

## 해양구조물용 RE36강의 용접부 부식거동 및 SSRT법에 의한 기계적 특성에 관한 연구

김성종\* · 김진경\*\* · 김종호\*\*\* · 이명훈\*\*\* · 김영식\*\*\* · 문경만\*\*\*

### A Study on the Corrosion Behavior and Mechanical Property by SSRT Test of Welding Part of RE36 Steel for Marine Structure

S. J. Kim · J. G. Kim · J. H. Kim · M. H. Lee · Y. S. Kim · K. M. Moon

**Key words** : Polarization Behaviors(분극거동), Cathodic Protection(음극 방식), Corrosion Potential(부식전위), SSRT(저변형을 속도시험), Hydrogen Embrittlement(수소 취성), Galvanic Corrosion(갈바닉 부식)

#### Abstract

A study on the corrosion behavior of RE36 steel for marine structure was investigated with parameters such as micro-Vickers hardness, corrosion potential and corrosion current density measurement of weld metal(WM), base metal(BM) and heat affected zone(HAZ), Al anode generating current and Al anode weight loss quantity in case of cathodic protection. And we carried out slow strain rate test(SSRT) in order to research mechanical properties such as stress at maximum load, percent strain, time to fracture and strain to failure ratio etc and to find out limiting cathodic polarization potential for hydrogen embrittlement with applied cathodic polarization potential.

Hardness of HAZ part was the highest among those three parts and also galvanic corrosion susceptibility was the highest in HAZ part among those three parts due to the lowest corrosion potential than other parts. However corrosion current density was the highest in WM part among those three parts. And the optimum cathodic polarization potential showing the best mechanical properties obtained by SSRT method with applied constant cathodic potential was from  $-770\text{mV}$  to  $-875\text{mV(SCE)}$ . However it is suggested that limiting cathodic polarization potential indicating hydrogen embrittlement on the mechanical properties was under  $-900\text{mV(SCE)}$ .

---

\* 한국해양대학교 대학원  
\*\* 한국해양수산연수원 교수  
\*\*\* 한국해양대학교 교수

## 1. 서 론

최근 해양구조물은 점점 대형화, 효율화, 사용재료의 고강도화되어가고 있으며 그리고 파랑, 조류, 해수 등에 의한 가혹한 부식환경에 노출되어 있을 뿐만 아니라 모래 등의 마찰에 의한 마모, 지진, 폭풍우 등과 같은 모든 기후조건에 견딜수 있어야 한다. 특히 고정식플랫폼 등은 한번 설치되면 수십년을 수면하에 위치하고 있기 때문에 설치후 용접부의 검사, 보수는 대단히 어려운 실정이며 또한 이들 구조물의 검사와 보수를 위한 경제적 비용은 대단히 큰 것으로 사료되며, 뿐만아니라 이러한 구조물 등이 손상 또는 파괴되었을 경우는 그에 따른 인적, 경제적 손실 또한 막대할 것으로 사료된다. 그리고 이러한 구조물의 파괴사례중 상당 부분이 용접부와 관련된 사고인 것으로 사료되며,<sup>1-4)</sup> 용접은 급속가열, 급속냉각의 공정으로 인한 경도와 열적, 조직적 변화를 일으켜 용접부 각 미세부위별 전위차가 발생하게 되며, 이로 인한 갈바닉부식에 기인하는 것으로 보고되고 있다.<sup>5-6)</sup> 이러한 갈바닉부식에 의한 용접부의 부식성을 억제하기 위해 용접후열처리(post weld heat treatment, PWHT)를 시행하여 내식성을 향상시키는 경우도 있다.<sup>7-9)</sup> 특히 이러한 용접부 부식의 특징은 균열속도가 빨라 비교적 짧은 시간에 대형구조물이나 시설 등이 파괴될 수 있는 가능성도 배제할 수 없을 것으로 사료된다. 특히 RE36강은 선체 및 해양구조물에 주로 사용되며 가혹한 해양부식환경에 노출되어 있으므로 용접부의 철저한 방식대책은 더없이 중요한 것으로 사료된다. 그리고 해양환경하에서는 음극방식법을 주로 사용하게 되며, 이 경우 수소취성 감수성에 대한 수소취성한계전위를 규명하는 것도 방식대책의 일환으로 짚고 넘어가야 할 중요한 사안으로 사료된다.

본 연구에서는 해양구조물용 강으로 주로 사용되는 RE36강의 용접부 주위 각 미세부위별 부식특성과 음극방식을 위해 공급되는 일정 전위상태에서 SSRT(slow strain rate test)법을 시행하여 최대인장강도, 연신율, 파단시간 그리고 파괴변형비 등을 상호 비교·고찰하였다. 그리고 이러한 실험결과에 근거하여 수소취성의 한계전위를 규명

함과 동시에 그 결과를 토대로 최적음극방식전위의 영역을 결정하고자 하였다.

