

필릿용접에서 리브높이에 따른 용접변형 해석에 대한 연구

김용래* · 송규영** · 왕 초*** · 김재웅****,†

****영남대학교대학원 기계공학과

*경북하이브리드부품연구원

***영남대학교 공과대학 기계공학부

A Study on the Welding Distortion Analysis According to Rib Height in Fillet Welding

Yong-Rae Kim*, Gyu-Yeong Song**, Chao Wang*** and Jae-Woong Kim****,†

*,***Dept. of Mechanical Engineering, Graduate School of Yeungnam University,
Kyongsan-Kyongbuk 721-749, Korea

**Kyongbuk Hybrid Technology Institute, Yeongcheon-Kyongbuk 770-170, Korea

****School of Mechanical Engineering, Yeungnam University, Kyongsan-Kyongbuk 721-749, Korea

†Corresponding author : jaekim@ynu.ac.kr

(Received December 12, 2013 ; Revised December 18, 2013 ; Accepted December 20, 2013)

Abstract

The welding distortion is caused by welding heat in the structures which are widely used in shipbuilding and automotive industries, thus many researchers have proposed such methods to control the welding distortion through trials and numerical studies. The welding distortion has been the main cause of low productivity due to the structural strength degradation, apparent flaw, additional deformation caused by the process followed the current assembly step, and the increase of correction workload. The deformation of fillet welding is investigated in this study, and the influence of the rib height on the welding distortion is verified through the actual experiment. And the numerical analysis model using the FE software MSC.marc for analysis of welding distortion is proposed.

Key Words : Welding distortion, Longitudinal bending, Angular distortion, Finite element analysis

1. 서 론

용접변형(welding distortion)은 용접에 의해 구조물에 발생하는 변형을 말하며, 이는 용접이 실시되는 다양한 산업전반의 구조물에서 필연적으로 발생하게 된다.

용접열에 의해 가열되는 용접부는 팽창하게 되고 열의 영향을 받지 않는 모재가 팽창하고 있는 용접부를 구속하게 되어 열응력이 발생한다. 이때 생성된 열응력이 항복응력을 초과하게 되면 가열 부위는 수축 항복이 일어난다. 따라서 용접이 끝나고 구조물이 냉각하게 되면 용접부는 원래의 길이보다 수축하게 되어 용접변형을 수반한다¹⁾.

이러한 용접변형은 구조 강도저하와 외관상의 불량은 물론, 현 조립단계 이후의 공정에 추가적인 변형과 이에 기인하여 발생하는 교정작업량의 증가로 생산성 저하의 주원인이 되고 있으며, 많은 학자들이 실험과 연구를 통하여 용접변형을 제어하기 위한 방법을 제시하였다²⁻⁴⁾.

본 연구에서는 Fig. 1과 같이 러그형상의 필릿용접(fillet welding)에서 발생하는 종굽힘과 각변형에 대하여 용접실험과 수치적 해석을 수행하고, 이를 비교 및 검토하였다. 특히 리브의 높이에 따른 각변형과 종굽힘변형의 크기를 비교하여 조선 블록의 러그용접 시 변형에 대한 기초자료를 구축하고자 한다.

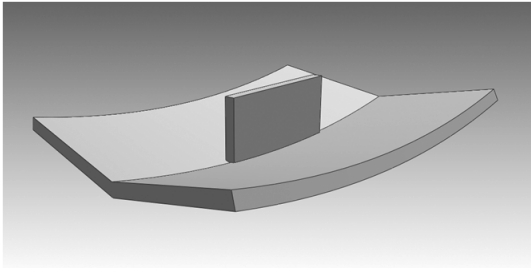


Fig. 1 Deformation shape of fillet weldment

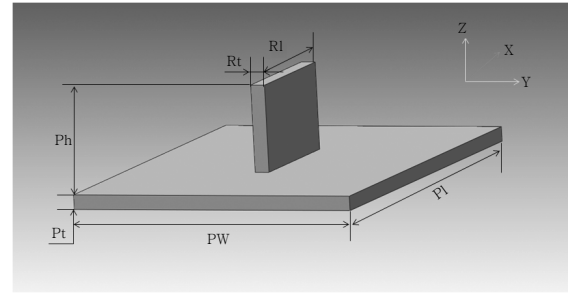


Fig. 3 The geometry of fillet weldment

2. 실험

2.1 용접 실험 및 변형 측정

용접 실험은 리브의 높이에 따른 평판의 변형량(각변형 및 종굽힘)을 측정하기 위하여, 리브의 높이를 4가지(10mm, 20mm, 40mm, 60mm)로 분류하여 실시하였다. 실험의 신뢰성을 높이기 위하여 각 샘플마다 2번의 용접 실험을 실시하였으며, 용접실험에 적용된 용접전류, 용접전압 및 용접속도는 각각 345A, 35V, 7.8mm/s 이다. Fig. 2에 용접실험 과정을 나타내었다.

