

# 박판 레이저용접구조물의 용접변형 해석에 관한 연구

김충기\*, 김재웅\*\*, 김기철\*\*\*

\* 영남대학교 대학원

\*\* 영남대학교 기계공학부

\*\*\*포항산업과학연구원

## A Study on the Distortion of a Laser Welded Sheet Metal Structure

### ABSTRACT

Prediction and control of the thermal distortion is particularly important for the design and manufacture of welded thin plate panel. In this study, experiments and computations are performed to analyze how hole configuration and the size of the specimen effect on distortion. In addition, this study aims to develop a thermal elasto-plastic simulation using finite element method to predict distortion, with particular emphasis on buckling deformation generated in attachments welded around hole.

### 1. 서 론

구조물의 용접 시 용접 변형이 큰 문제로 대두되고 있는 가운데 용접 변형을 예측하기 위해 많은 연구가 있었다. 특히, 컴퓨터와 해석 기법의 발달로 유한요소 해석의 효율이 향상됨에 따라 용접변형의 해석에 수치적인 방법이 그 효율을 더해가고 있다. 지금까지 용접 변형에 대한 연구는 주로 직선 용접의 경우에 대해서 이루어져 왔다. 그러나 레이저 용접은 다양하고 복잡한 구조물에도 사용되고 있다. 예를 들면, 연료전지의 제작 시 매니폴더 구멍주위를 용접해야 한다. Fig. 1은 발전용 연료전지의 분리판을 나타낸 것으로 3장의 스테인리스 박판으로 구성되는 용접 구조물이다. 3장의 박판을 레이저 용접으로 접합하는데 이때 좌굴변형이 심각하게 발생된다. 분리판의 레이저 용접시 발생하는 변형으로 인해 적층 과정에 어려움을 겪고 있는 실정이다.

본 연구에서는 매니폴더 구멍의 형상이 용접변형에 미치는 영향을 해석하기 위한 기초연구로써 단순화한 시편을 설계 제작하였으며, 레이저용접을 시행한 후 변형량을 측정하여 실험적인 해석을 수행하였다. 또한 각종 용접공정 인자들의 영향을 해석하기 위해 3차원 유한요소 모델을 구축하였다. 이렇게 구축한 수치해석 모델은 향후 용접공정 변수의 최적조건 선정, 용접지그설계 및 분리판 설계의 자료제공을 위한 기초수단으로 활용할 수 있을 것으

로 기대된다.

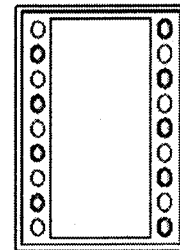


Fig. 1 A separator of fuel cell for electric power

### 2. 용접 실험

#### 2.1 용접 모델

본 연구의 최종 대상물인 연료전지의 분리판은 Fig.1과 같이 18개의 매니폴더 구멍을 가지고 있다. 이 매니폴더 구멍은 연료가스의 입출구 역할을 하는 것으로 가장자리를 밀폐 용접하는 것이 요구된다. 즉, 3장으로 구성된 박판의 외곽용접과 아울러 2장씩 겹쳐지는 각각의 매니폴더 구멍 주위를 순차적으로 용접하여 분리판을 제작하게 된다. 여러 개의 매니폴더 구멍을 순차적으로 용접하므로 우선 하나의 매니폴더 구멍에 대한 변형 메카니즘을 해석하는 것이 필요하다.

용접변형의 형태와 변형량을 분석하고 용접변형에 미치는 제인자들의 영향을 해석하기 위한 수치

해석 방법의 개발을 위해, 실험 모델로 Fig. 2와 같은 시편형상을 선정하였다. 용접변형에 영향을 주는 인자로써 매니폴더 구멍 형상을 선정하였고, 매니폴더 구멍 형상에 따른 용접변형을 분석함에 있어서 자체 구속조건인 용접시편의 크기를 고려하였다. 시편 a, 시편 c, 시편 e는 타원형의 매니폴더 구멍을 가진 시편이고 시편 b, 시편 d, 시편 f는 사다리꼴의 매니폴더 구멍을 가진 시편으로 이들의 비교를 통해 매니폴더 구멍형상이 용접 변형에 어떠한 영향을 주는지 알아보고자 하였다. 또한 시편 a, 시편 c, 시편 e를 비교하여 시편의 크기에 따른 변형양상을 실험을 통해 비교하여 시편의 크기가 용접변형에 미치는 영향을 확인하였다.