따라서 본 연구결과는 해양구조물 및 선박의 설계시공시에 용접부 부식 및 최적의 음극방식을 위한 수소취화에 대한 억제대책과 최적음극방식 전위 결정에 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 그루브각도  $35 \pm 5^\circ$  정도이며, 루트간격은 10mm, 그리고 루트면은 2mm로 하였으며, 세라믹백킹재료를 사용하였다. 그리고 SSRT용 시험편은 두께 27mm, 길이 358mm, 평행부의 폭은 4mm 그리고 표점거리는 59mm로 JIS Z 2201의 비례 14B호의 규정에 따라 제작하였다. 시험편의 개요는 Fig. 1과 같다.

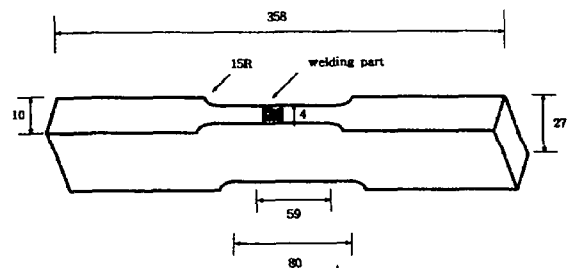


Fig. 1 Specimen for slow strain rate test

Table 1 Chemical composition and mechanical properties of RE36 steel specimen and chemical composition of welding consumables

(a) Chemical composition of RE36 steel

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

(b) Mechanical properties of RE36 steel

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

(c) Chemical composition of welding consumables

C	Si	Mn	P	S	Ni
0.04	0.40	1.20	0.012	0.008	1.50

Table 2 Welding parameters

PassNo.	Welding process	Shielding gas	Filler metals		Current		V	Travel speed (cm/min)
			AWA class	Dia (mm)	Type & polarity	A		
1	FCAW	CO <sub>2</sub>	E80T1-K2	1.2	DCRP	180~240	23~29	10~20
2	FCAW	CO <sub>2</sub>	E80T1-K2	1.2	DCRP	220~280	25~32	20~30
3	FCAW	CO <sub>2</sub>	E80T1-K2	1.2	DCRP	250~300	28~32	20~40

