2005년도 추계 학술발표대회 발표논문, 2005년 11월, 경남 산청

박판 블록의 용접 좌굴 변형 해석에 관한 연구

Study on the Analysis of Welding Induced Buckling Distortion in Thin Plate Block

장 경복*, 박중구*, 양진혁*, 조시훈*, 장태원*

* * 삼성 중공업 거제 조선소 생산 기술 연구소 용접 연구

ABSTRACT This paper presents a numerical analysis method for predicting welding-induced deformation and buckling in ship block with thin plates. The numerical method is particularized on evaluating buckling distortion induced by welding. There are two steps in the numerical analysis model. One is to solve the eigenvalue problem of welded structure by elastic buckling analysis, and the other is to solve the welding-induced buckling distortion of welded structure by post-mechanical analysis. Equivalent force method was used for considering the shrinkage force by welding in the analysis model.

1. 서 론

일반적으로 용접변형은 크게 면내 변형인 수축변형(shrinkage deformation) 과 면외 변형인 각변형(angular distortion)으로 분류할 수 있는데 박판 구조물의 경우 면외변형으로 각변형 외에 용접선 방향의 수축 하중이 용접부의 좌굴 강도를 초과하는 경우에 발생하는 좌굴 변형(buckling distortion)이 문제가 되는 경우가 많다. 이러한 좌굴 변형은 변형의 크기 뿐 아니라 변형 모드가 복잡하므로 교정 작업이 상당히 어려워 박판이 주를 이루는 카페리, 크루즈 등의 건조에 있어서 가장 큰 문제로 인식되고 있다. 즉, 좌굴 변형은 일단 발생하게 되면 수정이 너무 어렵고 수정 후에도 치수 변화 등과 같은 추가적인 정도 문제가 발생하기 때문에 사전 예방이 최선책이라 할 수 있다.

이러한 사전 예방책으로는 주판의 두께나 보강재의 크기 및 간격 등을 변경하는 설계적인 방안과 용접 입열량의 최소화, 열 및 기계적 하중을 이용한 용접 수축 하중의 이완 등과 같은 생산적인 방안이 있는데 현업의 경우는 박판 물량만을 생산하는 것이 아니기 때문에 설계적인 방안을 더 선호한다. 설계적인 방안이 최적화되기 위해서는 생산에 앞서 사전 검토가 이루어져야 하기 때문에 용접에 의해 발생하는 좌굴 변형을 예측할 수 있는 해석적 기법의 정립이 필수적이라 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 박판 선체 작업 시 발생하는 용접 좌굴변형을 정성적 및 정량적으로 예측할 수 있는 해석 모델을 정립하였으며 이를 실 블록에 적용하여 그 타당성을 검증하였다.

2. 실 험

용접 등가하중 계산을 위한 수축량을 계측하기 위해 맞대기 및 필릿 시험편 테스트를 실시하였다. Fig.1은 시험편 형상을 나타내며 Table 1은 용접조건을 나타낸다.

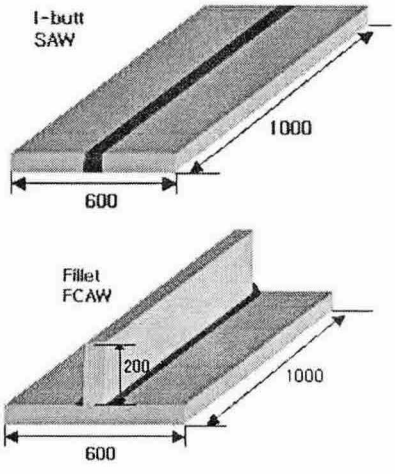


Fig.1 Welding specimen for deformation test[unit : mm]

Table 1 Welding condition

		Voltage (V)	Current (A)	Time (sec)	Velocity(mm/sec)
I-butt	Front	33	350	148	68
	back	33	360	179	56
Fillet	Left	27	212.5	95	105
	Right	27	212.5	94	106

변형 측정은 3차원 Portable CMM System으로 이루어졌다. Fig.2는 변형 측정 모습을 나타낸다.

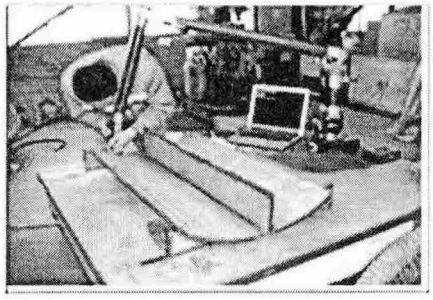


Fig.2 Deformation measurement using Portable CMM System

3. 해석법 정립 및 검증

Fig.3은 본 연구에서 정립된 해석 flow를 나타낸다. 여기서 좌굴 해석은 탄성 해석이며 용접구조물의 고유치(eigenvalue)를 구하기 위한 것이며, Post-mechanical 해석은 탄소성 해석으로 좌굴이 시작될 때의 변형량을 계산하기 위한 것으로 보다 자세히 설명하면 다음과 같다.

