

## 박판 패널 자유 단의 용접 좌굴 변형 방지에 관한 연구

한 명수\*, 김 현욱\*

\*대우조선해양 (주) 산업기술연구소

### Prevention of Welding-induced Free Edge Buckling Distortion in Thin-plated Panels

Myoung-Soo Han\* and Hyun-Uk Kim\*

\* Industrial Application R&D Institute, Daewoo Shipbuilding & Marine Eng. Co. Ltd, 1 Ajoo-dong, Geoje-si, Gyoungnam, Korea, 656-714

#### ABSTRACT

Welding-induced buckling distortion at the free edge of thin-plated panels has been studied. Welding distortion at free edges causes the additional man hours to straighten for the easy adjusting works of the following assembly stage. Therefore, it is necessary to develop a free-edge distortion control method. It is the purpose in the study to evaluate the effectiveness of buckling distortion prevention of the current design practice and design modification.

#### 1. 서 론

구조물의 경량화를 위해 박판을 중형 부재로서 보강한 패널(stiffened panel)이 널리 사용되고 있다. 박판 패널 구조를 용접 조립하면 용접 입열 조건 및 조립 방법에 따라 판의 면외 용접 변형이 두드러지게 발생할 수 있으며 일반적으로 패널의 자유 단(free edge) 근방에서는 각 변형과 함께 용접 좌굴 변형이 대표적으로 관찰된다.

자유 단에서 좌굴 변형이 발생하게 되면 패널의 전반적인 편평도 유지가 곤란할 뿐만 아니라 후속 공정의 조립을 위한 맞춤 작업도 또한 매우 어렵다. 따라서 과도한 좌굴 변형은 다음 조립 공정 착수 이전에 적절한 방법으로 교정되는데 좌굴 변형을 제거하기 위해서는 고도의 숙련도를 요하는 교정 작업이 필요하지만 한번 발생된 좌굴 변형을 교정 과정을 통해 완전히 없앤다는 것은 현실적으로 매우 어렵다고 보고 있다.

본 연구에서는 박판 패널의 자유 단에서 발생하는 용접 좌굴 변형을 방지하거나 또는 최소한 후속 조립 공정의 맞춤 작업에 영향을 주지 않을 정도로 저감할 수 있는 현실적인 용접 조립 방안에 대하여 검토하였다. 보강 패널의

구조 설계 조건에 따른 패널 자유 단의 치수와 용접 입열 조건 및 조립 방법을 고려한 용접 변형 해석 결과로부터 용접 좌굴이 발생하지 않는 효과적인 방안을 수립하고 이러한 방지 방안을 적용한 mock-up 조립 시험을 통해 유효성을 검증하였다.

#### 2. 패널 형상 및 용접 조건

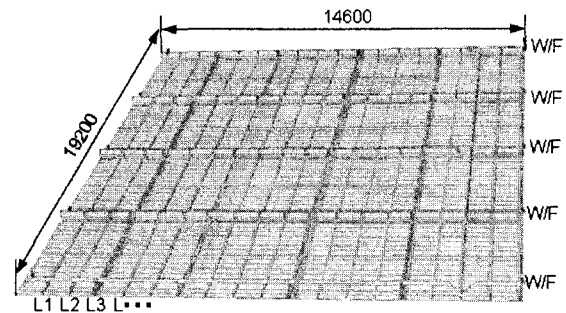


Fig.1 Dimension of the stiffened panel

Fig.1은 용접 좌굴 변형 방지 방안을 적용하기 위한 단위 패널 부재(unit panel assembly)의 치수와 구성 부재를 보이고 있으며 길이(mm)와 폭(mm)은 19200×14600이다. 패널의 주판은 두께 6mm의 박판으로서 총 4군데에서 맞대기 용접으로 조립되며 5개의 web frame과 18개의

중통 보강재는 필릿 용접으로 조립된다. Table 1은 패널 용접 시공을 위해 고려한 맞대기 용접과 필릿 용접의 대표적 입열 조건을 보이고 있다. 맞대기 용접은 판의 뒷면을 보강재로 덧붙인 편면 이음으로 설계하였으며 편면 연속 필릿 용접(one-side continuous fillet welding)으로 중통 및 횡 보강재와 주판을 조립하도록 설계하였다. 패널의 조립 순서는 중통 및 횡 보강재의 필릿 용접 후 뒤집기(turn-over)하여 주판을 맞대기 용접하는 순이었다.