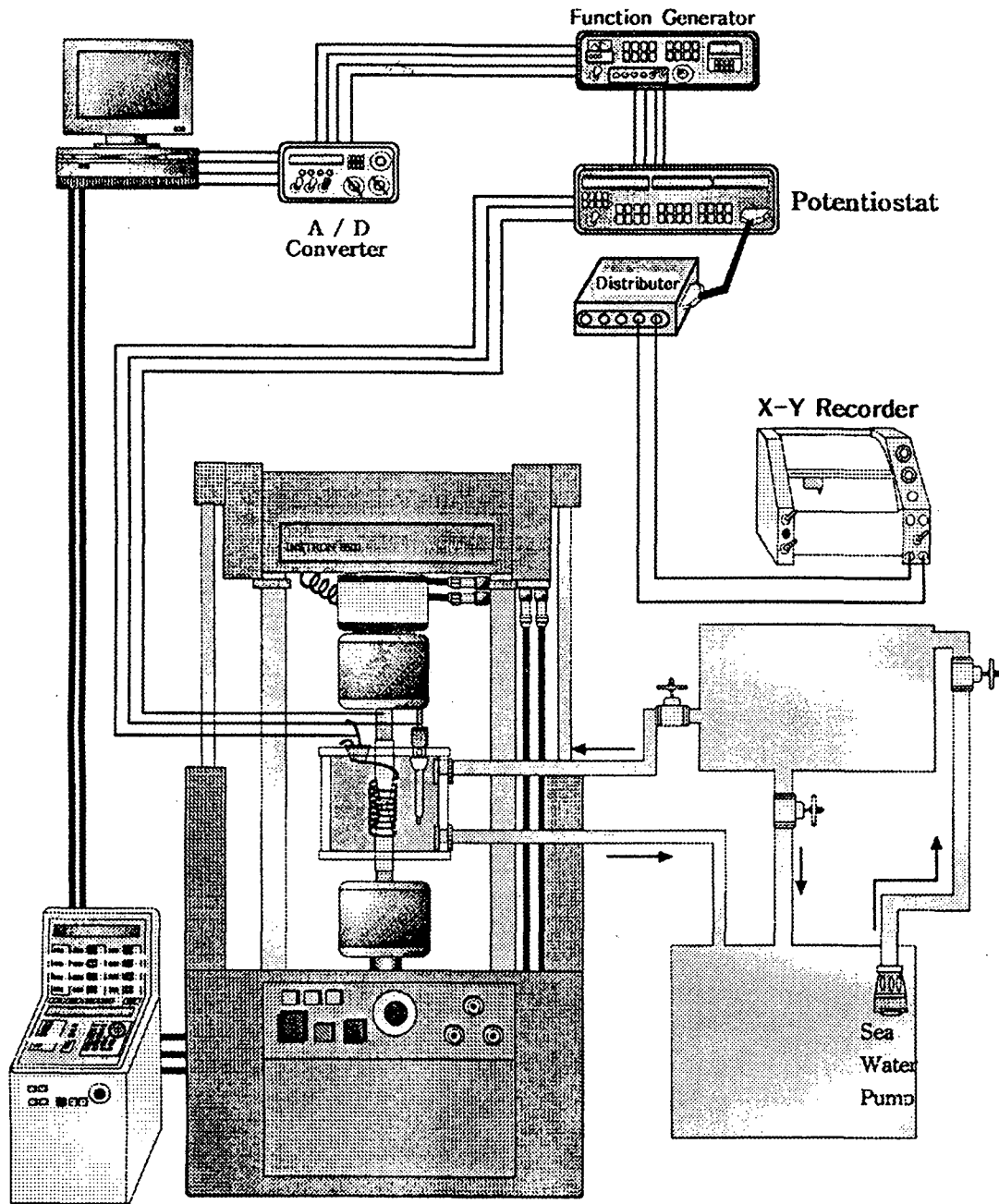


Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

그리고 본 실험에 사용된 RE36 강 의 화학적 조성 과 기계적 성질 및 용접봉(E80T1-K2, 1.2mm ϕ)의 화학적 성질은 Table 1과 같으며, FCAW을 실시하였다. 그리고 용접조건은 Table 2와 같다.

### 2.2 실험방법

Fig. 2는 SSRT용 실험장치 개요도이다. 그림에서 알 수 있듯이 RE36강 시험편을 해수용액셀에 침지하여 관통시킨 후 재료만능시험기(Instron 8500)에 고정시켰다. 그리고 셀에는 Pt대극과 SCE기준전극으로 포텐티오스타트(HA-501G)와 Function generator(HB-111)를 이용하여 시험편에 음극분극전위를 인가하였다. 그리고 10%/SEC의 저변형을 인장실험을 실시하였다. 한편 해수의 성상변화를 방지하기 위해 잠수용 펌프를 이용하여 해수용액셀의 해수를 계속 순환시켰다. 또 시험편을 2000번까지 샌드페이퍼로 연마한 후 나이탈에칭 처리하여 용접부, 열영향부, 모재 부위별로 마이크로비커스 경도기를 사용하여 경도를 측정하였고, 미세 각 부위별로 노출면적이 8mm<sup>2</sup>가 되도록 한 상태에서 420분동안 부식전위를 측정하였다. 분극실험은 백금전극을 대극으로, 기준전극은 포화카로멜전극(SCE)을 사용하였으며, 분극시험용 포텐쇼스타트는 미국 Gamry사의 CMS100 전기화학적 부식측정 시스템을 사용하여 실시하였다. 그리고 희생양극법으로 방식하였을 경우 면적이 0.123cm<sup>2</sup>인 알루미늄합금 희생양극을 사용하여 용접금속(6.5cm<sup>2</sup>)과 해수용액에서 부식셀을 형성한 후 교반기를 사용하여 유동의 변화를 주었다. 그리고 1주일 동안 양단간에 흐르는 양극발생 전류량 및 희생양극 소모량을 측정하여 상호 비교·분석하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

Fig. 3은 RE36강을 E80T1-K2용접봉을 사용하여 FCAW용접한 시험편의 경도분포를 나타내고 있다.

그래프에서 알 수 있듯이 열영향부(heat affected zone, HAZ)가 320Hv정도로 가장 높은 경도값을 나타냈으며, 용착부(welding metal, WM)

는 230Hv정도, 그리고 모재부(base metal, BM)는 180Hv정도의 경도값을 나타냈다. HAZ부가 최고 경도를 보이는 이유는 모재가 고온으로 가열되어 반응해부로 되는데 이 부위가 급랭되어 담금질(Quenching) 효과에 기인한 것으로 사료된다.

Fig. 4는 RE36강을 시간변화에 따른 각 미세부위별 부식전위의 변화를 나타낸 그래프이다.

Fig. 4에서 보는 바와 같이 초기 60분까지는 비(卑)방향으로 이행하다 120분 정도부터 다소 안정된 전위를 나타내고 있음을 알 수 있으며, 침지 420분후에는 HAZ부가 가장 비(卑)한 전위값을 WM부가 가장 귀(貴)한 전위값을 나타내는 것으로 보아 WM부가 가장 부식에 대한 저항성이 크고, HAZ부가 가장 열악할 것으로 사료된다. 그러나 부식전위만으로 부식성을 판단하는 것은 정성적인 경향을 예측할 수 밖에 없으므로 좀더 정량적인 데이터를 얻기 위해 탄소봉(노출면적 : 0.785cm<sup>2</sup>)과 각 미세부위별로 해수용액에서 갈바닉셀을 형성한 후 양단간 흐르는 전류량을 측정하였다.

Fig. 5는 용접부 미세부위와 탄소봉사이에 흐르는 양단간 흐르는 전류량을 나타낸 그래프이다.

