

# 조선용 EH40 후판 강재의 용접 특성

남성길 · 권창길 · 선혜선 · 장태원

삼성중공업 용접도장연구팀

## 1. 서론

컨테이너선의 상부 구조에는 부하 응력에 대응하여 항복강도 36kg/mm<sup>2</sup> 강재가 주로 사용되어 진다. 최근에 컨테이너선의 대형화가 급격히 진행됨에 따라 이들 상부 구조를 이루는 강재의 후판 적용이 불가피하게 되었다. 6200 TEU 컨테이너선의 경우 50~60mm 두께의 EH36 강재가 주로 사용되고 있으며, 이보다 대형인 경우에는 60mm 이상의 강재가 사용되어야 한다. 이렇게 되면 컨테이너선 상부 구조의 후판화에 따른 선체 중량의 증가와 용접량 증대에 따른 생산성 저하 등이 설계와 생산에 악영향을 미칠 수 있다. 이에 EH36 강재보다 고강도 강재인 EH40 강재의 적용이 검토되고 있으나 국내에서는 실적이 거의 없는 상태이다.

이에 본고에서는 EH40 강재의 용접시 선급의 Rule Requirement를 만족시킬 수 있는 용접방법을 살펴보고 용접법에 따른 물리적 특성을 고찰하고자 한다.

## 2. 시험 방법

### 2.1 시험용 모재

시험에 사용된 모재의 화학성분치 및 기계적 성질은 아래 <Table1>과 같다.

<Table1> Chemical Composition and Mechanical Properties of Base Metal

번호	제조사	화학성분치(%)										기계적성질(N/mm <sup>2</sup> )		두께(mm)	비고
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Al	Ti	B	인장강도	항복강도		
1	A	.08	.26	1.47	.008	.002	.19	.17	.06	.009	.0013	570	462	70	일산
2	B	.07	.17	1.54	.007	.001	.01	.01	.038	.011	-	523	437	70	일산
선급규정		.18	.50	.9-1.6	.035	.030	.35	.4	.015	.02	-	510-650	MIN.390	50	LRS

\* 선급 규정의 단독 수치는 최대치를 나타냄.(단, Al의 경우만 최소치임)

### 2.2 용접법 및 용접재료

용접법은 조선 분야에서 가장 많이 사용되는 FCAW, SAW 및 탐재에 사용되어지는 EGW를 사용하였다. FCAW의 경우에는 용접자세별로 시험하였으며, 각각의 용접법에 사용된 용접재료의 특성은 아래 <Table2>와 같다.

<Table2> Chemical Composition and Mechanical Properties of welding consumables

용접법	AWS Spec.	용접금속 화학성분치(%)							기계적성질(N/mm <sup>2</sup> ,%)			비고
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo	인장강도	항복강도	연신율	
FCAW	E81T1-K2	.04	.38	1.32	.012	.010	1.43	-	600	540	28	1.4mm
SAW	F7A8-EH14	.08	.10	1.49	.015	.008	-	-	550	470	31	4.8mm
EGW	(EG70T-G)	.05	.25	1.60	.009	.007	1.40	.13	615	500	25	1.6mm

### 2.3 용접조건

용접전 60℃ 예열을 실시하였으며, 최고 층간온도는 250℃ 이하로 시험되었다. 용접조건은 용접재료의 특성과 경험을 토대로 설정되었으며 FCAW의 경우에는 비드폭이 30mm까지 적용될 수 있는 입열량으로 시험되었다. 용접법별 용접조건은 아래 <Table3>과 같다.

<Table3> Welding Conditions

용접법	용접자세	전류(A)	전압(V)	평균입열량(kJ/cm)	최대입열량(kJ/cm)	개선행상	시험재	비고
FCAW	1G	240-390	29-37	39.5	58	Single V, 40°	1	백가우징 적용 다층용접 단층/다층용접 FCAW+SAW
	3G	230-290	25-29	39.3	53	Single V, 40°		
	1G	230-390	25-37	33.7	59	Double Bevel, 40°		
	2G	240-300	26-32	9.8	16	Double Bevel, 40°		
	3G	230-290	26-30	35.7	53	Double Bevel, 40°		
	2F	260-300	27-30	12.8	16	필렛		
	3F	240-250	25-27	32.3	35	필렛		
SAW	1G	630-830	29-37	35.0	42	Double Vee, 50° / 80°		
EGW	3G	410	40	550	-	Single V, 20°	2	Root Gap : 8mm

2.4 시험 종류

2.3항의 용접조건으로 제작된 시편을 UT와 MT로 비파괴시험 하였으며, 용접부의 건전성과 물리적 성질을 확인하기 위해 측면굽힘시험, 인장시험, Charpy V-notch 충격시험, 용접단면 Macro-etching 시험과 경도시험을 실시하였다. 특히 충격시험은 -20℃와 -40℃에서 각각 실시하였다.

