

技術報告

大韓 熔接學會誌
第1卷第1號 1983年 8月
Journal of the Korean
Welding Society
Vol. 1, No. 1, Aug., 1983

SEG 아아크 용접법에 의한 厚板의 最適 용접條件에 關한 研究

신 민 태* · 김 종 희*

A Study on the Optimum Welding Conditions of Thick Plate by SEG^{*1)} Arc Welding Process

by

Min Tae Shin*, Jong Hee Kim*

써 최적 용접 시공조건을 선정하는데 주목적을 두었다.

1. 서 론

본 연구는 선박 건조시의 용접의 자동화, 고능률화를 위하여 1979년도에 현대중공업에서 도입한 심플 엘렉트로 가스 아아크 입향 자동 용접기법의 적용 판 두께 범위를 확대 실시하기에 앞서, 실험을 통하여 최적 용접 시공 조건 선정을 목적으로 수행되었다.

SEG 아아크 용접법은 입향 자동 용접법으로서 당 조선소에서는 주로 탑재공정의 block butt joint에 사용되어 왔으며 작업 工期 단축에 크게 기여하였다. SEG 아아크 용접법이 도입되기 전에 사용되었던 피복 아아크 용접법과 비교할 때, 판 두께 20mm를 기준하여 약 5배의 능률 향상을 가져왔다.

SEG 아아크 용접법은 용접장비가 단순하며, 자동 용접법이므로 용접사의 높은 기량을 요구하지 않는다. 또한 입향 자세 용접기법 중에서는 비교적 높은 건류, 높은 능률의 자동 용접법으로 평가되고 있다. 이러한 이유로 이 기법의 적용이 늘어날 것으로 예상되며, 이의 확대 보급을 위한 연구가 계속되어야 할 것으로 생각된다. 이와 같은 현장 실정에 비추어, 본 연구는 후판 SEG 아아크 용접 조건의 변수가 충격 강도에 미치는 영향을 검토함으로

2. 실험 방법

본 연구에서는 용접 작업 조건이 좋고 능률이 높으며 용착부의 기계적 성질이 선급 규정을 만족시킬 수 있는 최적의 용접 시공 조건을 찾아내기 위하여 여러 가지 실험을 수행하였다.

2.1 용접 재료

실험에 사용된 용접모재는 50kg/mm²급 고장력강^{*2}으로서 두께는 32mm이며 화학성분과 기계적 성질은 Table 1에서와 같다.

용접 재료는 연강 및 50kg/mm²급 고장력강용인 AWS EG60T2^{*3)} 1.6φ의 용접 와이어, 용접용 탄산 가스 및 뒷면 받침재^{*4)} 또는 당사 제작 수냉 銅當金을 사용하였다. 이들 용접 재료의 조합에 대한 선급 승인은 ABS; 2A, 2YA¹⁾, NK; KEW52, LR; 2, 2Y, NV; IIY, BV; 2/II로 승인되었으며 용착금속의 화학성분과 기계적 성질은 Table 2에 나타내었다.

본 실험에 사용된 용접기^{*5)}와 그 부속장치의 개략적인 구성은 Fig. 1에서 보는 바와 같다.

* 현대중공업(주) 품질관리부 용접기술연구소, 정희원

*1) SEG는 Simple Electro Gas의 머릿글자를 딴 것으로 상품명임.

*2) ABS Grade DH32(fully killed fine grain)

*3) KOBE DWS-43G

*4) KOBE KL-4GT

*5) DYNA AUTO XIII 500 P.S., KOBE SEG-2

Table 1. Chemical compositions and mechanical properties of steel plate used

a) Chemical compositions			(wt%)
Classification	Specification ⁶⁾		Test result
	not less than	not more than	
C	—	0.18	0.15
Si	0.10	0.50	0.34
Mn	0.90	1.60	1.34
P	—	0.04	0.018
S	—	0.04	0.006
Cu	—	0.35	0.01
Ni	—	0.40	0.01
Cr	—	0.25	0.02

b) Mechanical Properties			
Classification	Specification *1		Test result
	MIN.	MAX.	
T.S	48 kg/mm ²	60 kg/mm ²	51 kg/mm ²
Y.P	32 kg/mm ²	—	35 kg/mm ²
E.L	19.0%	—	31%

c) Mechanical properties		
Test temp. (°C)	Minimum absorption energy in Charpy V—notch test (kg-m)	
	specification ^{†6)}	test result
-20	Min. 3.5 kg-m	23.0 kg-m

