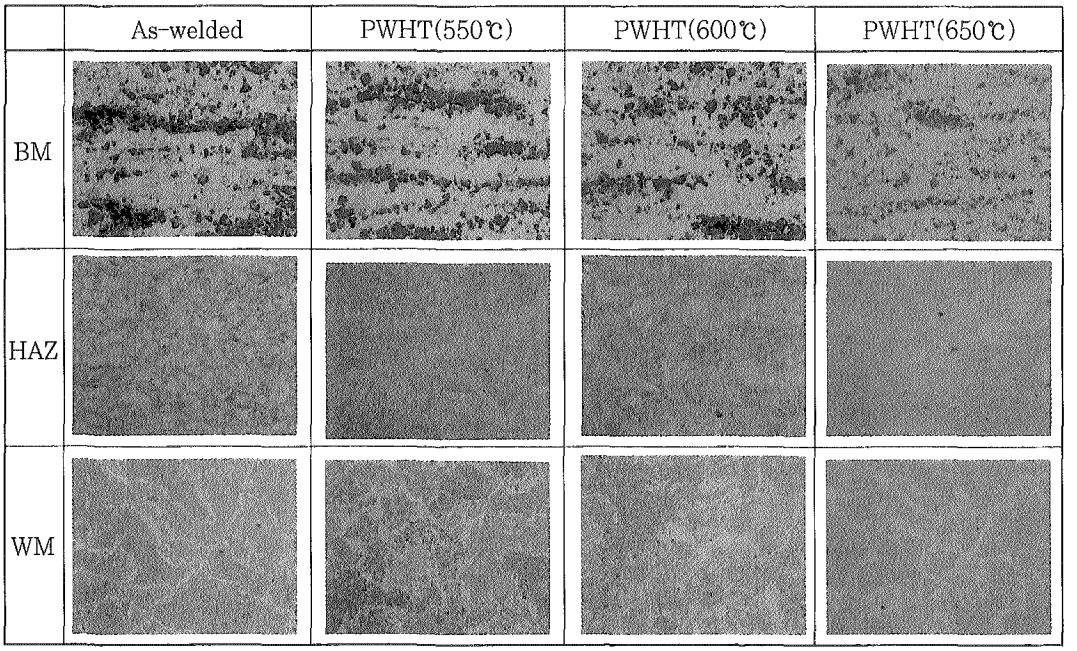


Photo 1 Microctures of As-welded, post-weld heat treated specimens treated at 550℃, 600℃ and 650℃

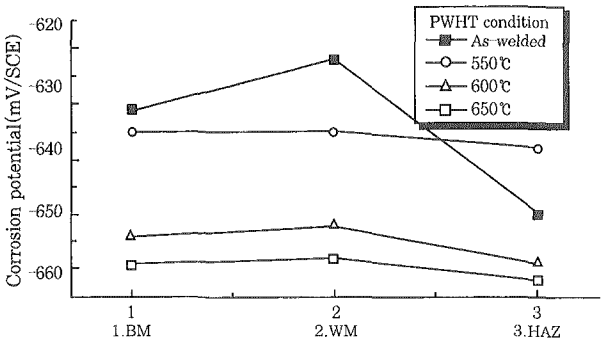


Fig. 4 Corrosion potential immersed for 420 minutes in natural sea water solution

이 그림에서 알 수 있듯이 As-welded인 경우가 WM부에서 가장 귀한 -622mV(SCE전극기준)을 나타내었으며, HAZ부에서는 가장 비한 -650mV로 상호 전위차는 약 28mV로 시험조건중에서 가장 큰 전위차를 나타내고 있음을 알 수 있다. 일반적으로 용접부의 성분이 BM부에 비해서 내식성이 우수한 것으로 사료되며 본 실험의 경우 용접와이어(AWS E80T1-K2)의 성분중 Ni이 1.5%정도 포함되어 있는 것[10]으로 보아 Ni의 경우 평형전위($Ni^{2+}+2e \rightleftarrows Ni$)는 -0.25V(NHE)이며, Fe의 경우 평형전위($Fe^{2+}+2e \rightleftarrows Fe$)는 -0.44V(NHE)로서 Ni의 평형전위가 Fe에 비해서 높기 때문에 WM부의 부식전위가 BM부에 비해서 높은 것으로 사료된다. 그리고 550, 600 및 650℃로 용접후열처리한 경우 각 부위별 최고, 최저 전위차는 각각 3mV, 7mV 그리고 4mV로 용접후열처리를 시행하지 않은 경우에 비해 상호간의 전위차가 현저히 저하되는 경향을 알 수 있으며, 용접후열처리를 함으로써 각 미세부위별 전위차에 의한 갈바닉부식이 발생할 가능성이 줄어들 것으로 사료된다. 그리고 전체적인 경향은 WM부위가 가장 귀한 전위를 나타냈으며, BM부, HAZ부 순으로 낮은 전위값을 나타내었다. HAZ부의 전위가 가장 비(卑)하다는 의미는 갈바닉 부식에 의해서 가장 내식성이 열악할 가능성이 높다는 것을 뜻하며, 이는 스테인리스강 용접부에서 발생하는 Weld decay 현상과 알루미늄 용접부에서의 부식부위가 열영향부이듯이 부식기구는 다르나 본 실험에 사용된 RE36강에서도 열영향부에서 가장 내식성이 열악한 특성을 나타내고 있음을 알 수 있었다[11].

