

박판용접시 좌굴변형 특성에 관한 연구

A Study on the Characteristics of Buckling Deformation in Plate Welding.

남용국*, 양진혁**, 장경복***, 강성수****

*,** 부산대학교 정밀기계공학과 대학원

*** 삼성중공업 (주)거제조선소 조선플랜트 연구소, 용접연구

**** 부산대학교 기계공학부

1. 서론

구조물의 용접시에는 접합부의 용융을 위해 열이 가해지고 국부적인 용융과 열전달 과정에 따른 불균일한 온도분포가 발생한다. 이에 따라 열변형의 불균일이 발생하게 되고, 열응력이 유발되며, 소성변형도가 잔류하여 용접부의 냉각 후에 영구 변형이 생성되게 된다. 특히 조선업계에서 선체 건조시 정도관리는 부재가공, 조립, P/E 및 도크 작업에 이르는 일련의 흐름을 원활하게 하는 핵심기술이다. 조립과정에서 누적되는 여러 가지 변형 오차를 교정하기 위한 작업들로 인해 생산성이 저하되고 있다. 이 중 용접 변형은 조립시 필연적으로 발생하는 것으로 변형의 오차의 가장 큰 원인이 될 뿐만 아니라 좌굴 강도를 심각하게 저하시킨다. 따라서 용접변형 발생의 메커니즘을 이해하고, 예측된 변형결과에 따라서 용접순서, 구속조건 등의 제어에 의해 변형을 최소화시키는 방안을 찾는 것이 필요하다. 본 연구에서는 고유 변형도 이론과 열·탄소성 해석을 결합하여 구조물의 용접시 발생하는 변형을 실험과 해석을 반영함으로써 정확하고 효율적인 좌굴 특성 예측을 시도하였다. 그리고, 실 구조물의 변형양상은 기본 용접재의 변형양상 보다 복잡한 형태를 가지기에 수치해석 모델 정립과정에 있어서 상당히 어려움이 뒤따를 것으로 예상된다. 그러나, 고부가가치 선박 제작을 위해 필요한 박판 용접 기술 확보를 위해서는 반드시 해결되어야 할 부분이라 여겨진다.

기본적으로 용접 이음부에서 나타나는 변형은 횡수축, 종수축, 회전 변형과 같은 면내 변형, 각 변형, 종곡변형, 좌굴변형과 같은 면외 변형으로 나눌 수 있는데, 특히 좌굴은 주로 박판 용접에서 많이 발생하는 압축응력에 의한 변형이다. 실제 구조물은 이러한 면내, 면외 변형의 조합 및 누적

에 의한 보다 복잡한 형태를 가지게 되어 변형을 예측하고 제어하기 상당히 어렵다. 그러므로, 본 연구에서는 박판 용접시 발생하는 좌굴 변형과 실 구조물의 조립과정에서 문제화되는 좌굴 현상에 대해서 이해하고 문제점들을 제어하기 위한 방안을 마련하고자 한다.

2. 실험 재료 및 방법

2.1 용접 시험편 제작 및 변형 측정

Fig. 1은 맞대기 용접 및 필렛 용접 시험편을 나타냈다.

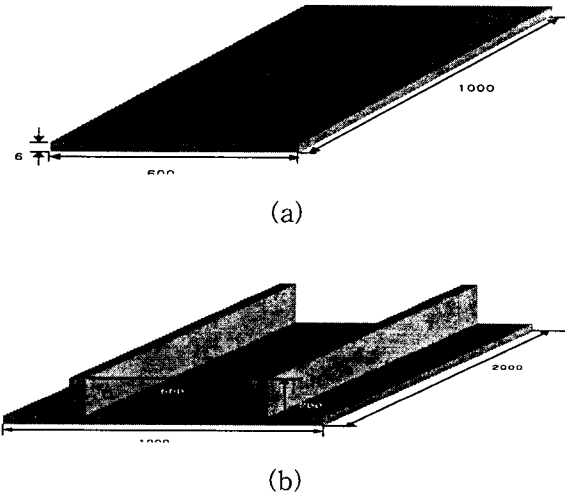


Fig. 1 Shape and dimension of butt and fillet welding model

시험편으로 사용한 강재는 선급용 강재로 TM - 420 강재를 사용하였으며, Fig. 2는 용접하는 모습을 나타냈고, table 1은 용접조건을 나타냈다.



