

함정용 배전반의 피로강도 증대 효과에 관한 연구

A Study on the Fatigue Strength Improvement of Electrical Panels in Naval Vessels

김명현*, 강성원*, 강민수*

* 부산대학교 조선해양공학과

1. 서 론

선박의 기능수행에 있어서 중추적인 역할을 담당하고 있는 함정 탑재용 전기·전자 장비 구성 부재는 선박의 운항에 있어 파랑 및 기관 기진력으로부터 전달되는 지속적인 반복하중을 받게 되며, 육상용 장비와는 달리 선체 구조에 탑재되어 충격에 노출된 경우뿐만 아니라 지속적인 진동 및 피로하중에 노출되어도 작동 하여야 하는 특징을 가지고 있다.

본 연구에서는 선박용 전장 패널에 있어 응력이 집중되는 기하학적 불연속부 및 용접부에 있어서 최적화된 bracket 형상을 바탕으로 약 3~4 배 정도 피로수명 향상을 기대할 수 있는 것으로 알려진 burr-grinding을 이용한 표면처리 방법과 용접후열처리 (Post Weld Heat Treatment, PWHT) 방법을 적용한 시험편에 대하여 피로시험 및 평가와 이 결과를 바탕으로 피로수명 향상에 대한 정량적 비교를 통하여 선박 및 해양구조물의 피로설계에서의 적용가능성을 검토하고자 한다.

2. 주요 부위 파단 모습

함정용 탑재장비의 내진성능 기준인 MIL-STD-167-1을 적용하여 전장반 패널에 대하여 실시한 진동시험 중 일부 bracket 부위에서 파단된 모습을 Fig. 1에 나타내었다.

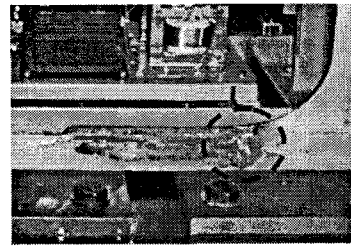


Fig. 1 Photo of crack

3. 용접부 형상 변화를 통한 개선

전장반의 구성 유닛을 1m×1m의 단순화된 frame으로 모델링하고 기존에 사용되고 있는 bracket의 형상을 변화시켜가며 Fig. 2와 같이 프레임의 각 부분에 삽입하여 해석을 수행하였다.

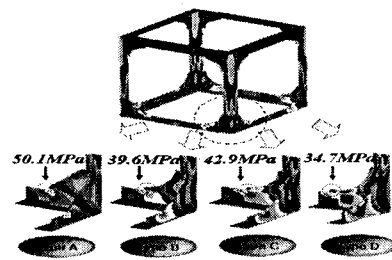


Fig. 2 FEA result for idealized frame

Type A는 bracket의 상부가 직전으로 뺀 형상이며, Type B는 bracket의 상부를 곡선으로 처리하였으며, type C는 Type B에서 끝단을 곡선으로 하였다. 마지막으로 Type D는 Type C에서 bracket의 하단부위를 일정거리 연장하였다. 이는 응력집중부의 응력이 bracket의 형상에 민감하게 반응하여 변화함을 보여 준다.

4. 시험 절차

4.1 시험편 형상

본 연구에 사용된 시험편은 Fig.3 과 같이 앞선 case study를 통한 최적화된 형상이며, Table 1에 시험편의 상세 치수를 나타내었다.

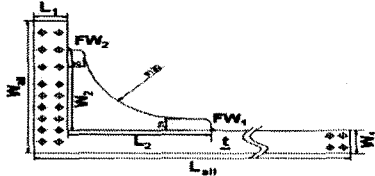


Fig. 3 Dimension of test specimen

Table 1 Specimen size (unit: mm)

L _{all}	L ₁	L ₂	W _{all}	W ₁	W ₂	FW ₁	FW ₂	t
592	40	170	230	40	140	5	5	4.5

4.2 용접 후열처리

피로강도를 증가시키고 잔류응력을 제거하기 위해 열처리를 하였으며 Table 2에 ASME와 BS5500¹⁾에서 규정하고 있는 PWHT의 조건을 나타내었다. 본 연구에서는 Table 2의 규정을 기준으로 하여 열처리 가열 온도와 유지시간을 결정하였다.