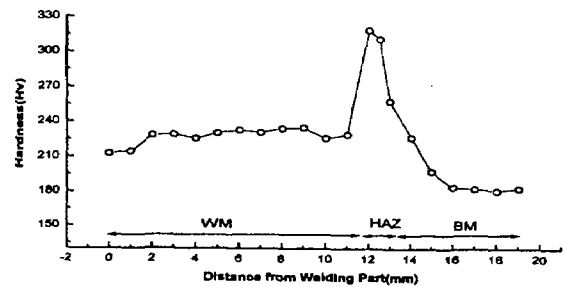


Fig. 3 Variation of micro-vickers hardness of RE36 steel

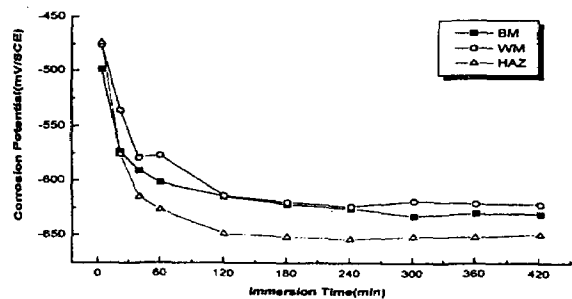


Fig. 4 Variation of corrosion potential of RE36 steel as a function of immersed time in natural sea water solution

HAZ부는 초기에 0.27mA정도의 높은 전류에서 차츰 하강해 가는 반면 BM부와 WM부는 처음부터 다소 안정된 값을 나타내고 있음을 알 수 있으며, 420분 경과후의 전류량을 비교해 보면 HAZ부가 가장 높았으며, BM부 그리고 WM부 순으로 전류량이 적게 흐르고 있는 것으로 보아 HAZ부가 탄소용과의 가장 큰 전위차로 인하여 BM부, WM부에 비해 전류량이 가장 많이 흐르고 있는 것으로 사료된다. 따라서 HAZ부가 가장 갈바닉 부식이 발생할 가능성이 클 것으로 사료되며, 이는 부식전위 측정 결과에서도 HAZ부가 가장 비(卑)한 전위를 나타낸 정성적인 부식감수성 증대 경향과 동일한 결과를 얻을 수 있었다. 일반적으로 해양환경하의 RE36강은 용존산소소비형 부식이 일어나게 된다. 따라서 RE36강의 양극 및 음극분극곡선을 측정하였을 경우 음극분극곡선은 용존산소의 환원반응( $O_2 + 2H_2O + 4e \rightarrow 4OH^-$ )에 따른 활성화분극과 농도분극이 나타나며, 양극분극곡선에서는 철의 산화반응( $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e$ )에 따른 활성화 분극과 철의 산화피막 재형성에 따른 부동태현상이 나타난다. 전술한 실험방법에 의해서 양극 및 음극곡선

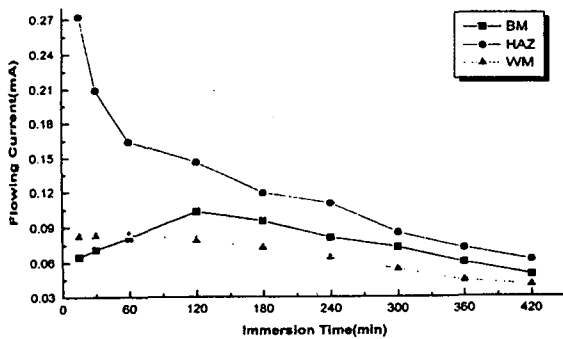


Fig. 5 Flowing current between carbon rod and WM, HAZ, BM as a function of flow rate in natural sea water solution

을 이용하여 각 부위별 분극저항과 부식전류밀도 및 타펠기울기 등을 구하여 Table 3에 정리하여 보았다.

일반적으로 부식전류밀도로 구하는 방법에는 여러 가지가 있으나 본 실험에서는 Stern-Geary 식을 이용하였다. 즉

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

이다. 여기서 Rp는 분극저항,  $i_{(applied)}$ 는 인가전류 밀도,  $\Delta\phi$ 는 분극전위값,  $\beta_c$ ,  $\beta_a$ 는 음극, 양극반응의 타펠 기울기이다. 그리고 (1)식을 적용한 경우는 양극과 음극이 타펠직선 기울기가 나타나고 있을 경우이며, 해수에서 용존산소의 환원반응에 의해서 부식되고 있을 경우에는 확산한계전류밀도를 부식전류밀도로 간주하는 경우가 있으며,<sup>10)</sup> 이 경우 음극의  $\beta_c$ 는 무한대로 커지게 된다. 따라서 이 경우에는 다음의 (2)식에 의해서 부식전류밀도를 구하게 된다. 즉

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

로 된다. (2)식을 적용한 값이 Table 3의  $i_{corr}$ 에서 II의 데이터라 할 수 있다. 따라서 음극반응이 농도분극 지배인가 그렇지 않은가에 따라 달리 적용해야 할 것으로 사료된다.  $i_{corr}$ 는 I, II 중 II의 경우가 대체적으로 높은 값을 나타내고 있으나 경향은 유사하다는 사실을 알 수 있다. 그리고 미세부위별로 WM부의 부식전류밀도가 가장 크고, BM 그리고 HAZ부로 갈수록 부식전류밀도가 작아짐을 알 수 있었다. 부식율(corrosion rate)은  $6.5cm^2$  (BM, WM, HAZ 포함) 노출시켰을 때 0.225mm/yr였으며, BM부는 0.174mm/yr, WM부는 0.219mm/yr 그리고 HAZ부는 0.134mm/yr로 가

