

필릿 용접변형 감소를 위한 장력법의 적용

이주성* · 박재우*
*울산대학교 조선해양공학부

Application of Tensioning Method for Fillet Welding Deformation Reduction

JOO-SUNG LEE* AND JAE-WOO PARK*

*School of Naval Architecture & Ocean Engineering, University of Ulsan, Korea

KEY WORDS: Distortion(변형), Longitudinal shrinkage(종수축량), Residual Stress(잔류응력), Tension load(인장 하중), Tensioning method(장력법), Thin plate(박판)

ABSTRACT: *The portion of thin plate is expected to increase as to the development of design and fabrication technology. The weld-induced deformation is more serious in thin plates than in thick plates because heat affect zone of thin plates is wider than that of thick plates, and in addition internal and external constraints much more influence upon weld-induced deformation of thin plates. This paper deals with the application of the mechanical tensioning method to fillet weld of thin plates to reduce the weld-induced deformation. For this, fillet welding test have been carried out for several thin plate specimens with varying plate thickness and magnitude of tensile load. From the present study, it has been found that the tensioning method is effective on reduction of weld-induced deformation.*

1. 서 론

박판은 열전달 특성상 후판에 비해 용접시 열영향부가 넓고 판의 강성계수가 낮아 변형이 쉽게 발생한다. 특히 불균일한 용접 입열에 의해 수축변형이나 잔류응력으로 좌굴변형이 빈번히 발생한다(김상일 1999; 장창두, 서승일 1988; Masubuchi 1980). 이러한 용접변형은 구조적 강도저하와 외관상의 불량은 물론이고, 조립 단계 이후의 공정에서 발생하는 추가적인 변형과 이에 기인하여 발생하는 교정 작업 시수 등의 문제점을 초래하여 생산성 저하의 주원인이 되고 있다. 그 때문에 전체 용접구조물의 제작시간 중에서 변형 제어작업이 점유하는 공정수가 많으며, 박판의 경우는 전체 공정의 20%를 점유하는 경우도 있다(Matsui, 1983).

박판 용접부의 변형에 관한 초기 연구는 주로 변형 제어방안에 주목해왔다. 현장에서는 용접부의 강성을 증가시키기 위하여 주판의 두께나 보강재의 크기 및 간격을 변경하는 설계적인 방안과 Fit-up 정도 향상을 통하여 용접 입열량을 조절함으로써 용접으로 인한 수축 하중을 감소 시키거나 열 및 기계적 하중을 이용하여 수축을 이완시키는 제어 방안이 대부분을 차지하고 있다(신상범 등, 2003).

맞대기 용접에 대한 실험을 통해(이주성등, 2006) 박판용접에 장력법을 적용하면 용접선 방향으로의 굽힘과 수축변형의 감소 그리고 용접선에 수직 방향으로의 굽힘 변형을 감소시키는 데에 상당한 효과를 볼 수 있다는 것을 확인하였고, 또한 좌굴 변형의 원인이 되는 압축잔류응력의 감소에도 적지 않은 효과가 있다는 점을 확인한 바 있다.

본 연구는 장력법을 적용하여 맞대기 용접에서 변형 감소에 대한 연구의 후속 연구로서 필릿 용접에 장력법을 적용하였다. 변형제어 방안으로서 레버 블록을 이용한 기계적 인장법의 적용에 관한 연구로서, 용접부에 인위적으로 가하는 인장력의 크기가 굽힘과 수축변형에 주는 정량적인 영향을 분석하는 연구의 주된 내용으로 설정하였다. 이를 위해 다수의 박판 시편에 대해 인장력의 크기를 변화시키면서 필릿 용접을 수행하여 그 결과를 인장력의 크기와 변형량 사이의 관계를 그래프로 정리하였다.

2. 실험

2.1 실험방법 및 순서

본 연구에서 수행한 실험의 간략한 순서를 Fig. 1에 보였다.

