

사용중인 선박 상갑판 강재의 피로강도 평가

대우조선공업(주) 한 명수 *
한국해양대학교 김 영식
조 상명
한국선급 정 기태

1. 서 론

선체의 구조부재는 부식의 영향으로 운항년수에 비례하여 설계치수에 비해 그 두께가 감소하고 이 때문에 각 부재에는 두께 감소에 상당하는 만큼의 1차 응력의 상승이 발생한다. 더욱이 이러한 전면부식 이외에 용접 열영향부 등 부식에 예민한 영역에서 국부부식이 심하게 발생하는 경우 국부부식 영역은 응력집중부로 되어 부재의 강도, 특히 피로강도의 저하를 초래한다. 따라서 고령선의 안전운항의 관점에서 선체부식의 정도와 그에 상당하는 선체강도와의 관계를 정량화하고 이것을 토대로 재화화물의 제한, 항로의 제한 등 각종 안전조치 등을 취할 경우 선박의 해상사고를 줄이는 한 방안이 될 것이라 판단된다. 본 연구는 이와같은 배경에서 그 기초 Data의 축적을 위해 행해졌다.

2. 실험방법

2.1 시험재 및 시험편

시험재를 채취한 선박은 선령 약 37년의 3도선식 유수송선으로서 시험재는 중앙횡단면부의 상갑판에서 채취되었다. 모재 피로시험편은 표면을 연삭가공하였으며, 용접부 시험편은 부식공 등 원판표면상태를 그대로 유지하였다.

2.2 실험방법

피로시험시의 응력파형은 Sine 파형으로 하였으며 응력비는 $R=-1$ 로 하중속도는 15-20Hz 사이로 하였다. 원판표면상태 그대로인 시험편의 두께는 Point형 마이크로미터와 버니어캘리퍼스로 전 평행부에 걸쳐 가로, 세로 각각 4mm 간격으로 측정하여 시험편의 두께분포를 얻었다.

3. 실험결과

3.1 모재평활 시험편의 피로강도

시험모재는 화학성분과 기계적성질 시험 결과 KR 강재구분 RD급 상당재였다.

Fig.1은 모재평활시험편의 피로시험 결과를 회귀해석한 선도를 편대수좌표상에 나타낸 것이다. 또한 그림상에 비교를 위해 본 시험재와 동급인 강재의 피로강도 선도($R=-1$)와 피로강도의 분산대($R=0$ 에서의 실험결과를 $R=-1$ 로 수정한 것)를 문헌으로부터 인용하여 함께 나타내었다. 그림에서 본 실험결과는 인용한 타결과보다 극히 상방에 존재하고 있고, 선도의 기울기도 매

우 완만하게 되어 있다. 탄소강에서 피로한도 이하의 응력을 반복한 후 피로한도 보다도 충분히 큰 응력을 가하더라도 재료는 파단하지 않는 Coaxing 효과가 발생하는 사실은 잘 알려져 있다. 선박의 수명을 20년으로 보는 경우 선박의 생애 동안 받게되는 피로하중의 누적빈도수는 약 10^8 으로 된다. 따라서 본 시험재를 채취한 선박의 사용년수를 고려하면 약 2×10^8 회에 이르는 변동하중을 받은 것으로 되고 이로 인해 곡싱효과가 본 실험에 반영되어 타연구결과보다 높은 피로강도가 나타나는 것이라고 판단된다.

3.2 용접부 시험편의 피로강도

1) 용접부 시험편의 탄성FEM 해석

Fig.2는 용접부를 탄성해석하기 위해 채용된 시험편(Fig.5의 화살표시 시험편)의 해석대상면 형상을 이상화시킨 해석모델을 나타낸 것이며 Fig.3은 용접부 이상화모델의 요소분할을 나타낸 것이다. 이때 최소 Mesh의 크기는 0.1mm 이었고, 총요소수 814, 총절점수 484로 하여 평면 변형을 및 균일인장조건으로 해석을 실시하였다.

Fig.4는 FEM 해석을 행하여 얻은 주목영역의 탄성응력집중계수(K_t)를 나타내고 있으며 해석결과 용접 Toe 부에서의 응력집중이 가장 크게 나타났다.

Fig.5는 용접부 시험편의 피로시험 결과를 모재의 피로수명곡선과 비교하여 나타낸 것이다. 그림에서 ●는 용접결합에서 균열이 개시하여 최종파단된 결과이며, ○는 용접부로 부터 어느정도 떨어진 얇은 판재의 모재 최소두께부에서 파단이 발생한 결과이다. 본 용접부 형상과 같은 시험편의 경우 파단은 용접 Toe 부에서 발생하는 것이 일반적이고 Fig.4의 탄성해석 결과에서도 배면 Toe 부에서의 응력집중계수가 가장 크게 나타났지만 본 실험에서는 Toe 부에서 파단이 발생한 시험편은 없었고 용접결합이 없는 경우 모두 요철을 가진 모재 부식표면부의 여러 곳에서 균열이 발생 전파하여 최종파단에 이르렀다. 또한 용접부 시험편의 피로강도는 모재 평활시험편의 그것에 비해 상당히 낮음을 알 수 있다.