Table 1 Typical welding heat input for joints

| Joint             | Heat Input (kJ/cm) | Remarks      |
|-------------------|--------------------|--------------|
| Fillet (One-side) | <5.0               | Throat≈3.0mm |
| Butt 1            | ≈24.0              |              |
| Butt 2            | ≈11.0              |              |

### 3. 결 과

#### 3.1 자유 단 치수에 따른 좌굴 변형 민감도

##### 3.1.1 고입열 맞대기 용접 조건

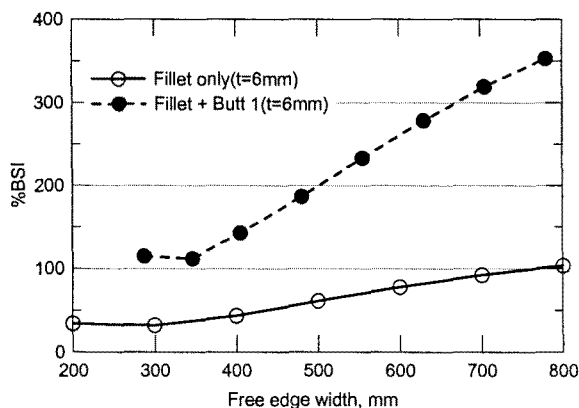


Fig.2 Buckling Sensitivity w.r.t. free edge width (Higher welding heat input for butt joints, Butt 1)

Fig.2는 필릿 용접 공정과 필릿 용접 후 맞대기 용접 조립 공정에서 패널의 자유 단 폭에 따른 용접 좌굴 변형 민감도의 변화를 구한 결과이다. 세로 축의 %BSI는 용접 좌굴 하중을 좌굴 강도로 나눈 값의 백분율(%)로서 이 값이 100 이상일 경우 용접 입열에 따른 수축 하중으로 패널의 자유 단에서 용접 좌굴 변형이

발생한다고 예측하게 된다. 그림에서 패널 자유 단이 200mm~800mm 사이로 설계하는 경우 필릿 용접 공정에서는 좌굴이 발생하지 않으나 turn-over 후 비교적 높은 입열(Table 1의 Butt 1)을 적용하여 맞대기 용접하게 되면 설계된 자유 단의 폭이 작더라도 좌굴 발생 조건이 되며 자유 단의 폭이 커질수록 패널의 좌굴 민감도는 거의 선형적으로 증가하였다. 맞대기 용접 시공 순서 등 조립 공정 순서를 바꾸어 맞대기 용접에 따른 좌굴 민감도를 어느 정도 저감시킬 수 있으나<sup>1)</sup> 현실적으로 설계할 수 있는 자유 단의 치수로서 용접 조립에 따른 좌굴 변형 민감도를 줄이기 위해서는 맞대기 용접 입열을 줄이는 방안을 최 우선적으로 검토할 필요가 있다.

##### 3.1.2 저입열 맞대기 용접 조건

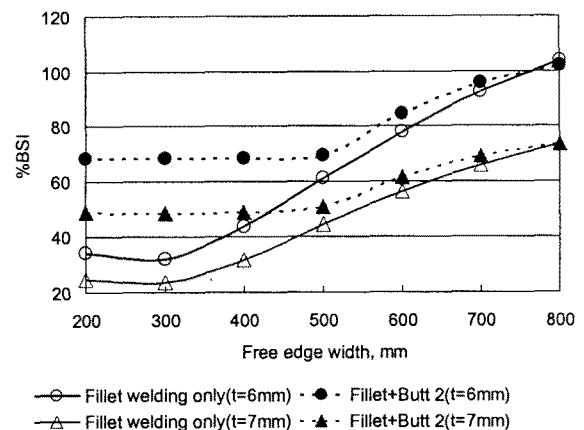


Fig.3 Buckling Sensitivity w.r.t. free edge width (Lower welding heat input for butt joints, Butt 2)

Fig.3은 필릿 용접 공정과 Table 1의 Butt 2 용접 조건을 적용한 맞대기 용접 공정에서 패널의 자유 단 폭에 따른 용접 좌굴 변형 민감도를 계산한 결과이다. 맞대기 용접의 입열을 대폭 줄임으로써 자유 단의 폭을 최대 800mm로 설계하더라도 두께가 6mm인 주판의 자유 단에서 거의 좌굴이 일어나지 않는 조건에 가깝게 됨을 보인다. 그림에는 주판의 두께가 7mm인 경우에 대한 %BSI의 계산 결과도 함께 나타내고 있으며 주판을 1mm 두껍게 설계하게 되면 좌굴 민감도는 약 30% 이상 감소하여 주판 두께의 증가가 좌굴 방지에는 효과적인 결과를 나타내었다. 그러나 검토한 패널 구조의

판 두께를 1mm만 증가시키더라도 선체의 무게는 수 백톤 증가하게 되는 역 효과가 있기 때문에 판 두께를 증가시켜 필요한 좌굴 강도를 확보하는 방안은 일반적으로 설계에 채택하기 매우 어렵다.