Fig. 2 Plate butt welding by SAW

Table 1 Welding conditions with sequence

	Voltage (V)	Current (A)	Time (sec)	Temp. (°C)	R/G (mm)
Front	33	350	2'28"		0
Inter			7'40"	120	
Back	33	360	2'59"		

Table 2.2와 같은 조건으로 용접을 수행하였다.

3. 용접 좌굴 변형 유한요소해석

3.1 좌굴 변형 시뮬레이션

실 구조물의 변형양상을 파악하기 위해서 구조물 전체에 열·탄소성 해석을 수행을 해야 하나 비효율적인 방법이다. 이런 경우 보통 간이 모델로 치환하여 해석을 수행하는데, 대표적으로 고유 변형도와 등가하중을 이용하는 방법이 있다. 고유 변형도법은 local model에 대해서 열·탄소성 해석을 수행한 후 국부 모델에 대한 고유 소성변형률(ϵ_p)을 global model의 변형과 강성의 관계로부터 등가하중(F_{eq}), 등가모멘트(M_{eq})를 계산하여 입력한 후 해석을 하는 방법이다.

등가하중은

$$F_{eq} = EA \epsilon = EA \frac{\Delta l}{l} \quad (1)$$

이라는 식을 이용을 하였고, 등가 모멘트는

$$M_{eq} = \frac{E t^3}{12(1 - \nu^2)} \cdot \frac{d\theta}{dx} \quad (2)$$

식을 사용하여 계산을 하였다.

Fig.2.1과 같은 모델을 설정하고 용접 전의 상태와 용접 후의 변형 상태를 레이저 변형측정기를 사용하여 측정을 하고 등가하중을 적용하기 위한 δ 값을 산출하기 위해 변형을 예측 식을 사용하였다.

중수축량 계산은 아래의 식과 같이 사용을 하였다.

$$\epsilon_L = 8.9512 \times (1/A) \times (q/v) [\times 10^{-4} \text{mm}] \quad (3)$$

횡수축량 계산은 TWI에서 적용해서 사용하는 식과 Satoh and Mats의 식을 사용하였다.

$$\delta_{T1} = 0.0035 \times \{(q/vt) - 50\} \text{ by TWI} \quad (4)$$

$$\delta_{T2} = 2.67 \times 10^{-3} \times (q/vt) \text{ by Satoh and Mats} \quad (5)$$

그리고, 각 변형량은 아래와 같은 식을 사용하였다..

$$\theta = 0.22 \times (q/v) \times (1/t^2) \quad (6)$$

where q : 입열량

t : 시험편의 두께 (mm)

E : 탄성계수

v : 프아송비

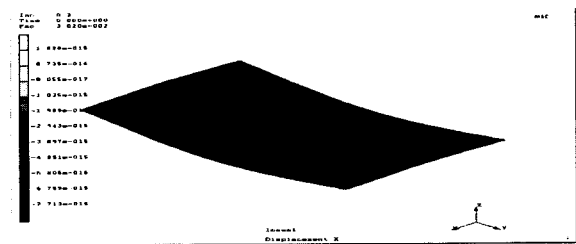
3.2 좌굴 해석 모델 정립

Fig. 3은 등가하중과 등가 모멘트를 적용하기 위한 위치를 나타냈다.