Fig. 5는 용접부(모재부, 열영향부, 용착부포함)를 노출면적 6.5cm²로 하여 용접후열처리 변수에 따른 시간변화별 부식전위의 변화를 나타낸 그래프이다.

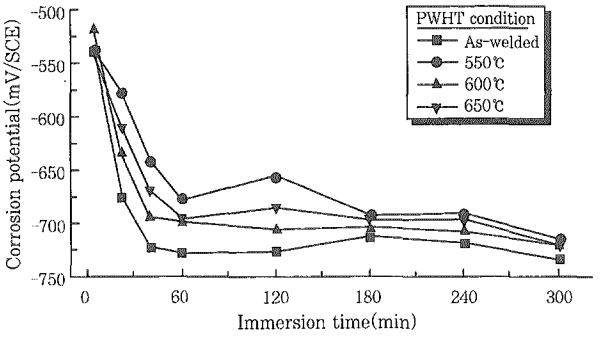


Fig. 5 Variation of corrosion potential of RE36 steel welded joint immersed in natural sea water solution

Fig. 5에서 알 수 있듯이 침지시간의 경과에 따라 부식전위는 비(卑)한 값을 나타내고 있음을 알 수 있으며, 300분후의 부식전위를 비교하여 볼 때 As-welded 상태에서 가장 비한 값을 나타냈으며, 용접후열처리를 시행한 경우에는 큰 차이는 나타나지 않으나 As-welded에 비해서 다소 귀(貴)한 전위값을 나타내고 있음을 알 수 있으며, 그 중 550℃에서 가장 귀한 전위를 나타내고 있음을 알 수 있다. 따라서 용접후열처리를 시행함으로써 내식성이 다소 향상된 것으로 사료된다. 그러나 이 결과는 어디까지나 정성적인 경향이며 부식전위가 귀(貴)한 값을 나타낸다고 해서 반드시 부식속도가 감소하여 내식성이 증대하는 것은 아니며, 분극곡선에 의한 분극저항과 부식전류밀도값을 산출한 정량적인 데이터가 필요할 것으로 사료된다.

한편 Fig. 6은 RE36강을 용접후열처리 변수에 따라 측정한 양극과 음극분극곡선이다.

이 그림에서 알 수 있듯이 음극분극곡선의 경우에는 용존산소의 환원반응($O_2+2H_2O+4e\rightarrow 4OH^-$)에 따른 활성화분극과 농도분극이 나타나고 있으며, 양극분극곡선에서는 철의 산화반응($Fe\rightarrow Fe^{2+}+2e$)에 따른 활성화 분극과 철의 산화피막 재형성에 따른 부동태현상이 나타나고 있음을 알 수 있다. 그리고 Fig. 6을 이용하여 각 부위별 분극저항과 부식전류밀도 및 타펠기울기 등을 구하여 Table 4에 정리하였다.

