

형상에 따른 보강재의 강도특성

(Geometric effect on the strength of a stiffener)

김 현수, 박 동환 (현대중공업(주), 산업기술연구소)

H.S Kim, D.H. Park
(Hyundai Heavy Ind. Co., Ltd., Industrial Research Institute)

1. 서론

선박에 있어서 최근 보고된 손상들의 대부분은 선박의 구조적 강도부족에 기인된 것이 아니라 구조부재의 연결부 즉, 용접부에서 발생하는 피로 균열들이다^(1,2). 이같은 균열들은 선박의 엔진이나 프로펠라등에서 발생하는 진동에 의한 용접결합의 성장이나 구조부재의 형상학적 불연속으로 인한 응력집중으로 발생된다. 그 발생 위치는 주로 구조적 응력집중부로서 hull 구조, 선미구조 및 기관실 근처의 tank 외벽을 형성하는 transverse web 이나 보강재 등이다. 이러한 균열들은 화물에 의한 정적하중, 파도에 의한 동적하중 및 선박의 진동 등의 복합적인 반복하중에 의하여 발생 및 진전하게 된다.

본 연구에서는 보강재에서의 피로수명을 향상시키기 위하여 snipped end 보강재를 대상으로, web 및 flange 형상등을 변화시켜 형상에 따른 보강재의 정적강도 특성 특히, 보강재 선단부에서의 응력집중 정도를 조사하였다. 보강재의 정적강도 특성은 FEM (Finite Element Method) 에 의한 해석과 정적실험을 통하여 평가하였으며, 실제 피로균열은 보강재 선단 용접부에서 발생되므로 용접부 형상에 의한 응력집중현상도 동시에 고려하였다.

2. 응력해석 및 실험

본 연구에 고려된 보강재의 형상은 flange 와 web 이 snip 된 'A' type, web 만이 snip 된 'B' type 그리고 'A' type 의 web 에 곡률 300R 부여한 'C' type 등의 3가지 종류이었다. FEM 해석을 위하여 Fig.1 에 나타낸 바와 같이 시편형상의 full scale 로 모델링하고 평면응력 isoparametric shell 요소를 사용하여 총 요소수 970으로 분할하였으며, 예상되는 구조적 응력집중부위에서의 최소 요소 크기는 4 x 4 mm로 하였다. FEM 해석은 보강재 형상 자체 및 보강재 선단에 용접각장이 5mm 이고 용접 toe 부의 각도가 45°인 용접부를 포함한 보강재형상에 대하여 나누어 실시하였다. 이는 보강재 선단부에서 피로균열은 구조적인 응력집중과 용접부에 의한 국부적 응력집중의 중첩에 의해 발생되므로 이를 즉, 용접부형상에 의한 응력집중을 계산하기 위함이다.

보강재에서의 응력분포를 평가하기 위하여 일반 연강과 구조용 부등변 앵글형강을 fillet 용접하여 각 형상의 보강재를 제작하였으며, 사용된 용접재료는 S-4301 (최저 인장강도 46 Kg/mm²) 이었다. 연강과 부등변 형강간의 fillet 용접부의 각장은 4 mm 로, 보강재선단의 용접부의 각장은 5 mm 로 하였다. 시편과 시험기간의 연결은 양단에 원형 flange를 용접하여 부착한 후 flange 내의 hole을 통하여 bolting하였다. 보강재에서의 응력분포는 보강재 주위에 strain gage들을 부착하여 외부하중에 따른 각 부위의 응력값 변화를 계속함으로써 평가하였다.