Table 2. Chemical compositions and mechanical properties of weld metal

a) Chemical Compositions						(%)
C	Mn	Si	P	S	Mo	
0.08	1.57	0.35	0.016	0.010	0.17	

b) Mechanical Properties				
Y.P (kg/mm ²)	T.S (kg/mm ²)	E.L (%)	I.V(O°C) (kg-m)	PWHT
48	61	27	7.2	as welded

† 6) from ABS Grade DH32²⁾

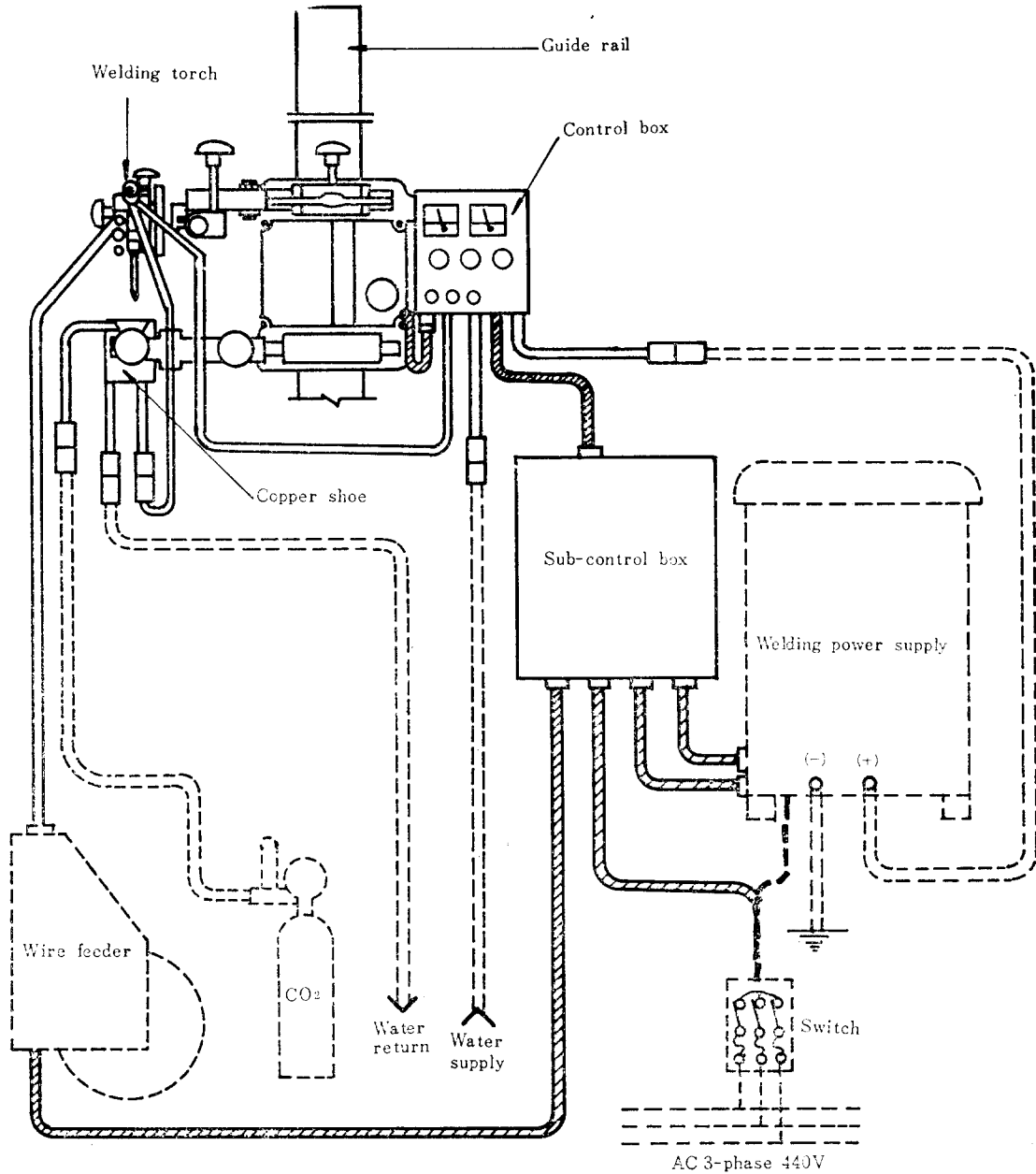


Fig. 1. Connection diagram of SEG-2

2.2 용접 시공 조건 선정 실험

최적 용접 조건을 찾기 위해서 3단계에 걸친 실험을 수행하였다.

