

해양구조물용 고장력강 용접열영향부의 용접후열처리에 따른 기계적 특성에 관한 연구(SMAW의 경우)

A study on mechanical properties by PWHT of weld HAZ of high strength steel
for marine structure(in case of SMAW)

김성중*, 김진경**, 김종호***, 김영식****, 문경만****

*한국해양대학교 대학원, **한국해양수산연수원

한국해양대학교 기관공학부, *한국해양대학교 기계소재공학부

1. 서론

최근 해양구조물은 점점 대형화되어 가고 있는 추세에 있으며 또한 이들 구조물의 대형화에 따른 구조물의 보수, 유지관리가 더없이 중요한 사안으로 등장하게 되었다. 따라서 보수, 유지관리의 측면에서 볼 때 구조물의 장수명화를 위한 재료의 내구성이 무엇보다 중요하다고 사료된다. 일반적으로 해양구조물은 파랑, 조류, 모래 등에 의한 끊임없는 물리적 충돌에 노출되어 있으며 이러한 물리적인 작용에 따른 재료의 손상은 물론 물리적 작용과 함께 수반되는 가혹한 부식환경에 노출되어 있어 재료의 내식성 문제는 무엇보다 중요하다고 사료된다.

본 연구에서는 해양구조물용 고장력강인 RE36강을 As-welded시험편과 550℃에서 용접후열처리를 시행한 시험편의 용접부 주위 각 미세부위별 부식특성과 음극방식을 위해 공급되는 일정 전위상태에서 SSRT법을 시행하여 최대인장강도, 항복강도, 연신율, 파단시간 및 파괴변형비 등을 상호 비교·고찰하였다. 따라서 본 실험의 결과는 해양구조물 및 선박의 설계시공시에 용접부의 부식 및 수소취화의 위험성을 배제하는데에 좋은 참고자료가 될 것으로 기대된다.

2. 시험재 및 실험방법

2.1 시험용 재료 및 용접조건

본 연구에 사용된 SSRT용 시험편은 해양구조물용 RE36강으로써 두께 23.4mm, 길이 358mm, 평행부의 폭은 4mm이며, 표점거리는 59mm로 JIS Z 2201의 비례 14B호의 규정에 따라 제작하였다. 그리고 용접부는 시험편 중앙에 위치하도록 하였으며, 용접부 형상은 그루브각도 35±5° 정도이다. 그리고 열영향부에서 파단을 유도하기 위해 열영향부의 시험편 양면에서 0.5mm로 슬롯 가공하여 폭이 14mm가 되도록 하였다.

그리고 본 실험에 사용된 RE36 강의 화학적 조성과 기계적 성질 및 용접봉(E7016, 3.2 또는 4.0mmφ)의 화학적 성질은 Table 1과 같으며, 용접방법은 SMAW로, 용접조건은 Table 2와 같다.

한편 용접후열처리 조건은 시간당 80℃씩 승온하여 550℃에서 1.5시간 유지한 후 냉각시키는 방법을 채택하였으며, 고장력강의 용접후열처리 조건은 550℃-650℃에 해당되나 550, 600 및 650℃ 중 내식성 측면에서 최적의 용접후열처리 조건은 550℃였으므로 이 온도 조건에서 후열처리를 시행하게 되었다.

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

(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	Mo
0.07	0.51	0.80	0.012	0.008	0.52

Table 2 Welding parameters

Pass No.	Welding process	Filler metals		Type & polarity	Current (A)	Voltage (V)	Travel speed (cm/min)
		AWA class	Dia (mm)				
1	SMAW	E7016	3.2	AC	80~110	20~25	5~10
2~	SMAW	E7016	3.2	AC	140~180	23~30	10~25
			or 4.0		120~160	25~27	5~15

2.2 실험방법

SSRT실험은 RE36강 시험편을 해수용액셀(cell)에 침지하여 관통시킨 후 재료만능시험기(Instron 8500)에 고정시켰다. 그리고 셀에는 Pt대극과 SCE기준전극으로 포텐티오스타트(HA-501G)와 Function generator(HB-111)를 이용하여 시험편에 음극분극전위를 인가하여 크로스헤스 속도를 0.0012mm/min로 하여 저변형을 인장실험을 실시하였다. 한편 해수의 정상변화를 방지하기 위해 해수용 펌프를 이용하여 해수용액셀의 해수를 계속 순환시켰다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 해양구조물용 고장력강을 E7016 용접봉을 사용하여 SMAW한 후 용접후열처리를 시행하지 않은 시험편(As-welded)과 550°C에서 용접후열처리를 시행한 시험편의 경도분포를 나타내고 있다. 용접후열처리를 시행한 시험편이 시행하지 않은 시험편에 비해 전반적으로 낮은 경도값을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이는 용접으로 경화된 조직이 용접후열처리로 인하여 다소 연화되었기 때문으로 사료된다. 특히 열영향부에서는 후열처리하지 않은 경우 230-281Hv 정도의 높은 경도를 나타내었으며, 550°C에서 용접후열처리를 시행한 경우는 219-231Hv 정도로 낮아졌다. 그리고 용접후열처리 유무에 무관하게 열영향부가 가장 높고, 용착부, 모재부 순으로 경도값이 낮아지는 경향을 알 수 있다. 그리고 열영향부가 최고경도를 나타내는 이유는 모재가 고온으로 가열되어 반응해부로 되는데 이 부위가 급랭되어 담금질효과에 기인한 것으로 사료된다.