용접 시편은 SCM440이었으며, 치수 및 형상은 Table 1 및 Fig. 3에 나타내었다.

용접을 실행한 후 정확한 용접 변형량을 측정하기 위하여 3차원 정밀측정기 (3 Dim-Coordinator Measuring Machine)의 접촉식 스캔 기능을 통해 변형량을 측정하였다.

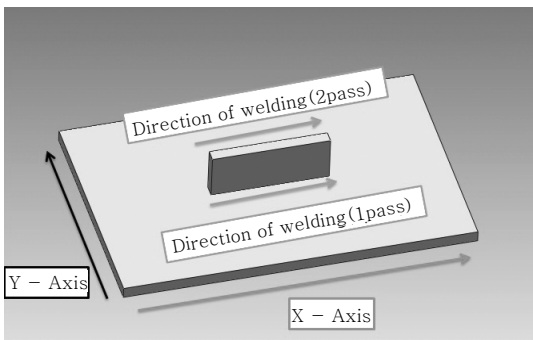


Fig. 2 The process of fillet welding

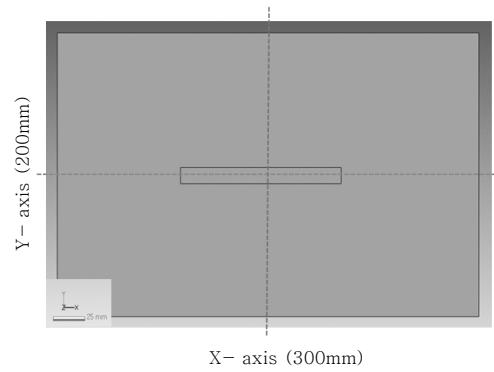


Fig. 4 The measurement position and direction

접촉식 스캔 방식이란 일반적인 데이터의 한 포인트에 대한 X, Y, Z축의 좌표값을 얻는게 아니라 면의 구간을 정하여 선으로 좌표값을 얻을 수 있기 때문에 보다 정확한 표면의 변형값을 산출할 수 있다.

변형값의 측정 시 수평판재의 상부면을 기준으로 하기에는 리브에 의하여 위치간섭이 발생하므로 수평판재의 하부면을 대상으로 측정하였다. 평면의 기준을 같은 조건으로 맞추기 위해서 각 사각면의 끝부분에서 10mm 씩 떨어진 위치에 기준점을 지정하여 정렬하였다. 시편의 중심에서 X축 방향으로 측정하여 종굽힘량을 결정하였으며, Y축 방향으로 측정하여 각변형량을 결정하였다.

Fig. 4에 각변형 및 종굽힘의 측정 방향 및 위치를 각각 나타내었다.

2.2 용접 실험 결과

Fig. 5에 리브의 높이에 따른 종굽힘의 변형값을 나타내었다. 그림을 통해 리브의 높이가 10mm에서 최대 종굽힘 값이 약 1.4mm, 20mm에서 0.9mm, 40mm 및 60mm에서 0.4mm의 변형값이 나타남을 확인할 수 있으며, 리브의 높이가 증가할수록 최대 종굽힘 변형값의 크기가 줄어드는 것을 알 수 있다. 하지만 리브의 높이가 40mm 넘게 되면 변형폭의 차이가 크지 않음을 볼 수 있는데, 이는 리브의 높이가 40mm 이상에서는

Table 1 The measurements of fillet weldment

Length of plate (PI)	300 mm
Width of plate (Pw)	200 mm
Thickness of plate (Pt)	9.8 mm
Length of Rib (Rl)	100 mm
Height of Rib (Rh)	10,20,40,60mm
Thickness of Rib (Rt)	8 mm

