

함정용 패널 면의 변형 방지를 위한 용접 조립 설계

Practical Welding Fabrication Design to Minimize Out-of-plane Welding-induced Distortion in Thin Panels for Warships

한명수*, 김현옥*, 한종만*

* 대우조선해양(주), 산업기술연구소 재료측정연구팀

1. 서 론

군용 함정에서는 낮은 경하 중량과 더불어 양호한 복원성 유지가 매우 중요한 설계 요소 중의 하나이다. 이를 위해 상갑판 이상의 상부에는 판 두께를 줄이고 많은 수의 보강재를 배치하기 때문에 박판과 내부 보강재 조립을 위한 fillet 용접선 길이가 매우 길다. 또한 중형 격벽 또한 복잡하게 배치되며 격벽간 중통 보강재와 수직 보강재 사이에 다양한 이음부가 발생하기도 한다. 이러한 상갑판 상부 구조물 조립에서는 박판에 대한 많은 용접선 배치와 중복된 조립 맞춤 작업으로 인해 매 조립 단계별로 각 변형과 좌굴 변형 및 수축으로 인한 굽힘 변형 등이 두드러지게 발생한다

본 연구에서는 현재 조선 생산에 적용하고 있는 용접법을 근본적으로 변경하지 않으면서 함정의 박판 조립에 적용하였을 때 용접 변형 저감에 효과가 있는 용접 변형 억제 기술에 관한 연구 결과이다.

2. 저 입열 맞대기 용접의 변형 저감 효과

2.1 실험 개요 및 용접 조건

판의 면의 변형 발생을 억제하기 위해 입열을 줄일 수 있는 자동 용접법을 개발하였으며 이 용접법의 변형 저감 효과를 검토하기 위해 Gr. A의 두께 6mm인 박판을 이용해 실험을 수행하였으며 시편의 치수는 Fig.1에 나타냈으며 입열 조건은 Table. 1과 같다.

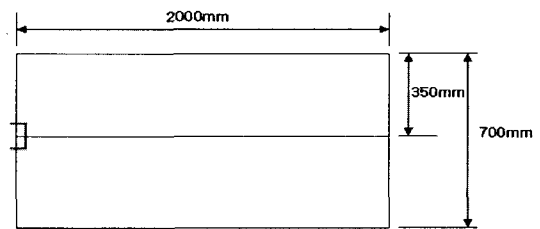


Fig. 1 Dimension of weld specimens

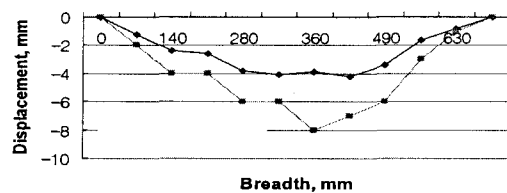
Table 1. 자동(SAW) 용접 조건

Process	Position	Heat Input(kJ/cm)
Conventional SAW	Face	10.2
	Back	12.5
Low H. I. SAW	Face	8.8
	Back	8.5

2.2 맞대기 용접 변형

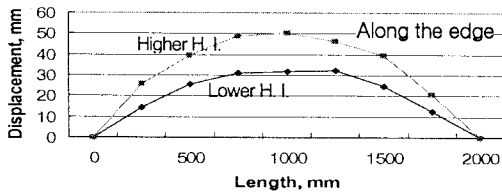
Fig.2와 Fig.3은 용접 후 중앙 횡단면에서 발생한 각 변형과 자유 단에서 발생한 길이 방향 변형 분포를 각각 나타내고 있다.

이면 용접 후 변형량은 입열량이 큰 쪽이 상대적으로 더 컸다. Table. 2는 용접 조건에 따른 최대 용접 변형량을 나타낸 것으로서 저 입열 적용으로 용접 변형이 약 1/2 정도 감소하여 입열 저감에 따른 변형 억제 효과를 보여주고 있다.



