

Butt 용접부 변형 예측에 관한 연구

A Study on the distortions of butt weldment

신상범*, 윤중근, 박동환
현대중공업(주), 산업 기술 연구소

1. 서론

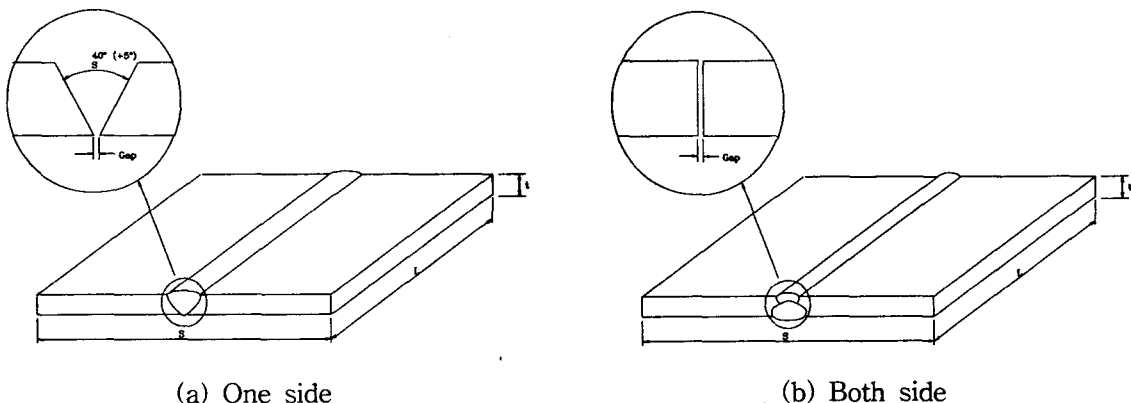
선체 제작시 주판의 판계 용접시 butt 용접부는 V groove의 편면 용접부(FAB)와 I 개선의 양면 용접부(SAW)로 대별된다. 이러한 주판의 판계 용접시 주로 발생하는 변형 양상은 용접부의 두께 방향의 온도차에 따라 용접부 두께 방향으로의 수축 하중의 차이에 기인한 각 변형과 용접부의 냉각시 용접선에 수직한 방향으로의 용착금속 및 그 주변의 용접부 수축에 기인한 횡 수축 그리고, 용접선과 동일한 방향으로의 수축 하중에 기인한 종 수축과 굽힘 변형으로 대별된다. 이러한 판계 용접부의 변형은 선체와 같은 대형 철 구조물 제작시 후 공정으로 수행되는 fillet 용접부의 초기 변형 효과 및 보강재의 취부시 취부 정도 감소등을 유발함으로써 대형 블록에서 발생하는 정도 관리에 있어 큰 장애 요소로 작용한다. 즉, 판계 용접부의 변형 제어는 선체와 같은 대형 철 구조물에서 정도 관리를 위하여 반드시 선결되어야 할 문제이다.

본 연구에서는 유한 요소 해석 및 실험을 통하여 판계 용접부에서 발생하는 각 변형 및 횡 수축과의 용접 변수간의 상호 관계를 규명함으로써 간이 예측 기법 및 등가 모델을 제안하고자 한다.

2. 실험 및 해석 방법

실험 방법 주판의 편면(FAB) 및 양면(SAW) 판계 용접시 발생하는 변형 예측 기법을 확립하기 위한 실험 모델의 형상은 Fig. 1 과 같이 용접선의 길이(L)가 1000mm이고, 용접부의 폭(S)이 700 - 2000 mm인 주판이며, 용접부재의 두께 및 용접 조건(입열량)을 실험 변수로 하여 실험 모델을 선정하고 용접을 수행하였다. 용접부에서 발생하는 변형 측정을 위하여 용접 시단부로부터 각각 250, 500, 750mm인 위치에 1.5kW CO₂ laser 절단기를 이용하여 용접부를 중심으로 폭이 각각 150mm와 250mm의 gage length를 marking하고, 용접 전·후 버니어 캘리퍼스 및 steel자 그리고, gap gage를 이용하여 횡 수축 및 각 변형량을 측정하였다.

해석 방법 주판의 편면 및 양면 판계 용접시 발생하는 각 변형 및 횡 수축을 평가하기 위한 유한 요소 해석시 Fig. 1에 도시한 실험 모델에 대하여 용접 입열량 및 두께에 따른 변수 $H_{eff}(Q/t^2)$ 에 따라 해석을 수행하였다. 유한 요소 해석시 용접선 길이 방향으로 열 유동이 없는 것으로 가정하고, 3차원 형상의 해석 모델을 용접선 길이 방향으로 단위 두께를 갖는 2차원 문제로 축소 가정하고 해석 영역의 기하학적 대칭성 및 열 하중 및 경계 조건에 대한 대칭성을 고려하여 용접부에 대해 8절점을 가진 평면 요소를 이용하여 구성하였다. 열 변형 해석시 경계 조건은 용접 arc가 해석 영역을 통과시 기열된 모재의 열 팽창에 기인한 역 변형의 제어를 위하여 "On die" 조건을 적용하였으며, 용접선 길이 방향으로는 generalized plain strain 조건으로 해석을 수행하였다. 이때, 용접부 및 모재의 열적·기계적 물성치는 온도에 의존하며, 등방성인 것으로 가정하였으며, 열 전달 및 변형을 위한 열 탄소성 해석을 각각 비 연성된 것으로 하였다.



