

# 면외하중을 받는 원형 slot 구조 용접부의 피로강도 (Fatigue strength of the circular slot structural weldment subjected to out-of-plane loading)

윤중근, 김현수, 황주환  
현대 중공업(주) 산업기술연구소

## 1. 서론

근래 보고되는 선박에서의 손상은 대개 피로균열 발생에 기인된 손상으로서, 이는 선박이 운항중 파도, 엔진 진동과 같은 다양한 외력을 반복적으로 받음에 따라 구조적 불연속부나 용접부와 같은 응력집중부에서 발생하는 것이다. 특히 피로손상의 50% 이상이 slot 구조부에서 발생하고 있는데, 이는 slot 구조부의 복잡한 형상 즉, 응력집중 현상 및 여러 가지 하중이 복합적으로 반복 작용함에 기인된다. 최근 해양오염 방지를 위한 이중 선체구조의 적용으로 slot 구조부가 크게 증가되어 이에 대한 피로수명의 충분한 확보는 매우 중요하다.

본 연구에서는 면외하중에 따른 slot 구조의 피로특성 특히 원형 slot 부와 늑골간의 용접부에서의 피로 강도를 평가하고자 하였으며, 이에 미치는 정적 하중 (혹은 과하중)의 영향도 평가하고자 하였다.

## 2. 소형 slot 구조부의 설계 및 응력 분포

Slot 구조부에서의 피로특성을 평가하기 위하여 실제 slot 구조부를 재현할수 있는 실험실용 소형 slot 구조부를 응력해석을 통하여 그림 1과 같은 형상으로 설계하였다. 그림1은 늑골부에 2mm 변위가 작용시 얻어진 slot 구조부에서의 응력분포를 도시한 것으로, slot 과 늑골간의 용접부 선단에서 최대응력이 작용하고 있다.

응력분포 및 피로특성을 평가하기 위하여 두께 10mm 연강을 이용하여 소형 slot 구조부를 각장 6mm의 필렛용접으로 제작하였다. 피로 시험은 50톤 피로시험기를 이용하여 변위제어로 R=0.1인 조건에서 실시하였다. 피로균열의 측정은 dye penetration 및 crack monitoring system을 이용하였으며, 피로수명은 표면 균열 길이 5mm가 되는 시점에서의 cycle수로 평가하였다. 외부변위에 따른 slot 과 늑골간의 용접부 선단 부근에서의 응력변화는 그림 2에 도시하였다. 또한 slot 구조부의 피로특성에 미치는 정적 하중 (혹은 과하중)의 영향을 평가하고자 변위 3mm 를 부여한 후 피로하중조건별로 시험을 수행하였다.

## 3. Slot 구조부의 피로 특성

본 연구의 대상인 slot 구조부는 늑골부에 굽힘하중을 받게 되면 slot 를 포함한 web plate 에는 인장응력이 작용된다. 이에 따라 피로균열은 인장응력을 받는 slot 과

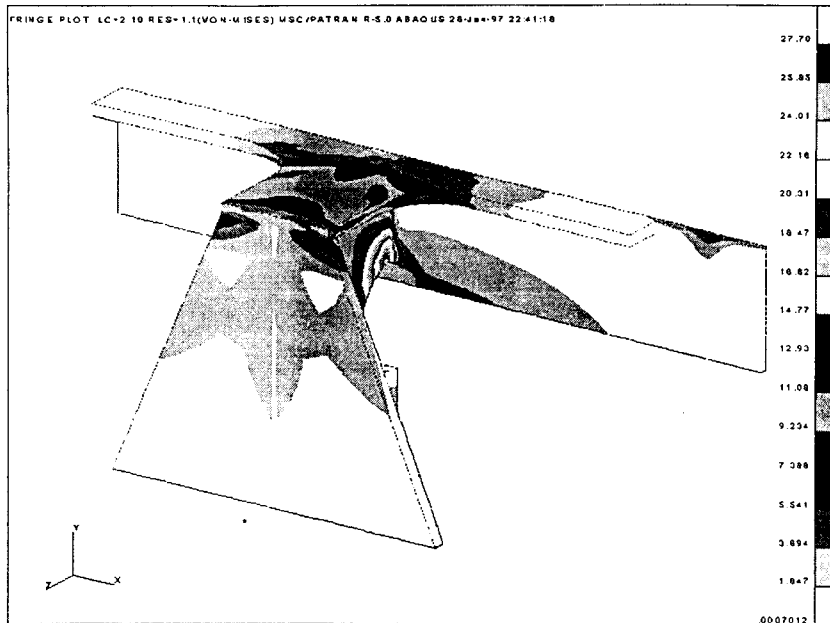


그림 1. 소형 slot 구조부에서의 응력해석 결과 (2mm 변위)