Table 3 Result of tafel polarization test

		$i_{corr}(A/cm^2)$		$\beta_a$ (mV/decade)	$\beta_c$ (mV/decade)	Rp (ohm · cm <sup>2</sup> )	Corr' Rate (mm/yr)
		I	II				
RE36 Steel	All	$1.937 \times 10^{-5}$	$2.27 \times 10^{-5}$	128.4	749.1	$2.458 \times 10^3$	0.225
	BM	$1.497 \times 10^{-5}$	$2.23 \times 10^{-5}$	95.1	194.2	$1.851 \times 10^3$	0.174
	WM	$1.887 \times 10^{-5}$	$2.48 \times 10^{-5}$	71.9	231.5	$1.263 \times 10^3$	0.219
	HAZ	$1.151 \times 10^{-5}$	$1.39 \times 10^{-5}$	85.7	411.7	$2.677 \times 10^3$	0.134

장 낮은 값을 나타냈다. 전술한 Fig. 5에서는 HAZ 부가 부식전위가 가장 낮아 탄소봉과의 사이에 흐르는 전류량이 가장 컸으며, 따라서 갈바닉 부식 감수성이 가장 큰 결과가 나왔으나 각 미세부위별 각각의 부식전류밀도 측정에서는 오히려 HAZ 부가 가장 부식속도가 적고 오히려 WM 부가 가장 부식속도가 큰 결과가 나왔다. 일반적으로 WM 부가 부식속도가 높을 경우는 구상부식의 경우에 자주 발생하는 현상이나, 본 실험의 경우는 전기저항용접(ERW)한 경우가 아니므로 구상부식의 원인인 FeS의 작용에 국한시킬 수는 없으나 Table 1의 모재부보다 용접봉의 S함량이 높다는 사실도 배제할 수 없다고 사료된다. 따라서 용접부 주위가 페인팅 되지 않고 나강판 상태로 전해질에 노출되어 있을 경우에는 HAZ 부가 갈바닉부식에 의해서 가장 빨리 부식될 수 있으며, 페인팅 되어 있을 경우 각 부위가 독립적으로 부식될 경우에는 오히려 용접부가 마이크로셀 형성에 의해서 먼저 부식될 가능성도 배제할 수 없을 것으로 사료된다.

Fig. 6은 Al양극을 이용하여 희생양극법으로 방

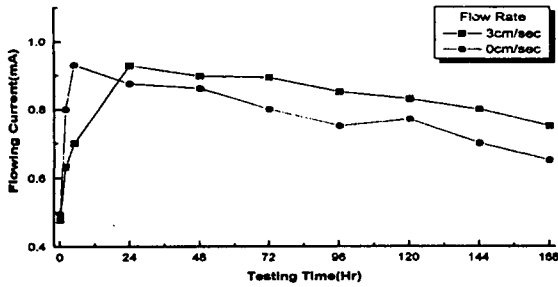


Fig. 6 Flowing current between welding metal and Al anode as a function of flow rate in natural sea water solution

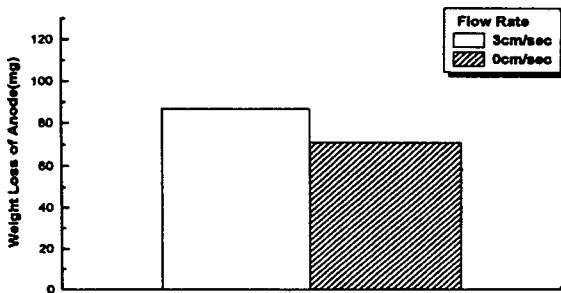


Fig. 7 Comparison of Al anode weight loss quantity as a function of flow rate in natural sea water solution

식하였을 경우 유동변화별 시간변화에 따른 양단 간 흐르는 양극발생 전류량의 변화를 나타낸 그래프이다.

희생양극에 의해서 음극방식을 한 본 실험의 경우 음극은 용접부(모재부, 열영향부, 용착부 포함)를 사용하였으며, 양극은 알루미늄 양극을 사용하였다. 그리고 이때 음극과 양극의 면적비는 53 : 1(6.5cm<sup>2</sup> : 0.123cm<sup>2</sup>)로 하여 시험을 실시하였다. 그래프에서 알 수 있듯이 0cm/sec인 경우는 침지 5시간 정도에서 최고 전류값을 나타냈으며, 3cm/sec인 경우는 24시간 정도에서 최고 전류값을 나타내고 있음을 알 수 있다. 전체적으로는 0cm/sec인 경우에 비해 3cm/sec인 경우가 흐르는 전류량이 많아졌음을 알 수 있으며, 여기서 전류량은 알루미늄 양극발생전류량을 의미하므로 3cm/sec인 경우가 0cm/sec인 경우에 비해 양극소모량이 많을 것으로 예측할 수 있다.