Table 2 PWHT condition

탄소강의 두께 1mm당 최소유지 시간	ASME : 15~ 30분
	BS 5500 : 60 분
탄소강의 PWHT 온도에 관한 규격의 비교	ASME :595~675℃
	BS 5500:600±20℃

4.3 Burr -grinding

본 연구에서는 피로강도를 향상시키고 용접부 형상을 개선시키는 방법 중에서 burr-grinding 방법을 사용하였으며 Fig. 4에 grinding 가공된 용접토우부 모습을 나타내었다. 또한, Table 3과 Fig. 5에서는 IIW recommendation에서 규정한 burr-grinding 방법과 허용치수를 각각 나타내었다.

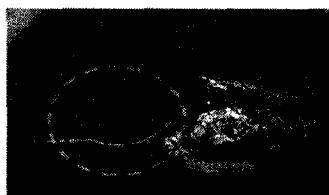
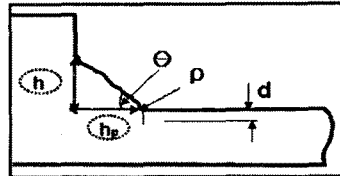


Fig. 4 Ground specimen

Table 3 Condition of improvement method

Thickness of Plate	Diameter of Tip	Speed	Air pressure	Travel speed
10 ~50mm	10~25mm	15000~40000 rpm	5~7 bar	15~20 mm/sec



Burr grinding	
●	t= 10~15mm: Minimum Depth (d)=0.5mm
●	t > 15mm : Minimum Depth (d)=1.0mm
●	Maximum Depth (d) =2.0mm or 5%t (t: plate thickness)

Fig. 5 Specification of depth base metal (IIW recommendation)

5. 유한요소 해석

5.1 유한요소 해석

피로 시험에 앞서 각 시험편에 대해 상용 유한요소해석 프로그램을 이용하여 shell 4-node의 요소로 응력 해석을 수행하였다. Fig. 6과 같이 PWHT 시험편 및 burr-grinding 시험편에 대하여 유한요소해석을 수행하여 토우부 끝단에서부터의 응력변화 값을 나타내었다.

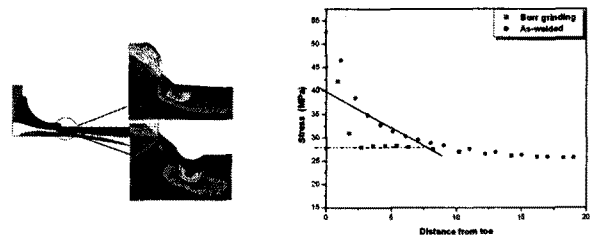


Fig. 6 FEA result Stress distribution and along distances from the weld toe

5.2 핫스팟 응력

본 연구에서는 여러 가지 핫스팟 응력의 산출 방법 중 선급에서 주로 사용되는 방법을 이용하여 부재두께의 0.5t 및 1.5t (t=두께)에서 외삽한 값을 통해 핫스팟 응력을 구하였다.

결과는 burr-grinding 된 시험편의 핫스팟 응력이 26 MPa로 나타나 As-welded된 시험편의 핫스팟 응력 40 MPa에 비교하여 약 35% 정도의 응력이 완화된 것으로 나타났다.

6. 피로시험 및 결과

본 연구에서 피로시험은 외팔보 형식의 굽힘 시험기를 사용하였으며, 피로시험은 정현파를 이용한 변위제어를 이용하여 시험하였으며, 응력비 = -1 및 주파수=30Hz의 조건으로 피로 실험을 수행하였다. 또한 시험기는 최대진폭 ±1 inch, 최대 주파수 33Hz에서 시험이 가능하며, 실제 시험모습을 Fig. 7에 나타내었다.

