

# 선체 제작 공정별 변형 해석 (I)

## A Study on the Deformation of Ship Structures during the Manufacturing Process(I)

박윤기\* , 신상범 , 김성윤  
현대중공업 (주), 산업기술연구소

### 1. 서론

선체 건조 작업시 발생하는 변형은 작업의 정도 및 선박의 강도를 결정하는 중요한 인자로 작용한다. 따라서, 각 선급에서는 허용 변형량을 규정하고 있고 경우에 따라서는 선주 측에서 허용 변형량을 제시하기도 한다. 선체 건조시 허용 변형량을 초과하는 변형이 발생하는 경우 변형 교정을 위한 많은 추가 공수가 투입되므로 변형 제어는 생산성 향상에 필수적인 요소라고 할 수 있다. 변형 제어를 위해서는 변형을 해석적으로 예측할 수 있는 기법의 정립이 우선되어야 하는데, 전 년도에 선체 제작 시 발생하는 변형의 여러 원인 중 가장 큰 부분을 차지하는 용접 변형을 예측하기 위한 간이 열탄성 해석 기법(Simplified Thermo-elastic Method, STEM)을 제안하고 그 적용 가능성을 살펴보았다. 간이 열탄성 해석 기법의 원리는 용접 입열량과 용접부의 면내 및 면외 강성을 바탕으로 각 변형 및 횡 수축량을 구하고 이를 유발시키는 용접부에서의 온도 조건과 열팽창 계수를 결정한다는 것이다. 용접부에서 발생하는 열탄소성 현상을 용접부에서의 열탄성 해석으로 등가 치환하여 복잡한 구조물에 대한 용접변형을 쉽게 예측할 수 있다.

본 고에서는 간이 열탄성 해석 기법을 이용하여 실 블록의 제작 공정별 용접 변형을 예측하고 이를 실측 데이터와 비교함으로써 간이 열탄성 해석 기법의 타당성을 평가하고자 하였다.

### 2. 선체 블록의 제작 공정별 용접 변형 해석

#### 해석모델 및 방법

Fig. 1은 용접 변형 해석을 수행한 모델로써 당사에서 제작한 컨테이너선 엔진룸 블록의 일부를 나타내는데 upper deck가 11mm, 15mm 두께 강재의 조합으로 이루어진 경우에 대한 용접 변형 해석을 수행하였다.

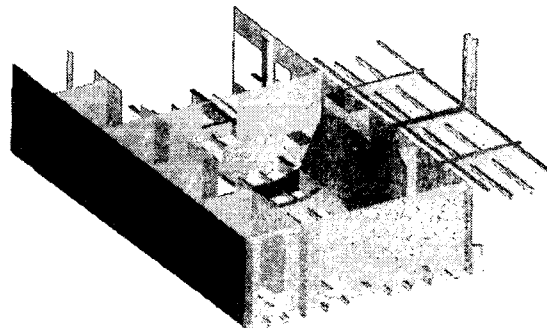


Fig. 1 Analysis model of welding distortion

앞서 언급한 바와 같이 용접 변형 해석에는 전보에서 제안한 간이 열탄성 해석 기법을 이용하였는데 본 해석에서 실측 데이터와 비교평가한 용접 변형은 각 변형으로 필렛 용접 후 발생하

는 각 변형은 Fig. 2와 같다. Fig. 2에서  $\delta_1$ 과  $\delta_2$ 는 각각 center와 free edge에서 발생하는 최대 각 변형량을 나타내는데 그림에서와 같이 보강재 쪽으로 발생한 각 변형을 '-' 각 변형으로 정의하였다. 용접 변형 해석에 사용한 용접 조건은 Table 1과 같다.

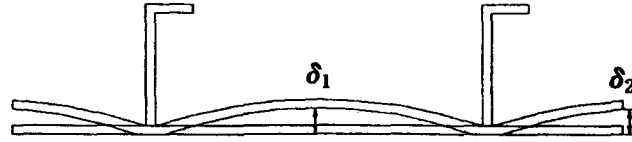


Fig. 2. Deformed profile of angular distortion

Table 1. Welding Condition

Weldment	I Butt 1 <sup>st</sup>	I Butt 2 <sup>nd</sup>	V Butt 1 <sup>st</sup>	V Butt 2~x	Fillet
Heat Intensity (cal/mm)	415	558	570	346	293

**해석 결과**

선체 건조 작업 공정은 일반적으로 판계, 종 및 횡 보강재 용접, PE, 탑재 등의 순서로 이루어진다. 판계 용접은 backing pass와 finishing pass 공정으로 이루어지는데 각 pass에서의 입열량의 차이와 용접부 강성차에 따라 판계 용접부에서 국부적으로 함몰 혹은 용기 현상이 발생하게 된다. Fig. 3은 11mm와 15mm로 이루어진 deck의 판계 용접 시 발생하는 각 변형량 분포를 나타내는데 최대 각 변형량은 약 -6mm이다. 그림에서 등근 점선이 있는 위치가 최대 변형량 발생 부위를 나타낸다. Deck를 이루는 4개의 판 중 가장 오른쪽 판이 15mm, 나머지 판은 11mm 인데, 11mm 판과 15mm 판이 용접되는 부분의 11mm 판에서 가장 큰 각 변형량을 보이는 것은 강성 차에 의해 11mm 판 쪽에 변형이 많이 발생하기 때문이다.

