

## VLCC 선종의 외판에 나타나는 용접변형에 대한 고찰

### Study on Welding Deformation for Side Shell Structure of VLCC

김상일\*

\* 로이드선급아시아 울산사무소

**ABSTRACT:** A ship owner has been disappointed with the wrinkle phenomenon visually occurring at the side shell structure of VLCC(very large crude oil carrier). In order to solve this problem, we have firstly performed a variety of actual measurements. Furthermore, comparing the welding deformation level of DSME(Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering Co. Ltd.) with that of SHI(Samsung Heavy Industries), the superiority of deformation control level of Korean shipyard has been substantiated.

#### 1. 서 론

용접변형은 형상 오차를 발생시키게 되는 면외 변형과 치수 오차를 유발하게 되는 면내변형으로 크게 구분할 수 있다. 면외변형은 횡굽힘변형인 각변형, 종굽힘변형과 좌굴변형으로 나눌 수 있으며, 면내변형은 횡수축변형, 종수축변형과 회전 변형으로 나눌 수 있다. 이러한 용접변형에 영향을 미치는 인자를 살펴 보면, 정반의 편평도, 용접조건(전류, 전압, 속도) 및 판 두께 등을 들 수 있는데, 이 중에서 가장 지배적인 인자는 입열량의 크기와 직접적으로 관련되어 있는 용접조건이다. 만일 필릿 용접부에서 정규 각목을 초과하는 과도한 용접 각목이 무수히 발생된다면, 용접 작업 시의 높은 입열로 인해 모재에는 꽤 넓은 열영향부가 발생되어 용접 수축 및 변형은 크게 증가되며, 이로 인해 생산성 저하는 물론 용접 재료비 및 공수 측면에서도 상당한 손실을 초래할 수 있다.

본 논문에서는 선박의 외판에 나타나는 주름 현상에 대한 정확한 변형량 발생 원인 및 대책을 수립하여 고객(선주, 선급) 만족과 국내 조선소의 품질 경쟁력 향상을 도모하기 위해, 우선적으로 다양한 실물 계측 실험과 시편 단위의 용접변형 실험을 수행하였고, 이와 병행하여 D사와 S사의

외판 변형 발생 수준을 비교·분석함으로써 국내 조선소의 변형 관리 수준을 검토하였다.

#### 2. 실물 계측 실험

##### 2.1 조립 단계

그림 1은 실제 외판 블록(side shell block)의 현장 조사 활동을 통한 조립 단계에서의 정규 각목 대비 실제 각목의 발생 현황을 통계적으로 보여 주고 있는데, 정규 각목 4.5mm를 기준으로 0.8mm 이상 초과하는 과대 각목의 발생 횟수가 전체 각목 발생 횟수의 80% 정도에 이른다는 사실을 알 수 있다.

그림 2는 조립 단계에서의 용접 각목에 따른 각변형량을 보여 주고 있는데, 용접 각목 5.0~6.5mm 범위에서 발생하는 보강재 사이의 변형량은 몇 개를 제외하고는 거의 대부분이 3mm 이내로 매우 양호한 것으로 조사되었다.

##### 2.2 선탍재 단계

그림 3은 외판 블록의 선탍재 단계에서의 각변형량 발생 양상을 보여 주고 있는데, 조립 단계에서의 각변형량 발생 수준(3mm 이내)과 선탍재 단계에서의 각변형량 발생 수준(2.5mm 이내)이

거의 동일한 수준이므로, 공정 단계별 변형량 증감 현상은 거의 없다고 볼 수 있다. 따라서, 안벽 단계에서의 각변형량 발생 수준 또한 3mm 이내 일 것으로 유추할 수 있다.

