

용접토우부의 그라인딩에 의한 피로강도 증대효과에 대한 연구

A Study on the Fatigue Strength Improvement using Weld Toe Burr Grinding

안정호*, 강성원*, 김명현*, 김화수**, 백영민**

* 부산대학교 조선해양공학과

** 현대중공업 조선구조설계부

1. 서 론

구조물의 용접부 및 피로 손상부의 수리 및 보강을 수행할 경우, 피로수명을 향상시키기 위해서 그라인딩 (Grinding), 샷피닝 (Shot peening), 햄머 피닝 (Hammer peening) 등 다양한 표면처리 방법 등이 사용되고 있으며, 이들 중 용접비드나 스파터를 절삭 혹은 그라인딩 작업을 통해 매끈하게 다듬는 작업은 피로강도를 향상시키는 데 효과적인 것으로 알려져 있다. 이는 그라인딩에 의한 결함제거 효과 및 토우부 형상을 변화시킴에 따라 응력집중을 줄이는 효과 등에 기인한다 [1].

일반적으로 용접토우부에 있어서 균열이 발생·전파에 의한 파손이 일어나는 경우, 특정 범주의 용접부에 있어서 용접토우부 그라인딩을 통해 약 3.4배 정도의 피로수명 향상을 기대할 수 있는 것으로 알려져 있으나, 이는 용접부의 형상 및 하중모드 등에 따라 현저히 달라진다 [4]. 근래 선박구조 용접부에 있어서 피로수명 향상 기법에 대한 많은 관심을 가져왔으나 용접토우부의 형상수정에 대한 기준이나 피로강도 향상 효과에 대한 정량적 평가 자료는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 Fig. 1과 같은 시험편 모델에 대하여 필릿 용접토우부를 그라인딩 한 경우에 대한 피로시험을 수행하고, 같은 형상의 모델에 대한 피로시험 결과와의 비교 검토를 통해 토우부 그라인딩에 의한 피로강도 및 피로수명 증대효과를 정량적으로 파악하고자 한다 [2].

2. 시험절차

2.1 시험편형상

본 연구에 사용된 시험편은 선박구조물에 적용되는 선박구조용 연강 (Grade 'A')으로 여러 가지 용접 이음부 중 피로손상이 많이 발생할 것으

로 추정되는 형태의 시험편 모델에 대하여 필릿 용접토우부를 Burr grinding 하였다. 재료의 화학적 성분 및 기계적 성질은 Table 1과 같고 시험편의 용접조건은 Table 2와 같다 [3].

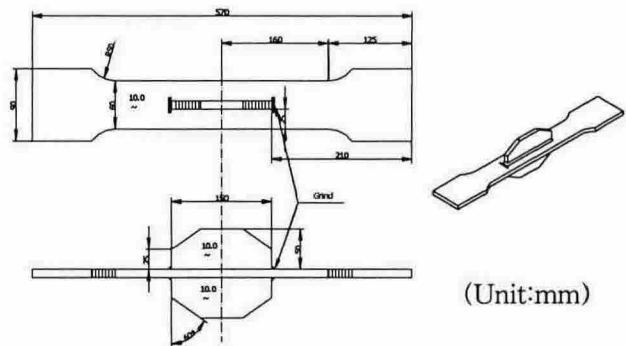


Fig. 1 Dimension of test specimen

Table 1 Chemical composition and mechanical properties

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)
0.13~0.17	0.15~0.18	0.46~0.65	0.012~0.019
		Yield Stress (MPa)	Ultimate Strength (MPa)
		Elongation (%)	
From Mill Sheet	299~336	441~468	28~30
From Tensile Test	290~299	427~457	34~36

Table 2 Welding condition

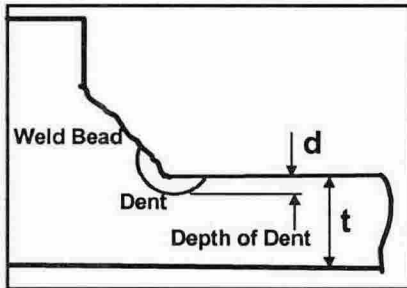
	Current	Voltage	Speed	Method
Welding	250A	26V	30cm/min	FCAW

2.2 Burr grind (IIW recommendation)

본 연구에서는 피로강도를 향상시키는 여러 가지 방법 중 용접부 형상을 개선시키는 방법 중에서 비교적 작업 처리가 용이한 Burr grinding 방법을 사용하였다. Table 3과 Fig. 2에서는 IIW recommendation에서 규정한 Burr grinding 방법과 허용치수를 각각 나타내었다 [4].