3. 시험결과

3.1 비파괴시험, 측면굽힘시험, BREAK 시험 결과

모든 시험편이 결함이 전혀 없는 양호한 결과를 나타내었다.

3.2 인장시험 결과

용접부의 인장시험 결과는 모두 선급의 Rule Requirement를 만족하였다. 인장시험결과는 아래 <Table4>와 같다.

<Table4> Tensile Strength for Each Joint

용접법	용접자세	인장강도	파단위치	비고
선급규격(LRS)		MIN. 510	-	-
FCAW	1G	596	모재	Single Vee
	3G	594	모재	
	1G	582	모재	Double Bevel
	2G	618	모재	
	3G	590	모재	
SAW	1G	554 / 561* / 491**	모재	
EGW	3G	638* / 468**	-	

\*, \*\* All Weld Metal 인장 시험시의 인장강도, 항복강도

3.3 Charpy V-notch 충격시험 결과

충격시험에 대한 각 선급의 Rule Requirement가 서로 달라 -20℃와 -40℃에서 시험을 실시하였으며, -40℃에서는 Face부만 시험하였다. 그 결과는 아래 <Table5>와 같다.

3.4 Macro-etching 시험 결과

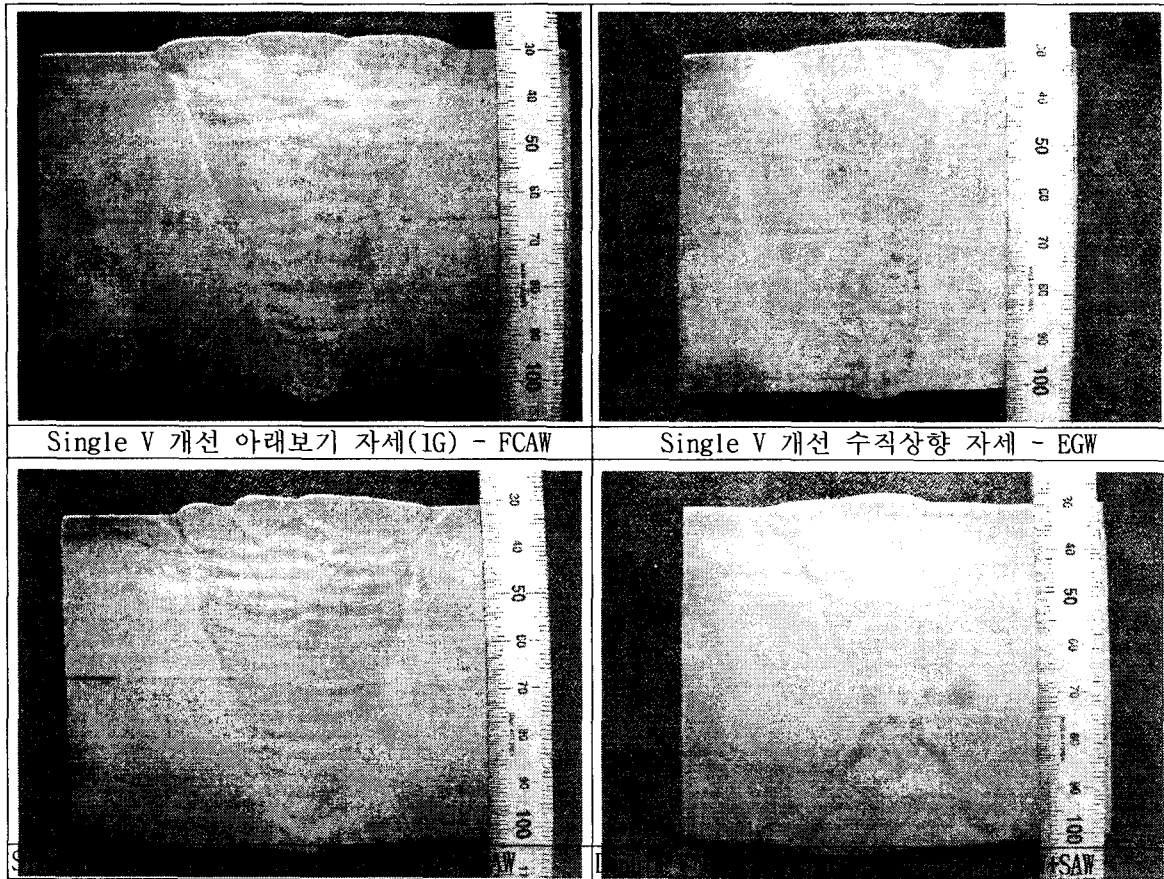
용접부 및 열영향부에 전혀 결함이 없는 양호한 상태를 나타내었다. Macro 사진의 일례를 아래 <Table6>에 나타내었다.

