

박판 용접의 좌굴 간이해석법

The simply analysis of buckle deformation in thin plate welding

양진혁*, 강성수**, 장경복***, 조시훈***, 장태원****

* 부산대학교 정밀기계공학과

** 부산대학교 기계공학부

, * 삼성중공업 거제조선소 생산기술연구소 용접연구

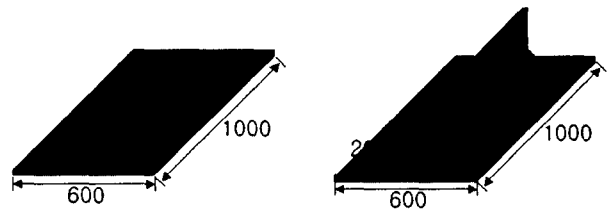
1. 서 론

조선업계에서 선체 건조 시 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. 이중 용접 변형은 조립 시 필연적으로 발생하는 것으로 변형 오차의 가장 큰 원인이 될 뿐만 아니라 좌굴 강도를 심각하게 저하시킨다. 따라서 용접 변형 발생의 메커니즘을 이해하고 예측된 변형결과에 따라 용접순서, 구속조건 등의 제어에 의해 변형을 최소화시키는 방안을 찾는 것이 필요하다.

기본적으로 용접 이음부에서 나타나는 변형은 횡수축, 종수축, 회전변형과 같은 면내변형과, 각 변형, 종곡변형, 좌굴변형과 같은 면외변형으로 나눌 수 있고, 이러한 변형의 조합 및 누적에 의해 복잡한 형태를 가지므로, 예측하고 제어하기가 상당히 어렵다. 이 중에서, 용접 좌굴변형은 박판 선체 작업 시 가장 문제가 되는 변형으로 생산성을 저해하는 주된 요인이다. 이에 본 연구에서는 박판 선체 작업 시 발생하는 용접 좌굴변형을 정성적 및 정량적으로 예측할 수 있는 해석 모델을 정립하여 박판 용접 좌굴변형 특성을 파악하였다.

2. 실험

실험에 사용한 강재는 일반 선급용 강재이며, Fig.1은 시험편의 형상을, Table 1은 용접조건을 나타내었고, Table 2는 변형량을 표시하였다.



(a) I butt welding

(b) Fillet welding

Fig.1 the shape and the dimension of specimens

Table 1. Welding condition

type	pass	Voltage (V)	Current (A)	Time (sec)	R/G (mm)
I butt	Front	33	350	2'28"	0
	Inter	-	-	7'40"	
	Back	33	360	2'59"	
Fillet	Front	27	215	1'35"	-
	Inter	-	-	5'10"	
	Back	27	215	1'34"	

Table 2. Deformation of specimens

type	종방향 (mm)	횡방향 (mm)	모멘트 (rad.)
I butt	0.6	1.8	0.005
Fillet	0.14	0.38	0.015

3. 용접 좌굴 변형 유한요소해석

3.1 좌굴해석모델정립

Fig. 2는 용접 좌굴 변형을 해석하기 위한 순서를 나타낸다.

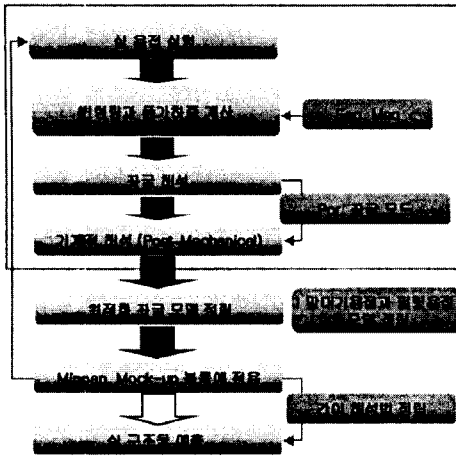


Fig.2 Flow chart

먼저 시험편에서 변형량을 측정 한 후, 변형량과 증가하중을 계산한다. 좌굴 해석을 통해 용접 후에 나타날 수 있는 좌굴 모드에 대해 해석을 선행한 후, 예측되는 좌굴 모드에 대해 소성물성치를 입력 한 후에 post-mechanical 해석을 실시하여 좌굴 변형량을 산출하였다.

