
 論 文

大韓造船學會論文集
 第 34 卷 第 3 號 1997年 8月
 Journal of the Society of
 Naval Architects of Korea
 Vol. 34, No. 3. August 1997

SS304와 SS316의 평면응력 파괴인성치 측정과 피로 균열 전파에 대한 실험적 연구

이억섭*, 한유상**, 유승석***

Experimental Study on Plane Stress Fracture Toughness and Fatigue Crack Propagation of SS304 and SS316

by

O.S. Lee*, Y.S.Han** and S. S. Yoo***

요 약

CT 시험편을 사용하여 평면응력 파괴인성치를 산정하는 간단하고 새로운 방법론을 제안하였다. 평면응력 조건하의 균열선단에서 발생하는 좌굴을 방지하는 판을 부착하여 SS304와 SS316의 평면응력 파괴인성치를 정확하게 결정하였다. SS304와 SS316의 피로균열 전파거동이 피로하중 주파수에 미치는 영향을 영상해석법(IAT)을 사용하여 규명하였다.

Abstract

A simple and relatively new experimental method is proposed to estimate the plane stress fracture toughness by using compact tension (CT) specimen. The anti-buckling plates (fabricated to prevent the buckling caused by the 45 plastic yielding around crack tip under the plane stress condition) help to determine the relatively accurate plane stress fracture toughness of two stainless steels (SS304 and SS316). The fatigue crack propagation behavior of two stainless steels under two different loading conditions such as 10Hz and 5Hz

발 표 : 1996년도 11월 대한조선학회 추계연구발표회(96. 11. 8)

접수일자 : 1996년 12월 10일, 재접수일자 : 1997년 4월 30일

*정회원, 인하대학교 기계공학과

**학생회원, 유진기공산업주식회사

***학생회원, 인천기능대학 생산기계기술학과

frequency fatigue loadings was investigated by using image analysis technique (IAT) which renders several technical advantages over various conventional measuring methods. It was found that the IAT could be used to estimate fatigue crack lengths more effectively. Furthermore, it was suggested that we might control the measuring time interval for fatigue crack propagation by nearly automatically controlled technical process with the help of IAT.

1. 서 론

선박의 성능 향상과 고속화 추세에 따라 구성요소들의 재료에 대한 여러 가지 기계적인 성질과 품질 향상에 대한 요구가 제기되고 있으며, 새로운 재료의 개발 및 개량과 이에 따른 가공기술이 요구되고 있는 실정이다. 선체 및 선박기구에는 높은 인장 강도, 경도, 내열성, 내마멸성, 내식성 등을 필요로 하는 특수강재가 사용되며, 이러한 목적들에 맞는 강재가 개발되고 있다. 이와 같이 재료적인 측면에서 많은 발전이 계속되고 있고 또한 복잡한 선박의 강도문제 및 구조 해석적인 측면에서도 큰 진전을 가져왔지만 이론적인 결과를 실제문제에 적용함에 있어서 아직도 많은 연구가 요구되고 있다. 특히 선박구조물의 손상이나 파손 문제에 대해서는 아직도 많은 이론적인 연구와 실험적인 연구결과가 요구되고 있으며 이러한 연구 결과들을 선박설계에 응용하여 신뢰성 있고 안전한 선박을 건조하려는 시도를 하고있다. 대부분의 선체구조의 손상의 주요 원인은 선박의 운행 횟수의 증가와 더불어 일어나는 균열, 변형, 좌굴, 부식 등이며 이중 균열에 의한 손상이 가장 위험한 손상 중의 하나로 알려져 있다. 선박에서의 균열 손상을 일으키는 중요한 원인 중의 하나는 불규칙적이고 지속적으로 가해지는 피로 하중이다. 불규칙적인 하중에 기인하는 피로에 의한 손상 및 파손 양상은 기존의 파괴 역학적인 방법론으로 어느 정도 예측할 수 있다. 또한 탄성 균열 선단에서의 응력장을 나타내는 파라메타인 응력확대계수가 임계치에 도달할 때 갑자기 발생하는 예기치 않은 사고는 선박에 사용하는 재료들의 파괴특성을 면밀히 연구하여 사전에 예방할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 첫 번째로 박판 재료를

