

T bar 필렛 용접부의 각 변형 및 굽힘 변형 예측

A Study on the Angular and Bending Distortion at the T bar fillet weldment

신상범, 윤중근, 박동환
 현대중공업(주) 산업기술연구소, 울산시 동구 전하동 1

1. 서 론

선체의 용접부는 크게 fillet 용접부와 butt의 편면 및 양면 용접부로 대별되며, 이 중에서 선체의 각종 보강재의 취부를 위해 사용되는 FCA(Fluxed Cored Arc) 용접에 의한 fillet 용접부가 거의 70% 이상을 차지하고 있다. 이러한 FCA 용접에 의한 fillet 용접부에서 발생하는 변형 양상은 용접부의 가열 및 냉각시 발생하는 부재의 두께 방향의 수축 하중(shrinkage force)의 차이 즉, 두께 방향의 온도차에 기인된 소성 영역의 용접선 수직인 방향으로의 크기 차이에 기인한 각 변형(angular distortion)과 용접부 및 그 근방 모재의 냉각시 발생하는 수축 하중과 용접 구조부재의 도심 차이에 기인한 굽힘 모멘트에 기인한 굽힘 변형(bending distortion)으로 대별된다.

본 연구에서는 FCA 용접시 T bar 필렛 용접부의 각 변형 및 굽힘 변형 제어를 위한 기초 단계로, 유한 요소 해석을 이용하여 각 변형 및 굽힘 변형의 인자의 규명 및 변형 예측 기법을 확립하고자 하였다. 유한 요소 해석시간을 최소화하기 위해 각 변형 및 굽힘 변형에 대한 해석 모델을 각각 달리 적용하여 평가하였다.

2. 해석 방법

유한요소해석에 의한 T bar 필렛용접부의 각 변형 및 굽힘 변형 해석시 사용된 변수는 표1에서 나타낸 바와 같이 용접 입열량, 구속 조건 및 기하학적 인자등이며, 총 64개의 모델에 대해 해석을 수행하였다. 그리고, 변형 해석을 위한 유한 요소 해석시 이때, 열 변형에 의한 열 전달기구에 미치는 영향이 매우 미세하므로 열 전달 및 열 응력이 각각 비연성된 것으로 가정하고 해석을 수행하였다.

Table 1 Variables of angular distortion used at FEA

Welding condition	Velocity [mm/min]	Thickness [mm]	Length [mm]	Restraint Condition
350 Amp x 35 V	400 - 850	5 - 20	1000 - 12000	Free On Die

3. 결과 및 고찰

각 변형

Fig. 1은 FCAW에 의한 T bar 제작시 flange의 두께 및 용접 입열량에 따라 flange부에서 발생하는 각 변형량 해석결과와 기존 연구자들의 시험 결과를 함께 도시한 것이다. Fig. 1과 같이 각 변형량은 flange의 두께에 따른 입열량의 비 $Q/t^{1.5}$ 가 12까지는 선형적으로 비례하면서 증가하나, $Q/t^{1.5}$ 가 12를 초과하는 경우에는 오히려 감소한다. 이는 용접부에 두께당 입열량이 증가함에 따라 초기에는 두께 방향의 온도차가 증가함으로써 두께 방향의 수축량의 차이의 증가에 기인하여 각 변형량이 증가하나, 입열량이 임계치 이상으로 증가하게 되면 오히려 두께 방향의 온도차가 감소하고 이로 인해 두께 방향의 수축량의 차이의 감소에 기인하여 각 변형량은 감소하기 때문이다. 여기서, fillet용접부에서의 각 변형량은 두께 방향의 상대적인 수축하중의 차이에 기인하여 각 변형량이 천이됨을 알 수 있다. 그리고, Fig. 1에서와 같이 해석시 동일한 용접부에서 구속 조건에 따라 각 변형량이 약 60%정도의 차이를 나타내고 있다. 즉, Fig. 1과 같이 용접부가 "free" condition인 경우 "On die condition"인 경우에 비해 작다. 이는 용접 입열에 의해 모재의 팽창에 기인한 역변형의 제어 정도에 기인한 것이다. 본 고의 유한요소해석 결과(On Die condition인 경우)는 기존의 실험 결과와의 상대 오차는 용접부재의 단위 두께당 입열량이 증가함에 따라 증가하여 최대 15%수준으로 비교적 잘 일치하고 있다.