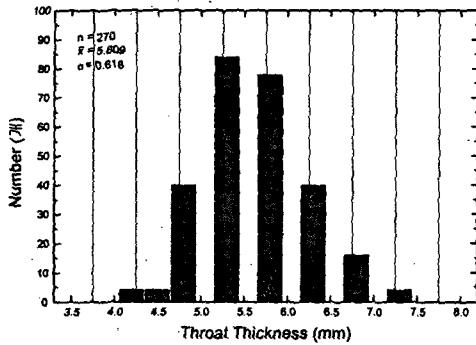


그림 1 정규 각목 대비 실제 각목의 발생 현황

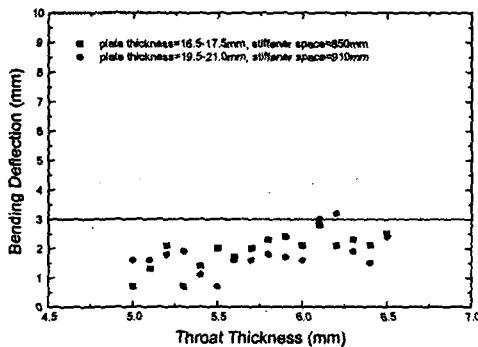


그림 2 용접 각목에 따른 각변형량

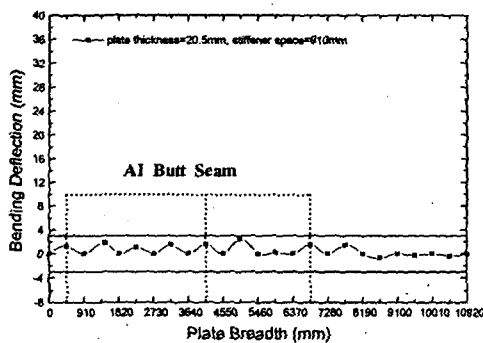


그림 3 선탭재 단계에서의 각변형량 발생 양상

### 3. 용접변형실험

본 장에서는 용접 각목과 각장에 따른 외관 변형의 발생 양상을 정량적으로 규명하기 위해 시편 단위의 용접변형실험이 수행되었다. 사용된 용접방법은 FCAW(flux cored arc welding)이고, 용접 시 용접속도를 일정하게 유지하기 위해 carriage를 이용하였다.

실험 모델의 차원은 plate :  $L \times B = 400 \times 400$ mm 이고, stiffener :  $h \times t_s = 200 \times 10$ mm flat bar이다. 용접조건은 5.0~7.5mm의 각목을 유발하는 실제 용접조건을 적용하였으며, 이용된 재료는 연강이다. 이러한 조건을 선정한 것은 각각의 판 두께에 대하여 입열량, 즉 용접 각목을 변화시킴으로써 판 두께와 용접 각목이 각변형량에 미치는 영향을 조사하고자 함이 그 목적이다.

그림 4는 1층 필릿 용접시의 용접 각목  $t_w$ 와 각변형량  $\phi$ , 사이의 관계를 보여 주고 있는데, 각변형량은 용접 각목과 양의 상관 관계를 이루고 있으며, 판 두께에 따라 다소 차이는 있지만 정규 각목 2.5mm를 초과하는 과대 각목 발생 시의 각변형량은 정규 각목 발생 시의 각변형량보다 최대 87% 정도 더 증가한다는 사실을 알 수 있다.

그림 5는 동일한 입열조건에서의 비드 형상 (bead shape)에 따른 각변형량의 차이를 보여 주고 있는데, 이 때도 역시 각변형량은 용접 하각장과 양의 상관 관계를 이루고 있으며, 판 두께에 따라 다소 차이는 있지만 정규 각장 1.5mm를 초과하는 과대 각장 발생 시의 각변형량은 정규 각장 발생 시의 각변형량에 비해 최대 28% 정도 더 증가한다는 사실을 알 수 있다. 즉, 동일 용착량 조건이라 하더라도 각장이 길어지면 모재에는 더 넓은 열영향부가 발생되기 때문에, 각변형량 최소화를 위해서는 될 수 있는 한 정규 각장 (normal leg length)이 되도록 용접 토치의 각도 조절을 해야 한다는 사실을 알 수 있다.

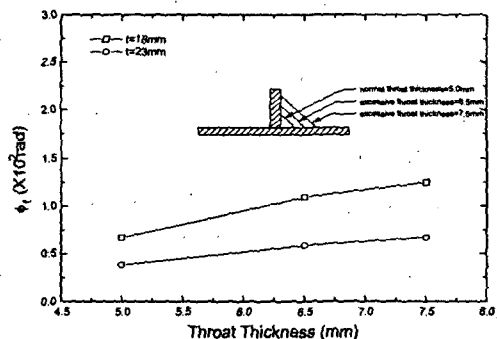


그림 4 용접 각목과 각변형량 사이의 관계

5. 결 론

VLCC 선종의 외판에 나타나는 주름 현상에 대하여 여러 가지 측면에서 연구한 결과, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 실물 계측 실험 결과, 조립 단계에서의 각변형량 발생 수준(3mm 이내)과 선탑재 단계에서의 각변형량 발생 수준(2.5mm 이내)이 거의 동일한 수준이므로, 공정 단계별 변형량 증감 현상은 거의 없다고 볼 수 있다. 따라서, 안벽 단계에서의 각변형량 발생 수준 또한 3mm 이내일 것으로 유추할 수 있다.