교신저자 이주성: 울산광역시 남구 무거2동 울산대학교

052-259-2162 jslee2@ulsan.ac.kr

시편의 초기변형형상은 Fig. 2에 보인 격자점에서 Fig. 3에 보인 장비를 이용하여 계측하고 용접선의 법선방향과 직각방향으로의 평균인장응력이 계획된 값이 되도록 인장력을 가한 상태에서 용접을 수행하였다. 인장력은 Fig.4에서 보는 바와 같이 용접선 양 끝에 폭 100mm, 길이 150mm의 Tab Piece를 용접하여 붙이고 좌측 Tab Piece를 고정시킨 상태에서 우측 Tab Piece를 레버 블록에 연결하여 계획한 인장응력이 발생될 수 있도록 작용시켰다. 계획된 인장력은 본 실험에서는 두께별로 Tension load 만을 변화시켜가며 실험하였다. 인장응력은 시편 길이의 중앙에서 폭 방향으로의 평균응력이 여러 가지 경우에 해당되도록 인장력을 가한 상태에서 용접을 수행하였다. 용접이 완료된 후 냉각시간은 40분이며, 용접이 진행되면서 그리고 냉각 중의 인장력을 Tensioning 측정 장치를 이용하여 시간별로 기록하여 그 변화를 살펴볼 수 있도록 하였다. 완전히 냉각된 상태에서 시편을 정반에 놓고 면의 변위를 계측하여 변형량 변화의 분석에 활용하였다.

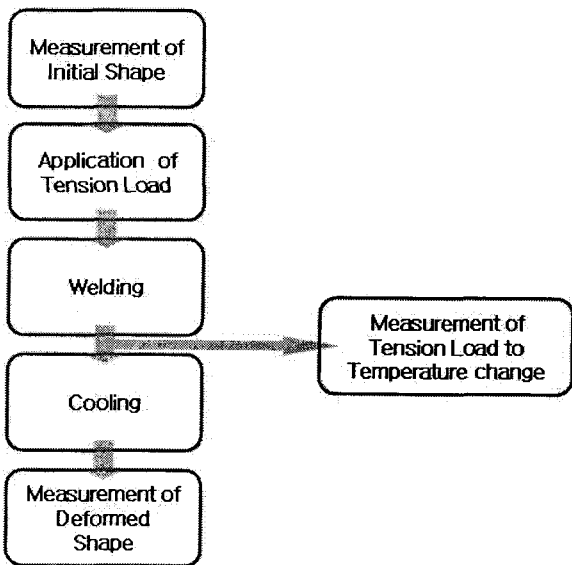


Fig.1 Procedure of the present welding test

2.2 실험모델과 실험조건

시편의 크기는 길이×폭 = 800×500mm이고, 두께는 5mm와 6mm인 두 종류이다. 시편에 대해 균일한 입열량을 주기위해 CO₂ 용접기를 캐리지에 연결하여 사용하였고, 두께별 용접조건은 Table 1과 같다.

5mm, 6mm 시편은 200mm/min, 300mm/min 두 가지의 경우로 용접을 하였다. 장력도 아래와 같은 경우로 용접선 방향과 직각 방향으로 주었다. Fig.2는 실험에 사용된 장비들의 배치를 보여준다.

Table 1 Welding condition

| | 5 | 6 | |
|------------------|-----------------|-----------------|---------|
| t (mm) | 5 | 6 | |
| I (A) | 200 | 200 | |
| V (V) | 26 | 26 | |
| v (mm/min) | 200, 300 | 200, 300 | |
| Process | CO ₂ | CO ₂ | |
| Tip Distance(mm) | 10 | 10 | |
| 용접자세 | 아래보기 | 아래보기 | |
| pass | 1 | 1 | |
| wire (mm) | 1.2 | 1.2 | |
| Tension (MPa) | Weld Line | 5, 10, 15 | 5, 10 |
| | Normal | 5, 7 | 5, 7, 8 |

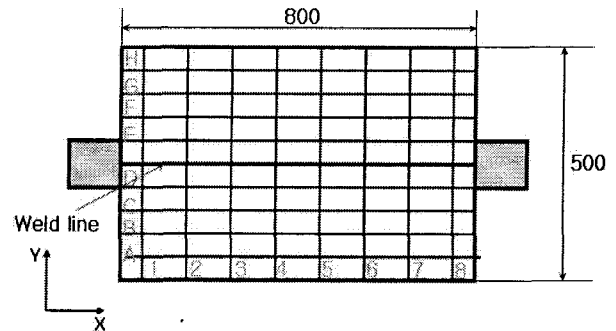


Fig. 2 Location for deformation measurement

2.3 Tension load 계측 및 발생 장치

Tension load 발생장치와 시편을 연결하는 중간위치에 Tension load를 계측할 수 있는 장치를 로드셀과 인디케이터를 사용하여 제작하였다.