일반적으로 부식전류밀도로 구하는 방법에는 여러

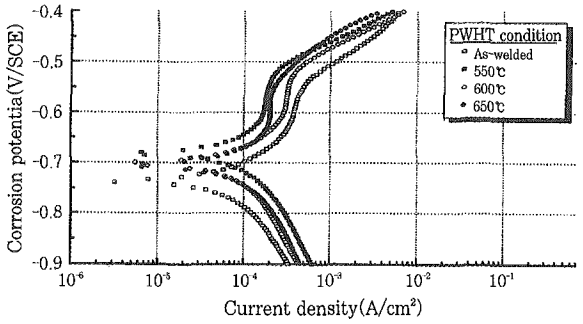


Fig. 6 Cathodic and anodic polarization curves as a function of PWHT temperature of RE36 steel welded joint

가지가 있으나 본 실험에서는 Stern-Geary식을 이용하였다. 즉

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

상기 식에서 i(applied)는 인가전류밀도, $\Delta\psi$는 분극전위값, β_c, β_a는 음극과 양극의 기울기이다. 그리고 (1)식을 이용할 경우에는 양극과 음극이 타펠직선기울기가 나타나고 있는 경우이며, 해수에서 용존산소의 환원반응에 의해서 부식되고 있을 경우에는 확산한계전류밀도를 부식전류밀도로 간주하는 경우가 있으며[12], 이 경우에는 음극의 β_c는 무한대로 커지게 된다. 따라서 이 경우에는 다음의 (2)식에 의해서 부식전류밀도

Table 4 Results of tafel test data

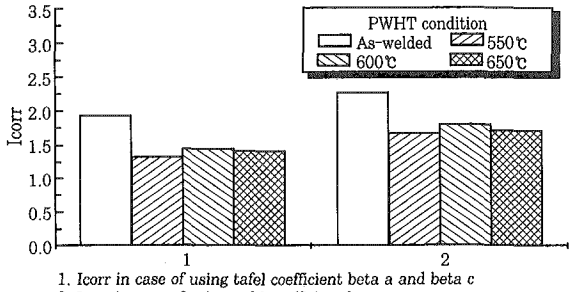
		icorr(A/cm²)		βa (mV/decade)	βc (mV/decade)	Rp (ohm · cm²)	Corr' Rate (mm/yr)
		Ⅰ	Ⅱ				
As-welded	All	1.937×10^{-5}	2.27×10^{-5}	128.4	749.1	2.458×10^{3}	0.225
	BM	1.497×10^{-5}	2.23×10^{-5}	95.1	194.2	1.851×10^{3}	0.174
	WM	1.887×10^{-5}	2.48×10^{-5}	71.9	231.5	1.263×10^{3}	0.219
	HAZ	1.151×10^{-5}	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	1.447×10^{-5}	1.81×10^{-5}	111.1	448.0	2.672×10^{3}	0.168
	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	1.409×10^{-5}	1.72×10^{-5}	113.7	513.0	2.869×10^{3}	0.164
	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

를 구하게 된다. 즉

$$i_{corr} = \frac{\beta_\alpha}{2.3} \frac{I_{(applied)}}{\Delta\phi} \quad (2)$$

그리고 Table 4에서 상기의 (1)식과 (2)식에서 구한 부식전류밀도값을 각각 Ⅰ과 Ⅱ에 정리하였다. Table 4에서 알 수 있듯이 용접후열처리를 시행한 경우 각 부위별 부식전류밀도가 후열처리를 하지 않는 경우에 비해서 반드시 규칙적인 증감의 경향은 나타나지 않고 있음을 알 수 있다. 예를 들면 BM부의 경우 (Ⅱ기준) 용접후열처리를 시행하지 않는 경우 부식전류 밀도값이 2.23×10^{-5}A/cm^{2}이었으나 550℃에서 용접후열처리를 시행한 경우 2.67×10^{-5}A/cm^{2}로 다소 증가되었으며, 600℃ 및 650℃에서도 다소 증가하는 경향이 있었다. 그리고 WM부의 경우에는 550℃에서 용접후열처리를 했을 경우 가장 적은 전류밀도값을 나타내었음을 알 수 있다. 그리고 HAZ부의 경우에는 용접후열처리를 시행한 경우가 모두 부식전류밀도가 증가하는 경향을 알 수 있었다. 그러나 특정부위가 아닌 전 부위에 걸쳐서 측정한 부식전류밀도값(Table 4에서 Ⅱ의 All)은 550℃에서 용접후열처리한 경우가 가장 적은 전류밀도값을 나타내었음을 알 수 있었다.

Fig. 7은 부식전류밀도(icorr)를 상기의 (1), (2)식을 적용하여 구한 Table 4의 Ⅰ, Ⅱ값을 횡축에 각각 1, 2로 표기하여 용접후열처리 변수에 따른 부식전류밀도값을 나타낸 그래프이다.