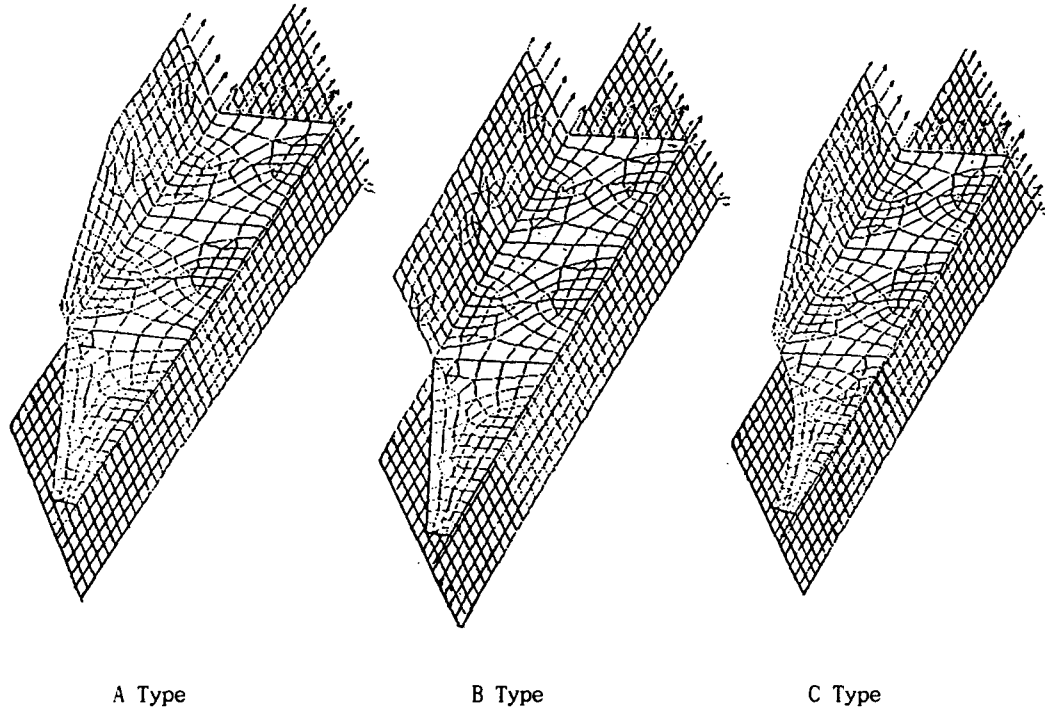


Fig. 1 Finite element mesh for each stiffener

3. 결과 및 고찰

3.1 Finite Element Method (FEM)에 의한 해석

각 보강재에 대한 구조해석 결과 얻어진 각 형상별 최대 응력집중 계수 및 위치를 Table 1 에 나타내었다. Table 1 에서의 'WD-Stiff.'란 FEM 해석시 용접부를 고려한 경우를, 'Stiff.'란 용접부 고려없이 보강재의 형상만으로 FEM 해석된 것을 의미한다. 또한 'End'는 보강재의 선단을, 'Toe'는 용접 toe 를 의미한다.

FEM 해석시 용접부를 고려하지 않은 경우, 최대응력집중은 Table 1에서 보여 주듯이 보강재의 형상에 관계없이 보강재의 선단에서 발생되었으나 응력집중의 정도는 형상에 의존되고 있다. 즉, 각 형상에 따른 응력집중 정도는 'C' type 이 가장 적으며 'A' 와 'B' type은 동일하다. 이와 같은 응력집중 경향은 용접부를 고려한 FEM 해석의 결과에서도 동일하게 관찰되었으나, 두께의 표면부의 경우에만 최대응력이 집중된 위치는 보강재 선단에서 약 20mm 정도 떨어진 곳으로 평가되었다.

Table 1 Stress concentration factor (Kt) for each stiffener

TYPE	A		B		C	
	LOCATION	Kt	LOCATION	KT	LOCATION	Kt
Stiff.	End	3.8	End	3.8	End	3.1
WD-Stiff.	End 20mm	3.88	End20mm	3.88	End 20mm	3.7

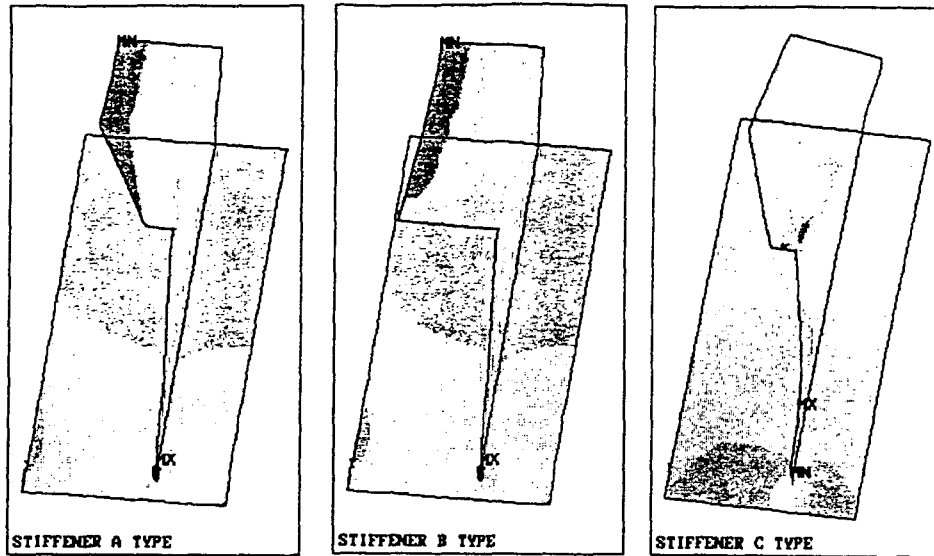


Fig.2 Bending moment distribution of each stiffener

보강재에서의 최대 굽힘 moment는 두께의 표면과 이면해석의 경우 용접부의 존재 유무 및 보강재의 형상에 관계없이 보강재 혹은 용접부의 선단부에서 작용되었다. 그러나 두께 중심부 해석의 경우에는 보강재의 형상에 따라 최대 굽힘 moment가 작용되는 위치는 변화되었다. Fig.2에서 보여주듯이 'A'와 'B' type은 보강재 혹은 용접부의 선단부에서 최대 굽힘 moment가 작용된, 반면 'C' type에서는 곡물의 web 면에 최대 moment가 작용되고 있다. 이와 같이 최대 굽힘 moment의 위치가 보강재의 선단부에서 web 상으로 이동되기 때문에 'C' type에서 가장 적은 응력집중현상이 발생되었다고 판단된다.