Fig. 2는 As-welded 시험편이 해수용액에서 420분 동안 경시변화에 따른 각 미세부위별 부식전위를 나타낸 그래프이다. 각 미세부위별 모두 경시변화별 완만한 부식전위의 변화를 나타내고 있다. 420분 경과한 후의 BM이 가장 귀(貴)한 전위(-633mV)를 나타냈으며, WM(-672mV), HAZ(-687mV)순으로 비(卑)한 전위를 나타내고 있다는 사실을 알 수 있었으며, 갈바닉 셀 형성시 HAZ부에서 부식발생가능성이 가장 클 것으로 예측되며, 각 미세부위별 최대전위와 최소전위의 차이는 54mV였다는 사실을 알 수 있었다.

Fig. 3은 550°C에서 용접후열처리를 시행한 시험편이 해수용액에서 420분 동안 경시변화에 따른 각 미세부위별 부식전위를 나타낸 그래프이다. 각 미세부위별 부식전위는 초기에 비한 방향으로 이행하다 180분 경과한 후부터는 다소 안정된 전위를 나타내고 있음을 알 수 있다. 420분 경과한 후의 BM이 As-welded 시험편과 마찬가지로 가장 귀(貴)한 전위(-731mV)를 나타냈으며, WM(-743mV), HAZ(-745mV)순으로 비(卑)한 전위를 나타내고 있다는 사실을 알 수 있었으며, 갈바닉 셀 형성시 HAZ부에서 부식발생가능성이 가장 클 것으로 예측되며, 각 미세부위별 최대전위와 최소전위의 차이는 14mV로 용접후열처리를 시행함으로써 각 미세부위별 최대 전위차가 현저히 감소함으로써 갈바닉 부식 발생가능성이 저하할 것으로 사료된다. 그러나 부식전위만으로 부식성을 판단하는 것은 정성적인 경향을 예측할 수 밖에 없으므로 좀더 정량적인 데이터를 얻기 위해 탄소봉(노출면적:0.785cm²)과 각 미세부위별로 해수용액에서 갈바닉셀을 형성한 후 양단간 흐르는 전류량을 측정하였다.

Fig. 4는 As-welded 시험편 용접부의 미세부위와 탄소봉 사이 양단간 흐르는 전류량을 나타낸 그래프이다. HAZ부 침지초기에는 142.23 μA 정도의 높은 전류에서 차츰 하강해 가는 해 가는 반면 BM, WM부는 초기부터 다소 안정된 전류량을 나타내고 있음을 알 수 있었다. 720분 경과한 후의 전류량을 비교해 보면 HAZ부가 가장 높았으며(58 μA), WM(53 μA), BM(28 μA) 순으로 낮게 나타났으며, 미세부위별 최대 전류량 차이는 30 μA 정도였다.

Fig. 5는 550°C에서 용접후열처리를 시행한 시험편 용접부 미세부위와 탄소봉 사이 양단간 흐르는 전류량을 나타낸 그래프이다. 720분 경과한 후의 전류량을 비교해 보면 HAZ부(47.5 μA)가 가장 높았으며, WM(33.01 μA), BM(29.2 μA) 순으로 낮게 나타났으며, 미세부위별 최대 전류량 차이는 18.3 μA 정도였다는 사실을 알 수 있었다. 용접후열처리를 시행하지 않은 시험편에 비해 갈바닉에 의한 부식발생가능성이 적을 것으로 사료된다.

지금까지 Fig. 2 ~ Fig. 5의 실험결과를 정리해서 비교해 보면 Table 3과 같다.

Table 3 Results of corrosion potential measurement test and galvanic test

Corrosion potential measurement test(Test Period : 420 min)	
BM ----- WM ----- HAZ	
貴 ←	→ 卑
As-welded	PWHT
54mV	14mV
galvanic test(Test Period : 720 min)	
BM ----- WM ----- HAZ	
貴 ←	→ 卑
As-welded	PWHT
30 μA	18.3 μA

Table 4는 용접후열처리 유무와 인가전위(음극방식전위)의 변화에 따라 용접열영향부에서 파단되도록 노치가공하여 천연해수 부식셀에 노출시켜 저변형을 인장시험을 실시하였다. 이 때 각각의 음극분극전위에 따른 최대인장강도, 항복강도, 파단강도, 연신율, 파단시간 그리고 파괴변형비 등의 결과를 정리한 표이다.