3.2 저입열 맞대기 용접의 변형 저감 실험

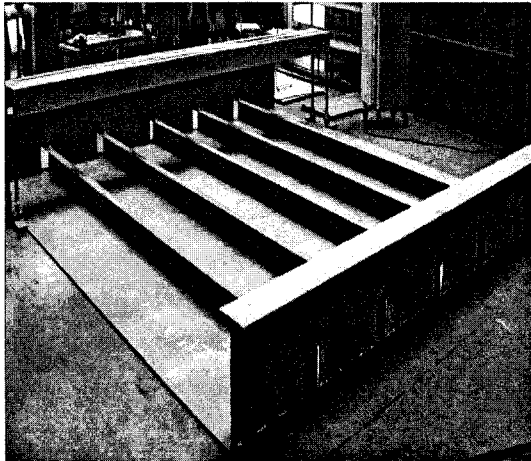


Fig.4 Mock-up panel block for welding distortion test

Fig.4는 자유 단 면외 변형 저감(방지) 방안을 적용하여 효과를 검증하기 위해 제작한 실험용 패널 블록을 보이고 있다. 실험용 패널의 길이 방향 양쪽 끝에는 실 구조물에 적용한 것과 같은 web frame을 각각 배치하였으며 패널 주판 중앙에 맞대기 용접부를 배치하였고 맞대기 용접부의 좌우에 각각 2개의 중통 보강재를 배치하였다. 자유 단의 폭은 각각 800mm로 설계하였다. 이러한 실험용 패널의 조립을 위해 Table 1에 나타낸 필릿 용접 조건과 맞대기 용접 조건(Butt 2)를 적용하였다.

Fig.5는 실험에서 매 조립 공정별로 측정한 결과 중 맞대기 용접(Table 1의 Butt 2)으로 인한 면외 용접 변형량을 나타낸 것이다. 맞대기 용접 후 주판 면에서 측정한 용접 변형량의 변화 범위는 -2.0mm~+1.0mm로서 전반적으로 매우 작은 값이며 패널 자유 단에서도 좌굴이 발생하지 않았다. 이상의 실험 결과로부터 본 연구에서 개발한 좌굴 변형 방지 방안이 자유 단에서의 좌굴 방지는 물론이고 패널의 전반적인 정도 향상에도 매우 효과적이라는 것을 확인하였다.

4. 결 론

박판 패널의 자유 단에서 발생하기 쉬운 용접 좌굴 변형을 방지하기 위해 일련의 해석과 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 박판 패널 자유 단에서의 좌굴 민감도는 자유 단의 치수에 비례하여 높아졌다.
- 2) 입열량이 높은 맞대기 용접 조건 하에서는 자유 단의 치수에 관계없이 패널 조립 후 자유 단에서 좌굴 변형이 발생하였지만 맞대기 용접 입열량을 최소화함으로써 검토한 자유 단의 설계 범위에서 좌굴이 발생하지 않는 조건을 설계할 수 있었다.
- 3) 본 연구를 통해 개발한 박판 패널의 좌굴 변형 방지 방안을 실험용 패널에 적용하여 그 유효성을 확인하였다.

참 고 문 헌

1. 한 명수, 김 현욱, 한 종만, 전 유철: 박판 패널의 용접 좌굴 변형 민감도에 미치는 맞대기 용접 시공 조건의 영향, 용접학회 추계 학술발표대회 논문집, 제47권 (2006), 20-22 (in Korean)

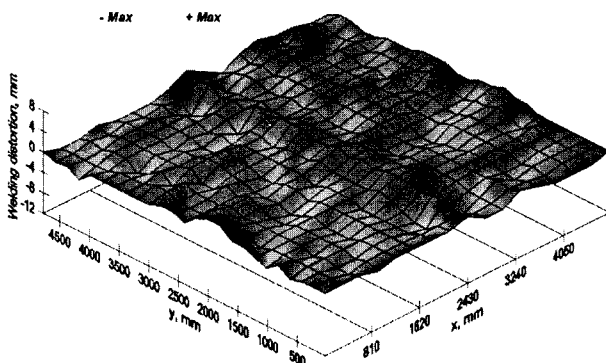


Fig.5 Out-of-plane welding distortion due to butt welding