2.2.1 제1단계 실험

용접 장비 제조업체의 추천 용접 조건²⁾에 따라 실험 하였으며 용접 변수에 따른 작업성과 비이드의 외관을 종합적으로 검토하였다. 또한 선정된 용접 조건의 만족도를 조사하기 위해서 용접부의 기계적 성질 시험을 실

시하였다. Fig. 2에서는 용접부의 단면과 뒷면 고정 水冷 銅當金の 형상을 나타내었다.

2.2.2 제2단계 실험

제1단계 실험의 최적 용접 조건에서 이번 고정 水冷 銅當金 대신에 고행 받침재(backing material)를 사용하고 기타 용접 조건은 제1단계 실험 조건과 동일하게 하여 실험을 수행하였다. 또한 용접 조건의 만족도를 조사하기 위해서 용접부의 기계적 성질 시험을 수행하였

다. Fig. 3에서는 용접부의 단면과 KL-4GT 고형 받침재의 형상을 나타내었다.

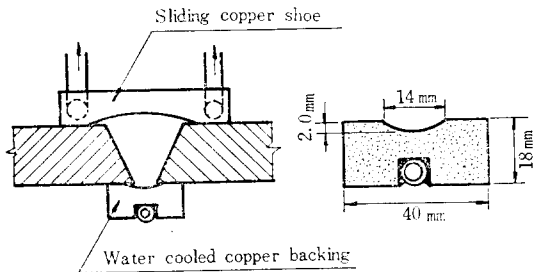


Fig. 2. Section of weld and water cooled copper backing

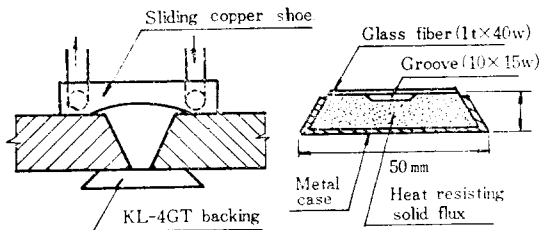


Fig. 3. Section of weld and KL-4GT backing

2.2.3 제3단계 실험

제2단계 실험 용접 조건에서 용접 입열을 줄이기 위하여 와이어 돌출길이를 증가시켰다. 또한 입열량 감소와 관련하여 만족스런 용접 비이드 외관을 형성시키기 위하여 토오치 oscillation폭을 증가시켰다. 기타 용접 조건은 제2단계 실험 조건과 동일하게 하였다. 용접 조

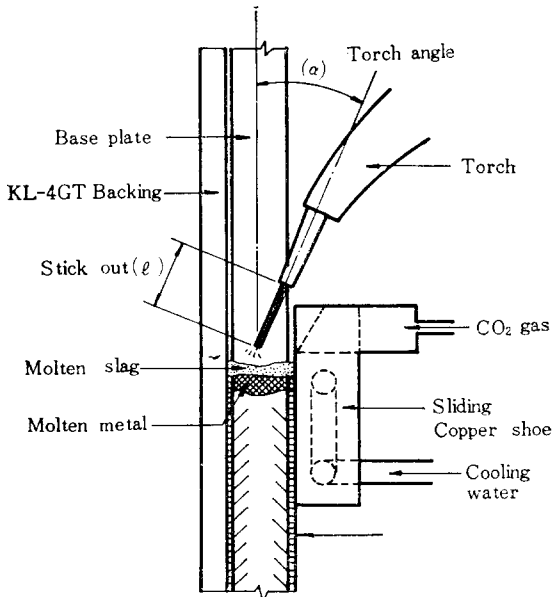
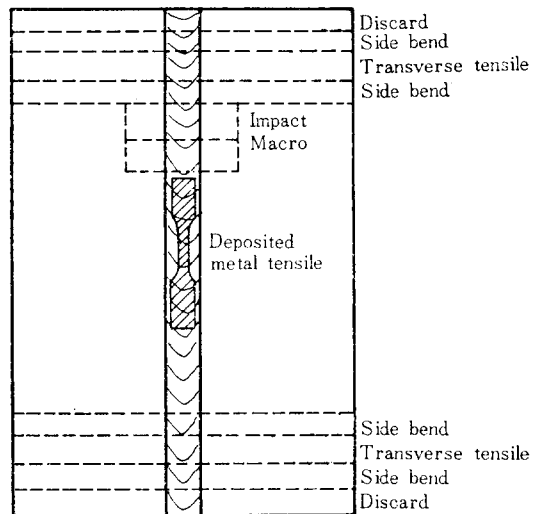