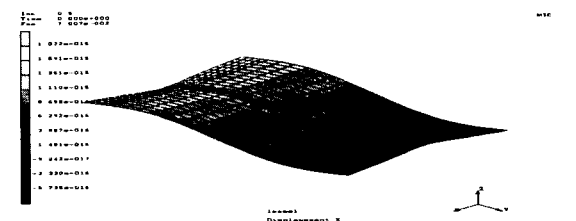


Fig 3 Position of boundary condition

Fig. 4는 위의 구속조건과 등가하중 계산값 및 등가 모멘트 계산값을 적용을 하여 맞대기 용접 시험편의 좌굴 해석을 한 것을 보여주고 있다.



(a)



(b)

Fig. 4 Buckling deformations of analysis after butt welding

Fig. 5는 필렛 용접시험편의 좌굴 해석을 보여 주고 있다.

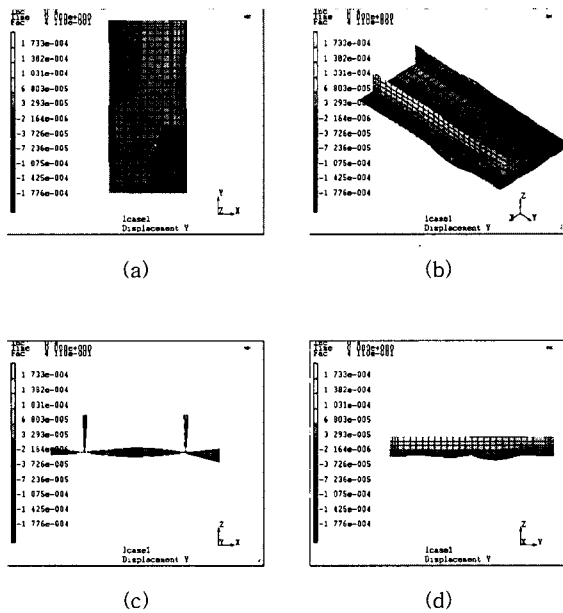


Fig. 5 Buckling deformations of analysis after fillet welding

Fig. 4 과 Fig. 5의 해석을 위해 범용 유한 요소 해석 소프트웨어인 MARC 활용하였다. 용접선 방향, 종수축, 횡수축에 관한 등가 하중을 계산한 후, 각 요소 절점마다 절점 하중을 배분하여 HAZ부에 가하였다. 또한, 등가 모멘트를 계산하여 모델의 끝단에 등가하중을 가한 방법과 같이 주었다.

3. 결론

본 연구에서는 용접시 입열이 들어감으로 열 탄소성 해석을 실행하는 것을 대신해서 고유변형도와 등가하중, 등가 모멘트를 통합적으로 적용을 하여 실행하는 간이 해석을 통하여 예측을 할 수 있는 방법을 제시하였다. 또한 이를 통해서 구조물의 용접 변형 제어를 할 수 있는 방안을 제시할 수 있었고, 복잡한 해석보다 간이 해석을 통해 변형 양상을 실용적으로 예측 할 수 있었으며, 판 구조물 및 필렛 구조물의 용접 변형을 예측하는데 있어 좀더 진요하게 활용이 될 것으로 판단이 된다.

참고 문헌

1. 서승일, 장창두 : “용접구조물의 변형 예측에 관한 연구”. 대한용접학회지 제 15권, 5호, pp.43 8~447. 1997. 10
2. 신상범, 윤중근 : “용접부에 작용하는 구속응력의 해석”. 대한용접학회지 제15권, 제1호, pp.9~14. 1997. 10
3. P. Michaleris, A.Debicari : “Prediction of Welding Distortion” AWS Vol. 76, No. 4, pp.172-s~181-s. 1997. 04
4. 서승일 : “용접 구조물 압축강도의 간이 해석에 관한 연구”. 대한용접학회, 제 17권, 1호, pp.5 0~61. 1999. 02.
5. G. Y. Grondin, A.E. Elwi, J.J.R. Cheng : “Buckling of stiffened steel plates a parametric study”. ELSEVIER, Vol. 50, No. 2 pp.151~175, 1999. 05