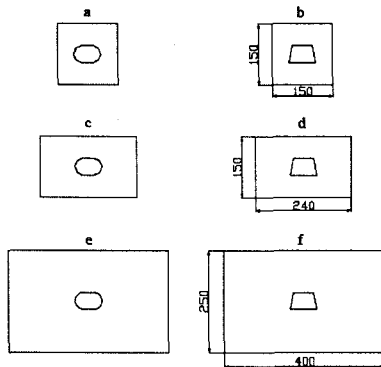


Fig. 2 Specimen model for welding experiment

2.2 실험 방법

STS 316 재질의 용접시편의 두께는 0.4 mm이고, 2매 겹치기 시편에 대해 400W 레이저를 열원으로 용접을 실시하였으며, 용접시편을 고정시키기 위해 구멍 주변을 구속할 수 있는 지그를 설계 제작하여 사용하였다. 용접 후 충분히 냉각된 후에 지그를 탈착하여 용접시편을 탈취하였다. Fig. 3은 용접 후 변형된 시편의 사진이다. 시편 전체가 비틀린 모양의 좌굴형 변형이 발생하였고, 모든 시편이 비슷한 변형형태를 나타내었다.

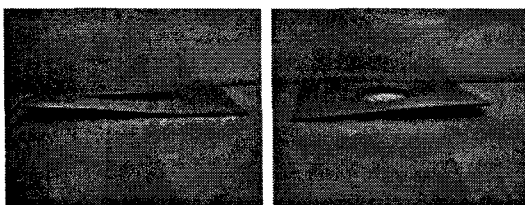


Fig. 3 Deformed specimen after welding

3차원 측정기를 이용하여 각 시편에 대해 Fig. 4와 같은 직선부에서 일정한 간격으로 높이방향 좌표값을 측정하였다. 시편 외곽부 근처에서 세로 방향(length)의 두 변과 가로 방향(width)의 두 변을 측정하였다.

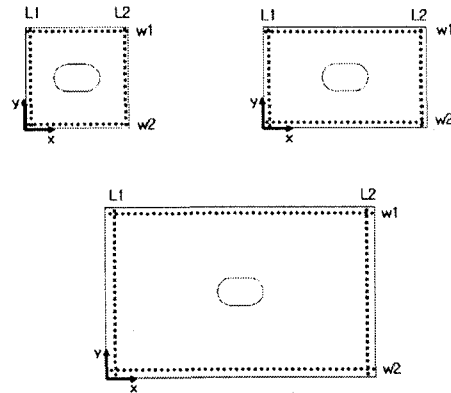


Fig. 4 Measuring location

2. 실험 결과 및 검토

용접한 시편에 대해 3차원 측정기로 측정된 결과를 Fig. 5와 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 5(a)는 시편 a와 시편 b의 변형모습인데 매니폴더 구멍 주위를 레이저 용접했을 때의 전형적인 변형양상을 잘 보여준다. 좌굴의 모드에 있어서 중간위치를 기준으로 좌우 대칭인 경우를 제 1모드, 중간점을 기준으로 180° 회전대칭인 경우를 제 2모드의 좌굴이라 분류할 수 있다. Fig. 5(a)에 나타낸 측정결과를 보면 변의 중간점을 기준으로 180° 회전대칭인 제 2모드의 좌굴이 네 면에서 각각 발생되었고, 또한 2차원적인 힘을 받기 때문에 서로의 간섭이 작용하여 비틀린 형태의 변형이 발생되었다.

Fig. 5에서는 매니폴더 구멍 형상에 따른 변형을 각 시편의 크기별로 비교하였다. 타원형 구멍의 시편과 사다리꼴 구멍 시편의 변형이 형태와 크기면에 있어서 모두 비슷한 결과를 보였으나, 세밀하게 살펴보면 사다리꼴 구멍 시편에서의 최대 변형량이 약간 작은 것을 확인할 수 있다.

Fig. 6은 시편a와 시편c, 그리고 시편e를 비교한 그래프이다. 즉, 타원형이며 동일한 크기인 매니폴더 구멍에 대해 시편의 크기가 다를 때의 용접변형의 차이를 나타낸 것이다. 직사각형에 비해 세로변의 변형은 작아지고 가로변의 변형은 커진다. 또한 시편의 크기가 커짐에

따라 세로변은 변형이 완만해 지는데 가로변은 변형이 심해지는 것으로 사료된다.