Fig. 4. Torch angle and stickout

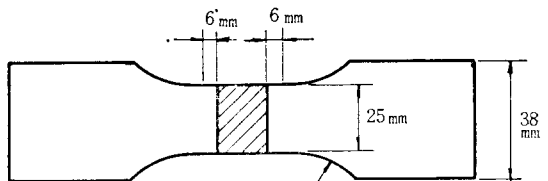
건의 만족도를 조사하기 위해서 용접부의 기계적 성질 시험을 수행하였다. Fig. 4는 SEG 아아크 용접시의 토오치 각도 및 와이어 돌출길이를 설명하고 있다.

2.3 기계적 성질 시험

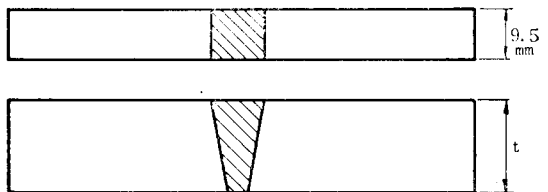
선정된 제1, 2, 3단계 용접 조건으로 용접한 시험편은 X-ray 시험을 거쳐 시험편을 채취하여 충격 시험, 인장 시험, 형틀굽힘 시험 및 전용착 금속 환봉 인장 시험을 하였다. Fig. 5에서는 ABS 선급 규정³⁾에 따라 제작된 용접 시험편의 채취 위치와 기계적 성질, 시험편 규격을 보여주고 있다. 기계적 성질 시험에는 당조선소에서 보유하고 있는 100톤 Universal testing machine과 Charpy impact testing machine을 사용하였다.



a) Test assembly



b) Transverse tensile test specimen

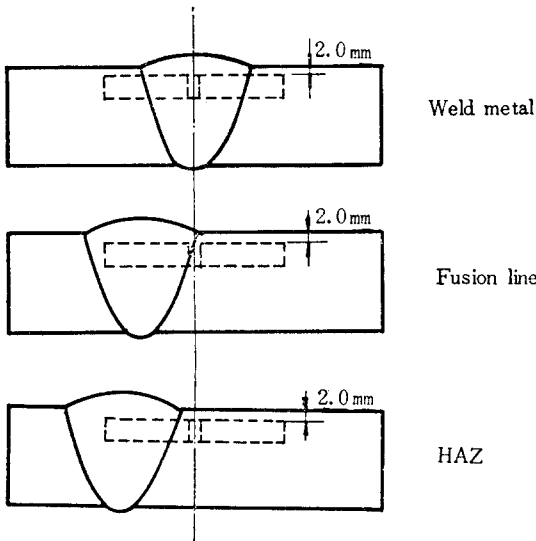
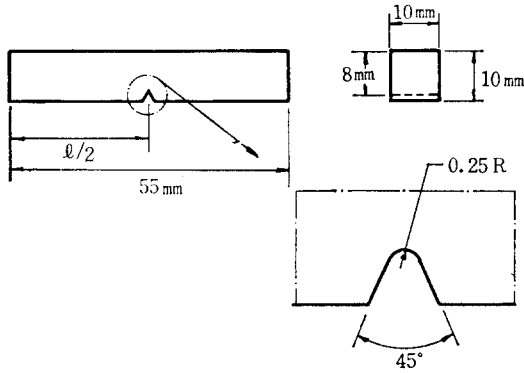