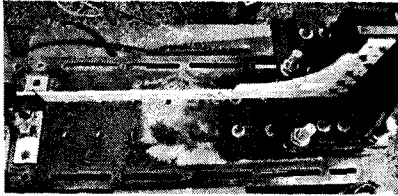


Fig. 7 Cantilever type fatigue test Machine

이렇게 수행된 피로시험 결과를 Fig. 8과 같이 As-welded 시험편의 피로시험 결과와 비교하여 응력범위 (ΔS), 파단수명 (N_f)사이의 관계를 S-N 선도로 나타내었다.

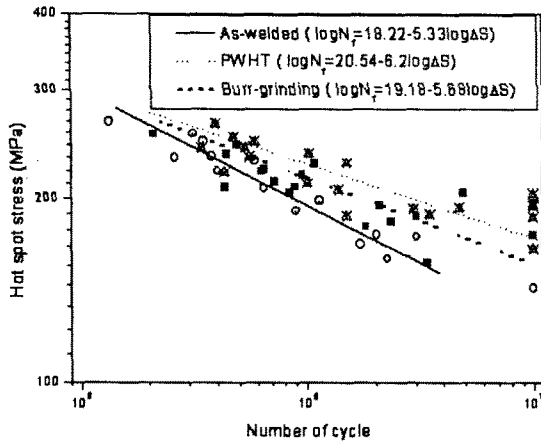


Fig. 8 Improvements of fatigue strength due to burr grinding and PWHT

반복횟수 2×10^6 cycle 기준으로 피로강도를 비교해 보면, As-welded 시험편에 비하여 burr-grinding 된 시험편이 1.14배의 피로강도 향상을 보이며, PWHT 된 시험편이 1.23배의 피로강도 향상을 보였다. 또한 핫스팟 응력 200 MPa 기준으로 피로수명을 비교해 보면 As-welded 시험편에 비하여 burr-grinding 된 시험편이 약 2.04배의 피로수명 향상을 보였으며, PWHT 된 시험편의 경우 약 3.23배 피로수명 향상된 결과를 보였다. 결과를 정리하여 Table. 9에 나타내었다

Table 9 Improvements of fatigue strength and life due to burr grinding and PWHT

	As-welded	Burr grinding	PWHT
Fatigue strength	1.0	1.14배	1.23배
Fatigue life	1.0	2.04배	3.23배

7. 결 론

1) 본 연구에서는 선박용 전장 패널에 있어 응력이 집중되는 기하학적 불연속부 및 용접부에 있어서 최적 bracket 형상 도출을 위한 피로강도 시험 및 해석을 수행하였고, 이에 용접후처리 기법을 적용하여 향상된 피로강도 및 피로수명을 평가해 보았다.

2) As-welded 시험편의 피로시험 결과와 용접후처리를 통한 피로강도 및 피로수명 향상을 꾀한 시험편을 피로선도에 적용하였을 때 As-welded 시험편에 비하여 용접후처리 된 시험편의 피로수명 및 피로강도가 상당부분 향상된 결과를 보이는 것을 알 수 있었다.

후 기

이 연구는 한국과학재단의 첨단조선공학연구센터 및 산업기술재단 지역혁신인력양성사업의 지원으로 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 대한용접학회, "용접·접합 편람(I)" pp. 403-409.
2. 김명현, 최재영, 강성원, 정지영, "합정용 배전반의 피로강도 향상을 위한 프레임 브래킷의 최적설계", 대한조선학회 논문집, pp. 206-212, 2006년 4월
3. 서승일, 손건호, 박명규, 2002, "합정의 최적 구조설계에 관한 연구", 대한조선학회논문집, 제39권 제1호, pp. 100-112
4. A. Almar, "FATIGUE HANDBOOK", TAPIR, pp. 259-285, 1985.
5. S. W. Kang, Y. W. Kim, W. S. Kim and D.H. Kim. "A study on the fatigue strength improvement using weld toe burr grinding", Proceedings of KWS, 2005, 256-258(in Korea)