

# 1mm 가상 노치 반경을 이용한 용접부 피로강도 평가에 관한 연구

## Application of 1mm fictitious notch radius approach to the fatigue strength assessment of welded joint

김 유 일\*, 강 중 규\*, 허 주 호\*

\* 대우조선해양(주) 선박해양기술연구소 구조R&D팀

**ABSTRACT** Fictitious notch radius approach is based on the Neuber's microstructural support hypothesis which assumes that fatigue crack is governed by highly stressed volume of the material right on the weld toe area rather than the surface stress at a pin point of weld toe area. Variety of successes have been achieved in applying this methodology to the fatigue of welded joint, hence, it became one of recommended design procedure in IIW's recommendation as well as many ship classification societies.

1mm fictitious notch radius approach was applied to the various fatigue problems of welded joints in this study covering the effect of weld size, notch stress calculation for 3D geometry and low cycle fatigue problem. It was found that fictitious notch radius approach turned out to be very effective and accurate in dealing with fatigue strength of welded joint.

### 1. Introduction

용접부의 피로강도는 구조부재의 형상에 기인한 응력집중과 용접비드의 존재로 인해 야기되는 노치 응력집중에 의해 지배 받게 된다. 현재의 대형구조물의 피로설계는 구조부재의 형상에 기인하는 응력집중에 초점을 맞추고 있으며, 용접비드에 의한 응력집중은 모든 용접이음에 대해 일정하게 작용한다고 가정되고 있다. 선박이나 해양구조물 같은 대형 구조물을 설계하는 설계자의 입장에서는 현실적인 접근법이라고 할 수 있으나, 이는 실제 구조물에서 발생하고 있는 현상을 정확하게 묘사하는 방법은 아니라고 여겨진다.

최근의 연구동향을 살펴보면 용접비드의 형상에 기인한 응력집중의 차이를 구조응력의 계산에 반영하려는 노력이 증가하는 추세이며, 이에 대한 필요성 또한 역설되고 있다. 이에 본 연구에서는 IIW(International Institute of Welding)에서 제안하고 있는 가상 노치 반경을 이용하여 용접 비드에 의해 야기되는 응력집중을 피로강도 평가에 반영하는 접근법을 다양한 형태의 문제에 적용하여 그 실효성을 검증하였다.

### 2. Fictitious notch radius

가상 노치 반경을 이용한 용접부의 피로강도 평가는 Lawrence, Radaj, Seeger, Sonsino 등에 의해 활발하게 연구되었다. 가상 노치 반경은 Neuber의 microstructural support hypothesis를 그 기반으로 하고 있다. Neuber의 가설은 노치 혹은 용접토우부에서 발생하는 균열은 노치 선단의 한 점에서의 응력에 의해서가 아니라, 응력집중부의 특정한 길이(length), 영역(area) 혹은 체적(volume)에 걸친 평균응력에 의해 지배받는다라는 것이다.

실제 용접토우부의 곡률반경은 다양한 값을 가지는 것이 일반적이며, 대개 이러한 값들을 통계 처리하여 노치 응력을 계산하는데 적용하기도 한다. 그러나, 예측된 노치 반경을 이용한 접근법이 가지고 있는 문제는 용접 토우부에 존재하는 micro-notch의 효과로 인해 의문시 되기도 한다. 실제로 1mm 근방에 분포하고 있는 토우부의 곡률반경을 유한 요소법으로 모델링하는 경우에는, 유사한 길이수준의 micro-notch를 어떻게 처리해야 하는가가 문제가 된다. 가상 노치 반경을 이용한 방법은 이러한 난점을 극복함과

동시에 노치 접근법으로 피로 강도를 평가할 수 있게 해준다. 그러나, 서로 다른 노치 반경에 의한 피로강도의 차이는 반영할 수 없으며 그로 인한 데이터의 scatter는 안고 갈 수 밖에 없다.

### 3. FE Model

가상 노치 반경을 이용한 노치응력의 계산은 매우 간단하다. 대상이 되는 용접부를 유한요소법을 이용하여 모델링하고 관심대상인 용접 토우부 혹은 루트부에 가상 노치 반경 1mm를 삽입하는 것으로 충분하다. Fig.1은 십자형 필렛 용접부에 대한 모델링 예를 보여준다.