Fig. 7은 용액의 유동유무에 따른 Al양극의 소모량을 나타낸 그래프이다.

Fig. 6에서 예측했던바와 같이 3cm/sec인 경우가 0cm/sec인 경우에 비해 양극소모량이 많음을 알 수 있으나, 이는 유속의 증가에 따라 해수의 상대적인 운동으로 인하여 금속표면 즉, 음극의 농도 분극이 감소되어 Al양극과 시험편의 전위차가 커

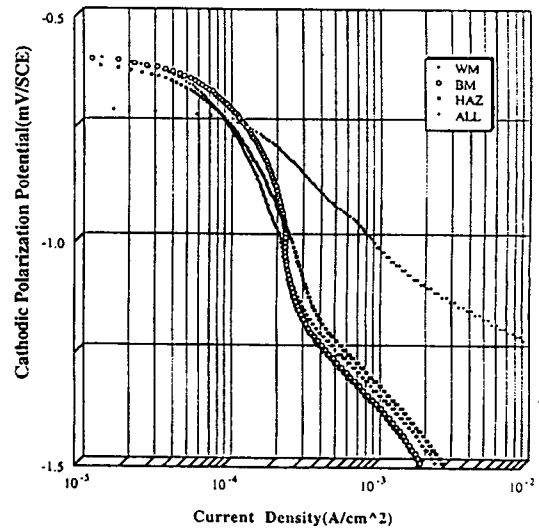


Fig. 8 Cathodic polarization curves of welding metal of RE36 steel in natural sea water solution

지게 되어 양극의 발생전류가 증가하며, 동시에 양극소모량을 증대시킨 것<sup>13)</sup>으로 사료된다.

Fig. 8은 RE36강의 All(WM, BM, HAZ)을 동시에 노출, 6.5cm<sup>2</sup>)와 각 미세부위별 음분극 곡선을 나타낸 그래프이다.

그래프에서 알 수 있듯이 미세부위별의 전체적인 경향은 유사하였으며 용존산소의 환원반응 ( $O_2 + 2H_2O + 4e \rightarrow 4OH^-$ )에 따른 농도분극과  $2H_2O + 2e \rightarrow H_2 + 2OH^-$ 의 반응에 의한 수소발생에 의한 활성화 분극의 변곡점은 대략 -950mV ~ -1000mV범위내에 있음을 알 수 있다. 그리고 용접부(모재부, 열영향부, 용착부 포함)에서의 변곡점은 명확하게 드러나지 않으나 대략 -900mV 전후인 것으로 사료된다. 그러나 음분극곡선만으로 수소취성의 한계전위를 단정하기는 다소 무리가 있으므로 저변형을 속도실험(slow strain rate test, SSRT)을 시행하여 정확한 수소취성영역을 고찰하는 것이 중요하다고 사료된다.

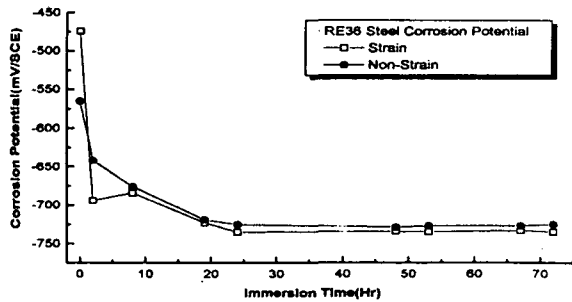


Fig. 9 Variation of corrosion potential by applied tensile strength or not in natural sea water solution

Table 4 The data obtained by SSRT as a function of applied cathodic potential

	Stress at Max. Load (MPa)	Elongation (%)	Time to Fracture (Hrs)	Strain to Failure Ratio
Air	556.6	25.6	72.3	
$E_{corr}$	546.3	21.87	65.4	0.85
-770mV	542	24.9	70.2	0.97
-875mV	549	23.2	65.5	0.91
-900mV	554.4	19	53.7	0.74
-1000mV	555.3	16	45.2	0.63
-1200mV	535.1	12.3	34.8	0.48

Fig. 9는 SSRT법에 의해 인장응력을 받고 있을 때의 부식전위와 받고 있지 않을때의 부식전위를 비교한 그래프이다.

그래프에서 알 수 있듯이 인장응력을 받는 경우가 받지 않는 경우에 비해서 부식전위가 비(卑)한 것은 인장응력이 시험편 표면에 가해짐에 따라 염소이온에 의한 양극의 반응이 더욱 활성화되어 부식전위가 낮아진 것으로 사료된다. 침지 약 72시간이 경과한 후에 인장응력을 인가하였을 경우가 인가하지 않은 경우에 비해 10mV정도 낮아졌음을 알 수 있었다.

Table 4는 인가전위(음극방식전위)의 변화에 따라 저변형을 인장실험을 실시하여 각각의 음극분극전위에 따른 최대인장강도, 연신율, 파단시간 및 파괴변형비 등의 결과를 정리한 표이다.