1. Icorr in case of using tafel coefficient beta a and beta c
2. Icorr in case of using tafel coefficient beta a

Fig. 7 Variation of Icorr as a function of applied Tafel coefficient in case of PWHT condition for RE36 steel(Icorr:A/cm$^2\times10^{-5}$)

이 그래프에서 알 수 있듯이 (1), (2)식에 무관하게 As-welded의 경우가 550~650℃로 용접후열처리를 시행한 경우보다 부식전류밀도값이 크다는 사실을 알 수 있으며, 그 중 550℃에서 부식전류밀도값이 가장 적다는 사실을 알 수 있다. 그리고 (1)식에 의해서 구한 부식전류밀도값이 (2)식에 의해서 구한 부식전류밀도값보다 다소 적다는 사실을 알 수 있었다. Fig. 8은 정지중인 용액에서 Al양극과 시험편 사이에 흐르는 양극발생 전류량의 변화를 나타낸 그래프이다. Al양극과 음극(시험편)의 연결은 Al양극을 희생양극으로 한 음극방식법이며, 본 실험의 경우 음극(모재부, 열영향부, 용착부 포함)과 양극의 면적비 53:1(6.5cm^2: 0.123cm^2)로 하였다.

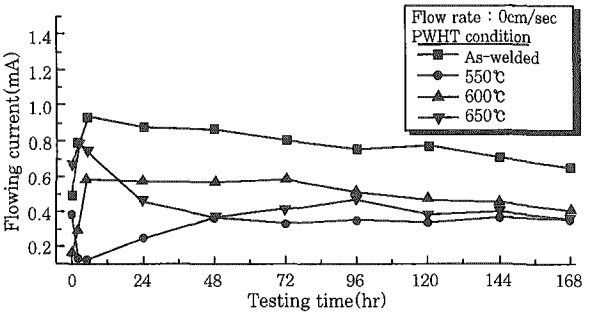


Fig. 8 Variation of flowing current between welded RE36 steel and Al anode in case of flow rate 0cm/sec in natural sea water solution

Fig. 8에서 알 수 있듯이 As-welded 시험편이 용접후열처리를 시행한 경우에 비해 훨씬 높은 양극발생 전류량을 나타내고 있음을 알 수 있으며, 용접후열처리를 시행한 시험편에는 큰 차이는 나타나지 않으나 600℃에서 양극발생 전류량이 가장 컸고, 650℃, 550℃로 갈수록 양극발생 전류량이 낮아짐을 알 수 있다. 여기서 양극발생 전류량이 적다는 것은 양극소모량이 작다는 것으로 생각할 수 있으며, 이는 내식성이 우수하다는 것을 의미하는 것으로 사료된다.

Fig. 9는 용액이 유동중인 경우 Al양극과 시험편 사이에 흐르는 양극발생 전류량의 변화를 나타낸 그래프이다.

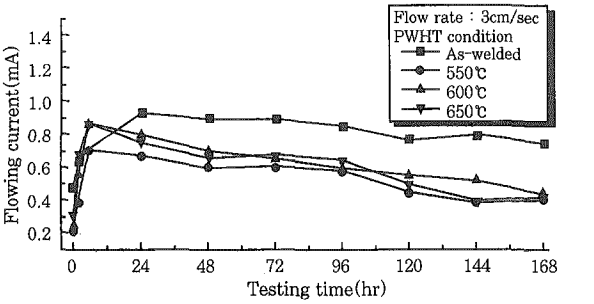


Fig. 9 Variation of flowing current between welded RE36 steel and Al anode in case of flow rate 3cm/sec in natural sea water solution

정지중인 경우와 비교해 볼 때 전체적으로 양극발생 전류량이 다소 높다는 사실을 알 수 있다.

Fig. 10은 용액의 유동유무와 용접후열처리 변수에 따른 Al양극의 소모량을 나타낸 그래프이다.

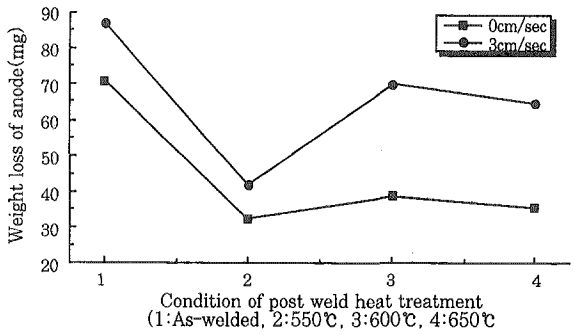


Fig. 10 Relationship between Al anode weight loss quantity and PWHT temperature in case of flow rate 0cm/sec, 3cm/sec