(a) Welding on back

Fig. 2 Angular welding distortion



(a) Welding on back

Fig.3 Longitudinal welding distortion

Table 2. 용접 조건에 따른 최대 용접 변형량 비교

Process	Position	Distortion, mm	
		Angular	Longitudinal
Conventional SAW	Face	≈-6.0	≈+ 20.0
	Back	≈-15.0	≈+ 50.0
Low H. I. SAW	Face	≈+ 2.0	≈-10.0
	Back	≈-8.0	≈+ 30.0

2.3 맞대기 용접 좌굴 변형 해석

2.2.1 해석 모델 및 평가 방법

해석 모델 치수는 Fig. 1에 나타난 실험 판과 같으며 좌굴 해석에 입력 하중으로 사용되는 load pattern을 계산하여 해석을 수행하였다.

해석 결과로부터 용접 좌굴 발생을 판단하기 위한 기준은 아래 Eq. 1로서 정의된 좌굴 민감도 지수(%BSI)를 사용 하였으며, %BSI가 100보다 크면 용접 좌굴 변형이 발생하며 반대로 100보다 작은 조건에서는 좌굴에 안전하다고 판단할 수 있다.

$$\%BSI = \frac{Weld\ Load}{Buckling\ Strength} \times 100 \quad Eq.1$$

(in temperature scale)

2.2.2 용접 좌굴 변형 해석 결과

Fig. 4와 Fig. 5는 용접 좌굴 변형 해석 결과를 나타내고 있다. 해석을 통해 확인한 좌굴 민감도 계수인 %BSI는 저 입열에서 187, 고 입열에서는 247로서 %BSI가 모두 100 이상의 값을 나타내므로, 저 입열로서 맞대기 용접하더라도 6mm 두께의 박판에서는 좌굴이 발생함을 알 수 있다.

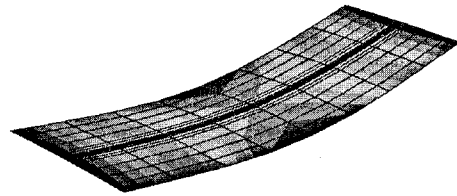


Fig. 4 저 입열 용접부의 좌굴 변형 mode (%BSI=187)

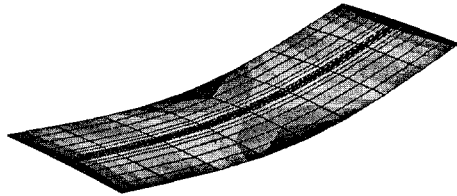


Fig. 5 고 입열 용접부의 좌굴 변형 mode (%BSI=247)

3. 용접 좌굴 방지를 위한 박판 wall 보강 방안 평가

3.1 Wall 구조 모델

Fig.6은 내부 opening이 다수 있는 wall panel 모델의 구조도를 나타낸다. 도면에 나타난 굵은 실선은 기본 구조 모델에 대한 좌굴 해석 이후 국부 좌굴 방지하기 위해 추가 배치를 고려한 임시 보강재의 부착 위치를 나타내며, 보강재는 자유단에서 100mm 떨어진 위치에 배치하였다.

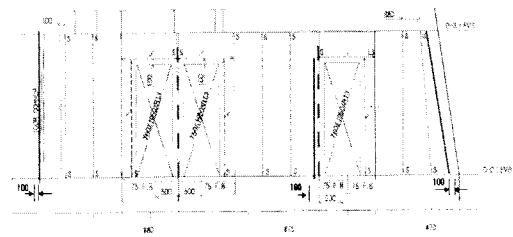


Fig. 6 Wall panel model

3.2 용접 좌굴 민감도 평가 및 국부 보강 방안의 효과

해석 결과 기본 구조 모델의 경우 좌굴 발생이 예상되었으며, 이에 좌굴 발생 위치를 국부 보강한 결과 좌굴 민감도가 상당히 감소하여 좌굴 방지에 효과적임을 확인할 수 있다.

Table 3. %BSI of wall panel model

	Non-stiffened	Temporary stiffened

%BSI	140	86
------	-----	----

4. 박판 panel block의 조립 순서

본 장에서는 내부 격벽 부재와 deck 판과의 조립 순서에 따른 용접 변형량을 평가하기 위한 실험을 수행하였다.