(2) 시편 단위의 용접변형실험 결과, 각변형량은 용접 각목의 크기에 비례하여 증가하며, 동일한 입열조건에서는 용접 토치의 각도에 지배를 받는 비드 형상에 가장 민감한 반응을 보인다. 특히, 용접 하각장 쪽으로 많이 치지는 경우가 각변형량의 크기에 가장 큰 영향을 미친다.

(3) 결론적으로 tanker 선종의 외판에 나타나는 주름 현상에 대한 연구 결과를 종합해 보면, 시각적으로는 빛의 각도에 따라 발생하는 굴절 현상으로 인해 문제가 있는 것처럼 보이는 경우가 있지만, 막상 실물을 계측해 보면 보강재 사이의 변형량은 거의 대부분이 변형의 허용 오차 범위를 벗어나지 않는 2~3mm 정도의 매우 양호한 수준이며, D사와 S사의 경우를 비교해 보더라도 거의 동일한 수준임이 확인되었다.

(4) 따라서 향후에는 페인트 사양 검토를 통하여 해결 방안을 모색하는 것이 타당한 접근 방법이라 사료된다. 다만, 현장에서 조금만 신경을 쓰면 크게 효과를 볼 수 있는 방법을 권고해 준다면, 용접 작업 시에 규정된 용접조건 및 정규 용접 각목을 준수하는 것이 다른 무엇보다도 중요함을 숙지하고 실천하는 길만이 고객(선주, 선급) 만족과 국내 조선소의 품질 경쟁력 확보에 도움이 되리라 여겨진다.

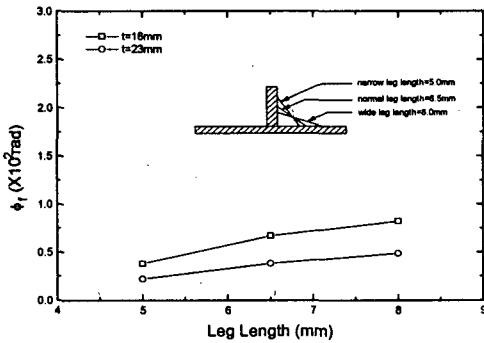


그림 5 동일한 입열조건에서의 용접 각장과 각변형량 사이의 관계

4. D사와 S사의 변형 발생 실태 비교

S사의 경우에는 선주 및 선급으로부터 선박의 외판 변형과 관련하여 문제화가 된 경우가 거의 전무하였으며, 유관 현장 조직에서 용접 각목을 주기적으로 측정하여 평가하고 있으나 D사의 각목 발생 수준과 거의 비슷한 수준임이 확인되었다. 표 1은 D사의 용접 각목에 따른 각변형량 발생 수준을 S사의 경우와 비교한 것인데, D사와 S사의 경우가 거의 유사하다는 사실을 알 수 있다.

표 1 D사와 S사의 용접 각목에 따른 각변형량 비교

회사	Plate Thickness t (mm)	Stiffener Space (mm)	Throat Thickness t <sub>w</sub> (mm)	Bending Deflection (mm)		비고
				Mean	Range	
D사	16.5~17.5	850	5.0~6.6	2.0	0.7~2.8	조립 단계
	19.5~21.0	910	4.8~6.5	1.6	0.7~3.2	조립 단계
	20.5	910	—	1.0	-0.3~2.5	선탑재 단계
S사	16	900	—	1.6	0.5~2.8	조립 단계
	18	850	4.8~5.5	1.5	0.1~2.2	조립 단계
	19	870	5.0~6.0	1.8	0.7~2.2	조립 단계
	19~20	900	—	1.7	0.5~3.0	탑재 단계