

FCAW에 의한 판넬 필렛 용접부의 각변형 해석

Analysis of Angular Distortion of the Fillet Weldment caused by FCAW at the Stiffened Panel Structure

신상범*, 윤중근

현대중공업(주) 산업기술연구소, 울산시 동구 전하동 1

1. 서론

선박이나 대형 철 구조물의 제작시 용접은 경제성이나 효율성이라는 측면에서 가장 폭 넓은 적용 범위를 갖고 있는 접합 공정이다. 그러나, 용접시 용접부는 용접 아크에 의한 급열 및 급냉의 열 이력에 기인하여 변형을 수반하게 되는데, 이러한 변형은 추가적인 변형 교정 작업을 수반함으로써, 공정의 연속적인 흐름에 막대한 영향을 미치게 된다. 따라서, 대부분의 사업장에서는 이러한 용접 변형의 제어를 위하여 수많은 시간 및 인원을 투자하지만, 변형 제어를 위한 일의적인 방법을 제시하지는 못하고 있다.

Fillet 용접부에서 발생하는 각 변형은 용접시 용접부 두께 방향으로의 온도차에 의한 팽창 및 수축량의 차이에 기인한다는 점에서 맞대기 용접부의 각 변형과 유사하다고 볼 수 있으나, 구속이나 다른 기하학적인 인자들에 의한 영향은 다소 상이한 것으로 보고되고 있다. 이러한 fillet 용접부의 각변형 양상은 Satoh^[1], Ueda^[2] 그리고, Rapps^[3]등이 T형 fillet 용접부에 대한 실험이나 수치해석을 이용하여 연구를 수행하였으나, 이들이 제안한 결과들을 이용하여 실 구조물의 fillet 용접부의 각 변형 예측하면 그 적용 범위가 매우 한정적임을 알 수 있다. 이는 기존의 연구에서 사용된 해석 모델 및 변수들의 제한성 및 사용된 용접 기법에서도 상당한 차이가 있을 뿐 아니라, 기존의 연구결과들이 각 변형 양상을 정의하기 위한 parametric study 가 결여되었음에 기인된다.

따라서 본 연구에서는 실 구조물 예컨대 선체 거주구의 제작시 판넬의 CO₂ FCAW fillet 용접부에서 발생하는 각 변형을 예측할 수 있는 방법을 확립하고자 하였다. 이를 위해 실 용접조건하에서 fillet 용접부의 기하학적인 인자와 용접 각장에 따른 각 변형 거동을 유한요소해석으로 평가하고자 하였으며, 이 결과와 실험을 토대로 fillet 용접부의 각 변형에 미치는 주인자를 규명함으로써 판넬의 fillet 용접부의 각 변형 예측 기법을 정립하고자 하였다.

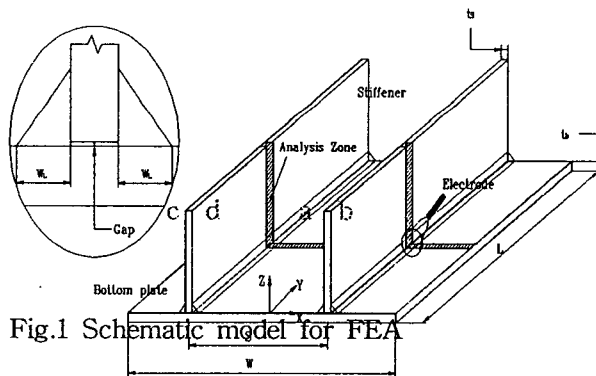
2. 유한요소해석

2.1 해석 모델 및 방법

유한요소해석에 의한 판넬 fillet 용접부의 각 변형에 해석시 사용된 모델 형상 및 사용된 변수는 Fig.1과 같으며, 용접부의 기하학적 인자 및 용접 각장으로 총 78개의 모델에 대해 해석을 수행하였다. 각 변형 해석을 위한 비선형 열 탄소성 해석에 앞서 열전달 해석을 수행하였는데, 열 전달 및 열 응력은 각각 비 연성된 것으로 가정하였다. 열전달 해석시 Fig.1의 a와 d 그리고, b와 c의 용접부가 동시에 순차적으로 형성되는 것으로 가정하고, 용접 arc의 시단부와 끝단부의 효과를 배