Table 4 The data obtained by SSRT as a function of applied cathodic potential in case of As-welded and PWHT specimen

	Stress at Max load(MPa)		Stress at offset Yield (MPa)		Stress at Auto Break (MPa)		Elongation (%)		Time to Fracture(Hrs)		Strain to Failure Ratio	
	As-welded	PWHT	As-welded	PWHT	As-welded	PWHT	As-welded	PWHT	As-welded	PWHT	As-welded	PWHT
Air	681.4	650	538.2	419.6	244.4	251.0	5.678	6.251	46.74	50.96		
Ecorr	695.7	632.9	579.2	436.5	341.2	224.7	4.056	5.189	33.35	42.17	0.714	0.83
-770mV	700.6	619.5	441.8	443.2	195.0	225.3	5.198	5.316	43.28	44.26	0.915	0.85
-850mV	635.3	597.2	508.7	424.9	223.4	248.1	3.828	4.21	31.74	34.63	0.674	0.673
-875mV	651.4	581.4	519.2	516.3	357.2	232.9	3.717	3.95	30.56	32.96	0.655	0.632
-900mV	614.5	596.9	491.8	418.8	406.5	364.7	3.245	3.723	26.70	30.41	0.572	0.596
-1000mV	628.5	521.5	550.6	415.1	478.3	263.9	2.299	2.753	19.63	22.63	0.405	0.44

4. 결론

지금까지 해양구조물용 고장력강 용접열영향부의 용접후열처리에 따른 기계적 특성에 관한 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) RE36강 용접부위의 각 미세부위별 경도측정실험에서 용접후열처리 조건에 무관하게 HAZ가 가장 높은 경도값을 나타냈으며, 용착부, 모재순으로 낮게 나타났다. 또한 As-welded 시험편에 비해 PWHT를 시행한 시험편의 경도가 낮게 나타났다.

2) 부식전위측정실험과 탄소봉과의 갈바닉형성에 의한 전류량 실험을 통해서 HAZ가 갈바닉부식발

생가능성이 가장 크며, 모재부가 가장 작을 것으로 사료된다.

3) 저변형율인장 실험에서 최대인장강도, 항복강도 및 파단강도는 수소취성과의 특별한 상관관계가 나타나지 않은 반면, 연신율, 파단시간 그리고 파괴변형비는 -770mV 를 기준으로 전위가 낮아질수록 저하하는 경향을 나타내는 것으로 보아 수소취성과 밀접한 상관관계가 있음을 알 수 있다.

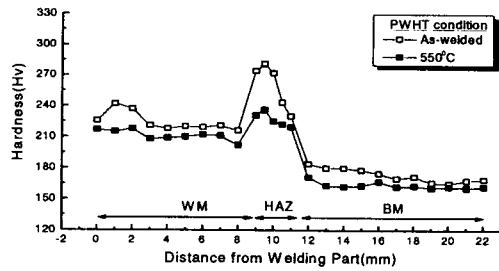


Fig. 1 Variation of micro-vickers hardness in case of As-welded and PWHT specimen of RE36 steel

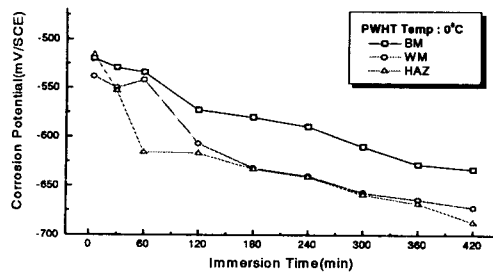


Fig. 2 Variation of corrosion potential in case of RE36 steel as-welded specimen as a function of immersed time in natural sea water solution

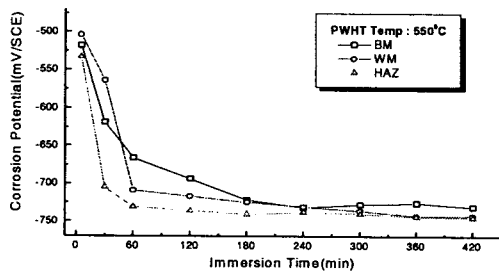


Fig. 3 Variation of corrosion potential in case of RE36 steel PWHT temperature 550°C specimen as a function of immersed time in natural sea water solution

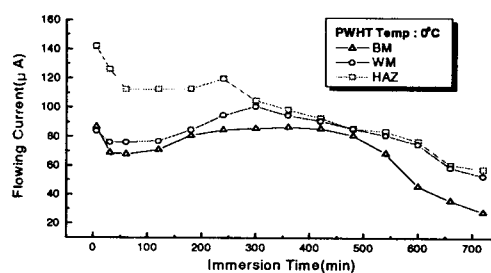


Fig. 4 Flowing current between carbon rod and BM, WM, HAZ of as-welded specimen in natural sea water solution

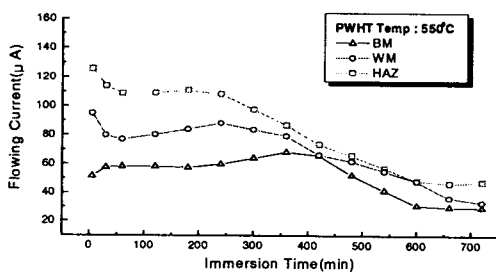


Fig. 5 Flowing current between carbon rod and BM, WM, HAZ of PWHT temperature 550°C specimen in natural sea water solution