그리고 SSRT실험의 경우 시험편의 WM부, HAZ부 및 BM부 전체를 부식액의 해수용액에서 노출시켰다. 이렇게 함으로써 어느 부위에서 파단되는지를 알 수 있도록 하였다. 실험의 결과에 의하면 파단부위는 본 실험의 경우 BM부에서 파단되었음을 알 수 있었다.

그리고 Fig. 10은 Table 4의 결과에서 최대인장강도와 인가분극전위의 관계를 나타내고 있다.

인가분극전위가 -1000mV일때 가장 높았고, -770mV에서 가장 낮았으며, 부식전위인 경우가 오히려 -770mV보다 높은 인장강도를 나타내는 것으로 보아 수소취성을 평가할 수 있는 특이한 상관관계는 나타나지 않았다.

Fig. 11은 인가분극전위와 연신율과의 관계를

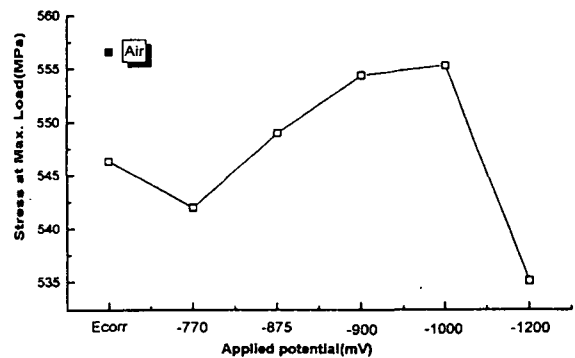


Fig. 10 Relationship between stress at Max. load and applied cathodic potential

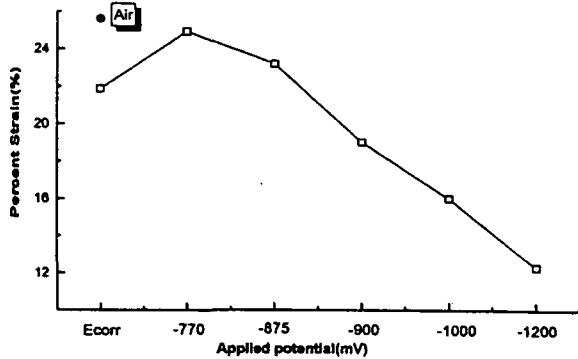


Fig. 11 Relationship between percent strain(%) and applied cathodic potential

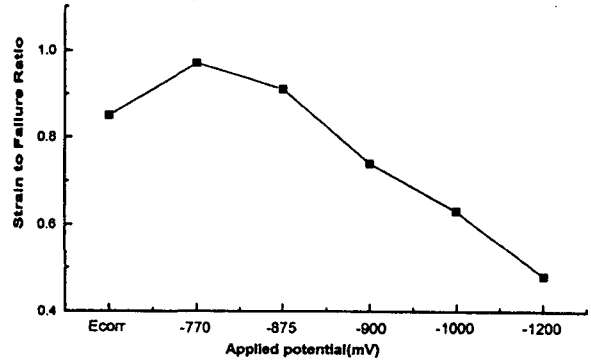


Fig. 13 Relationship between strain to failure ratio and applied cathodic potential

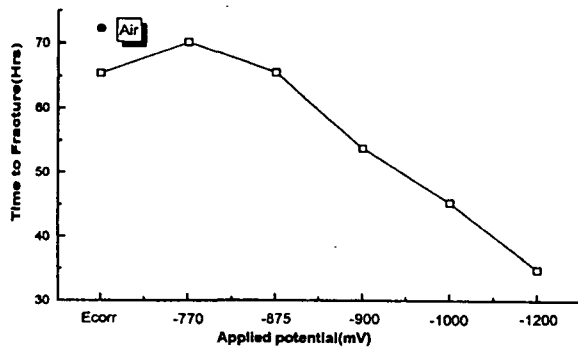


Fig. 12 Relationship between time to fracture and applied cathodic potential

나타낸 그래프이다.

그래프에서 알 수 있듯이 -770mV가 24.9%로 가장 크게 나타났으며, 인가전위가 비(卑)한 전위 값으로 내려 갈수록 연신율도 저하한다는 사실을 알 수 있었으며, 특히 -1200mV에서는 12.3%정도 밖에 되지 않았다는 사실을 알 수 있었다. 그리고 -900mV의 경우에는 음극분극곡선상 수소발생의 변곡점 영역에 있으며, 실험도중 수소가스의 발생이 육안으로 확인되지 않았으나 연신율은 -875mV에 비해서 다소 감소되었다. 따라서 수소취성은  $H^+ + e \rightarrow H$ 의 원자상 수소가 금속내부에 침입하여 수소취성을 일으키는 것으로 사료된다.<sup>12)~13)</sup>

Fig. 12는 인가분극전위에 따른 파단시간과의 관계를 나타낸 그래프이다.