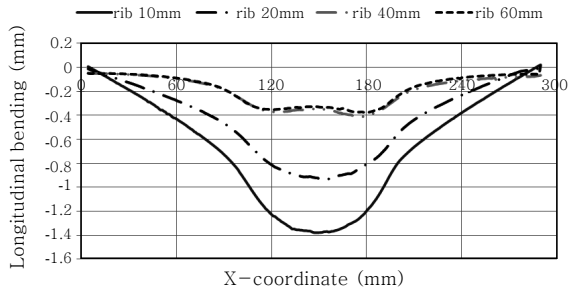


Fig. 5 The measurements of longitudinal bending

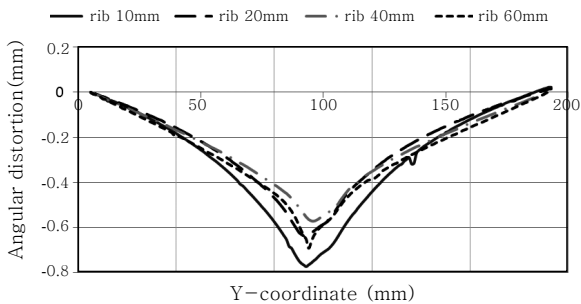


Fig. 6 The measurements of angular distortion

구조물의 이차단면모멘트가 변형에 저항하는 정도가 유사하기 때문이라 판단된다.

Fig. 6에 리브의 높이에 따른 각변형의 값을 나타내었다. 리브의 높이가 10mm에서 각변형의 최대값은 약 0.7mm이며 20, 40, 60mm 에서는 0.55~0.59mm에 걸쳐서 유사한 각변형 크기가 나타남을 확인했다. 또한 종굽힘과 마찬가지로 리브의 높이가 증가할수록 각변형값이 감소하는 유형임을 확인할 수 있었다.

3. 수치적 해석

3.1 수치적 해석 모델

유한요소 모델은 Fig. 7에 나타내었다. 수치적 해석에 적용된 물성치는 실험시편과 같은 SCM440의 값으로 하였으며, Table 2에 물성치를 나타내었다. 해석모

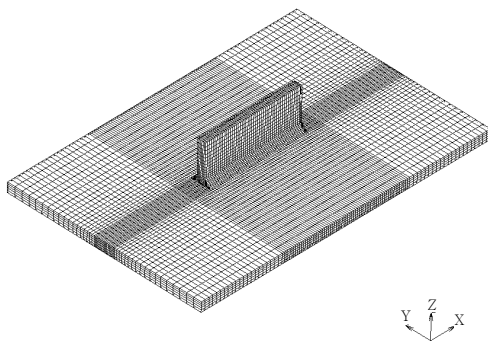


Fig. 7 The finite element of model

Table 2 Material properties of SCM440

Tem. (°C)	Specific heat (J/kg°C)	Thermal conductivity (W/mm°C)	E - modulus (GPa)	Expansion coefficient (1/°C)
20	461	0.0451	212	11.5
200	533	0.0441	199	13.7
400	611	0.0394	184	15.2
600	778	0.0344	164	16.1
1500	778	0.0344	78.12	16.1

델은 리브의 높이에 따라 33588~38772개의 질점과 27620~31120개의 사각 요소분할로 구성되었으며, 해석프로그램은 MSC.marc를 사용하였다.

3.2 수치적 해석 열원모델

용접열원을 모델링하기 위하여 3차원 열원모델에 가장 적합하다고 알려진 Fig. 8에 나타낸 골닥의 이중 타구형 열원모델(Goldak's double ellipsoidal shaped weldheat source)을 이용하였다⁵⁾. 이중 타구형 열원 모델은 레이저 용접이나 전자빔 용접과 같이 용입이 깊은 용접에도 적용할 수 있을 뿐 아니라 열원이 이동함에 따른 온도 궤적을 잘 나타낼 수 있다.

실제 실험한 용접부 단면사진과 일치하는 용융부 크기를 나타내는 열원 파라미터를 찾기 위해 반복적인 수치적 해석을 수행하였다.

용접전류, 용접전압 및 용접속도는 실험치와 동일하게 적용하였으며, Fig. 9에 실제 용접부의 용입깊이 단면과 수치적 해석 결과를 비교하여 수치적 해석 모델의 신뢰성을 검토하였다.