최대 허용 하중은 10ton이고 허용오차는 20kg 이다. 전체적인 구성으로는 하중 값을 측정하기위한 로드셀과 측정값을 읽기위한 Digital indicator로 구성 되어 있다.

본 용접 실험에 필요한 Tension load의 발생을 위해 허용 하중 10ton의 체인블럭을 사용하였다.

2.4 변형량 계측

Fig. 3에 있는 장비는 수직 방향으로의 변형량 계측 장비로서 알루미늄 빔을 이용해서 제작하였고 레일을 통해 x, y축으로 이동하고 다이얼 게이지를 통해서 변위를 측정할 수 있는 장비이다. 이 장비를 이용하여 Fig. 2에서 보이는 교차점들을 용접 전의 초기 값을 계측하고 용접 후 냉각이 완료되고 난 뒤에 측정하여 그 차이로서 변형량을 구하였다.

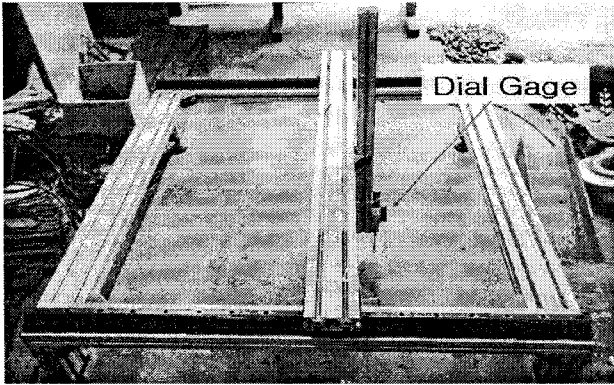
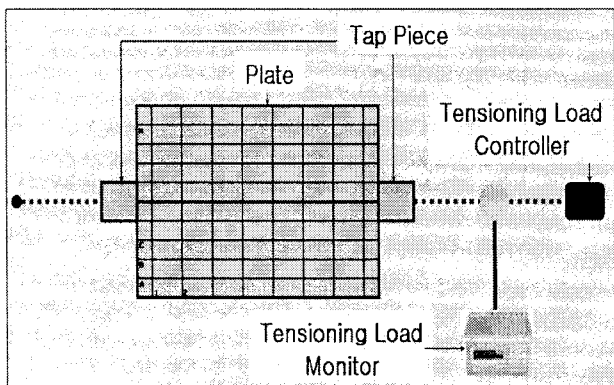
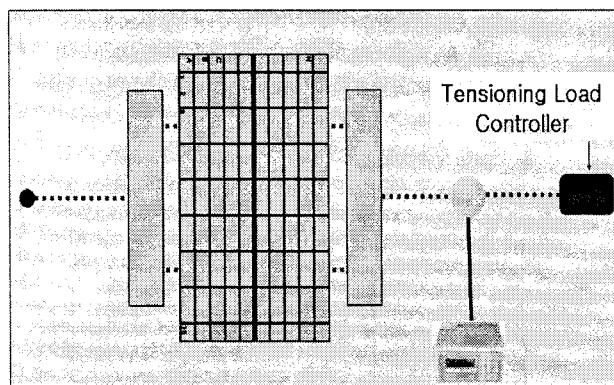


