

대입열 수직상진 용접의 조선적용에 관한 연구

박철성^{†*}, 손영락*, 이정수*

(㈜한진중공업 기술연구소 산업기술연구팀^{*})

A Study on the Application of Vertical Welding Process to the Shipbuilding with High Deposition Rate

Chul-Sung Park^{†*}, Young-Rak Son* and Jeong-Soo Lee*

Technical Research Institute, Hanjin Heavy Industries & Construction Co., LTD.*

Abstract

The container mobilization of material resources has increased continually owing to international economy growth and overseas trade increase in recent years. There are large amounts of order received for container carriers which are the biggest in the world ranging from 8,000 TEU to 10,000 TEU or above. The very large container carriers have minimum thickness of sheer strake, upper deck and hatch coaming about 65mm ~ 90mm. Therefore, this study is performed in order to develop vertical welding process with high deposition rates applicable to thick plate above 65mm thickness. Electro-gas welding process with 1 pole and 2 poles has been developed to apply to vertical joint with thick plates in the shipyard. In this paper, it was explained that the relationship of cross section to various groove types and executed that electro-gas welding for thick plates. The mechanical tests were carried out to verify the soundness and effectiveness of EGW.

※Keywords: Container mobilization(컨테이너 물동량), Sheer strake(현측 후판), Upper deck(상부 갑판), High deposition rate(고용착), 2 poles(2 전극), Electro-gas welding(일렉트로가스 용접)

1. 서론

최근 세계 조선시장에서는 초대형 컨테이너 전용선의 발주가 증가하고 있으며, 그 추세도 10,000 TEU 급 이상까지 선박의 크기도 대형화되고 있

다(김철년 2001). 최근 당사에서도 8,000 TEU 급 컨테이너 전용선을 수주하여 DAM 공법과 같은 새로운 공법들을 통해 성공적으로 선박을 건조하였다(강동춘 외 2005). 이러한 건조 선박의 대형화로 8,000 TEU 급 뿐만 아니라, 향후 전망되는 10,000 TEU 급 이상의 선박들에 있어서 Fig. 1 에 나타난 것과 같이, 현측 후판(sheer strake)과 상갑판(upper deck) 및 해치 코밍(hatch

접수일: 2007년 3월 16일, 승인일: 2007년 8월 8일

†교신저자: pocssy@hanjinsc.com, 051-410-3371

coaming) 부분들은 최저 두께가 65mm~90mm 에 달한다.

본 연구는 후판 용접프로세스 개발의 일환으로 1 전극 일렉트로가스 용접장비의 개발을 진행하였으며, 가볍고 저렴한 디지털 국산 용접장비를 개발하는데 목적이 있다. 그러나, 연구 초기 예측과 달리 실제 용접에 있어서 1 전극 일렉트로가스 용접장비의 경우 65mm 이상의 두께를 가지는 강재에 적용이 어려운 것으로 밝혀졌다. 특히, 당사에서 건조한 8,000TEU 급 컨테이너선의 현측 후판과 해지 코밍에 사용되는 강재의 두께는 각각 65mm, 75mm 이다. 따라서 두께 65mm 이상의 강재에도 적용이 가능한 대입열 수직상진 용접시스템의 개발을 위해 본 연구를 수행하였다.

2. 고용착 수직상진 용접기법

2.1 FCAW (Flux Cored Arc Welding)

FCAW 는 연속적으로 공급되는 전극와이어를 일정한 속도로 용융지에 송급하면서 전류를 통하여 용접와이어와 모재 사이에서 아크가 발생되도록 하고 이 아크를 이용하여 용접을 실시하는 용접법이다. 이 용접법은 압력의 적용없이 외부에서 가스를 공급하거나 또는 하지 않을 수 있고 튜브형태의 전극와이어 안에 있는 플럭스로부터 실드가스가 얻어진다(Howard and Scott 2005). 이러한 FCAW 는 연속적으로 공급되는 용접와이어에 의해 일반적인 피복아크 용접법에 비하여 능률적이며, 용착속도가 높아 조선 공정의 대부분에 적용된다.

