

간이 열탄성 해석을 이용한 선체 용접변형에 관한 연구

A Study on the Welding Deformation of Ship Structures using Simplified Thermo-elastic Analysis

박윤기*, 신상범, 김성윤, 이동주
현대중공업 (주)

1. 서론

선체 건조 작업 공정의 대부분을 차지하는 용접에 의해 발생하는 변형은 정도, 강도 및 미관에 영향을 미쳐 생산성 및 품질을 결정하는 중요한 요인으로 작용한다. 따라서 용접 변형을 최소화하기 위한 많은 연구가 수행되었고 현재에도 진행 중에 있다. 용접 변형은 용접시 발생하는 용접부에서의 온도 구배와 내, 외적 구속에 의해 발생하므로 해석적 방법으로 용접 변형을 예측하기 위해 열 탄소성 해석을 수행해 왔다. 그러나 열 탄소성 해석으로 실 구조물에서의 용접 변형을 예측하는데는 컴퓨터 성능의 한계, 많은 해석 시간의 소요 등 현실적으로 어려움이 따른다. 따라서, 최근에는 고유 변형도를 이용한 등가 탄성 해석 (Equivalent Elastic Method, EEM)으로 용접 변형을 예측하는 방법 등 간략화 된 방법으로 실구조물에서의 용접 변형을 예측하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 연구에서는 선체와 같은 대형 실 구조물의 용접 변형 예측을 위하여 당사에서 지금까지 진행되어 왔던 용접 변형 예측에 관한 연구 결과를 바탕으로한 간이 열 탄성 해석(Simplified Thermo-elastic Method, STM)의 적용 가능성 및 타당성을 평가하고자 하였다.

2. 용접부 모델링 및 수축량 결정법

실 구조물의 용접 변형을 예측하기 위한 간이 열 탄성 해석의 기본 가정은 용접부의 모든 변형이 용접부에서만 발생한다는 전제하에 수행된다. 즉, 용접부로 모델링 한 부분에 초기 온도 조건을 준 다음 쉘의 위, 아래 면을 각각 다른 온도로 냉각시키면 위, 아래 면의 수축에 의해 면내 변형(횡수축, 종수축)이 발생하고 수축량의 차이에 의해 각변형이 발생한다. 종 수축을 유발하는 수축력은 수축 중심의 위치에 따라 종 굽힘을 발생시키게 된다. 이때, 용접부의 횡 수축량 δ_s 와 각변형을 유발시키는 판 위, 아래 면의 수축량의 차이 δ_a 는 식 (1)과 식(2)와 같이 정의된다.

$$\delta_s = f\left(\frac{Q}{D_i}\right) \tag{1}$$

$$\delta_a = f\left(\frac{Q}{D_b}\right) \tag{2}$$

위 식에서 Q 는 단위길이당 입열량, D_i 는 면내강성, D_b 는 면외강성을 나타낸다. 각변형은 판의 위, 아래 수축량의 차이에 의해 발생하므로 수축량 차이를 나타내는 함수와 동일한 함수형태를 갖는다. 이상에서 구한 수축량을 바탕으로 유효 열 팽창계수 α_e 는 다음 식(3)으로 결정된다.

$$\alpha_e = \frac{\delta_a}{\Delta T \times l_e} \tag{3}$$

위 식에서 ΔT 는 판의 위, 아래 면에서의 온도차이를, l_e 는 유효 용접부 요소크기를 나타낸다. 식 (3)에서 위, 아래 판에서의 수축량 차이를 알면 나머지 변수를 결정할 수 있다.

3. 횡 수축 및 각 변형 예측

간이 열 탄성 해석(STM)의 타당성을 검토하기 위해서 가로 600mm 세로 500mm인 판의 중앙에 높이 150mm의 판을 좌, 우 각각 각장 5mm로 용접한 fillet joint와 V groove 1 pass butt joint에 대한 해석을 수행하였다. Table 1, Table 2, Table 3, Table 4 는 fillet 용접과 butt 용접에서의 횡 수축량 및 각변형량의 기준 값과 계산 결과 값을 나타낸다. 여기서, 기준 값은 식 (1) ~ 식 (3)으로 계산한 값을 의미한다.