Fig. 3 Apparatus for deformation measurement



(a) Tension load in the weld line direction



(b) Tension load in the normal direction to weld line

Fig. 4 Arrangement of experiment apparatus

3. 실험 결과

3.1 시간에 따른 응력의 변화

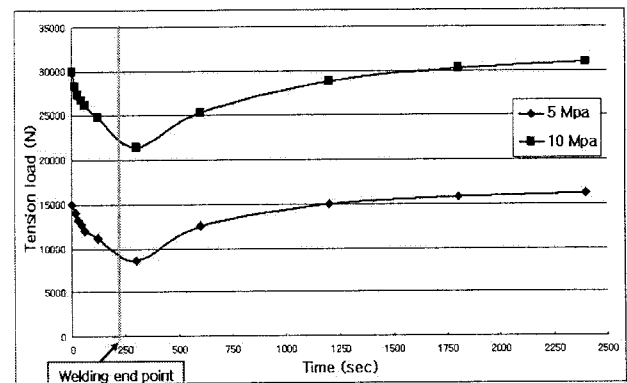
용접 중 및 용접이 완료된 후 냉각 중 인장력 측정 장치를 이용하여 기록한 인장력의 시간에 따른 변화를 Fig.5에 두께 6mm, 속도는 200 mm/min인 시편에 대하여 그래프로 나타냈

다. 용접이 진행되면서 용접 입열에 의한 열팽창이 발생하기 때문에 인장력이 감소하지만 용접이 완료되고 냉각이 진행되면서 팽창된 체적이 수축하면서 인장력이 원래의 계획된 수준으로 회복되는 현상을 뚜렷하게 볼 수 있다. 하지만 직각방향으로서 인장력을 작용시켰을 때에는 인장력이 크게 감소되지 않는 것을 그래프에서 볼 수 있다.

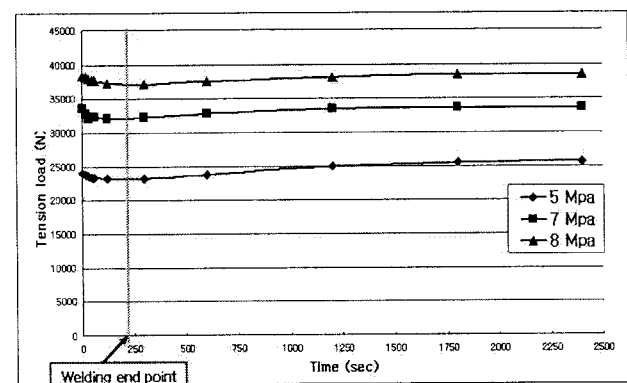
3.2 인장력의 크기와 방향의 변형량에의 영향

Fig. 6에 있는 그래프는 용접선 방향으로 인장력을 가하였을 때와 용접선에 대하여 직각방향으로 인장력을 가하였을 때의 각각의 시편들이 변형이 완료되고 난 후 Fig. 3에 있는 장비를 이용하여 변형량을 계측한 뒤 Fig. 2에서 표시한 A와 H 점을 연결한 선을 기준선으로 하여 이 기준선으로부터의 수직 거리를 나타낸 것으로서 길이방향으로 중간 위치인 4번 지점에서 y방향으로의 변화를 그래프로 나타낸 것이다.

우선 용접선 방향으로 인장력을 가하였을 때의 경우인 (a)와 (c)에서 보듯이 인장력이 증가 할수록 변형량이 감소되는 것을 볼 수 있다. 용접선 방향에 직각인 방향으로 인장력을 가한 경우인 (b)와 (d)를 보면 제어에 크게 도움이 되지 않는 모습을 보였다.



(a) Tension load in the weld line direction



(b) Tension load in the normal direction to weld line

Fig. 5 Change of tensile load to time

4. 결 론

본 연구는 박판의 용접변형제어 방법으로 장력법 적용에 대한 연구이다. 박판의 맞대기 용접 시 용접선 방향으로 인위적으로 인장력을 가하였을 때는 굽힘과 수축변형의 감소 등에 상당한 효과를 거둘 수 있는 것을 앞선 연구에서 보였고 본 연구는 그 후속 연구로서 필릿용접에 인위적으로 인장력을 가하였을 때 변형 제어에 주는 영향을 실험적으로 분석하였다. 인위적인 인장력을 용접선 방향과 용접선 방향에 직각인 방향으로 가하였는데 직각인 방향으로 가하였을 때는 변형제어에 크게 기여하지 못한다는 것을 알 수 있었고, 용접선 방향인 경우에는 인장력이 높아질수록 변형제어에 효과가 있다는 것을 보였다.

