스켈롭 반경에 따른 보강재 용접부의 피로수명

(Effect of Scallop Radius on Fatigue Life of Stiffener)

황주환, 김현수, 윤중근
현대 중공업(주), 산업기술연구소

1. 서 론

용접구조물에 있어 구조적 안전성을 확보하기 위하여 많은 보강재들이 사용되며, 이들은 적용 부위에 따라 필렛용접이나 부분 혹은 완전용입 용접에 의하여 제작된다. 보강재의 용접선이 인접된 구조부재 용접선과 교차되는 경우 교차용접부가 발생하게 되는데, 일반적으로 교차 용접부에서는 결함의 발생 율이 높기 때문에 이를 방지하고자 보강재에 스켈롭을 부여함으로써 교차 용접부를 배제하고 있다. 스켈롭 시공에 있어 그 크기를 결정하는 방법은 구조 역학적 검토를 통해서 결정되어야 하나 작업의 효율성이나 기존 규정을 답습하는 것이 보편적이다. 그러나 최근 실 구조물 예컨대 선체의 slot 부나 girder 에 있어 보고되는 피로손상의 대부분은 보강재의 스켈롭 용접부에서 발생되고 있으므로, 스켈롭 부에서의 구조역학거동 특히 구조적 응력집중에 대한 이해가 필요하다. 이를 토대로 보강재 특히 스켈롭부위에서의 피로수명을 향상시킬 수 있는 대책을 수립하여야 한다.

본 연구에서는 스켈롭 반경에 따른 보강재에서의 응력분포 및 피로수명의 변화를 평가함으로써 보강재 스켈롭 용접부에서의 피로수명을 향상시킬 수 있는 대책을 수립하고자 하였다. 이를 위하여 비하중 전달형 보강재 구조부를 모델로 하여 유한요소법으로 보강재에서의 응력분포를 해석하였다. 해석시 고려된 하중조건은 두 가지로, 단순 인장하중과 인장과 굽힘이 동시에 작용하는 조건이었다. 해석 결과의 검증 및 피로수명을 평가하기 위하여 단순 인장하중하에서 정·동적 실험을 실시하였다.

2. 해석 및 실험 방법

응력해석은 NISA II를 사용하여 Fig. 1 (a)와 같은 시편을 대상으로 모델링을 실시하였는데, 용접부를 고려하여야 하는 경우 solid 요소가 가장 적합하나 이는 계산시간이 너무 긴 것이 단점이다. 이에 따라 계산시간이 짧은 shell 요소를 사용하고자 solid 요소를 사용한 해석 결과를 기준으로 하여, shell 의 node 수와 두께에 대한 검토를 일차적으로 실시하여 용접부 두께를 고려한 4 node shell 요소를 선정하였다. 이에 따라 Fig.1 (a) 를 plane stress 3D shell 요소를 사용하여 최소 요소 크기 1.5×1.5mm로 Fig.1 (b) 와 같이 모델링을 실시하였다. 해석시 고려된 스켈롭 형상 변수는 스켈롭 높이 (H=75, 45mm) 와 스켈롭 반경(R=25~100mm) 이었다.

Fig.1 (a)의 시편은 각장 4mm의 필렛용접으로 제작하였으며, 사용된 강재는 연강이며, 주판과 보강재의 폭은 100mm이며, 각 각의 두께는 10 과 6mm, 길이는 300 과 125 mm 이었다. 스켈롭 부에서의 응력집중을 평가하기 위하여 5개의 strain gauges

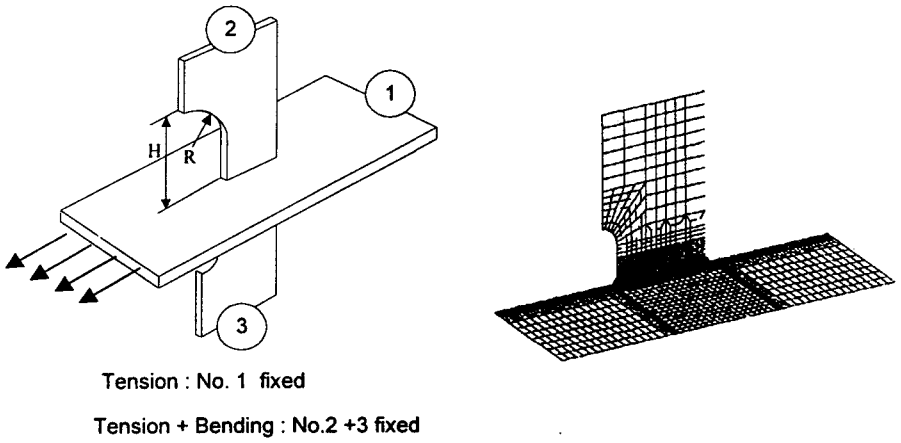

Fig.1 (a) 해석 대상의 비하중 전달형 보강재 구조, (b) 모델 형상

를 Fig.1 (a) 의 스켈롭 용접부 선단에서 약 2.5 mm 떨어진 위치부터 등간격으로 하중방향과 평행하게 부착하여 주판의 공칭응력이 10kg/mm^{2}하에서 strain 을 계측하였다. 피로시험은 주판의 공칭응력이 최대 10 과 15 kg/mm^2 이 적용되도록 설정하고, R=0.1인 반복하중으로 실시하였다. 본 연구에서 고려한 피로수명은 발생된 피로균열의 표면길이가 10 mm 인 경우의 싸이클 수이었다.