좌굴 해석을 수행하면 발생 가능한 다양한 변형 모드와 그 모드에 대한 고유치가 계산되어 진다. 다양한 모드 중 발생 가능하며 최소 고유치를 지니는 모드로서 Post-mechanical 해석을 수행하는 것이다. 여기서 변형 모드를 initial geometric imperfection으로 구현하고 재료에 대한 탄소성 물성치를 입력한 후 탄소성 해석을 수행함으로서 Post-mechanical 해석이 수행되는데 이를 통해 관심 영역에서 하중과 변위 선도가 구해지는데 이를 분석하면 좌굴이 발생하는 시점을 파악할 수 있게 된다.

각 모드에 대한 좌굴 하중 P_{cr}은 다음과 같이 계산되어 진다.

$$P_{cr} = P_{in} \times \lambda \qquad (1)$$

여기서, P_{cr}은 임계하중, P_{in} 입력 하중, λ는 최소 positive eigenvalue이다.

Fig.4는 I 맞대기 시험편에 대한 일반적인 변형 해석 및 좌굴 해석 결과를 나타낸다. 모드 4가 변형 해석 결과 양상과 유사하며 λ가 1보다 작다. 그러므로, 모드 4를 새로운 모델로 변환하여 Post-mechanical 해석을 수행하였다.

Fig.5는 I 맞대기 모델에 대한 Post-mechanical 해석 결과를 나타낸다. 최종적인 변형 양상은 Fig.4의 결과와 유사한데 이는 initial geometric imperfection이 Post-mechanical 해석 모델에서 잘 구현되었음을 보여주는 것이다. 변형량 5mm 정도에서부터 좌굴이 시작되는 것을 확인할 수 있다. 이는 계측치 4.5mm에 근사하는 값으로 I 맞대기 용접의 경우 입열량이나 구속 조건 등이 조금만 변해도 좌굴변형이 발생할 가능성이 많음을 알 수 있다.

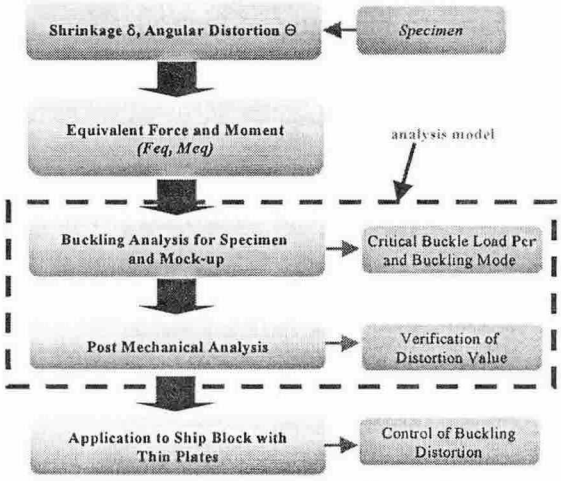
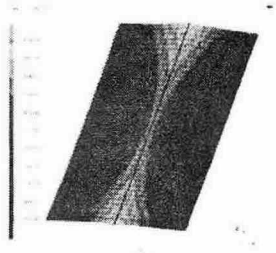
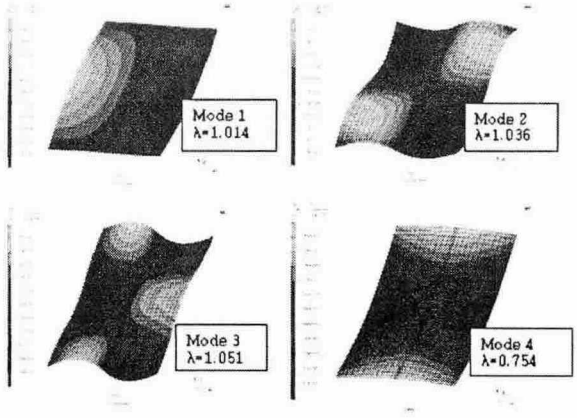


Fig. 3 The flow scheme of research



(a) Deformation shape by elastic deformation analysis



(b) Eigenmode and eigenvalueby elastic buckling analysis

Fig. 4 The results of buckling analysis for I-butt specimen

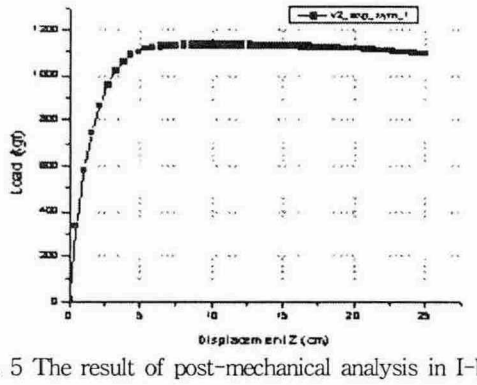


Fig. 5 The result of post-mechanical analysis in I-butt

Fig.6은 필릿 시험편에 대한 좌굴 해석 결과를 나타낸다. λ가 1보다 작은 모드는 나타나지 않고 있다. 즉, 필릿 용접의 경우는 용접 좌굴변형이 발생할 가능성이 없음을 확인할 수 있다.