3.2 경계조건 및 간이해석식

현장에서 실시하는 조건과 유사한 상황을 재현하기 위해서, 중력이 작용하는 정반 위에 용접할 대상물을 두었을 경우로 해석을 실시하였다. 정반의 변형에는 관심이 없으므로, 변형이 없는 강체로 가정하였다. 시험편 모델의 HAZ부에 종수축, 횡수축 그리고 증가모멘트를 적용시켰다.

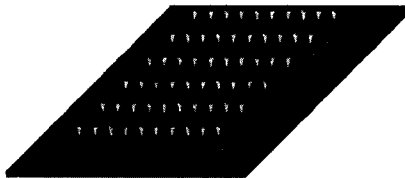


Fig.3 boundary condition

실구조물의 변형양상을 파악하기 위해 구조물 전체에 열탄소성해석을 수행하는 것이 가장 정확하나 대형 용접구조물에 대한 적용은 불가능하므로 실험에서 측정된 용접변형량을 바탕으로 일반적으로 널리 사용되는 증가하중법을 사용하였다.

횡수축에 대한 증가하중은 아래와 같은 식으로 표현된다.

$$F_{eq} = EA_{\text{영}} \frac{\Delta l}{l} \tag{1}$$

여기서, E : 탄성계수
 $A_{\text{영}}$: 횡단면적
 Δl : 횡방향 수축길이
 l : 횡방향 길이

종수축에 대한 증가하중의 경우 위 식을 바탕으로 적용할 경우, 횡수축력에 의해 종방향으로 발생하는 프와송비 만큼의 신장변형으로 인해 우리가 원하는 종수축을 구현할 수가 없다. 이를 보완하기 위해 아래 식과 같이 횡수축력의 프와송비 만큼 종방향으로 신장되는 량만큼 보정하여 종수축력을 계산하였다.

$$F_{supply} = EA_{\text{종}} t \nu \Delta \delta_{\text{영}} \tag{2}$$

여기서, $A_{\text{종}}$: 종단면적
 t : 시편의 두께
 ν : 프와송비
 $\Delta \delta_{\text{영}}$: 횡방향 수축길이

면의 변형을 유발하는 증가 모멘트는 다음과 같다.

$$M_{eq} = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)} \cdot \frac{l_{\text{종}}}{b/2} \cdot \frac{d\theta}{dx} \tag{3}$$

여기서, $l_{\text{종}}$: 종방향 길이
 b : 비드폭

3.3 좌굴모드해석결과

증가하중에 의한 변형은 다음과 같다.

Fig.4는 맞대기용접에서 예측되는 변형형상이고, Fig.5는 이 때 발생 가능한 좌굴모드를 나타내었다.

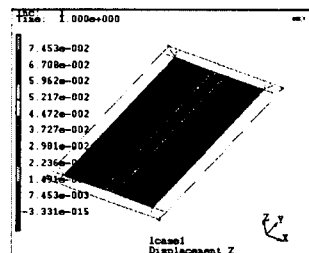


Fig.4 deformation of I butt welding

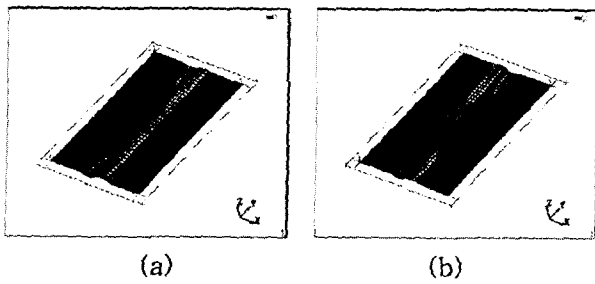


Fig.5 buckle mode of I butt welding

마찬가지로 Fig.6와 Fig. 7은 필렛용접에서 예측되는 변형형상과 좌굴모드를 나타낸다.