이상의 결과로 부터 용접부 시험편의 피로강도의 저하는 용접부 고유의 형상으로 인한 응력집중보다는 부식에 의한 단면적의 감소로 인한 1차 응력의 상승과 모재쪽의 부식공 등 불규칙한 요철을 가진 표면부에서의 응력집중에 의한 것으로 판단된다.

4. 결 론

- 1) 본 시험재의 평활시험편의 피로강도는 동급의 강종에 대한 기존의 연구결과에 비해 높게 나타났다. 이러한 결과는 본 시험재를 채취한 선박의 사용기간 동안 받은 하중이력에 의해 시험재에 곡싱효과가 나타났기 때문이라 판단된다.
- 2) 판재간에 두께차가 있는 용접부 시험편의 피로파단은 대부분 얇은 판재모재부에서 발생하였고, 이것은 부식공 등 불규칙한 표면으로 인한 국부적인 응력집중의 발생때문이라 판단된다.
- 3) 용접부에 하중축과 거의 직각방향으로 슬래그 혼입의 용접결합이 존재하는 시험편에서의 피로 파단은 용접결합에서 발생하였다.

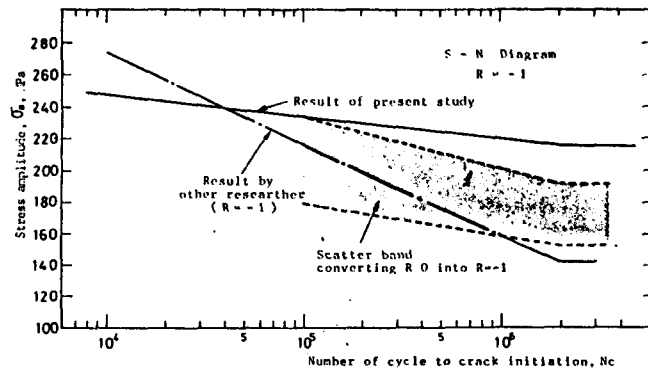


Fig.1 S-N diagram of base metal

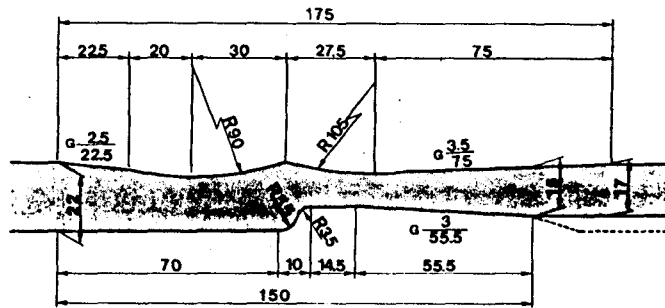


Fig.2 Idealization of welds

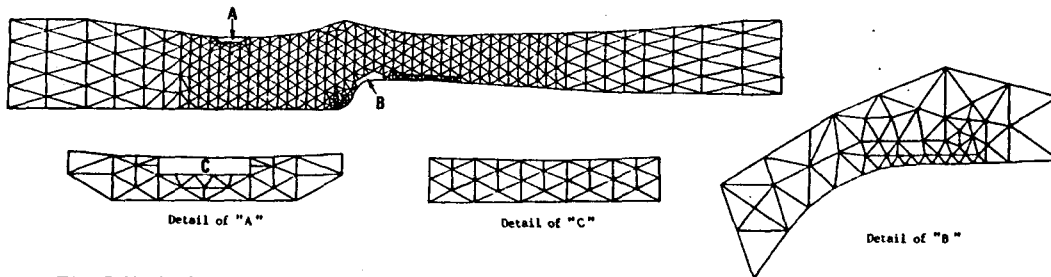


Fig.3 Mesh division of welds

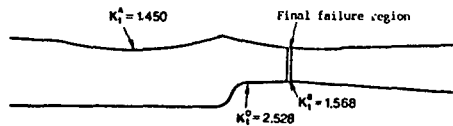


Fig.4 Elastic stress concentration factor

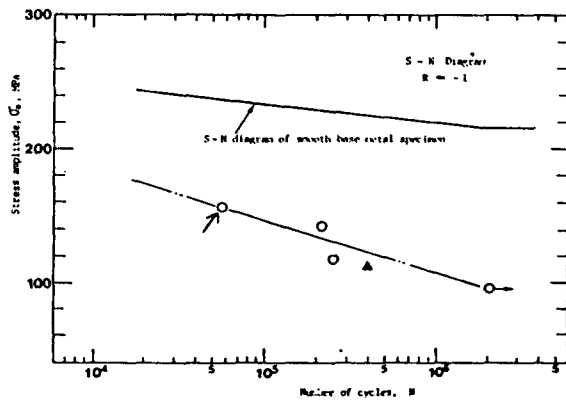


Fig.5 Comparison of fatigue strength