

## Shell 요소를 이용한 판넬 용접변형 해석 모델 개발

A study on distortion prediction model for panel structure using shell element

전 유철\*, 한 명수\*

\* 대우조선해양(주) 산업기술연구소

### 1. 서 론

선체의 3차원 panel 구조 형상의 용접변형 및 용접 잔류응력 해석을 위해 3차원 연속체 요소(continuum element)를 사용하여 모델을 구성하면 일반적으로 다루어야 할 문제의 크기가 매우 커져 해석 시간 등의 제약 조건 때문에 대형 구조에서는 효과적이지 못한 경우가 많다. 이런 경우 쉘 또는 plate 요소를 사용하여 해석 모델을 만들게 되는데 이때에는 개별 구조 부재의 두께 방향 대칭 면을 따라서 모델을 생성하게 된다. 한편 shell 요소를 사용한 T-형상 용접 조립 구조의 경우, 요소 생성 방법이 적절하지 못하면 두께 방향으로 비정상적인 온도 분포를 얻을 수 있다. 또한, 직각으로 결합된 모서리 영역에서 유한 요소 모델 상면과 하면이 실제 구조체의 자유면과 기하학적으로 일치하지 않는 부분이 발생하며 이로 인해 fillet 용접부와 같이 결합 모서리 근방에 용접 입열이 주어지는 것을 수치적 열속 모델을 사용하여 구현하기 어려운 경우가 생긴다.

본 연구에서는 선체 구조의 대표적인 형상중의 하나인 stiffened plate의 조립 해석을 위해 shell 요소에 기반한 용접변형 해석 모델을 개발하여 적용하였으며 실험을 통해 개발된 해석 기법의 타당성을 검토하였다.

### 2. Stiffened floor plate 구조

#### 2.1 유한 요소 모델

모델의 형상 및 치수는 가로 3000mm, 세로 1000mm인 floor plate에 길이 800mm, 높이

200mm인 stiffener가 fillet 용접되며 floor 판의 두께는 15mm, stiffener는 11.7mm이다.

Shell 요소를 사용하여 유한 요소 모델을 생성시킬 때 교차 부재간 shell요소의 surface normal 방향이 서로 상응하도록 요소를 생성하였다. Fillet 용접부는 좌우 모두 등각장(equal leg length)의 비드가 형성되지는 않았지만 해석에서는 편의상 이들 치수의 평균값인 6.4mm의 등 각장 용접부를 가정하였다.

그림 1은 유한 요소 모델을 보여주고 있다.

#### 2.2 용접변형 실험

용접변형 실험을 위해 제작한 모델의 치수 및 형상은 해석 모델에 주어진 것과 같다. 해석 모델에서는 고려하지 않았으나 실험 모델은 폭이 1500mm인 두 판을 맞대기 용접하여 제작하였다. 실험에서는 해석에서 고려한 것과 같은 용접 순서를 적용하여 판과 보강재의 fillet 용접을 행하였으며 각 용접 순서를 적용한 보강판의 두 번째 fillet 용접을 완료한 상태와 최종 용접을 완료한 상태에 대해 이동식 3차원 다관절 좌표 측정 장치를 이용하여 면외 변형 측정을 행하였다. 판에서의 면외 용접변형을 측정하기 위해 용접 이전에 판의 가로 및 세로 방향으로 일정 간격의 선을 그어 만든 격자 교점에 대해 판의 초기 면외 굴곡을 계측하며 용접 개시 후 각 단계에서 계측된 판의 면외 방향 좌표 값에서 초기 굴곡을 감한 수직 변위로부터 용접변형량을 계산하였다.

### 3. 열전달 및 탄소성 해석

#### 3.1 열전달 해석

실험과 같은 용접 조건 및 용접 순서를 해석에 고려하기 위해 8개의 용접면에 대해 개별적인 열원을 가하여 용접 열전달 해석을 수행하였으며, 용접 열원은 용접선 방향으로 순간 열원을 가정한 균일 분포 표면 열속 모델을 적용하였다.

해석 결과, fillet 용접된 영역에서는 액상점보다 높은 최고온도를 보였으며 root부에 해당하는 결합 모서리 근방에서는 액상점보다 낮은 온도가 발생하였다. 또한 fillet 용접 면의 반대 면에서는 약 300°C의 최고 온도가 발생하였다.