FCAW 에서는 모재의 두께가 두꺼워질수록 용접부를 채우기 위해서 용접 패스(pass)수가 증가하게 되는데, 예컨대 55mm 두께의 모재를 용접하기 위해서는 25 패스 전후의 용접횟수가 필요하게 된다. 그리고, 용접토치가 가스노즐과 결합된 형태이어서 용접토치의 직경이 다른 용접법보다 크게 되기 때문에, 용접토치가 접근하여 보호가스로 아크를 적절히 보호하기 위해서는 그루브각(groove angle)을 크게 하여 용접토치의

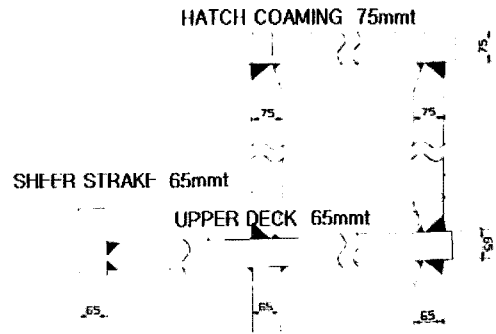


Fig. 1 Steel thickness for 8,000TEU container carrier

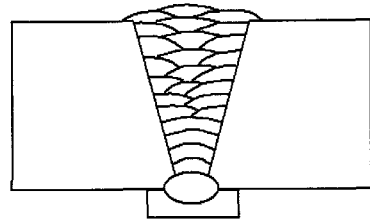


Fig. 2 Cross-sectional view of flux cored arc welding

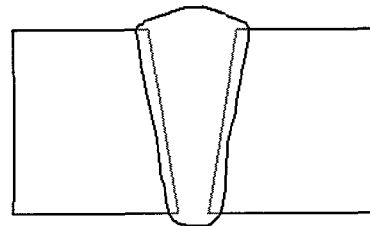


Fig. 3 Cross-sectional view of electro gas welding

접근을 용이하게 해야 한다. 따라서, 실제 사용되는 그루브각은 최소 30 도 이상을 적용하고 있다. 아래 Fig. 2 는 FCAW 의 용접단면을 도식적으로 보여주고 있다.

2.2 EGW (Electrogas Welding)

EGW 는 수직자세의 맞대기 이음부를 CO₂ 가스

보호 환경하에서 와이어 가이드 노즐을 통하여 용접와이어를 송급하거나 아크를 발생시킨다. 아크열에 의해 용접 와이어와 모재가 녹아 용융지를 형성하고, 용접은 수직방향으로 진행된다. EGW의 특징으로는 FCAW와 달리 Fig. 3에서 나타낸 용접 단면과 같이 용접부를 단일패스 용접으로 완료할 수 있는 대입열 고평착 용접기법이라는 점이다(American Welding Society 2004).

또한, 초기 EGW는 모재 양측에 용융 금속이 흘러 내리지 않도록 수냉 동당금(Cu 판)을 설치하였으나, 지금은 Fig. 4에 도식적으로 나타낸 것과 같이 한쪽 면에는 이당재(backing material)를 고정시키고, 그 반대면에만 수냉 동당금을 설치해 용접과 더불어 미끌어 올라가면서 용융지를 보호하며 용접비드를 형성하는 방식으로 개량되었다.

1 전극 EGW의 경우 최대 65mm 정도의 두께를 가진 강재의 용접이 가능하며, 그 이상의 두께를 가진 피용접재를 단일 패스로 용접하기 위해서는 2 전극화가 불가피하다. Fig. 4에 나타낸 EGW 장비는 1 전극 EGW 시스템에 하나의 전극을 더 추가하여 2 개의 전극이 동시에 용접을 실시해 두께 65mm 이상이 되는 강재의 용접에도 단일 패스 EGW 기법을 적용할 수 있도록 한 것이다.

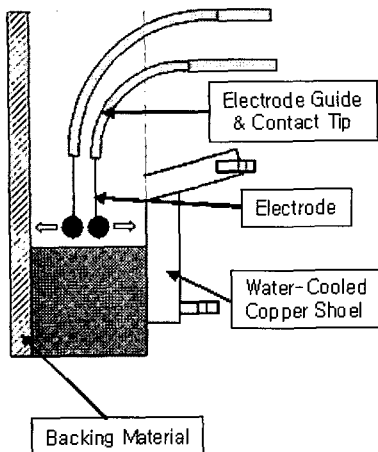


Fig. 4 2-pole electrogas welding with a moving copper shoe and backing Material

3. 용접프로세스 개발

3.1 용접 입열량

일반 CO₂ 용접 등의 다층 용접(multi-pass weld)에서는 용접 전압, 용접 전류, 용접 속도의 세가지 요소가 입열량을 결정하게 된다. 그러나, EGW와 같은 단층 용접(single-pass weld)은 용접부를 한번에 완료하기 때문에 입열의 요소가 달라지게 된다. 단층 용접은 용접부의 용착량에 따라 용접 속도가 결정되어, 다층 용접에서와 같이 직접적인 용접 속도의 결정이 불가능하다. 따라서, 용접부 용착 면적을 조정하거나, 용접 전류를 조절하는 간접적인 방법으로 용접 속도의 조정이 가능하다.