전체적으로 보아 유동중인 경우가 정지중인 경우에 비해 양극발생 전류량이 컸으며, 동시에 양극소모량이 증대되었음을 알 수 있다. 이는 유속의 증가에 따라 해수의 상대적인 운동으로 인하여 금속표면 즉, 음극의 용존산소 환원반응에 따른 농도분극이 감소되어 알루미늄 양극과 시험편의 전위차가 커지게 되어 양극의 발생전류가 증가하며 동시에 양극소모량도 증대되는 것으로 사료된다[13]. 아울러 Al양극 소모량도 용접후열처리 변수에 무관하게 정지중인 경우가 유동중인 경우에 비해 적다는 사실을 알 수 있었다. Al 양극발생 전류량이 가장 적었던 550℃에서 양극소모량 또한 가장 적다는 사실로 미루어 보아 최적의 용접후열처리 온도는 550℃인 것으로 사료된다.

4. 결 론

해양구조물용 RE36강의 용접부의 부식거동에 대한 전기화학적 측면에서 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 용접후열처리 온도가 높아질수록 경도값이 낮아지는 경향이 있고, 용접후열처리 유무에 무관하게 열영향부에서 가장 높은 경도값을 나타냈으며, 용착부, 모재순으로 낮은 값을 나타내었다.
2. 용접후열처리 온도와 무관하게 열영향부의 부식전위가 가장 낮았으며, 용착부가 가장 높은 부식전위를 나타나는 것으로 보아 열영향부는 부식에 대한 저항성이 가장 낮은 것으로 사료된다.
3. 용접후열처리를 시행함으로써 각 부위별 갈바닉 셀에 의한 부식전위차가 감소되는 것으로 보아 후열처리에 의해 내식성을 향상시킬수 있을 것으로 사료되며, 본 실험의 결과 550℃에서 가장 작은 부식전위차를 나타내었으므로 이 온도에서 후열처리하면 갈바닉 부식이 발생할 가능성 또한 가장 낮을 것으로 사료된다.
4. 시험편을 Al양극으로 음극방식하였을 경우 양극발생전류량과 양극소모량은 정지중인 경우가 유동중인 경우에 비해, 그리고 용접후열처리를 시행한 시험편이 용접후열처리를 하지 않은 시험편에 비해 적다는 사실을 알 수 있었다.
5. Stern-Geary식에 의해서 구한 부식전류밀도와 부식속도를 비교해볼 때 가장 적은 값을 나타낸 용접후열처리 온도는 550℃이었으며, 동시에 음극방식효과 역시 550℃에서 열처리 하였을 경우가 가장 좋았다. 따라서 내식성 향상과 음극방식효과의 개선 측면에서 본 실험의 경우 최적의 용접후열처리 온도는 550℃로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 溶接學會編, 溶接·接合技術, 産報出版(1993), pp.292~304
2. Neil Rothwell, Mervyn E.D. Turner, Corrosion problems associated with weldments, MP(1990) Feb, pp. 55-58
3. R. K. Singh Raman, J. B. Gnanamoorthy, Oxidation behavior of weld metal, HAZ and base metal regions in weldments of Cr-Mo steels, Welding research supplement(1995) April, pp. 133-139
4. 橋木哲之祐, 溶接の腐食に及ぼす影響, 防蝕技術(1998), pp. 559-565
5. Denny A. Jones, Principles and prevention of corrosion, Macmillan publishing company(1992), pp. 315-330
6. 김성종, 김진경, 문경만, 선박재료용 SS400강의 내식성에 대한 용접후열처리효과에 관한 연구, 한국박용기관학회지, Vol. 23, No. 6(1999), pp. 806-813
7. 日本高壓力技術協會, 應力燒鈍委員會編, 應力燒なまし基準とその解說(1982), pp. 3-66
8. A. K. Bhaduri, S. Sujith, G. Srinivasan, T. P. S. Gill and S. L. Mannan, Optimized PWHT procedures for 17-4 PH stainless steels, Welding research supplement(1995) May, pp. 153-159
9. C. Bloch, J. Hill, D. Connell, Proper PWHT can stop stress-induced corrosion, Welding journal(1997) May, pp. 31-41
10. 현대종합금속(주), 호랑이표 용접재료(1997), p.180
11. ASM Handbook, Corrosion, Vol. 13, ASM International(1998), pp. 344~368
12. 紫田夫訊, 腐食と酸化, 産業書(1983), p69.
13. 中川雅央, 電氣防食法の實際, 地人書館(1967), p. 33.