#### 3.2 탄소성 해석

자중 및 정반과 모델 바닥면과의 접촉을 고려한 탄소성 해석을 수행하였다. 다수의 stiffener가 동시에 판에 fillet 용접될 때의 용접 후 면의 변형량을 계산한 결과, 면의 변형의 최대값은 용접 선과 평행한 판의 양 단에서 발생하며 크기는 약 15.2mm이었다. 판에서의 용접 변형은 각 변형에 의한 면의 변형이 주로 발생하였으며 판에서의 최대 횡 수축 및 종 수축량은 각각 0.2mm 및 0.5mm 정도로서 상대적으로 매우 작았으며 횡 수축에 의한 stiffener 사이의 간격의 변화도 대부분 0.1mm 이내로 무시할 수 있을 정도의 크기이었다. 따라서 해석 모델과 비슷한 크기와 형상의 fillet 용접부에서는 용접 각 변형이 주된 변형 인자임을 확인할 수 있었다.

### 4. 해석 및 실험 결과

그림 2는 용접 순서를 달리한 실험 및 해석에서 모든 용접을 완료한 후의 판의 면외 용접 변형량을 서로 비교하여 나타낸 것이다. 용접을 완료한 후의 최종 변형량은 용접 순서에 관계없이 실험 및 해석 결과가 매우 유사함을 알 수 있다.

그림 3 및 그림 4는 용접부 길이방향에 직각인 단면에서 관찰된 면외 변형 분포를 나타낸 것이다. Inward 및 outward 용접 순서에 의한 최종 면외 용접 변형은 관찰된 모든 단면에서 실험과 해석 결과가 매우 잘 일치하였다. 반면 두 번째 fillet 용접을 완료한 때의 면외 변형은 그 양상이 서로 차이가 나고 있으며 바깥쪽 fillet 용접부부터 용접해온 inward 용접 순서에서는 용접이 행해진 판 양단 근방의 변형이 실험과 해석에서 서로 비슷하게 나타났지만 안쪽 용접부를

먼저 용접한 outward 용접순서에서는 용접이 행해진 판 안쪽의 면외 양상이 서로 달랐다. 용접 조립 과정동안의 이러한 차이가 용접변형의 차이는 실험 판에 시공된 맞대기 용접부의 영향으로 발생했을 가능성이 크다. 이의 확인을 위해서는 해석에서도 판의 맞대기 용접 해석을 추가로 고려할 필요가 있다고 판단되며 이에 대해서는 이후 수행할 예정이다.

### 5. 결 론

Shell 요소를 이용한 용접변형 해석 모델의 타당성을 검토하기 위해 stiffened floor plate를 대상으로 해석 및 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Shell 요소의 surface normal 방향을 조정 한 해석 모델을 용접변형 해석에 적용하였다.
- 2) 열전달 해석 결과, 금속 용융점 이상의 최고 온도가 나타나는 영역이 실제 fillet 용접부가 존재하는 영역과 유사하게 나타났다.
- 3) 최종 면외 용접변형은 관찰된 단면에서 실험과 해석 결과가 잘 일치하였다.
- 4) 개발된 용접변형 해석 모델 및 기법은 대형 판넬의 용접변형 해석에 유용하게 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

### 참고문헌

1. ABAQUS Analysis User's Manual, Ver. 6.5
2. Yu LUO, Morinobu ISHIYAMA and Hidekazu MURAKAWA, Welding Deformation of plates with Longitudinal Curvature, Trans. JWRI, Vol.28, 1999, No.2
3. P.MICHALERIS and X.SUN, Finite Element Analysis of Thermal Tensioning Techniques Mitigating Weld Buckling Distortion, WELDING RESEARCH, November 1997
4. Dean DENG, Hisashi SERIZAWA and Hidekazu MURAKAWA, Prediction of Welding Distortion During the Assembly Process of Thin Plate Structures(2<sup>nd</sup> Report)
5. Chris Conrardy and Randy Dull, Control of Distortion in Thin Ship panels, Journal of Ship Production, Vol. 13. No. 2, May 1997, pp. 83~92