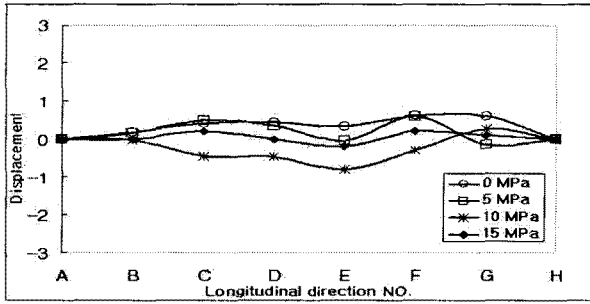
향후, 더 많은 시편을 대상으로 실험을 수행하여 적정수준의 인장력에 대하여 알아 볼 예정이다.

후 기

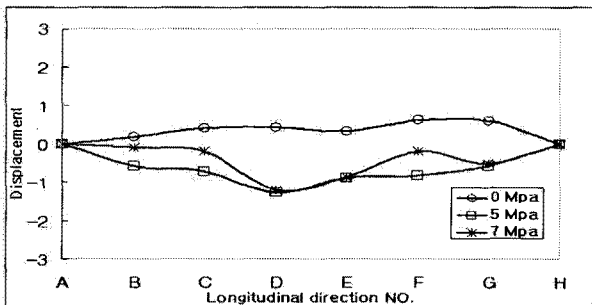
이 논문은 2004년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구된 결과 중 일부임을 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다 (KRF-2004-041-D00819).

참 고 문 헌

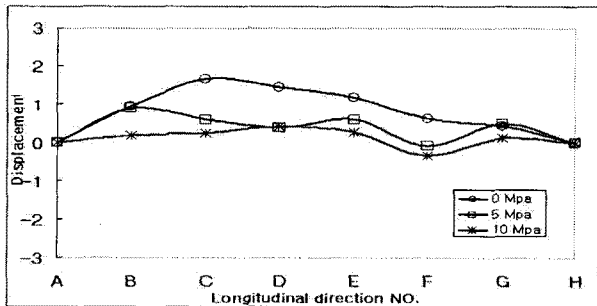
- 김상일 (1999). "선체 구조의 용접변형 제어법 개발", 울산대학교 공학박사 학위논문.
- 신상범, 이동주 (2003). "박판 용접부 좌굴 변형제어에 관한 연구", 대한용접학회 특별강연 및 학술발표대회 개요집, 제 1권, pp 287-299.
- 이주성, 김철호, 박재우 (2006). "선체 박판 구조의 용접변형 제어에 관한 연구", 대한조선학회 춘계학술대회.
- 장창두, 서승일 (1988). "열탄소성해석에 의한 잔류응력 계산", 대한용접학회논문집, 제6권, 4 호, pp. 35-43.
- 허주호, 김상일 (2003). "박판 평 블록 구조의 용접변형 제어법 개발(I)", 대한용접학회지, 제21권, 4호, pp 75-79.
- Masubuchi, K. (1980). "Analysis of Welded Structures," Pergamon Press, Oxford.
- Matsui, S. (1983). "Control of Weld Distortion in Thin-skin Welded Structure". 日本 溶接學會 誌.



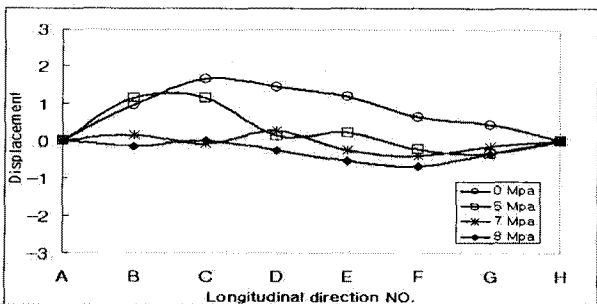
(a) Tension load in the weld line direction :
t=5mm, v=300mm/min



(b) Tension load in the normal direction to weld line :
t=5mm, v=300mm/min



(c) Tension load in the weld line direction :
t=6mm, v=300mm/min



(d) Tension load in the normal direction to weld line :
t=6mm, v=300mm/min

Fig. 6 Deflection in transverse direction in welding line and vertical about welding line