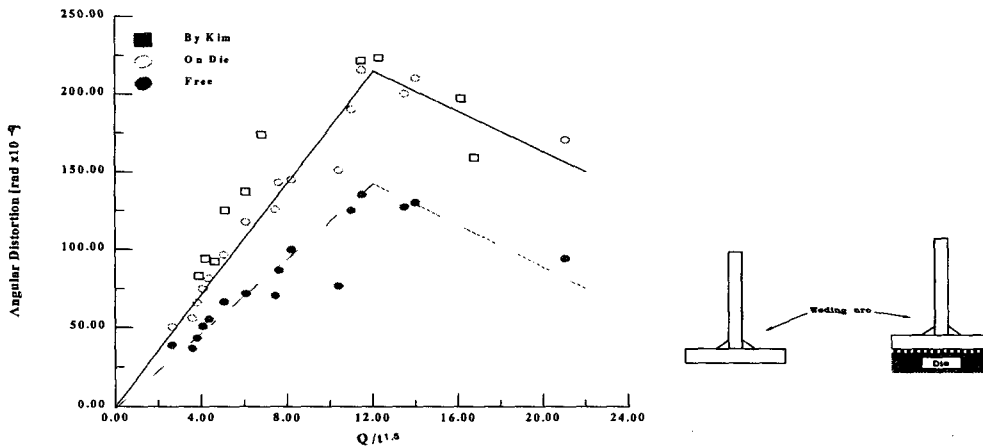


Fig. 1 Angular distortions at the T bar fillet weldment

굽힘 변형

Fig. 2는 q 와 굽힘 변형에 의한 fillet 용접부의 곡률 $1/r$ 의 관계를 본 고의 유한요소 해석 결과와 기존의 연구결과를 상호 비교하여 도시한 것이다. Fig. 2에 도시한 바와 같이 fillet 용접부의 굽힘 변형에 의한 곡률은 용접 입열량 및 용접부와 부재 도심과의 거리에 비례하며, fillet 용접부의 관성모멘트에 반비례하는 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이러한 경향은 기존의 연구 결과와 매우 잘 일치하고 있다. 그러나, 이들 선형 관계를 규정하는 계수는 본 고의 해석 결과뿐 아니라 기존의 연구 결과들 사이에도 다소 큰 차이를 보

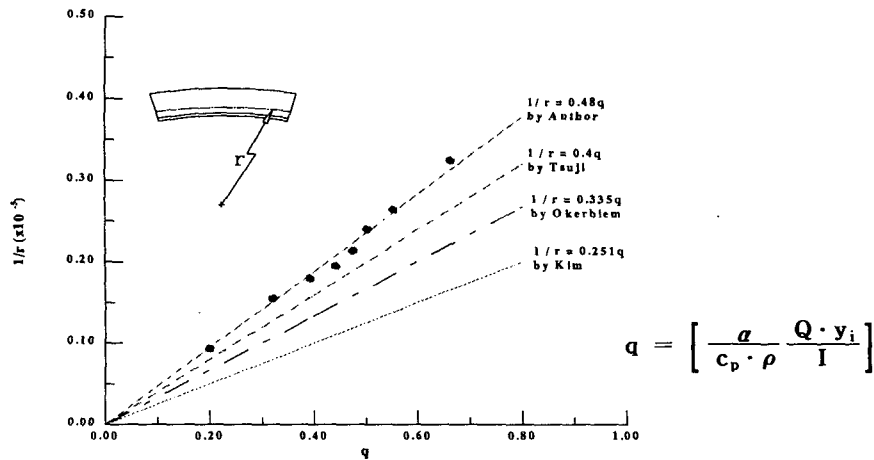


Fig. 2 Relations between q and $1/r$ at the T bar fillet weldment

이고 있다. 본 해석 결과와 기존의 해석 결과들에 대한 타당성을 평가하기 위해 본 고에서는 T bar에 대한 실측 결과와 본 고의 해석 결과 그리고, 기존의 연구자들에 의해서 제안된 결과들을 각각 비교하여 Table 2에 도시하였다. Table 2에서와 같이 본 고에서 제안된 방법이 실제 실험치와 가장 근접한 결과를 보여주고 있음을 알 수 있다. 이러한 기준에 수행된 결과들과 본 연구 결과의 의한 차이는 가해진 다양한 용접 입열 조건에 따라 형성되는 부재의 소성역의 크기가 얼마나 적절하게 고려되었는가에 의존한다.

Table 2 Comparison the bending distortions of T bar fillet weldment

EXP [mm]		this study		Tsuji		Okerblom		Kim	
Results [mm]	Avg	Result [mm]	Error [%]	Result [mm]	Error [%]	Result [mm]	Error [%]	Result [mm]	Error [%]
42									
50	42	38.4	10.5	32	23.8	26.5	36.9	20.1	47.9
34									
- Dimension of T bar : Length : 14 m, Web : 11t x 450mm, Flange: 25t x 138mm						- Maximum distortion			
- Welding condition : 400A x 36V x 550 mm/Min						- Error : Calculation - Exp/Exp x100 [%]			

4. 결 론

FCA 용접에 의한 T bar의 필렛 용접시 발생하는 각 변형 및 굽힘 변형을 유한 요소 해석 및 실험을 이용하여 평가하고 다음과 같은 결론을 얻었다. T bar 용접시 발생하는 각 변형은 flange의 두께에 따른 임계 입열량을 기준으로 증감이 천이되는 특성을 보여주고 있으며, 굽힘 변형에 의한 곡률은 용접 입열량 및 용접부와 부재 도심과의 거리에 비례하며, fillet 용접부의 관성모멘트에 반비례하는 경향을 나타내고 있다.