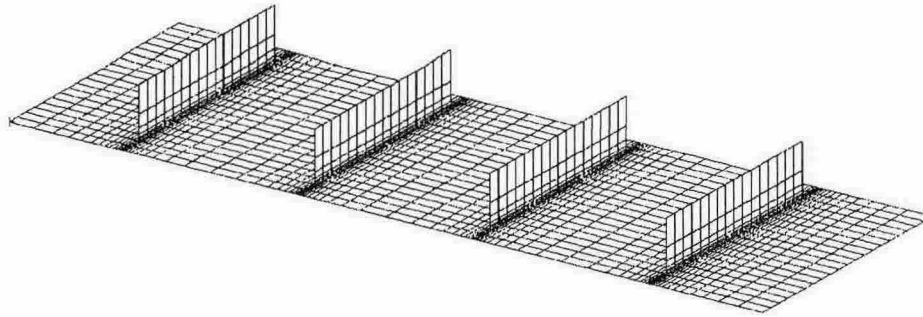
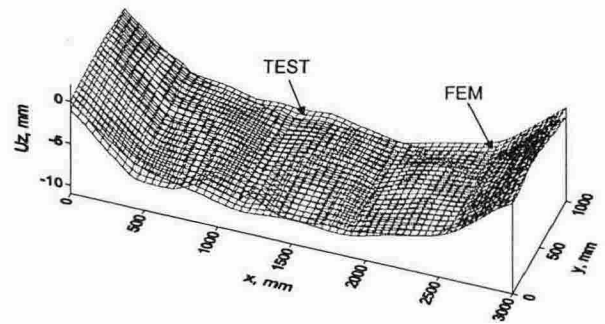
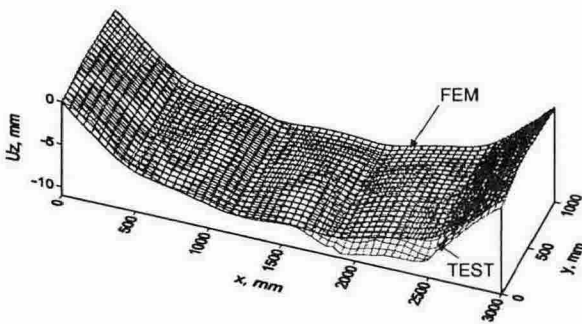
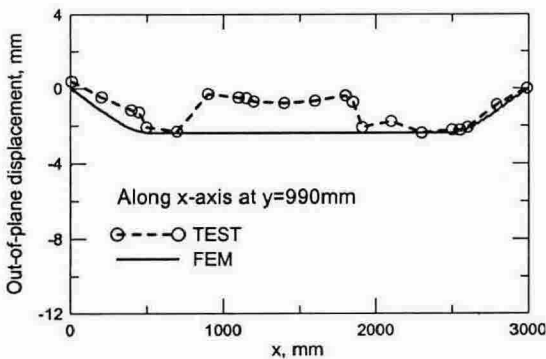


그림 1 유한요소 모델

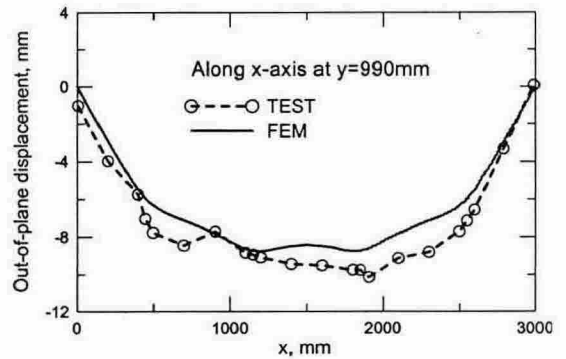


(a) After welding completion (Inward direction) (b) After welding completion (Outward direction)

그림 2 면외 용접변형량의 실험과 해석 결과의 비교

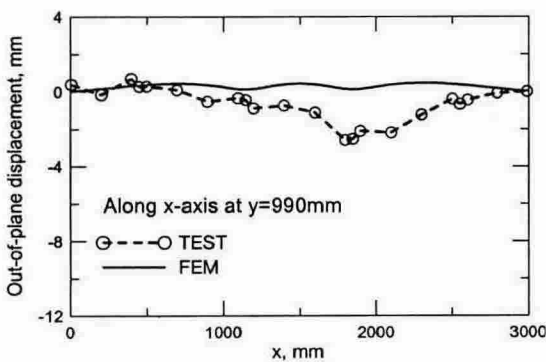


(a) After the 2<sup>nd</sup> welding pass

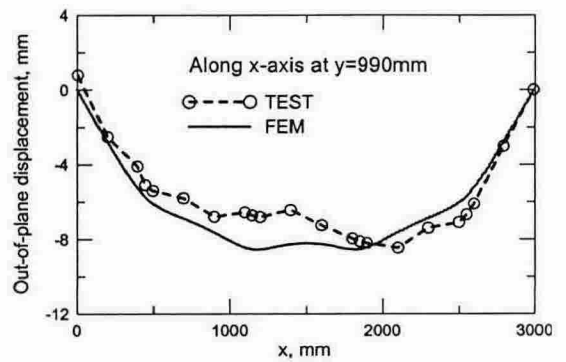


(b) After welding completion

그림 3 Inward 방향 순서로 용접한 단면에서의 면외 용접변형 분포 비교



(a) After the 2<sup>nd</sup> welding pass



(b) After welding completion

그림 4 Outward 방향 순서로 용접한 단면에서의 면외 용접변형 분포 비교