Fig. 9를 통해 실제 용융부와 수치적 해석값의 용융부 크기가 거의 일치함을 볼 수 있다. 이때 적용된 골닥 변수 a, b, c_f, c_r 및 용접효율은 Table 3과 같다.

3.3 수치적 해석 결과

Fig. 10의 (a), (b)에 종굽힘에 대한 실험값과 수치적 해석 결과값 비교를 나타내었다. 그림을 통해 리브

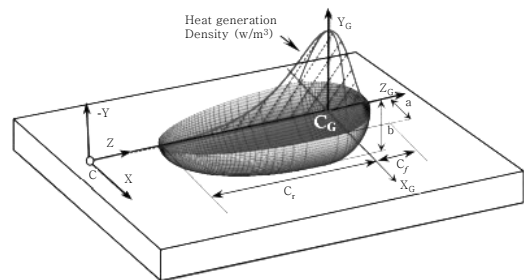
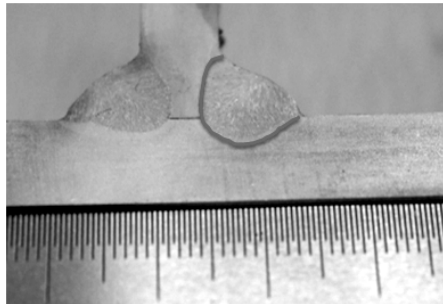
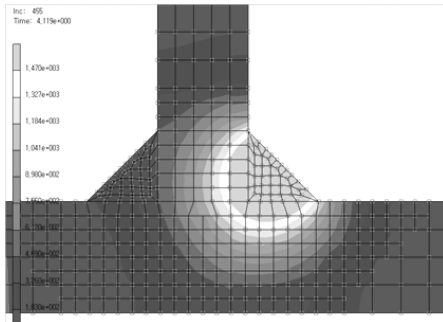


Fig. 8 Goldak's weld heat source model



(a) experiment



(b) analysis result

Fig. 9 Comparison of depth of fusion between experiment and analysis result

Table 3 Parameters of goldak's model

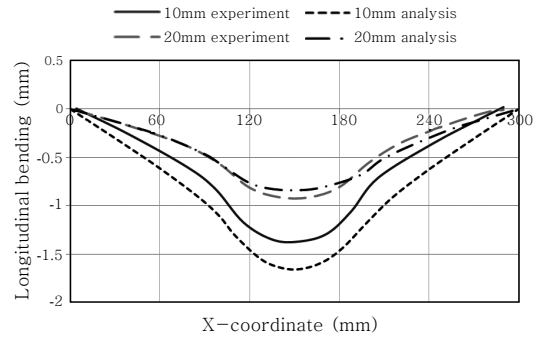
Width : a	9.2 mm
Depth : b	13.3 mm
Forward Length : cf	6.0 mm
Rear Length : cr	14.0 mm
efficiency	75%

의 높이가 높아짐에 따라서 종굽힘 변형값의 크기가 작아지는 것을 알 수 있다. 또한 리브의 높이가 10mm일 경우 실험값과 해석값의 차이가 다소 발생하나, 리브의 높이가 20mm 이상되면 오차의 범위가 줄어들어 실험값과 해석값이 거의 유사해짐을 확인할 수 있다.

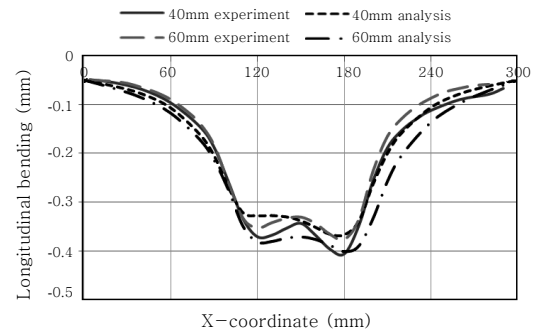
Fig. 11의 (a), (b)에 각변형에 대한 실험값과 수치적 해석 결과값을 비교하였다. 각변형 역시 리브 높이가 증가할수록 변형량이 작아짐을 확인할 수 있다.

Fig. 10과 11의 분석결과 이전의 실험값과 같이 각변형보다 종굽힘의 변형량의 차이가 크게 나타나는데, 이는 리브의 높이에 따라서 이차단면모멘트의 저항값이 종굽힘의 변형에 영향이 나타나기 때문이다.