아래의 Table 1에서 나타낸 것과 같이 EGW에서 용접 속도에 영향을 간접적으로 미칠 수 있는 용접 전류를 변화시켜 입열량의 변화를 확인한 자료를 볼 수 있다. 용접 전류의 증가보다 용착량의 증가로 인한 용접 속도 증가가 더욱 큰 요인으로 작용함을 알 수 있으며, 용접 전압은 용접 속도에는 영향을 주지 않으나 용접 입열량에는 비례하는 것을 알 수 있다.

Table 1 Relationship of heat input to welding voltage and current

No.	Welding Current (A)	Welding Voltage (V)	Welding Speed (cpm)	Heat Input (kJ/cm)
1	380	36	5.2	158
2	360	36	4.7	165
3	340	36	4.0	184
4	380	37	7.6	111
5	360	37	6.4	125
6	340	37	5.4	139

(a) Fixed Welding Voltage

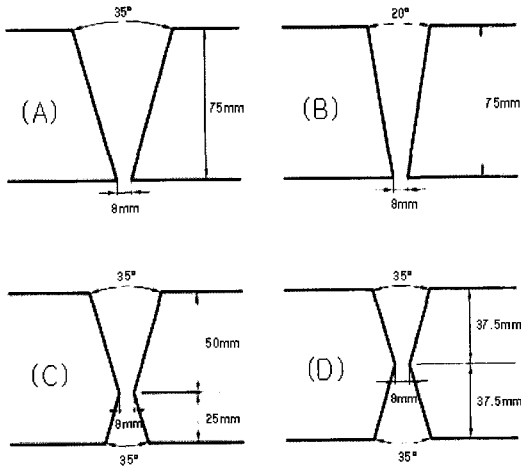
No.	Welding Current (A)	Welding Voltage (V)	Welding Speed (cpm)	Heat Input (kJ/cm)
1	360	33	4.2	170
2	360	36	4.2	185
3	360	39	4.1	201

(b) Fixed Welding Current

3.2 용접 그루브 조건

EGW 와 같은 단층 용접에서 입열량을 조절할 수 있는 가장 큰 요소는 용접부 그루브 형상이다. 용접부의 용착 면적을 최소화하는 것이 가장 유효한 입열량 제어방법 중의 하나이다. 따라서 현재 일반적으로 사용되는 EGW 기법에서는 용접 도치에서 가스 노즐부를 분리한 구조를 채택하여 입열량 감소 및 용착량 감소의 효과를 얻고 있다.

Fig. 5 는 FCAW(Flux Cored Arc Welding)의 일반 용접그루브 형상인 그루브각 35 도, 루트간격 8mm 와 EGW 의 일반 용접그루브 형상인 그루브각 20 도, 루트간격 8mm 의 용접부 단면적을 비교한 것이다. 표면 및 이면 비드부는 계산에서 제외하여 비교하였다. 그 결과, FCAW 와 EGW 용접부 단면적은 각각 2373mm² 과 1591mm² 으로 약 3:2 정도의 차이를 보임을 확인할 수 있다. EGW 프로세스가 가능한 그루브는 입열량을 고려했을 때 20 도 그루브가 가장 적합하다.



	Root Gap	Groove Angle	Cross Section
A	8.0 mm	35 °	2373 mm ²
B	8.0 mm	20 °	1591 mm ²
C	23.8 mm	35 °	1585 mm ²
D	31.6 mm	35 °	1486 mm ²

Fig. 5 Relationship of cross section to various groove types

65mm 이상의 두께를 가지는 강재에는 현실적으로 선급이 요구하는 물성치를 만족하지 못할 때는 입열량 및 용착량을 고려한 다양한 컴바인드 기법을 고려할 수 있다. 따라서 Fig. 5 에 나타난 것처럼 다양한 그루브 형상이 고려되었다. FCAW 수동 용접 그루브를 이용한 컴바인드 기법, EGW 전용 그루브를 이용한 컴바인드 기법, X-그루브 EGW 용접 등을 테스트하였다.

35 도 그루브의 경우 강재 두께가 두꺼워질수록 입열량이 과대해지며, 표면간격이 넓어져 표면 비드생성(양쪽 용입)이 힘들어진다. X-그루브들은 입열량이나 용착량면에서 유리하나, 이면부 용접이 필수적으로 포함되므로 현장에서 적용하기에 어려운 점이 있다.