3. 결과 및 고찰

보강재 구조에서의 응력 분포를 살펴보면, 하중조건에 관계없이 주판이나 보강재 자체에 작용되는 응력은 매우 낮으나 구조적 형상이 변경되는 보강재 하부의 양단 용접부에 응력흐름이 집중되어 높은 값을 가지게 된다. 이에 따라 보강재 하부의 양단 용접부에서의 응력이 보강재 구조에서 최대 응력 값이 되며 양쪽에서의 응력값 차이는 거의 없다. 최대 값인 보강재 양단 용접부 즉 용접 toe 에서의 응력값을 주판에 작용되는 공칭응력으로 나누면 응력집중계수를 얻을 수 있다.

응력집중계수는 스켈롭 형상과 하중조건에 의존하게 되는데, Fig.2 (a)는 이에 따른 보강재 하부의 양단 용접부중 스켈롭 선단 용접 toe에서의 응력집중계수 변화를 도시한 것이다. 동일한 하중 조건에서는 스켈롭의 반경(R)이 증가할수록 스켈롭 선단 용접 toe에서의 응력집중계수 값이 감소된다. 그러나 응력집중계수에 미치는 스켈롭 높이(H)의 영향은 거의 없다. 스켈롭 선단 용접 toe에서의 응력집중계수 값은 Fig.2 (a)에서 보여 주듯이 외부 하중조건에 의해서도 영향을 받는데, 보강재에 인장하중만 작용한 경우에 비하여 인장과 굽힘이 동시에 작용한 경우 응력집중계수의 값이 높다.

보강재 구조에서의 피로균열은 응력집중이 큰 보강재의 하부 양단 용접부 용접 toe 에서 발생하여 주판의 두께 방향으로 전파되어 파단된다. 본 실험에서는 양단 용접부에서 피로 균열 발생확율은 거의 동일하였다. 이에 따라 보강재 구조에서 피로 수명은 보강재의 하부 양단 용접부에 작용되는 응력집중 정도에 지배를 받게 된다. 스켈롭의 반경이 큰 경우가 Fig.1 (b) 에서 보여주듯이 응력집중정도가 적기 때문에 피로수명이 크다는 것을 Fig.2 (b) 에서 보여 주고 있다. 한편 응력해석 결과에서는 스켈롭의 높이는 응력집중정도에 큰 영향이 없었으나 피로시험결과를 보면 높이가 적은 경우 피로수명이 다소 낮음을 알 수 있다.

4. 결 론

1. 보강재 구조에 있어 하부 양단 용접부에 최대응력집중 현상이 발생되며, 응력집중계수는 스켈롭 반경이 증가할수록 감소된다.

2. 보강재 구조에서 피로균열은 합 양단 용접 toe에서 발생되며 주판의 두께방향으로 전파되며, 피로수명은 스켈롭 반경이 증가할수록 증가된다.

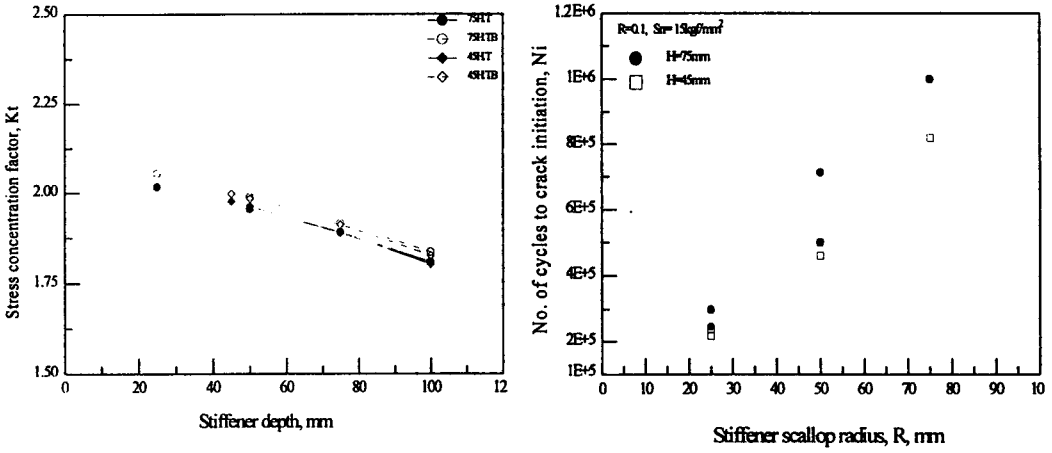

Fig.2 스켈롭 반경에 따른 (a) 스켈롭 선단 용접 toe 에서의 응력집중계수 및 (b) 보강재 구조부의 피로수명 변화