실험값과 수치적 해석 모델을 비교하였을 때 각변형에서 다소 오차가 발생한다. 그 이유는 실험 시 용접과 위 및 열원 파라미터, 작업환경 및 열원에 미치는 여러 가지 인자들에 의해서 변수가 발생하기 때문이다. 하지

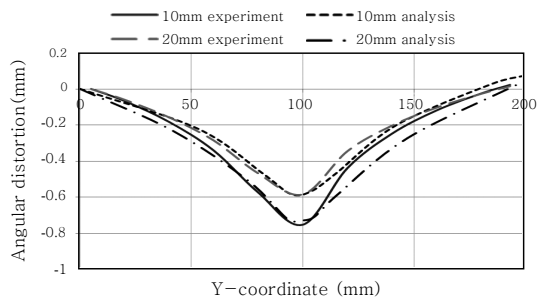


(a) 10 and 20mm rib height

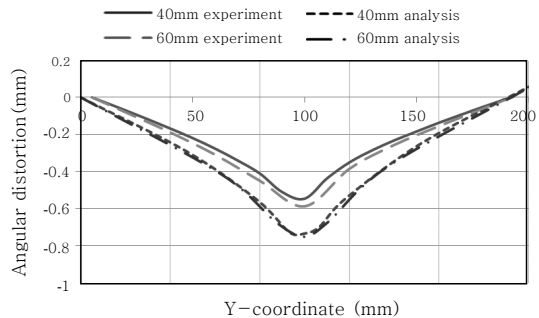


(b) 40 and 60mm rib height

Fig. 10 Comparison of longitudinal bending



(a) 10 and 20mm rib height



(b) 40 and 60mm rib height

Fig. 11 Comparison of angular distortion

만 실험과 수치적 해석 모델의 비교 및 분석을 통해 필릿용접에서 종굽힘 및 각변형의 발생패턴에 대하여 확인할 수 있었으며 이를 근거로하여 수치적해석 모델을 구축하였다.

4. 결 론

러그형상의 필릿용접 시 용접열에 의해 발생하는 종굽힘 및 각변형의 크기 및 형상에 대해 연구하였으며, 특히 리브의 높이에 따라서 어떠한 변형의 분포를 나타내는지 확인하였다. 또한 수치적 해석을 통하여 실험값과 비교 및 분석하여 변형의 양상을 예측할 수 있는 수치적 해석모델을 구축하였다. 실험값과 수치적 해석결과를 바탕으로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 필릿용접 시 리브의 높이가 높아질수록 종굽힘의 변형량이 작아지는 것을 확인할 수 있었으며, 40mm 이상에서 변형의 크기가 유사하다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 각변형 역시 리브의 높이가 증가할수록 변형량이 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

2) 리브의 높이에 따라 각변형보다 종굽힘의 변형차이가 크게 나타나는데 이는 리브의 높이가 높을수록 이차단면모멘트의 값이 커지고 이에 따라 변형의 차이가 크게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

3) 수치적 해석 결과와 실험치를 비교하였을 때 각변형에서 다소 오차가 발생하지만 전체적인 변형의 유형

이 비슷한 양상을 가지는 것을 확인하였으며, 이를 토대로 3차원해석에서 종굽힘과 각변형의 수치적 해석 모델을 구축 할 수 있었다.

Reference

1. Y.-S. Yang : Generation Mechanism and Analysis of Welding Distortion, Journal of KWJS, **23-4** (2005), 317-321
2. D. Radaj : Heat Effects of Welding-Temperature Field, Residual Stress, Distortion, Springer-Verlag, Berlin, 1992
3. Ki-Bo Kwon, Jae-Woong Kim and Cheol-Hee Kim : Analysis of welding Distortion for Laser Welded Sheet Metal Structures of Aluminum Alloy, Journal of KWJS, **27-3** (2009), 44-51
4. Choong-Gi Kim, Jae-Woong Kim and Ki-Chul Kim : Welding Distortion Analysis of a Laser Welded Thin Box Structure, Journal of KWJS, **25-5** (2007), 72-77
5. J. Goldak, A. Chakravarti and M. Bibby : A New Finite Element Model for Welding Heat Sources, Metallurgical Transactions B, June (1984), 299-305