3.2 실험에 의한 정적강도평가

Fig.3에 각 보강재에서 측정된 응력 분포를 도식적으로 나타내었다. 각 보강재에 대한 전체적인 응력의 분포를 살펴보면, plate에 작용하는 응력은 보강재의 상단에서 하단부로 갈수록 증가하며, plate side에서 web의 용접부로 접근됨에 따라 상단에서는 감소하고 하단부로 갈수록 증가하고 있다. 또한 web에서는 중심부에서 가장 응력이 높고 flange와 plate 쪽으로 갈수록 감소하며, 하단으로 갈수록 증가하고 있다. Flange에서의 응력분포도 web과 유사한 경향을 보이고 있다. 한편 Fig.3에 도시된 plate 전반에 작용되는 평균응력은 nominal stress의 약 2.3-2.5 배 정도로 높는데, 이는 구조적형상에 기인된 응력집중효과라 판단된다.

Table 2에는 실험 (strain gage)에 의해 평가된 응력집중계수와 strain gage 위치에 의한 FEM으로 해석된 응력집중계수를 함께 나타내었다. 각 보강재 형상에 따른 응력집중 변화는 실험이나 FEM 해석으로 동일하게 예측할 수 있으며, 용접부를 고려한 FEM 해석이 보다 실험값에 근접되고 있음을 알 수 있다. 따라서 용접부 형상이 균일한 경우 'C' type의 보강재가 구조적 측면에서 응력집중이 다른 형상에 비하여 완화되었으므로 피로수명이 가장 우수하리라고 판단된다.

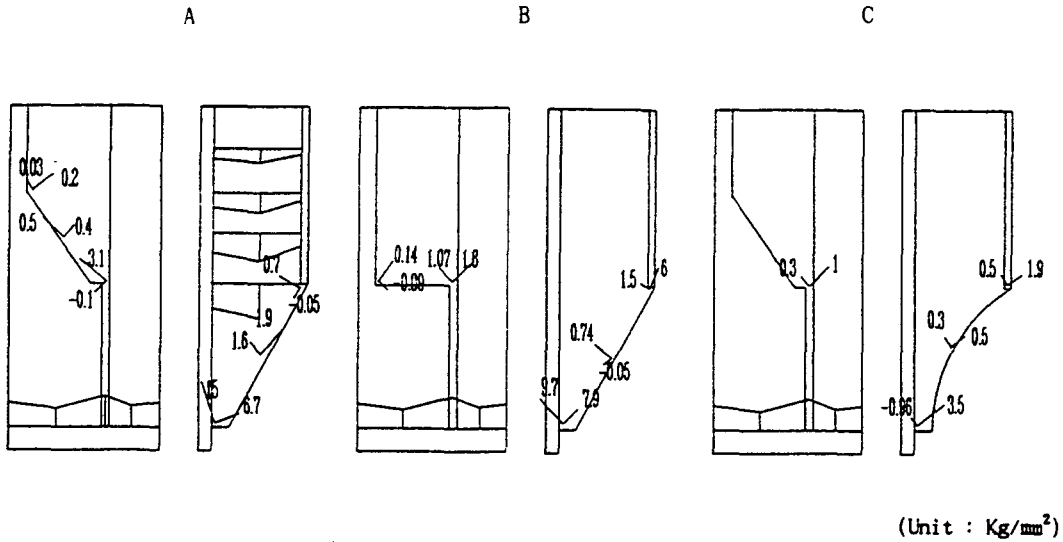


Fig.3 Stress distribution of each stiffener

Table 2 Comparison of stress concentration factor at the region 5mm away from the end of each stiffener between experimental result and FEM analysis

TYPE		A	B	C
FEM	Stiff.	3.12	3.12	3.05
	WD-Stiff.	3.21	3.21	2.72
Experiment		3.40	3.40	2.65

4. 결 론

보강재의 피로수명을 향상시키고자 snipped end stiffener를 대상으로 형상변화에 따른 보강재의 정적강도 특성을 FEM 해석과 실험을 통하여 평가하였다.

- 1) 보강재의 정적강도 특성은 보강재의 형상에 의존되며, 보강재 선단에서의 응력집중 정도는 web 형상변화에 크게 영향을 받는다.
- 2) 실 보강재의 정적강도 특성은 보강재형상 자체만 고려한 FEM해석 보다는 용접부를 포함한 FEM 해석의 결과와 더욱 일치한다.

Reference

- 1) D.N.V rules for ship. Part.3 (1992)
- 2) "MOSS방식 LNG탱크의 파괴안전성평가" : 한국선급 (1992)