제하고 열속이 등속으로 이동한다고 가정함으로써, Fig.1의 사선영역에 대해서만 준 정상상태의 2차원 열 전달 해석을 수행하였다. 사용된 열 경계 조건은 용접선과 평행한 방향으로 열 유동이 없는 즉, 단열된 것으로 가정하고, 대기와의 접합면에서는 상온의 공기와 자연 대류에 의한 열 손실이 존재하는 것으로 가정하였다. 용접 arc에 의한 열 하중은 gaussian 분포의 열속이 해석 영역에서 등속으로 이동하는 것으로 가정하였다. 그리고, 용점(1450°C)이상으로 가열되는 영역에서 고상에서 액상으로 천이되는 상 변화(phase chase)를 고려하기 위해 잠열 효과 및 액상인 용착 금속의 열 전달 효과를 고려하기 위해 유효 열 전달 계수를 도입하였다. 그리고, 재료의 열적 물성은 온도에 의존하는 것으로 가정하였다.

Fillet 용접부의 각 변형 시험을 위한 비선형 열 탄소성 해석시 용착 금속이 생성되기 전 즉, a와 d의 용접시 b와 c의 용접부에 위치한 요소의 강성이 "0"으로, 액상의 용착 금속의 열 팽창 계수 증분량이 "0"인 것으로 각각 가정하였다. 모재 및 용접재는, 등방성이고, 기계적 물성은 온도에 의존하는 것으로 가정하였다. 이때, 항복개시는 von-Mises의 항복조건을 적용하였다.



S [mm]	W _L [mm]	tb [mm]
300	4	8
500	5	10
700	6	12
900	7	15

2.2 해석 결과

Fig.2의 (a)는 보강재와 주판의 두께가 10mm이고, 보강재의 간격이 300mm인 fillet 용접부에서 용접 각장(W_L)이 4에서 7mm로 증가하는 경우 각 위치에서 최대 각 변형량의 거동을 도시한 것이다. 용접 각장에 따른 free edge의 종단부인 "2" point에서 fillet 용접부의 최대 각 변형은 실험 및 기존의 연구결과와 유사하게 용접 각장이 6mm를 기점으로 하여 증감이 천이되는 양상을 나타내고 있다. 이는 모재의 두께가 일정한 경우 용접 각장의 증가와 함께 용접부재의 두께 방향의 온도 구배가 감소되기 때문이다.

Fig.2의 (b)는 보강재 및 주판의 두께가 10mm이고, 용접 각장이 7mm인 fillet 용접부의 보강재 간격(S)가 300에서 900mm로 증가함에 따라 용접부의 각 위치에서 최대 각 변형량을 도시한 것이다. 보강재의 간격이 증가함에 따라 free edge영역의 종단부인 "2" point에서는 최대 각 변형량이 거의 선형적으로 증가하나, 보강재의 사이의 중앙부인 "4" point와 보강재의 종단부인 "5" point에서의 각 변형량은 거의 보강재의 간격에 영향을 받지 않음을 알 수 있다. Fig.2의 (c)는 용접 각장이 5mm이고, 보강재의 간격이 300mm인 fillet 용접부에서 주판 및 보강재의 두께가 6에서

15mm로 변경시 용접부의 각 위치에서 최대 각 변형의 거동을 도시한 것이다. Fig.2의 (c)와 같이 용접 각장이 동일한 경우 보강재 및 주판의 두께 증가시 용접부의 각 위치에서 각 변형량은 감소한다. 그러나, 이러한 각 변형량의 감소율은 부재의 두께가 8mm이상으로 증가됨에 따라 현저하게 감소되는 양상을 보이는데 이는 두께 증가에 따른 fillet 용접부의 강성 증가가 미치는 영향보다는 두께의 증가에 따른 두께 방향의 온도차에 의한 영향이 크기 때문이다.