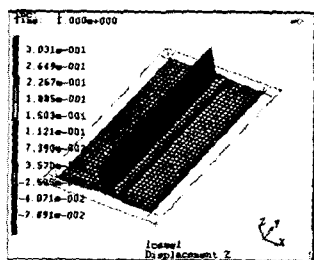


Fig.6 deformation of fillet welding

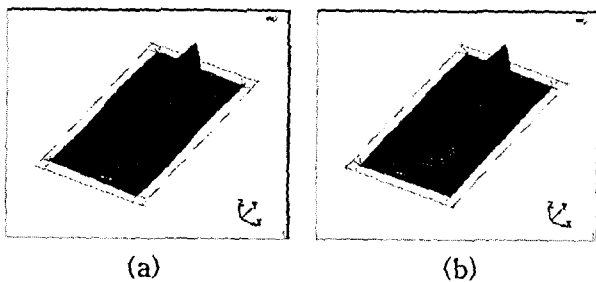


Fig.7 buckle mode of fillet welding

3.4 post-mechanical 해석

Fig.8에는 좌굴이 발생한 모델의 변형량을 알아보기 위해 실시된 post-mechanical 해석을 통하여서 맞대기 용접의 좌굴변형량과 하중의 관계를 나타내었다.

좌굴이 발생하는 시기는 변형량과 하중 사이의 기울기가 변하는 것으로 판단할 수 있다. 초기에는 하중이 선형적으로 증가할 때, 변형량도 이에 비례하여 증가함을 알 수 있으나, 하중이 약 14%를 넘어서면서 부터는 변형량이 급격하게 증가함을 살펴볼 수 있으므로, 좌굴이 발생하였음을 알 수 있다. 이때 변형량이 6mm정도이므로, 이보다 크게 발생한 용접변형은 좌굴임을 알 수 있다.

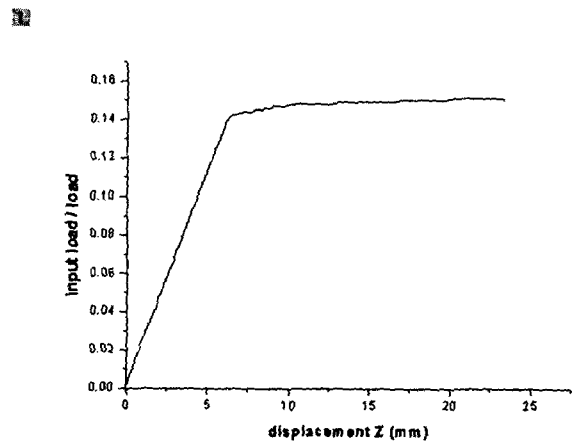


Fig.8 buckle deformation of I butt welding

4. 결 론

정반 위에서 시험편의 변형을 다룬 contact해석과 중력에 의한 자중 효과를 통해서 현장 상황과 가장 유사한 환경을 구현하여, 해석의 정도를 높였다.

용접좌굴로 인해 발생하는 모드를 예측할 수 있을 뿐만 아니라 이 때 발생하는 변형량을 미리 알아봄으로써 해서, 조립과정 이전에 좌굴 발생할 경우를 예측 할 수 있고, 이를 사전에 방지할 수 있는 방법을 강구할 수 있게 되었다.

간이해석을 통해 빠른 시간에 변형양상을 실용적으로 예측 할 수 있었으며, 시험편에서 구현한 방법을 통하여 mock-up에 적용이 가능함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 서승일, 장창두 : "용접구조물의 변형 예측에 관한 연구". 대한용접학회지 제15권, 제5호, 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". 대한용접학회지 제17권, 제1호, pp.50~61. 1999. 02