Table 3 Condition of improvement method

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



Burr grinding	
• T = 10~15mm,	Min. Depth = 0.5mm
• T > 15mm,	Min. Depth = 1.0mm
• Max. Depth = 2.0mm or 0.5%t	(t: Plate thickness)

Fig. 2 Specification of depth of dent of base metal (IIW recommendation)

2.3 정하중시험

피로시험에 앞서 시험편에 응력이 적절히 작용하는지 확인하기 위하여 용접토우부 가공면 (응력집중부)으로부터 5mm 떨어진 곳에 1축 5mm 스트레인 게이지를 4개 부착하여 정하중시험을 실시하였다. Fig. 3에서는 시험편에 대하여 스트레인 게이지를 부착한 위치를 나타내었으며, 하중을 단계적으로 증가시켜 시험편에 걸리는 응력을 나타내었다.

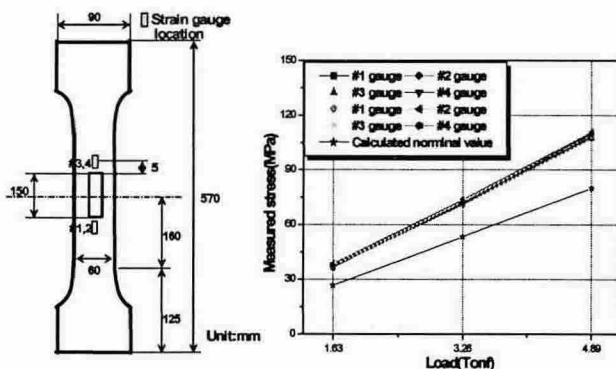


Fig. 3 Schematic for strain gauge locations and stress measurements at various loadings

3. 피로시험

3.1 피로시험 방법

본 연구에 사용된 피로시험기는 최대용량 ±20

ton인 축인장 압축 유압서브 피로시험기이며, 피로하중의 파형은 정현파를 채택하였고, 하중반복 속도는 7Hz에서 실시하였다. 하중제어 방식은 응력비 (R)=-1이 되도록 완전 양진하중진폭 피로 시험을 채택하였고 하중, 변위 및 스트레인 값을 데이터 메모리 수집 장치를 이용하여 관찰하였다. 피로시험은 시험편이 완전 파단 될 때까지 실시하였고, 파단 되지 않는 시험편에 대해서는 10⁷cycle 하중 반복수에서 중단하였다.

3.2 초기크랙발생

본 연구에 사용된 시험편에 대하여 피로시험을 실시한 결과 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 용접토우부 가공면 (응력집중부)에서 초기 크랙이 대부분 나타났다. 용접토우부 가공면에서 초기 크랙이 일어나는 현상은 Toe-grinding으로 인하여 단면적이 감소되고, 기하학적 형상이 변하는 부분에서 응력집중현상이 발생하여 초기 크랙이 발생한 것으로 사료된다.

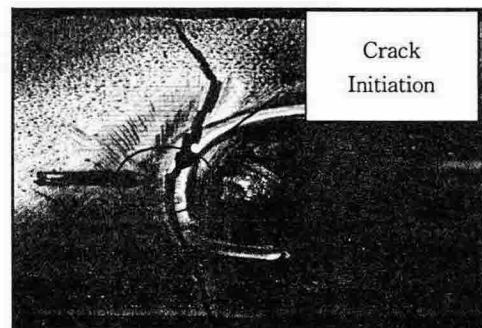
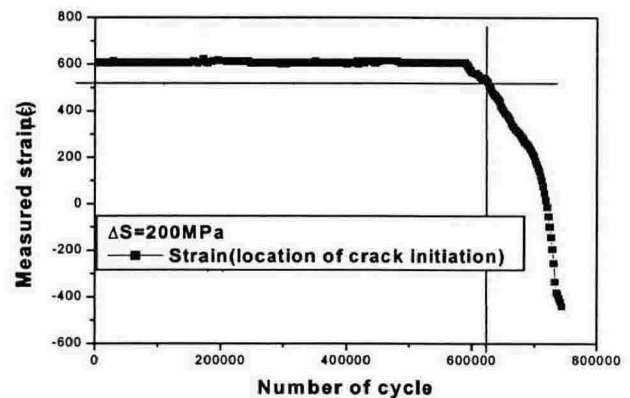
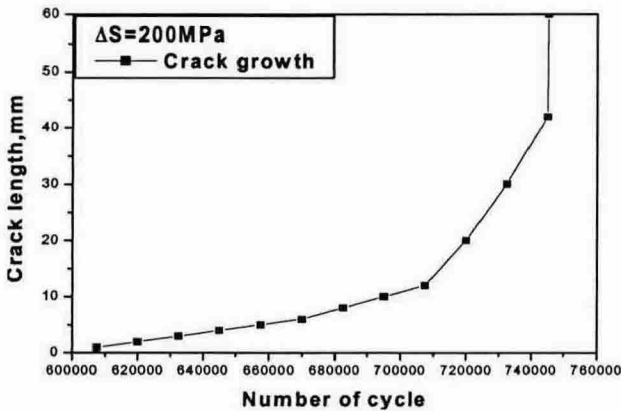


Fig. 4 Picture of failed specimen

피로시험을 수행하는 동안 폭 방향으로 측정된 균열 진전 길이와 초기 균열이 발생한 지점의 용접토우부 가공면에서 5mm 떨어진 지점에 부착한 1축 5mm 스트레인게이지에서 측정된 값을 Fig. 5에 나타내었다.