c) Side bend test specimen

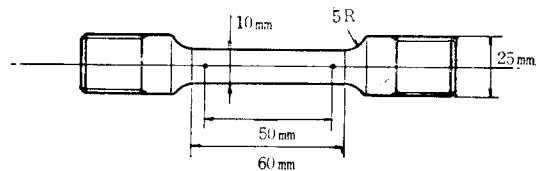
3. 실험 결과 및 검토

3.1 제1단계 실험

용접기 제조업체에서 제시한 용접 조건을 근거로 여러 차례의 실험을 통하여 표면 및 뒷면 비이드 상태가 만족스럽게 형성되는 적정 용접 조건은 Table 3에 보인 바와 같다. 충격 시험 결과도 Table 4에 보이는 바와 같이 ABS Grade 2YA¹⁾를 만족하고 있는 양호한 결과를 얻었다.



d) Impact test specimen



e) All weld metal tensile test specimen

Fig. 5. Test assembly and mechanical test specimens

Table 3. Welding Condition

Welding materials	ABS DH32 plate (32mm) + DWS-43G wire (1.6φ)
Welding equipments	Dynaauto XⅢ 500P. S. CM-231 wire feeder. SEG-2 water cooled copper backing
Shield gas	CO ₂
Current	380 Amp
Voltage	37 Volt
Travel speed	5.0 cm/min
Heat input	169 KJ/cm
Gas flow rate	25 l/min
Polarity	DCRP
Water flow rate	2~3 l/min
Torch angle	5°
Stickout	35 mm
Oscil. amp	10 mm
dwel (F)	0.5 sec
" (B)	0.5 sec
Joint preparation	

Table 4. Mechanical property of the weld

Test temp.	Specifica-tion*	Impact value (kg-m)				Notch position
		1	2	3	avg.	
0°C	min. 4.1	7.5	6.6	8.2	7.4	weld metal
		8.0	8.2	9.4	8.5	
		8.3	7.5	9.7	8.5	fusion line
		20.8	16.9	11.8	16.5	HAZ 2mm

* from ABS Grade 2YA¹⁾

이상과 같이 용접기 제조업체에서 추천하는 용접 조건의 범위 내에서 실험을 실시한 결과는 양호하나 당 조선소 EG 아아크 용접법의 적용 부위에 대한 작업장 환경을 고려할 때 SEG 아아크 용접 장비가 설치되는 외면은 넓은 공간이 있으나 안쪽(선체의 HOLD내부)은 공간이 구획되어 있고 보강재, 종통재 등의 내부 골재가 많이 있어 작업자들의 통행과 작업용 공구의 이동이 대단히 어렵다. 또한 조립식으로 된 고정 水冷 銅當金을 사용해야 하는 본 시험은 용접부의 뒷면에 급수 및 배수용 냉각수 라인의 설치 및 구리판으로 제작된 고정 水冷 銅當金の 취급에 어려움이 있어 사실상 현장 적용은 불가능하다.

3.2 제2단계 실험

제1단계 실험에서 나타난 현장 시공상의 문제점을 고려하여 경량이며, 냉각수 라인이 필요 없는 고품 받침재를 이용하여 실험을 수행하였다. 제1단계 실험에서 선정한 적정 용접 조건으로써 만족스런 표면 및 뒷면 비이드 외관을 얻을 수 있었다.

그러나 용접부의 충격 시험을 수행한 결과 one pass 로 용접을 완료하는 SEG 아아크 용접법의 특성때문에 후판 적용시에는 입열량이 커지고, 용접부의 냉각속도가 느리게 되어 용접부의 결정립이 조대해지고 충격치가 감소하는 현상이 나타났다. Table 5는 용접부의 충격시험 결과를 보여주고 있다.

Table 5. Mechanical property of the weld

Test temp.	Impact value (kg-m)					Notch position
	Specification*	Test result				
		1	2	3	avg.	
O°C	min. 4.1	3.9	4.0	3.5	3.8	weld metal
		3.8	3.8	4.3	4.0	
		3.2	16.4	6.3	8.7	fusion line
		18.0	2.9	12.3	11.0	
		31.0	36.5	36.5	35.0	HAZ 2mm
		29.4	8.3	10.8	16.2	

* from ABS Grade 2YA¹⁾

3.3 제3단계 실험

입열이 큰 후판 SEG 아아크 용접의 충격치는 각 선급 규정에서 요구하는 평균 최소치를 만족시켜야 하기 때문에 용접부의 냉각속도의 영향 및 입열량의 영향을 검토하여 용접 시공 조건을 결정할 필요가 있다.