<Table5> Impact Value for Each Joint

용접법	용접 자세	충격치(J)													
		-20℃										-40℃			
		FACE부(또는 1ST SIDE)					ROOT부(또는 2ND SIDE)					FACE부			
		WM	FL	FL1	FL3	FL5	WM	FL	FL1	FL3	FL5	WM	FL	FL2	FL5
FCAW	1G	95	145	309	324	370	73	261	267	293	358	54	101	270	328
	3G	101	162	234	302	357	69	249	260	293	318	80	120	187	328
	1G	93	152	317	255	247	78	125	315	295	367	70	113	236	257
	2G	103	59	153	108	232	84	60	198	212	251	65	47	191	216
	3G	91	127	258	308	360	78	170	277	311	394	63	142	216	364
SAW	1G	144	230	270	392	252	145	97	209	284	273	163	121	213	242
EGW	3G	45	-	-	-	-	31	-	-	-	-	16	-	-	-

\* 선급요구치 : 47J(반자동용접), 41J(자동용접, 수직상향자세)

<Table6> Macro-photo for Each Joint



### 3.5 경도시험 결과

맞대기 용접부의 용접금속 및 열영향부의 경도는 Hv 300 이하의 양호한 값을 나타내었으며, 수평 필렛 용접부의 열영향부에서 최고 경도 Hv 314가 관찰되었다. 수평 필렛 용접부의 용접조건 및 경도치 분포는 아래 <Table7>과 같다.

<Table7> Welding Condition and Hardness Value for Horizontal Fillet Joint

적층	용접법	전류(A)	전압(V)	입열량(kJ/cm)	경도치(Hv10kgf)			
					FACE부		ROOT부	
1	FCAW	300	30	13	FACE부		ROOT부	
2		280	30	13	W/M	264/243/242	W/M	245/260/244
3		290	30	16	W HAZ	<b>302/310/314</b>	W HAZ	236/230/234
4		260	27	9	F HAZ	284/290/294	F HAZ	265/253/206
마크로 사진		적층 순서			경도 시험 위치			

4. 결론과 고찰

- 1) FCAW 적용 맞대기 용접시, V 개선 및 Double Bevel 개선의 경우 용접자세에 관계없이 모든 물성치가 선급의 Rule Requirement를 만족하였다. 단, 수평자세의 Fusion Line에서 충격치가 상대적으로 낮은 값을 보이고 있다. 이는 저입열에 따른 경화 때문으로 생각되며, Terasaki식에 의해도 입열량 20kJ/cm 이하에서는 경도치가 Hv 300을 넘는다.
- 2) FCAW 적용 필렛 용접시에도 경도치가 Hv 350 이하로 선급의 Rule Requirement를 만족하였다. 하지만 수평자세에서 Hv 300을 넘는 경도치가 관찰된다. 경도 증가에 따른 용접부 불균일성을 피하기 위해서는 입열량 하한치를 설정할 필요가 있을 것으로 생각된다.
- 3) SAW의 다층 맞대기 용접시에도 모든 물성치가 선급의 Rule Requirement를 만족하였다.
- 4) EGW 적용 대입열 용접시에는 70mm 강재의 용접금속 충격치가 선급의 Rule Requirement를 만족하지 못하였다. 초대입열 적용이 가능한 강재의 개발 및 이에 적합한 용접재료의 개발이 선행되어야 할 것으로 생각된다.
- 5) 국산 EH40 후판 강재의 개발이 필요하다.