Fig. 6 에 나타내고 있는 그래프는 3 종류의 그루브 형상으로 FCAW 수동 그루브인 35 도 그루브, EGW 전용 그루브인 20 도 그루브, 그리고 ESW(Electroslag Welding)에 주로 이용되는 I-그루브의 용접 면적을 비교하였다. 앞서 언급했듯이 용접 면적이 입열량에 지대한 영향을 미치는 EGW 기법에서 FCAW 용접 그루브는 지나친 입열량이 예측되어 적용이 어려우며, 두께 100mm 이상에서는 ESW 에 쓰이는 I-그루브가 EGW 전용 그루브보다 용접 면적에서 교차하여 상대적으로 줄어드는 경향을 예측할 수 있다. 따라서 현재 고려대상인 두께 65~75mm 구간에서는 EGW 전용 그루브가 가장 유효한 것을 알 수 있다.

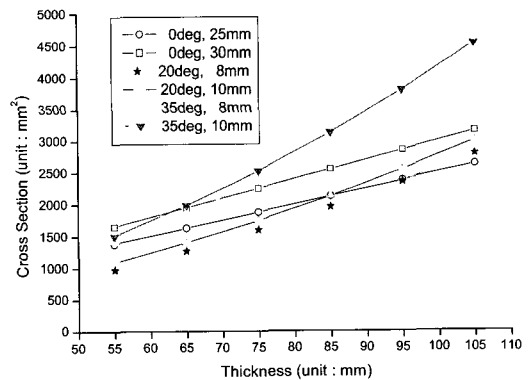


Fig. 6 Cross section versus joint thickness for various groove types

4. EGW 프로세스 및 기계시험 결과

EGW 프로세스에 사용된 강재는 EH36 및 EH40 급으로 두께 40mm ~ 75mm 의 강재를 테스트하였으며, 당사에서 수주한 8,000 TEU 급 컨테이너선의 현측 후판과 해치 코밍의 치수와 동일한 규격(grade)과 두께를 가진 강재를 사용하였다.

특히, EGW 전용 강재는 대입열에서 열영향부(HAZ)의 인성저하를 최소화하기 위해서 Ti 및 B의 첨가를 통해 열영향부에서의 조직의 조대화를 최소화하도록 설계된 강재를 사용하였다.

Fig. 7 은 입열량을 고려하여 용접그루브 각을 20 도로 설정하여 두께 65mm 를 가지는 EH36 강재를 EGW-1P 프로세스로 용접한 매크로 단면을 보여주고 있으며, 용접의 건전성을 평가하기 위하여 선급 규정(GL)에 따라 기계시험을 실시한 결과를 Table 2 에 나타내었다.

Fig. 8 은 두께 75mm 를 가지는 EH40 강재를 EGW-2P 프로세스로 용접한 매크로 단면을 보여주고 있으며, Table 3 은 이에 대한 기계시험 결과를 나타내고 있다. 그 결과, 65mm 와 75mm 모두 선급 기준을 만족하는 결과를 보여주고 있다.