4.1 실험 방법

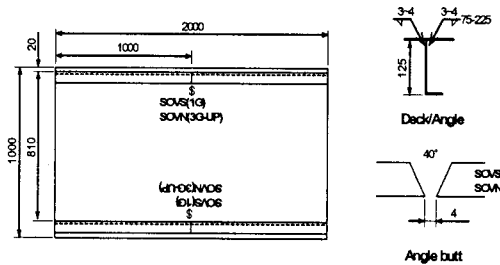


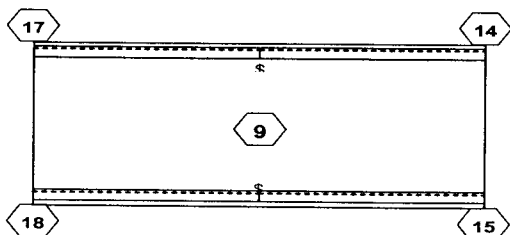
Fig. 7 Experimental set-up for sequence effect on welding distortion

실험 모델은 Fig. 7과 같고, 용접 순서에 따른 판재의 면외 변형을 실험적으로 평가하기 위해 실험에서 고려한 용접 순서는 다음과 같다.

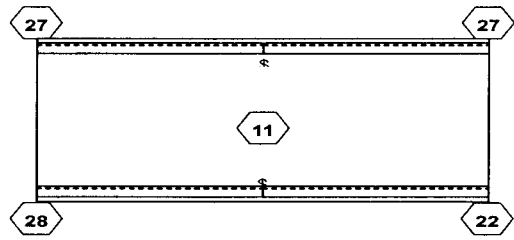
- 1) A: Angle fit-up → Angle butt (Angle-to-angle) → Fillet welding (Angle-to-plate)
- 2) B: Angle fit-up → Fillet welding (Angle-to-plate) → Angle butt (Angle-to-angle)

4.2 용접 순서에 따른 면외 변형량

Fig.8은 용접 순서에 따른 판 중앙과 판의 네 모서리에서의 면외 용접 변형량을 측정한 결과이다. 판과 내부 보강재와의 필릿 용접을 먼저 한 뒤 보강재끼리 맞대기 용접을 행한 경우(용접 순서 B)가 보강재끼리 맞대기 용접을 먼저 한 뒤 판과 내부 보강재와의 필릿 용접을 행한 경우(용접 순서 A)보다 더 큰 면외 변형을 유발함을 보이고 있다.



(a) Distortion with Sequence A



(b) Distortion with Sequence B

Fig. 8 Measurement of welding sequence effect

4. 결 론

최근 설계되어 건조 중인 함정의 용접 변형 저감 대책을 검토하기 위해 본 연구를 수행하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 9kJ/cm 이하의 저 입열 용접을 적용을 통해 각 변형 및 좌굴 변형을 감소시킬 수 있었다.
- 2) 평가 결과에 따르면 저 입열 용접법을 적용하더라도 이면 용접 후에 발생하는 좌굴 변형을 완전히 방지할 수는 없을 것으로 판단된다.
- 3) 좌굴 발생이 예상되는 위치에 임시 보강만으로 좌굴 민감도가 상당히 둔화되어 좌굴 변형 발생 방지에 큰 효과가 있다는 결과를 얻었다.
- 4) 내부 보강재 간의 수직 용접부를 선행 조립한 후 주판과 보강재간의 용접 조립을 하는 것이 주판의 면외 변형을 줄일 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

1. M. Spicknall, E. Hodges, T. D. Huang: Accuracy and Distortion Control Challenges in Lightweight Structural Unit Assembly at Northrop Grumman Ship Systems, J. of Ship Production, 22-3(2006), 147-154
2. C. Conrardy, T. D. Huang, D. Harwig, P. Dong, L. Kvidahl, N. Evans, and A. Treaster: Practical Welding Techniques to Minimize Distortion in Lightweight Ship Structures, J. of Ship Production, 22-4(2006), 239-247
3. M. S. Han, C. L. Tsai, G. H. Jung: Investigating the Bifurcation Phenomenon in Plate Welding, Welding Journal, 85-7(2006), 151s-162s