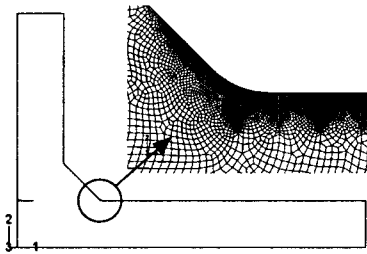


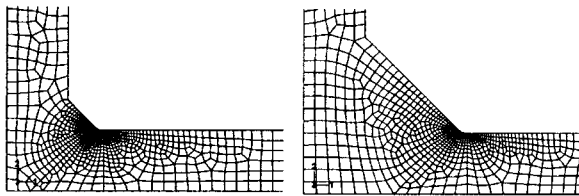
Fig.1 FE Model

1mm노치 반경 내에 충분한 개수의 요소를 배치하여 더 이상 요소의 크기에 따른 노치 응력 값의 변화가 없도록 하여야 한다. 적당한 요소의 크기는 간단한 수렴성 검토를 통해 결정되어질 수 있으며, 대개 0.1mm이하로 하는 것이 권장된다.

### 4. Application

#### 4.1 Weld size effect

노치 응력의 계산을 통하여 동일한 용접 이음 내에서 서로 다른 용접비드 크기가 피로강도에 미치는 영향을 검토하였다.



(a) 25mm leg length (b) 80mm leg length  
Fig.2 Analysis model

Fig.2에 보인 바와 같은 다양한 크기의 용접비드를 가지는 시편에 대한 해석을 수행하여 비드

크기 영향계수를 구하였으며, 이를 Fig.3에 나타내었다.

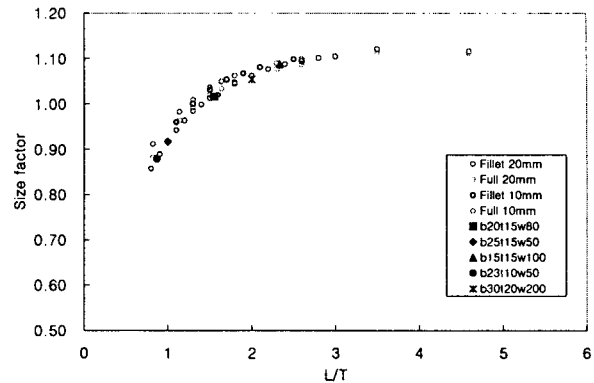


Fig.3 Effect of weld size

#### 4.2 3D notch stress analysis

3D 유한요소해석을 통하여 기존의 피로해석 데이터를 노치응력을 기준으로 하여 재정리하였다. Fig.4는 해석대상 시편의 형상을 나타내며, Fig.5는 노치응력으로 표현된 SN 데이터이다. 사용된 실험데이터는 참고문헌[6]의 결과이다.



(a) No.1 (b) No.2 (c) No.3  
Fig.4 FE model

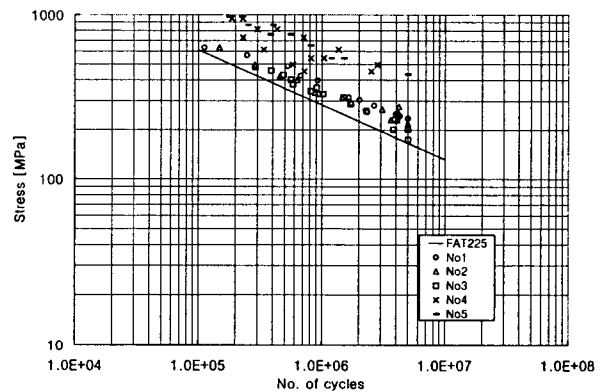


Fig.5 S-N curve

#### 4.3 Low cycle fatigue

탄소성 응력상태에 의해 지배받는 저싸이클 응력문제를 가상 노치 반경을 이용하여 해석을 수행하였으며, 피로실험을 통하여 검증하였다. 해당재료에 대한 cyclic stress-strain curve를 구하였으며, 이를 바탕으로 탄소성 응력해석을

수행하여 노치에서의 응력, 변형을 값을 계산하였다. 해석에 사용된 상세한 재료물성치는 참고 문헌[8]에 나타나있다.