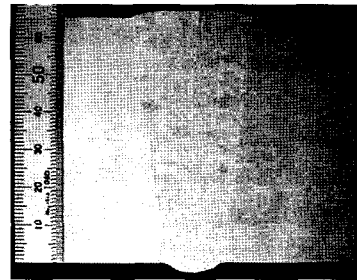


Fig. 7 Macro section of through a 65mm thick EGW with 1 pole

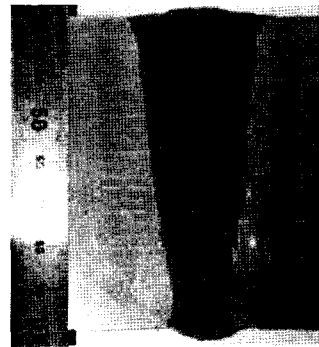


Fig. 8 Macro section of through a 75mm thick EGW with 2 poles

Table 2 The results of mechanical test for EGW with 1 pole

[1] ROUND TENSILE TEST						
SPECIMEN NO.	SIZE (mm)		AREA (mm ²)	TENSILE STRENGTH	GAUGE LENGTH	ELONGATION (%)
	DIAMETER			(N/mm ²)	(mm)	≥ 22 %
1	10		77.76	657.9	50.0 → 61.4	22.8
[2] TRANSVERSE TENSILE TEST						
SPECIMEN NO.	SIZE (mm)		AREA (mm ²)	TENSILE STRENGTH	FRACTURE POINT	
	THICKNESS	WIDTH		≥ 490 (N/mm ²)		
1-UPPER PART	15.1	25.0	377.5	504.9	BASE METAL	
1-MIDDLE PART	15.1	25.0	377.5	494.1	BASE METAL	
1-LOWER PART	15.1	24.9	376.0	498.8	BASE METAL	
2-UPPER PART	25.0	25.0	625.0	513.7	BASE METAL	
2-LOWER PART	25.0	25.0	625.0	508.8	BASE METAL	
[3] IMPACT TEST (TEST TEMP. : -20 °C. SPECIMEN SIZE : 10 X 10 X 55 (mm)) ≥ 34 J						
UPPER PART		MIDDLE PART		LOWER PART		
CENTER	FUSION LINE	CENTER	FUSION LINE	CENTER	FUSION LINE	
151.9	150.0	101.9	132.3	130.3	150.0	
106.8	150.0	110.7	150.0	125.4	150.0	
118.6	150.0	118.6	150.0	131.3	150.0	
125.8	150.0	110.4	144.1	129.0	150.0	

Table 3 The results of mechanical test for EGW with 2 poles

[1] ROUND TENSILE TEST					
SPECIMEN NO.	SIZE (mm)	AREA (mm ²)	TENSILE STRENGTH	GAUGE LENGTH	ELONGATION (%)
	DIAMETER		(N/mm ²)	(mm)	≥ 22 %
1	10	77.76	667.98	50.0 → 61.3	22.6
[2] TRANSVERSE TENSILE TEST					
SPECIMEN NO.	SIZE (mm)		AREA (mm ²)	TENSILE STRENGTH ≥ 510 (N/mm ²)	FRACTURE POINT
	THICKNESS	WIDTH			
1-UPPER PART	20.3	25.2	511.6	520.9	BASE METAL
1-MIDDLE PART	19.9	25.1	499.5	521.4	BASE METAL
1-LOWER PART	20.2	24.9	503.0	512.8	BASE METAL
2-UPPER PART	35.0	25.0	875.0	530.7	BASE METAL
2-LOWER PART	35.0	24.9	871.5	526.6	BASE METAL
[3] IMPACT TEST (TEST TEMP. : -20 °C. SPECIMEN SIZE : 10 X 10 X 55 (mm)) ≥ 41 J					
UPPER PART		MIDDLE PART		LOWER PART	
CENTER	FUSION LINE	CENTER	FUSION LINE	CENTER	FUSION LINE
79.4	150.0	63.7	150.0	66.6	150.0
87.2	150.0	81.3	150.0	70.6	116.6
69.6	125.4	53.9	138.2	67.6	150.0
78.7	141.8	66.3	146.1	68.3	138.9

5. 결론

대입열 수직상진 용접시스템을 개발하고, 생산 현장에 적용하기 위해서는 선급의 승인을 받아야 한다. 본 연구는 선급의 기준에 만족하는 대입열 수직상진 용접시스템을 개발하기 위하여 실시하였으며, 아래와 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- (1) 대입열 용접법인 EGW 프로세스의 입열량에 영향을 주는 요소는 용접 전류의 증가보다 용착량의 증가로 인한 용접 속도 증가가 더욱 큰 요인으로 작용함을 알 수 있으며, 용접 전압은 용접 속도에는 영향을 주지 않으나 용접 입열량에는 비례하는 것을 알 수 있었다.
- (2) 일렉트로가스 용접과 같은 단층 용접에서 입열량을 조절할 수 있는 요소로 용접부 그루브 형상의 중요성을 알 수 있었으며, 이에 EGW 기법에서는 20도 그루브 각이 적합함을 알 수 있었다.
- (3) 생산성 향상을 위한 후판 용접에서 EGW 프로세스의 건전성을 평가하기 위해 직접 실험하였고 선급의 기준치에도 만족하는 물성치를 얻을 수 있었으며, 현재 선박생산현장에 적용되고 있다.

참 고 문 헌

- 강동춘, 박건우, 김경호, 2005, “ 초대형 컨테이너선의 축계정렬 계산 사례 소개,” 대한조선학회 특별논문집, pp. 138-143.
- 김철년, 2001, “ 초대형 컨테이너선의 출현 전망,” 대한조선학회지, 제 38 권, 제 2 호, pp. 42-46.
- Annette O’ Brien and Editor, 2004, Welding Handbook, Ninth Edition Vol. 2, Welding Processes Part 1, American Welding Society, Miami, FL.
- Howard B.C. and Scott C.H., 2005, Modern Welding Technology, Sixth Edition, Pearson Prentice Hall, Columbus, Ohio.



< 박 철 성 >



< 손 영 락 >



< 이 정 수 >