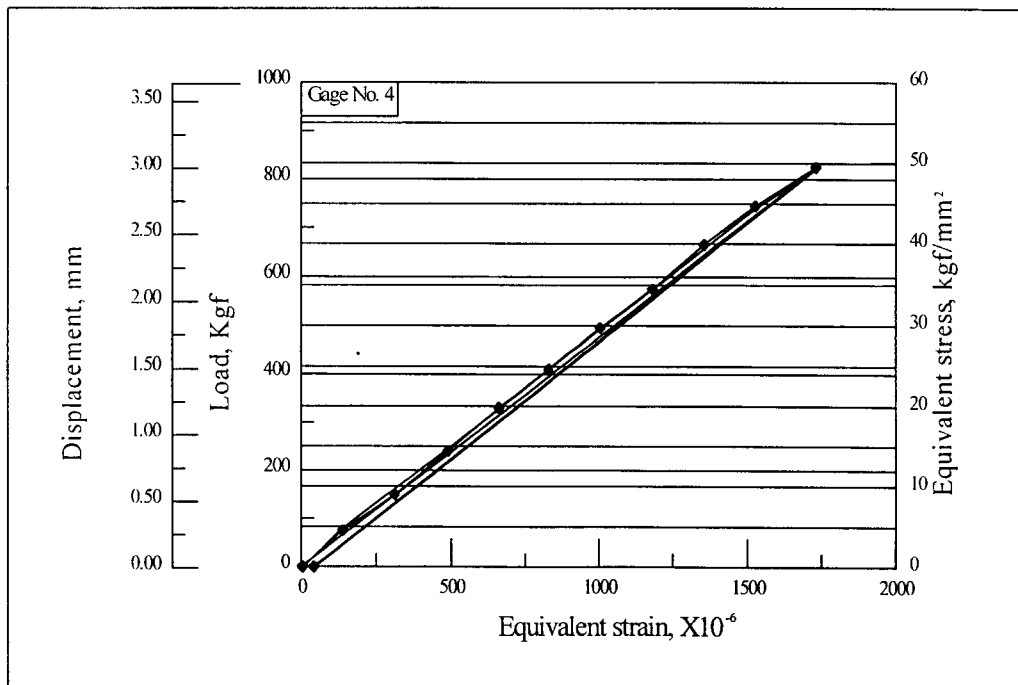


그림 2. 변위에 따른 slot 과 늑골간 용접부 선단부에서의 응력 변화

늑골간의 용접부 선단에서 발생하여 web plate 를 관통한 후 web plate 의 용접선을 따라 전파되는 양상을 보였다.

그림 3은 외부 피로응력에 따른 slot 구조부의 피로강도를 나타낸 것이다. 좌표축의 피로응력은 slot 과 늑골간의 용접부 선단에서 측정된 실제 값이다. 그림3에서 보여 주듯이 slot 구조부의 피로강도는  $3 \times 10^6$  cycles 에서 약  $21.5 \text{ kg/mm}^2$  정도이다.

Slot 구조부에 정하중 혹은 과하중이 작용되면 피로특성이 변경되게 그림 3에서 보여주듯이 피로강도가 증가된다. 그림3의 정하중은 피로시험전 변위 3mm 에 해당되는 하중이력을 겪은 경우로, 피로강도는  $3 \times 10^6$  cycles 에서 약  $25 \text{ kg/mm}^2$  정도이다. 이와 같은 정하중 혹은 과하중의 효과는 용접잔류응력의 재분포 및 균열이 발생하는 용접선단 부에서의 가공경화로 설명될수 있다.

#### 4. 결 론

- 1) 면외 하중에 따른 소형 slot 구조부의 최대 응력은 슬롯과 늑골간의 용접부 선단에 작용되고, 이 부위에서 피로균열이 발생한다.
- 2) 면외하중을 받는 slot 구조부의 피로강도는  $3 \times 10^6$  cycles 에서 약  $21.5 \text{ kg/mm}^2$  정도이며, 3mm 변위에 해당되는 하중이력을 겪으면, 피로강도는 증가되어  $3 \times 10^6$  cycles 에서 약  $25 \text{ kg/mm}^2$  가 된다.

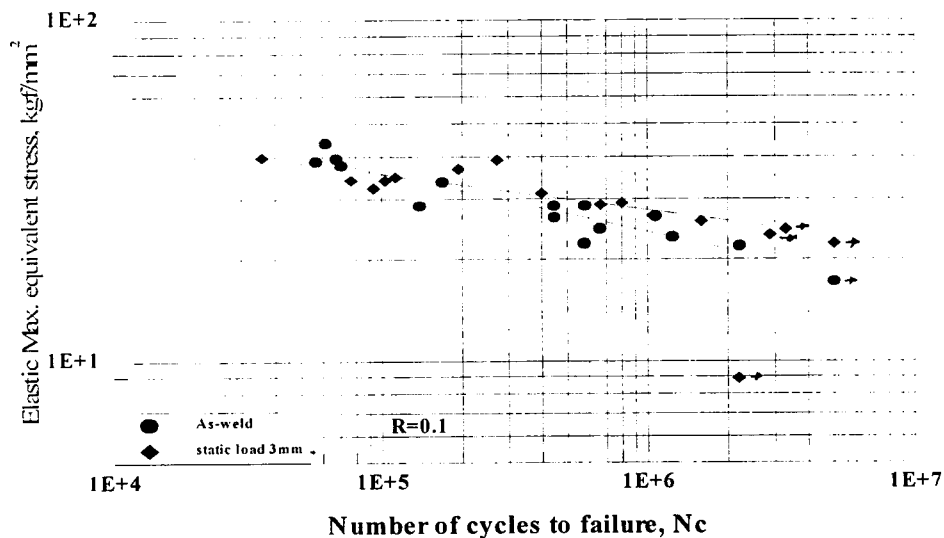


그림 3. Slot 구조부에서의 피로 특성 (S-N 선도)