그래프에서 알 수 있듯이 -770mV에서 파단되는데 걸리는 시간이 가장 긴 것으로 보아 최적의 음극방식 상태에 있으며 또한 수소가스의 생성과 침입에 의한 수소취성의 영향은 없는 것으로 사료되며, 인가전위가 저하할수록 수소취성에 대한 영

향으로 파단시간이 짧아지고 있다는 사실을 알 수 있다. 또한 부식전위상태인 경우가 -900mV보다 오히려 파단시간이 길었다는 사실로 보아 RE36강의 경우 -900mV(SCE)이하에서는 과방식에 의한 수소취성의 영향으로 오히려 자연부식상태보다 오히려 열악하다는 사실을 알 수 있었다.

그리고 Fig. 13은 인가분극전위에 따른 파괴변형비를 나타낸 그래프이다.

여기서 파괴변형비란 공기중에서의 파괴변형율에 대한 인가분극전위에서의 변형율의 비를 의미한다. 따라서 파괴변형비가 크다는 의미는 수소취성에 대한 저항성이 크다고 할 수 있다. 파괴변형비는 -770mV에서 0.97로 가장 컸으며, 그 다음 -875mV는 0.91, Ecorr은 0.85였다. -900mV이하의 Ecorr보다 오히려 낮은 값을 나타내므로 파단시간과 연신율의 비교에서 검토했듯이 수소취성에 민감하다는 사실을 재확인 할 수 있었다. 이것은 Fig. 8의 음분극 곡선에서도 All(용접부-WH, BM, HAZ부를 동시 노출시킨 경우)과 같이 -900mV전후에서부터 수소발생에 따른 변곡점이 나타났으며, SSRT법에 의한 실험을 통해서도 수소취성 한계전위가 -900mV(SCE)이하인 것과 일치한 것으로 사료된다. 그러므로 최적음극방식 전위는 수소취성이 나타나지 않으면서 방식가능한 -770mV~-875mV일 것으로 사료되며, 아울러 수소취성감수성은 연신율, 파단시간 그리고 파괴변형비와 밀접한 상관관계가 있음을 확인 할 수 있었다.



#### 4. 결 론

해양구조물용 RE36강의 용접부 부식거동 및 저변형율속도실험(SSRT)에 의한 기계적 특성에 관한 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. RE36강 용접부 미세부위별 경도실험에서 열영향부가 가장 높은 경도값을 나타냈으며, 용착부, 모재순으로 낮게 나타났다.
2. 부식전위 측정실험과 탄소봉과의 갈바닉형성에 의한 전류량 실험을 통해서 열영향부가 갈바닉 부식이 발생할 가능성이 가장 크며, 용착부는 갈바닉 부식이 발생할 가능성이 가장 작은 것으로 사료된다.
3. RE36강의 미세부위별 부식전류밀도는 오히려 HAZ부가 가장 적고, WM부가 가장 컸다. 따라서 각 부위가 독립적으로 부식될 경우에는 마이크로셀 형성에 의한 WM부가 가장 먼저 부식될 가능성이 높다고 사료된다.
4. 저변형율 인장실험에서 연신율, 파단시간 그리고 파괴변형비 등을 비교 고찰한 결과  $-770\text{mV(SCE)}$ 가 가장 높은 값을 나타냈으며, 그 다음  $-875\text{mV(SCE)}$ , Ecorr로 나타났다. 그리고  $-900\text{mV(SCE)}$ 이하에서는 수소취성에 의한 영향으로 부식전위 상태에서보다 오히려 더 열악한 특성을 나타냈다. 따라서 최적음극방식전위는 수소취성이 나타나지 않으면서 방식가능한  $-770\text{mV} \sim -875\text{mV(SCE)}$ 인 것으로 사료되며,  $-900\text{mV(SCE)}$ 이하에서는 수소취성이 발생할 가능성이 높다고 사료된다.

#### 참고문헌

1. 溶接學會編, 溶接・接合技術, 産報出版, pp. 292~304, 1993
2. Neil Rothwell, Mervyn E.D. Turner, Corrosion problems associated with weldments, MP, pp. 55~58, 1990, Feb
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, pp. 133~139, 1995, April
4. 橋木哲之祐, 溶接の腐食に及ぼす影響, 防蝕技術, pp. 559~565, 1998
5. Denny A. Jones, Principles and prevention of corrosion, Macmillan publishing company, pp. 315~330, 1992
6. 김성중, 김진경, 문경만, 선박재료용 SS400강의 내식성에 대한 용접후열처리효과에 관한 연구, 한국박용기관학회지, Vol. 23, No. 6, pp. 806~813, 1999
7. 日本高壓力技術協會, 應力焼鈍委員會編, 應力焼鈍まし基準とその解説, pp. 3~66, 1982
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, pp. 153~159, 1995, May
9. C. Bloch, J. Hill, D. Connell, Proper PWHT can stop stress-induced corrosion, Welding journal, pp. 31~41, 1997 May
10. 紫田夫訊, 腐食と酸化, 産業書, p69, 1983.
11. 中川雅央, 電氣防食法の實際, 地人書館, p. 33, 1967
12. F. de Kazinczy, J. Iron and Steel Inst., 177, 85, 1954.
13. F. Galofalo, Y. T. Chou, and V. Ambeguokar, Acta Met., 8, 504, 1960