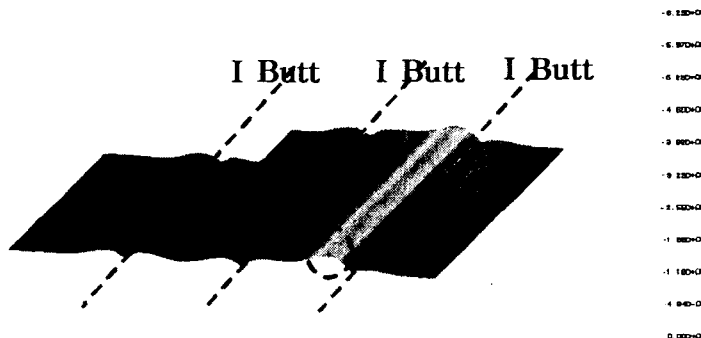
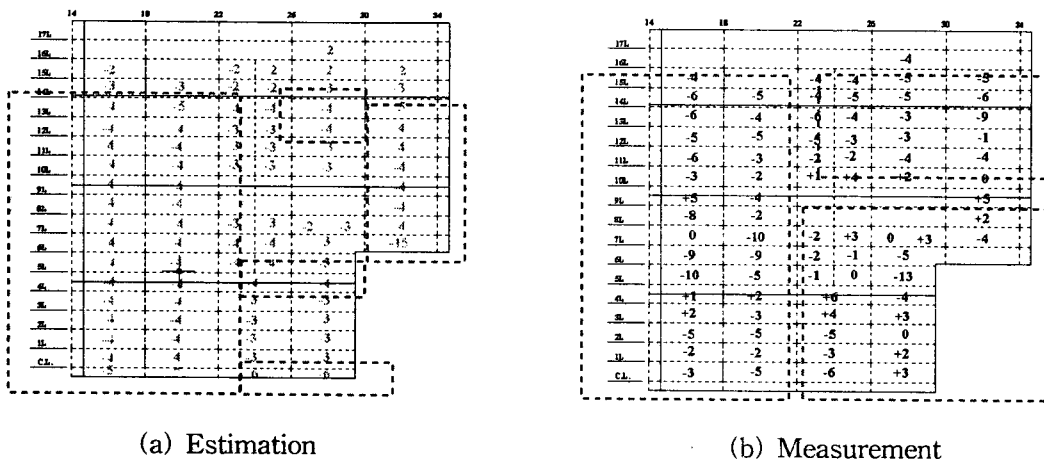


Fig.3 Contours of angular distortion after butt weldment(11t+15t)

판계 용접 후 종 방향 보강재와 횡 방향 보강재가 작업 순서에 따라 용접되면 단위 블록이 완성되는데 단위 블록이 인접한 단위 블록과 지상에서 PE 용접되고 PE 블록이 도크에서 탑재 용접됨으로써 선체 건조 공정이 끝나게 된다. 보강재 용접시 용접 순서에 따라 각 변형량에 차이가 있을 수 있지만 선체 블록과 같이 종, 횡방향 보강재가 동시에 존재할 경우 종, 횡방향 보강재가 상호간의

각 변형을 구속하므로 종, 횡방향 보강재를 동시에 용접하는 것으로 가정해도 실제와 큰 차이가 없을 것으로 판단된다. 따라서, 각 공정에서 발생하는 각 변형량은 이전 공정의 용접 조건을 동시에 고려함으로써 예측할 수 있다.

Fig. 4의 (a)는 upper deck가 11mm, 15mm 판의 조합일 때 탑재 후 upper deck에서의 예측된 용접 각 변형량 분포를 나타내고 Fig. 4 (b)는 실측 각 변형량 분포를 나타낸다. 각 그림에서 점선으로 표시된 구간은 각 변형량이 당사 건조부의 각 변형 관리 기준인 4mm를 초과하는 구간 즉, 교정 작업 구간을 나타내는데 예측 교정 작업 구간과 실제 교정 작업 구간이 잘 일치함을 알 수 있다.



(a) Estimation (b) Measurement  
 Fig. 4 Comparison of fairing zones between estimated and measured data (11t+15t)

Fig. 5는 11mm와 15mm 강재의 조합으로 형성된 deck에서의 각 변형량별 발생 빈도를 나타내는데 예측 결과와 측정 결과가 비교적 잘 일치함을 알 수 있다.

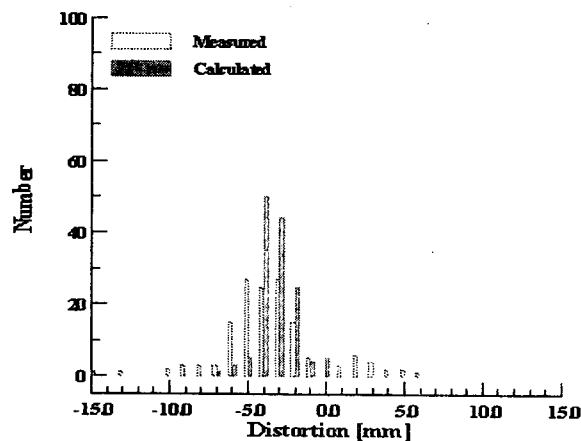


Fig. 5 Comparison of distribution of welding distortion between estimated and measured data

### 3. 결론

간이 열탄성 해석 기법을 이용하여 예측한 컨테이너선 엔진룸 블록의 탑재 후 각 변형량을 실측 데이터와 비교해봄으로써 간이 열탄성 해석 기법의 타당성을 검증하였다. 따라서 이를 이용한 설계 인자별 선체 블록 용접 변형 해석을 통해 용접 변형 제어가 가능할 것으로 기대된다.