현장 작업 환경을 고려할 때 냉각속도를 조절하기는

매우 어렵다. 따라서 용접 입열을 줄이는 방향으로 검토하였다.

용접부의 입열량과 용접 조건과는 다음 식⁴⁾으로 나타낼 수 있다.

$$H = \frac{EI}{S}$$

- 단, H; 입열량 (joule)
- E; 2차 전압 (Volt)
- I; 전류 (Amp)
- S; 용접 속도 (cm/sec)

와이어 돌출 길이를 증가시키면 Ohm의 법칙에 따라 저항 발열이 증가한다. 증가된 저항 발열은 와이어의 온도를 높여 용융속도를 증가시킨다. 와이어 용융속도는 전극에서의 전압강하와 전극봉의 저항 발열에 크게 지배된다. 이들 사이의 관계식은 경험식으로 다음과 같이 표시된다.⁴⁾

$$MR = aI + bLI^2$$

- 단, MR; 와이어의 용융속도
- a; 전극봉의 전압강하에 따른 상수
- b; 전극 돌출 길이와 관련된 상수
- L; 전극 돌출 길이
- I; 용접 전류

따라서 각종 자료들을 종합 분석하여 입열량 160KJ/cm 이하의 범위 내에서 용접 전류, 전압 및 와이어 돌출 길이, oscillation 폭을 정하고 고품 받침재를 사용하여 용접 조건 선정 시험을 수행, 양호한 용접 비이드의 외관을 얻었다. 이 때의 용접 조건은 Table 6에서 보는 바와 같다.

또한 용접부의 충격 시험을 수행한 결과 Table 7에서와 같이 ABS Grade 2YA를 만족시키는 양호한 결과를 얻었다.

기계적 성질의 만족도를 조사하기 위하여 Table 8에 있는 용접조건으로 실험을 수행한 결과 Table 9 및 Fig. 6에 설명한 바와 같이 인장 시험, 형틀굽힘 시험, 충격 시험 결과가 모두 양호하였다.

Table 6. Welding condition

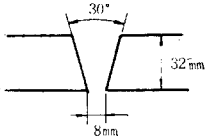
Welding materials	ABS DH 32 Plate (32mm) + DWS-43G Wire (1.6φ dia.)
Welding equipments	Dynaauto XⅢ 500P.S., CM-231 wire feeder, SEG-2 KL-4GT Backing.
Shielding gas	CO ₂
Current	330 Amp
Voltage	36 Volt
Travel speed	4.5 cm/min
Heat input	158 KJ/cm
Gas flow rate	25 l/min
Polarity	DCRP
Water flow rate	2~3 l/min
Torch angle	5°
Stickout	45 mm
Oscil. amp dwell (F)	10 mm
" (B)	0.5 sec
	1.3 sec
Joint preparation	

Table 7. Mechanical property of the weld

Test temp.	Impact value (kg-m)					Notch position
	Specification*	Test result				
		1	2	3	avg	
0°C	min. 4.1	6.8	9.7	8.0	8.2	weld metal
		5.9	4.1	4.5	4.8	

* from ABS Grade 2YA.

Table 8. Welding conditions

Welding materials	ABS DH 32 Plate (32mm) + DWS-43G Wire (1.6φ dia.)
Welding equipments	Dynaauto XⅢ 500P.S., CM-231 Wire feeder, SEG-2 KL-4GT Backing
Shield gas	CO ₂
Current	350 Amp
Voltage	36 Volt
Travel speed	4.9 cm/min

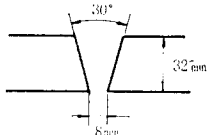
Heat input	154 KJ/cm
Gas flow rate	25 l/min
Polarity	DCRP
Water flow rate	2~3 l/min
Torch angle	5°
Stickout	45 mm
Oscil. amp dwell (F)	13 mm
" (B)	1.0 sec
	0.5 sec
Joint preparation	