Table 1. Transverse shrinkage at the fillet joint

$f(Q/D_i)$	37.475	28.106	22.485	18.738
기준 값(mm)	0.0786	0.094	0.0929	0.0911
계산 값(mm)	0.0786	0.094	0.0939	0.091

Table 2. Angular distortion at the fillet joint

$f(Q/D_i)$	15.30	5.41	7.11	5.41
기준 값(mm)	6.29	5.65	4.51	3.65
계산 값(mm)	6.19	5.55	4.39	3.59

Table 3. Transverse shrinkage at the butt joint

$f(Q/D_i)$	22.485	18.738	14.99	12.49
기준 값(mm)	0.072	0.06	0.048	0.04
계산 값(mm)	0.072	0.06	0.048	0.04

Table 4. Angular distortion at the butt joint

$f(Q/D_i)$	7.11	5.41	3.87	2.94
기준 값(mm)	3.46	2.36	1.51	1.05
계산 값(mm)	3.4	2.40	1.54	1.07

Table 1 - 4에 나타난 바와 같이 단순 fillet 및 butt 용접부의 기준 값과 열 탄성 해석을 이용한 계산 값이 거의 일치하므로 본 고의 간이 열 탄성 해석 기법은 실 구조 부재의 용접 변형 예측에 적용 가능성을 알 수 있다.

이상의 해석 결과를 바탕으로 간이 열 탄성 해석(STM)의 실 구조 부재의 적용 시 타당성을 평가하기 위해 두께 10mm, 폭 및 길이 각각 3500mm인 주판에 100mm의 flat bar가 850mm 간격으로 취부 및 용접되는 경우, 측정된 변형량 값과 기존의 고유 변형도를 이용한 탄성 등가 해석 기법(EEM) 및 간이 열 탄성 해석 기법(STM)에 의한 해석 결과를 Fig. 1에 도시하였다. Fig. 1에서 탄성 등가 해석(EEM)에 비하여 간이 열 탄성 해석 결과가 실 부재의 변형 값을 비교적 잘 예측하고 있음을 알 수 있다.

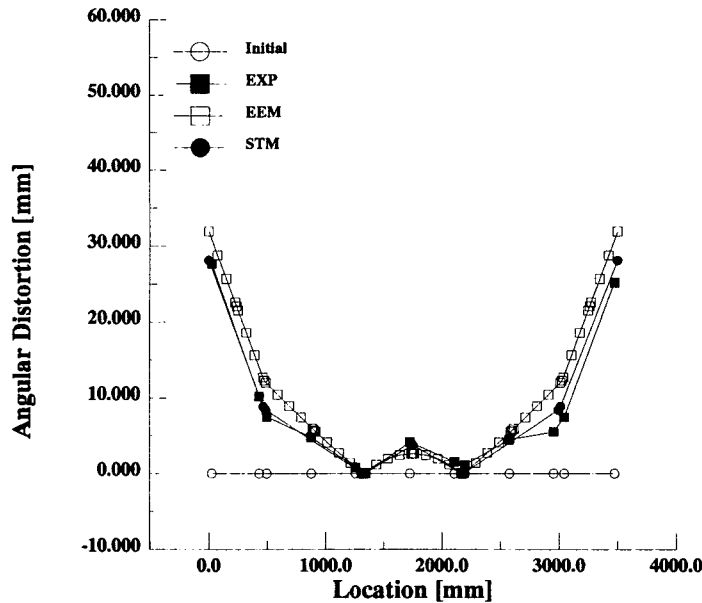


Fig. 1 Distortions at the panel structure by Experiment, EEM and STM

4. 결론

선체 용접 변형을 예측하기 위해 개발한 간이 열탄성 해석 기법을 이용하여 fillet joint , V groove 1 pass butt joint , 네 개의 longitudinal-stiffener를 가지는 부재에서의 횡수축량 및 각변형을 구한 결과 fillet joint , V groove 1 pass butt joint에서의 계산값은 유도된 식으로 계산한 값과 3% 미만의 오차로 잘 일치하고 네 개의 longitudinal-stiffener를 가지는 부재에서 구한 각 변형량도 실측한 값과 잘 일치한다. 따라서 간이 열탄성 해석 기법을 선체 용접변형 예측에 사용하는 것이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌)

1. 신상범, 윤중근 : Fillet 다층 용접부의 각 변형 및 굽힘 변형에 관한 연구, 2000년 추계학술 발표 대회 개요집, 36(2000), pp173 ~ 174
2. 신상범, 윤중근 : 내, 외적 구속에 의한 구조용강 용접부 변형 거동 특성에 관한 연구, 2001년 춘계학술 발표 대회 개요집, 37(2001), pp165 ~ 167
3. Itsuro Tatsukawa, H.Kiyohiko Tokunaga : Process of Transverse Angular Distortion during Butt welding, 일본용접학회, 제 39권 제 2호(1970), pp153 ~ 159