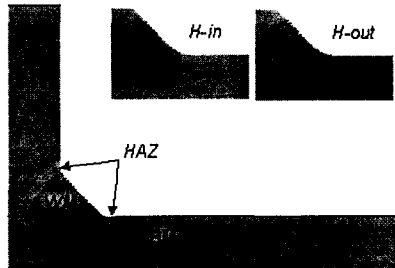


Fig.6 Analysis and FE model

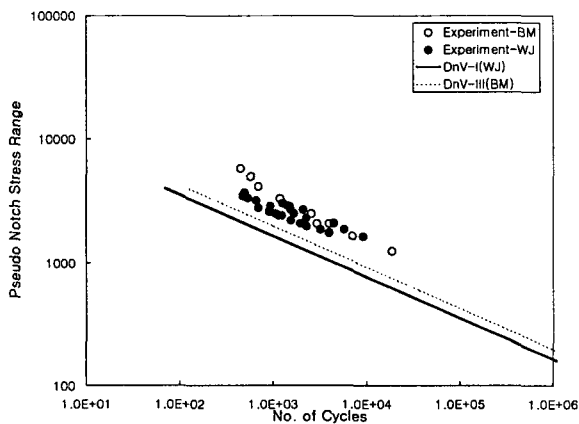


Fig.7 S-N curve

### 5. Conclusions

가상 노치 반경을 이용한 다양한 적용예를 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 가상 노치 반경을 이용하여 용접비드의 크기가 용접부의 피로강도에 미치는 영향을 정량화하였다. 용접비드의 크기가 커질수록 용접 토우부의 피로강도는 떨어짐을 확인할 수 있었다.

2) 3차원 형상을 가지는 피로시험편에 대한 노치응력을 계산하였으며, 계산된 응력을 바탕으로 기존의 실험 데이터를 재정리하였다. 노치응력으로 표현된 실험데이터는 설계선도 (FAT225)를 만족하였다.

3) 탄소성 응력상태에 놓이는 토우부의 응력 변형율을 재료 분균일성을 고려한 가상 노치 반경을 이용하여 계산하였으며, 이를 토대로 용접부의 저싸이클 피로강도를 평가하였다. 노치 값으로 변경된 피로데이터는 모재의 피로실험 결과

와 잘 일치하는 결과를 보였다.

### 참고문헌

1. Recommendations for Fatigue Design of Welded Joints and Components, IIW documents XIII-1965-03/XV-1127-03 (2004)
2. D.Radaj and C.M.Sonsino : Fatigue Assessment of Welded Joints by Local Approach, Abington Publishing(1998)
3. 김민건, 민태국 : 노치응력접근법을 이용한 차량구조용 용접이음부의 피로내구성 해석, 대한용접학회지 22권 2호, 28-32 (2004)
4. T.R.Gurney : A Theoretical Assessment of the Fatigue Strength of Transverse Fillet Welded Joints in Thin Plate, TWI Report 636/1998
5. A.,F.Hobbacher : Fatigue Assessment of Welded Joints by Effective Notch Stress Method
6. W.S.Kim and I.Lotsberg : Fatigue Test Data for Welded Connections in Ship-shaped Structures, Proceedings of OMAE-FPSO2004, Houston Texas, Aug.30 (2004)
7. I.Lotsberg : Recommended Methodology for Analysis of Structural Stress for Fatigue Assessment of Plated Structures, Proceedings of OMAE-FPSO2004, Houston Texas, Aug.30 (2004)
8. J.H.Heo, J.K.Kang, Y.Kim, I.S.Yoo, K.S.Kim, H.S.Urm : A Study on the Design Guidance for Low Cycle Fatigue in Ship Structures, Proceedings of PRADS2004, Vol.2, 782-789 (2004)