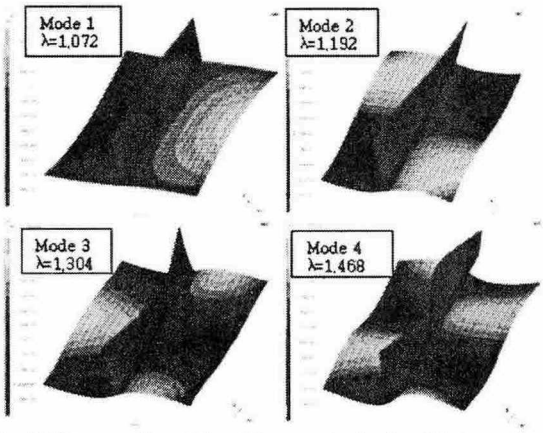


Fig. 6 The results of buckling analysis for fillet specimen

Fig.7은 상기와 같이 정립된 해석법으로 적용한 실 블록을 나타낸다.

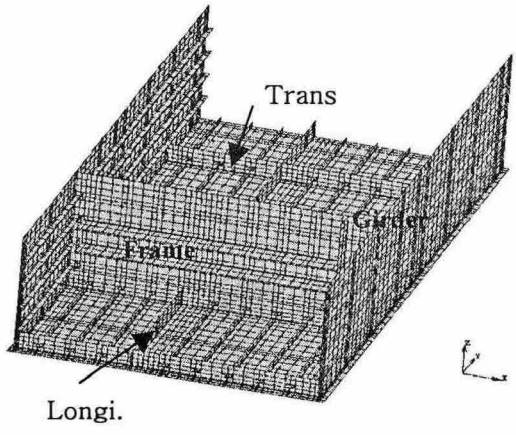


Fig.7 Mesh generation for model block

Fig.8은 각 공정에 대해 좌굴 해석을 실시한 결과 좌굴변형이 발생 가능한 공정 주판 보강재 용접에 대한 좌굴 해석 결과이다. 이 모드를 이용하여 post-mechanical 해석을 수행한 결과를 Fig.9에 나타내었다. 본 블록의 경우 주판 용접 후 4번째 longi.가 용접되는 공정에서 용접 좌굴변형이 발생할 가능성이 있으며 그 변형량은 10 mm 이상이라는 것을 예측할 수 있다. 그러므로 이 부분에는 보강재를 설치하는 등의 조치를 통해 용접 좌굴변형을 사전에 방지할 필요성이 있다.

4. 결 론

박판 구조물에서 용접 좌굴변형을 정량적으로

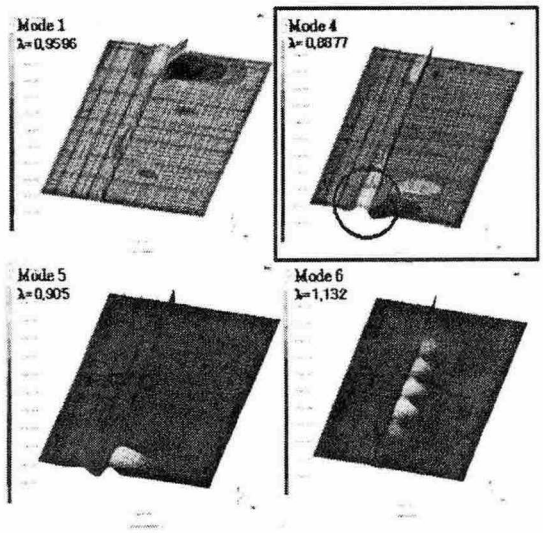


Fig.8 The results of buckling analysis for the joining of longi. No.4

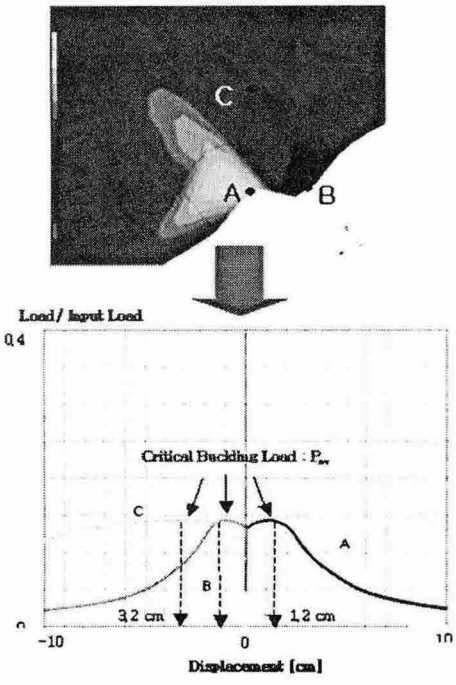


Fig.9 The results of post-mechanical analysis for the joining of longi. No.4

해석할 수 있는 방법을 제시하였으며 이를 실제 박판 블록 제작에 적용하여 용접 좌굴변형이 발생 가능한 공정을 사전 예측하고 제어할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. P. Michaleris and A. Debiccari(1997) "Prediction of Welding Distortion", Welding Journal, April, pp 172-181.