Table 9. Mechanical property of the weld

a) Transverse tensile test

No.	Size(mm)		T.S (kg/mm ²)	Fracture position
	Thk.	Width		
1	31.6	25.0	56.2	base metal
2	31.6	25.0	55.7	"

b) All weld metal tensile test

	Size (mm)	Y.P (kg/mm ²)	T.S (kg/mm ²)	E.L (%)	R.A (%)
Specification*	10.0	min. 38	50~67	20	—
Test result	10.0	40.1	56.5	27.2	65

c) Bend test

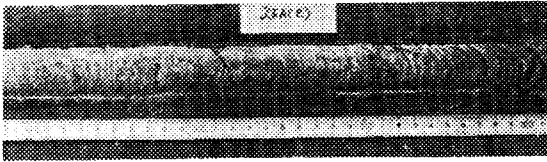
Type	Result
Side bend	good
"	"
"	"
"	"

d) Charpy V-Notch impact test

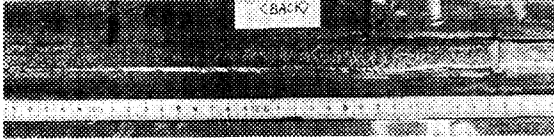
Test Temp.	Specification*	Impact value (kg-m)				Notch position
		Test result				
		1	2	3	avg	
0°C	min. 4.1	10.7	6.9	10.5	9.4	weld metal
		10.3	6.1	10.3	8.9	fusion line
		11.3	11.6	5.6	9.5	HAZ 1mm
		18.7	24.3	27.8	23.6	HAZ 3mm
		Capacity over	—	→		HAZ 5mm
		25.8	32.1	Capacity over		HAZ 7mm

* from ABS Grade 2YA¹⁾

a) Bead appearance

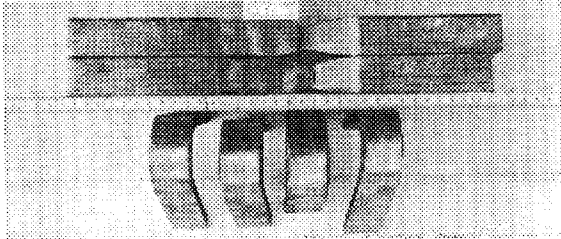


(Face bead)

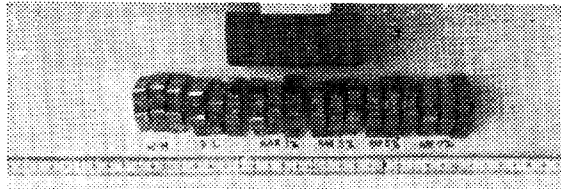


(Back bead)

b) Mechanical test specimens after test



(Transverse tensile and side bend)



(Macro and impact)



(All weld metal tensile)

Fig. 6. Photographs

4. 결 론

본 연구를 통하여 언은 바르는 32mm 후판을 SEG 아아크 용접법을 적용하여 용접할 때 최적 용접 시공 조건은 다음과 같다.

- 1) 뒷면 반침재는 가볍고 취급하기 편리한 것이어야 한다.*
- 2) 바람직한 저입열 용접은 입열량 160KJ/cm, 홈 각도 30°, 루우트 간격 8mm, 와이어 돌출 길이 45mm, 전류 320~350 Amp, 전압 36V, oscillation 폭 13mm의 용접 시공 조건하에서 적절히 이루어질 수 있다.

이상에서 선정된 용접 시공 조건을 사용하면 32mm 후판 SEG 아아크 용접에서는 용접 결함이 없고, ABS 선급규정의 2A, 2YA 요구사항을 만족시킬 만한 성능의 용접부를 얻을 수 있다.

참 고 문 헌

- 1) A. B. S., "Approved Welding electrodes, Wire-Flux and Wire-Gas Combinations," July 1980.
- 2) Kobe Steel, Ltd., "Welding manual for SG-2 Ref," S No. 20G 445.
- 3) A. B. S., "Rules for building and Classing Steel vessels," 1980.
- 4) A. W. S., "Welding Hand Book," 7th edition, Vol. 1.

* 예; KOBE KL-4GT