(a) One side (b) Both side
Fig. 1 Schematic diagram of one side butt weldment for experiment

3 실험 및 해석 결과

각 변형 Fig. 2의 (a)는 단위 두께당 용접 입열량의 변화에 따른 각 변형량의 거동 양상을 유한 요소 해석 및 실험 결과를 비교하여 도시한 것이다. Fig. 2의 (a)와 같이 편면 판계 용접부의 각 변형의 변화 거동은 실험 및 유한 요소 해석 결과 거의 동일하게 단위 두께당 용접 입열량이 약 3.0cal/mm/mm^2 보다 큰 경우 Q/t^2 이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보이고 있다. 그러나, FAB 실험 결과에서 용접부의 각 변형은 Q/t^2 가 10.4cal/mm/mm^2 을 초과하는 경우 (-) 방향으로의 역 변형이 발생하나, 유한 요소 해석 결과에서는 역 변형은 발생하지 않고 있다. 이는 유한 요소 해석시 용접 arc에 의한 열원이 용접부 및 그 근방의 모재를 가열시 역 방향의 변형이 용접선 방향으로 열원에 노출되지 않은 모재에 의해서 완전히 구속된다는 가정에 기인한 것이다. 실제 선체와 같은 대형 용접부의 경우 용접선의 길이 및 폭이 매우 큰 경우 내적 구속이 매우 크기 때문에, 가열시 발생하는 역 변형은 상당히 제한된다.

횡 수축 Fig. 2의 (b)는 유한 요소 해석 및 실험에 의하여 편면 판계 용접시 주판의 단위 두께당 용접 입열량(Q/t)에 따른 평균 수축량의 변화를 도시한 것이다. Fig. 2의 (b)와 같이 횡 수축량은 단위 두께당 입열량(Q/t)이 증가함에 따라 선형적으로 증가하는 양상을 보이고 있으나, 입열 세기에 따른 횡 수축량의 편차는 매우 크며, 이러한 경향은 본 연구의 실험 결과에서 더 두드러지게 나타나고 있다. 그리고, 실험에 의한 횡 수축량은 유한 요소 해석에 의한 횡 수축량의 결과에 비해 크게 나타나고 있다. 이러한 횡 수축량의 차이는 동일 입열하에서 용접부의 폭과 길이의 차이에 따른 횡 구속도와 용접 root부의 gap의 차이 등의 복합적인 상호 작용에 기인한 것이다.

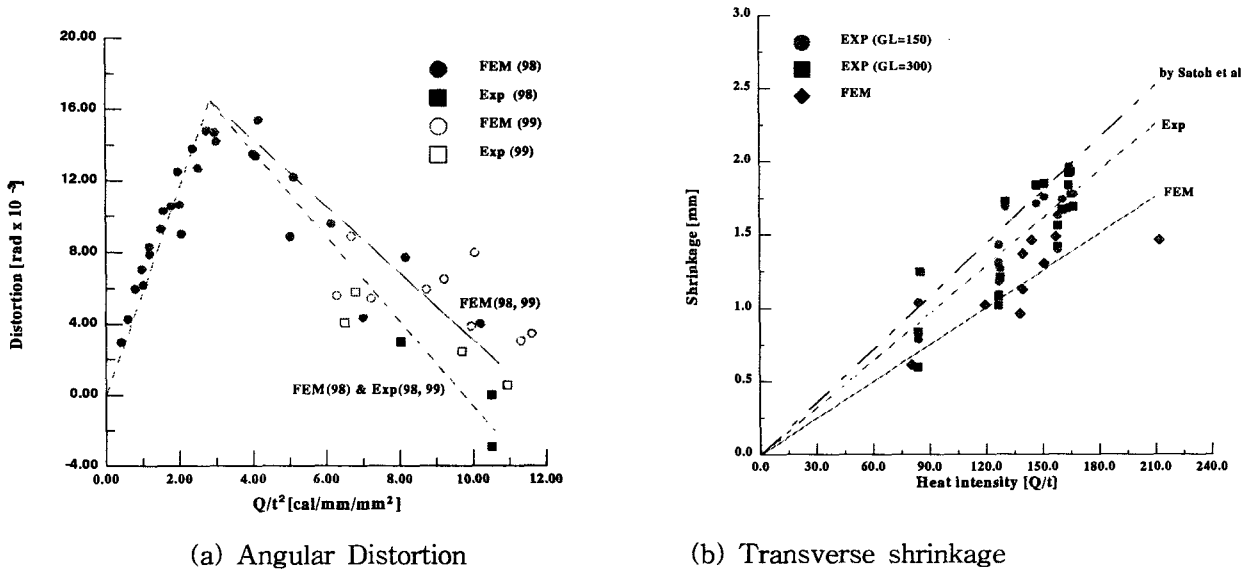


Fig. 2 Comparison of angular distortion and transverse shrinkage at the one side butt weldment by FEM & Exp

4. 결론

선체제작시 편면 및 양면 판계 용접부의 각 변형 및 횡 수축과 용접 변수(입열량 및 판 두께)와의 상관 관계를 실험 및 유한 요소 해석을 이용하여 평가하고, 이들 결과를 비교 평가함으로써 판계 용접부의 용접 변형 예측을 위한 간이 예측기법을 제안하였다.

1. 주판 판계 용접시 단위 두께당 용접 입열량에 따라 각 변형량은 증감이 천이되는 특성을 보이나, 횡 수축량은 단위 두께당 입열량이 증가함에 따라 선형적으로 증가한다.
2. 용접부의 각 변형 및 횡 수축의 변형 양상 및 크기는 용접부의 구속도에 크게 의존한다.