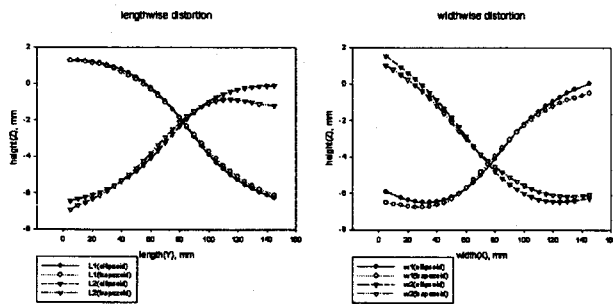
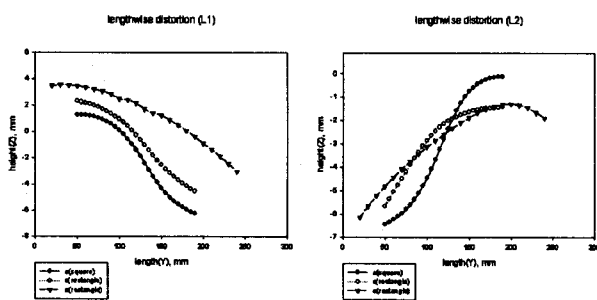
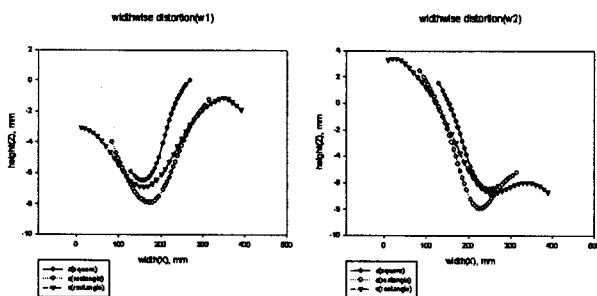


Fig. 5 Comparison the specimen have ellipsoid hole with specimen have trapezoid hole (specimen a and b)

Fig. 6(a)에서는 시편a에 비해 시편c의 L1은 완만하고, L2는 제 1모드의 좌굴형상을 나타내므로 정사각형 시편에 비해 직사각형 시편의 세로변의 변형이 작아진 것을 보여주고 있다. 또한 시편c에 비해 시편e의 세로변의 변형이 완만해진 것을 볼 수 있다. Fig. 6(b)에서는 시편의 크기가 커질 때 세장비가 커짐으로 인한 좌굴 모드의 진전이 발생되지 않고 열하중의 영향에서 벗어남으로 인해 변형이 더 이상 일어나지 않고 자체 구속효과로 나타남을 알 수 있다.



(a) Comparison between lengthwise edges



(b) Comparison between widthwise edges

Fig. 6 Comparison to distortion between specimens of configuration and different size

#### 4. 결 론

구멍이 있는 박판에서 구멍 주위를 레이저용접할 경우에 대해 용접 변형실험과 3차원 유한요소 해석을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 내부에 있는 구멍형상이 용접변형에 미치는 영향을 확인하기 위해 타원형 구멍과 사다리꼴 구멍에 대해 레이저 용접을 시행한 결과 사다리꼴 구멍 시편이 타원형 구멍 시편보다 변형이 약간 작게 일어나는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 그 차이가 전체 변형량에 비해 매우 작으므로 매니폴더 구멍형상의 변경이 용접변형에 거의 영향을 끼치지 않는다고 볼 수 있다.

2) 동일한 구멍크기에 대해 시편의 크기가 커질수록 세로변의 변형은 작거나 완만한 변형을 나타내었으며, 가로변의 변형에서는 열하중의 영향에서 벗어남으로 인해 변형이 더 이상 일어나지 않고 자체 구속효과로 나타남을 알 수 있다.

#### 참고문헌

1. L.E.Lindgren : Finite Element Modeling and Simulation of Welding Part 1: Increased Complexity, Journal of Thermal Stresses, 24(2001), 141-192.
2. P.Mollicone, T.Comlekci, T.G.F.Gray, D.Camilleri: Simple Thermo-elastic-plastic Models for Welding Distortion Simulation, Journal of Materials Processing Technology, 2006.
3. C.Conrardy and R.Dull : Control of Distortion in Thin Ship Panels, 13(1997), 83-92.
4. D.Camilleri, T.Comlekci, and T.G.F.Gray: Thermal Distortion of Stiffened Plate Due to Fillet Welds Computational and Experimental Investigation, Journal of Thermal Stresses, 29(2006), 111-137.
5. P.Michaleris and A.Debicari : A Predictive Technique for Buckling Analysis of Thin Section Panels Due to Welding, Journal of Ship Production, 12-4(1996), 269-275.
6. P.Michaleris and A.Debicari : Prediction of Welding Distortion, Welding Research Supplement, 76-4(1997), 172s-181s.
7. J.Goldak, A.Chakravarti, and M.Bibby : A New Finite Element Model for Welding Heat Sources, Metallurgy Transactions B, 18B(1984), 299-305.