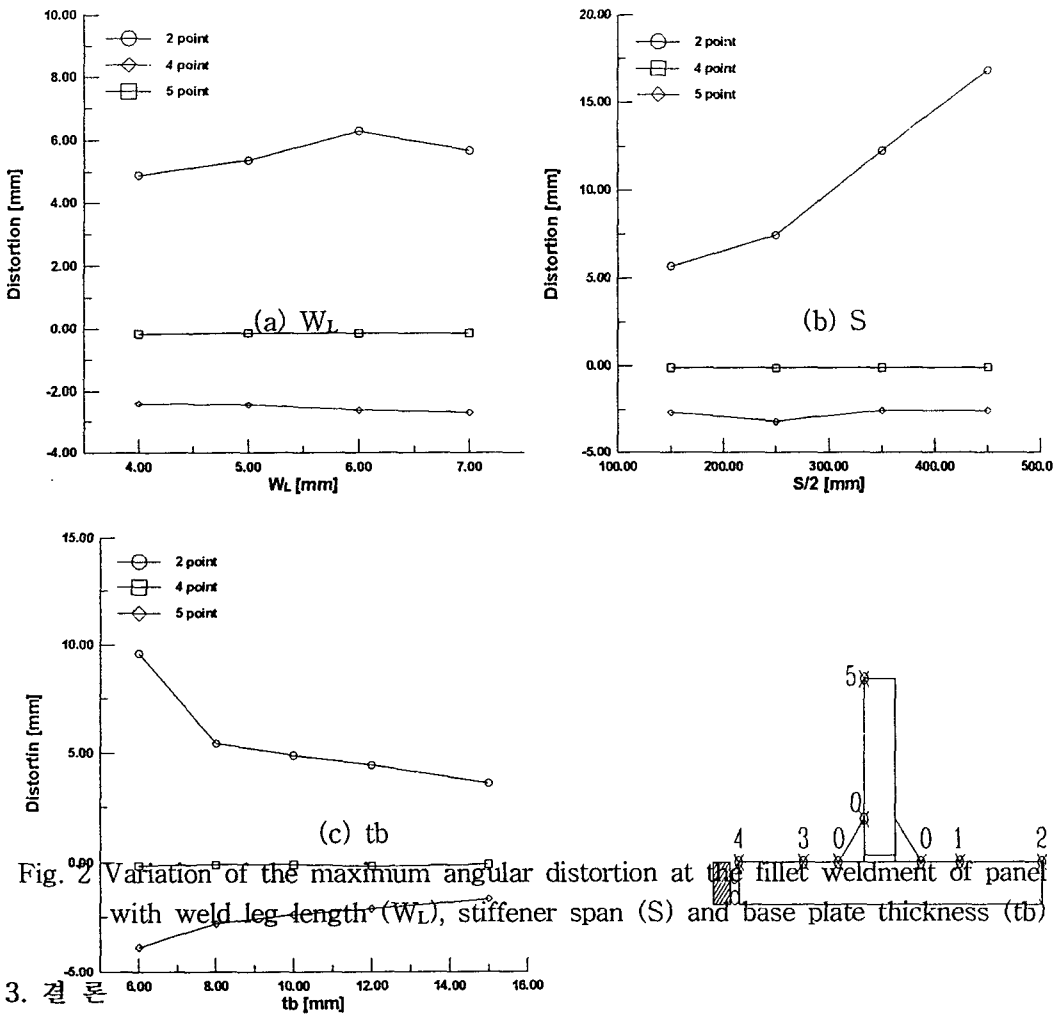


Fig. 2 Variation of the maximum angular distortion at the fillet weldment of panel with weld leg length (WL), stiffener span (S) and base plate thickness (tb)

3. 결론

CO₂ 가스를 이용한 FCAW에 의한 판넬의 fillet 용접부 각 변형을 예측하고자 실험 및 유한요소 해석을 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 유한요소해석을 이용한 fillet 용접부의 각 변형예측 기법을 정립하였으며, 이에 대한 타당성을 실험 결과와의 비교를 통해 입증하였다.
2. Fillet 용접부의 각 변형에 미치는 주 인자는 보강재 사이의 간격(S)이며, 용접 각장 (W_L) 그리고, bottom plate의 두께(tb) 순으로 그 영향은 감소한다.

참고문헌

1. Satoh, K., and Teraski, T. : "Effect of Welding Conditions on Welding Distortions in Welded Structure Materials", J. of the JWS, Vol. 45, No. 4, 1976 pp. 302-308
2. Koichi Masubuchi : "Analysis of Welded Structure, 1st ed., Pergamon Press, 1980
3. R. L. Rapps : "Fundamental of Distortion", National Seminar Coventry 27, Sept. 1978, Welding Institute