(a) Strain measurement



(b) Crack growth

Fig. 5 Strain measurement and crack growth

균열 진전은 초기 균열이 발견된 지점부터 서서히 증가하다가 시험편의 폭 방향으로 폭의 2/3 이상 피로 균열 진전 후 급격히 파단에 이르렀으며, 초기 균열 약 (1mm)을 육안으로 발견한 지점과 변형률 계측장비로 측정된 변형률 범위의 5% 하락 시점이 대부분 일치하는 것으로 나타났다.

4. 피로시험결과

As-welded 시험편 15개와 용접토우부 Burr grinding을 실시한 14개의 시험편에 대하여 피로 시험을 실시하였고, Fig. 6에 As-welded와 Toe-grinding 시험편을 비교하여 응력범위 (ΔS), 파단수명 (N_f)사이의 관계를 S-N선도로 나타내었다 [5].

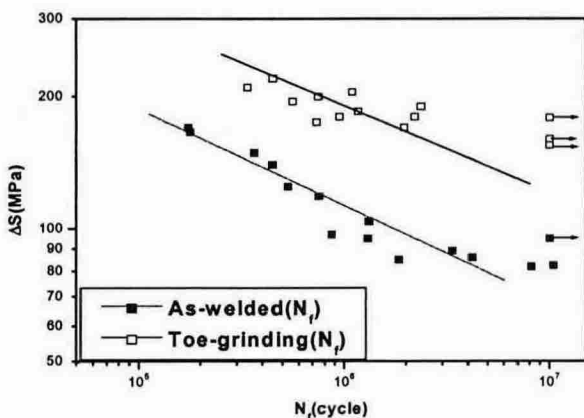


Fig. 6 Comparison of fatigue test results of as-welded and toe-grinding

Fig. 6에 나타낸 바와 같이 그라인딩 효과로 인해 피로강도 및 피로수명이 향상된 것으로 나타났다으며, 피로시험 결과로부터 도출된 피로선도 식은 식 (1), 식 (2)과 같다.

As-welded: $\log N_f = 15.365 - 4.561 \log \Delta S$ (1)

Toe-grinding(N_f): $\log N_f = 17.703 - 5.139 \log \Delta S$ (2)

여기서, N_f : 완전파단수명 (cycle)

ΔS : 공칭응력범위 (MPa)

식 (1)과 식 (2)에 의하면 2×10⁶ cycle에 대한 Toe-grinding 시험편의 피로강도는 165.5 MPa이며, 이는 As-welded 시험편의 피로강도 97.1 MPa에 비하여 약 1.7배 향상된 것으로 나타났다..

5. 결 론

- 1) 본 연구에 사용된 시험편에 대하여 실시한 피로시험을 통해 구한 피로선도 식을 바탕으로 피로강도 및 피로수명의 정량적 향상 효과를 Table 4에 나타내었다.

Table 4 Comparison of improvements by burr grinding

피로강도 (2X10 ⁶ cycle기준)	피로수명 (180 MPa기준)
1.7배	10.8배

- 2) 초기 균열 (1mm)을 육안으로 발견한 지점과 변형률 계측장비로 측정된 변형률 범위의 5% 하락 시점이 일치하는 것으로 나타났다.

후기

본 연구는 현대중공업(주)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사를 표합니다.

참고문헌

1. A. Almar, "FATIGUE HANDBOOK", TAPIR, 1985, pp. 259-285
2. Kirkhope K. J., Bell R., Caron L., Basu R. I., Ma K-T. "Weld detail fatigue life improvement techniques. Part 1: review", Marine Structures, 12 (1999), 447-474.
3. 강성원, 김영욱, 김화수, 김도현, "Padding plate 용접구조의 인장 정하중 이력에 의한 용접잔류응력 변화 및 피로강도에의 영향", 대한조선학회논문집, 제38권 제4호, 2001, pp.78-82.
4. Haagenen P. J., Maddox S. J., "Specifications for weld toe improvement by burr grinding, tig dressing and hammer peening for transverse welds", IIW Commission XIII-Working Group 2, Collaborative Test Program on Improvement Techniques, 1995.
5. 강성원, 한상혁, 김화수, 백영민, "필릿 용접부의 먼 외굽힘하중에 대한 피로강도", 대한조선학회논문집, 제40권 제1호, 2003, pp.28-35.