사용하는 선박 구조물의 안전설계에 필요한 중요한 재료의 기계적인 특성들 중의 하나인 평면응력 파괴인성치 (K_{IC}) 를 측정하는 방법론을 제시하였다. 일반적으로 K_{IC} 측정은 CCT (center cracked tension) 시험편을 이용하여 측정하여 왔으나 본 연구에서는 가공이 용이하고 취급하기가 비교적 용이한 CT (compact tension) 시험편을 이용하였다. 두께 3.6mm인 박판 CT시험편의 기하학적 형상의 영향으로 균열선단에서 발생하는 좌굴의 영향을 최소화시키기 위하여 좌굴 방지판 (anti-buckling plate) 을 시험편의 양쪽에 부착하였다. 두 번째로 피로 균열 전파 특성을 규명하기 위한 피로 실험을 수행하였고 피로하중의 주파수가 피로 균열 전파 특성에 미치는 영향을 규명하였다. 일반적으로 피로 균열 길이는 컴플라이언스 방법, 광학적 방법 혹은 Krak 게이지를 사용하는 방법[1]을 사용하는데 본 연구에서는 CCD (charge coupled detector) 카메라를 이용한 자동 측정에 관한 연구[2]에서 정확도가 증명된 이미지 프로세싱에 의한 방법으로 측정하였다. 이미지 프로세싱 방법으로 피로 균열 전파 길이를 측정하는 방법을 사용하면 실험실 수준에서 시간 간격을 임의로 조정하여 정밀도가 저하되지 않고 반자동으로 피로 균열 전파 길이를 측정할 수 있다는 이점이 있다.

2. 실험

2.1 시험편의 기계적 성질

본 연구에서 사용한 시험편의 재료는 내식성, 내산성 및 용접성이 우수하여 선박 구조물과 압력

용기와 배관 등에 많이 사용되고 있는 오스테나이트계 스테인레스 SS304와 SS316 강판이며 Table 1에는 화학적인 조성[3]을 Table 2에는 KS규정에 서 정한 시험법(KS B 0801)에 따라 가공한 시편으로 인장실험을 수행하여 얻은 기계적 성질을 나타내었다.

Table 1 Chemical composition of specimen materials[3]

Materials	SS304	SS316
Chemical Comp.(wt.%)		
Carbon max. [C]	0.08	0.08
Chromium [Cr]	18-20	16-18
Nickel [Ni]	8-12	11-14
Manganese max. [Mn]	2.00	2.00
Molybdenum [Mo]	-	2.00-3.00
Silicon max. [Si]	1.00	0.75
Phosphorus max. [P]	0.045	0.03
Sulphur max. [S]	0.030	0.03

Table 2 Mechanical properties of specimen materials

Materials	SS304	SS316
Material Properties		
Yield Strength [MPa] (0.2% offset)	189.9	262.5
Tensile Strength [Mpa]	544.4	581.5
Elongation [%]	67.8	64.9
Density [g / cm ³]	7.9	8.0

시험편 재료의 압연방향이 재료의 파괴거동에 크게 영향을 미치기 때문에 시중에서 구입한 재료의 압연방향을 면밀하게 규명하기 위하여 각 시편의 조직 사진을 재료의 핸드북[4]의 것과 비교하여 해석해 본 결과 조직들의 일정한 방향성이 열처리에 의하여 없어졌음이 규명되었다[5]. 따라서 Table 2의 기계적인 성질은 방향성이 없는 SS304와 SS316의 특성이라고 사료된다.

2.2 평면응력 파괴인성치

사용한 시험편은 CT시편으로 미국 재료 시험학회에서 정한 시험법[6]에 따라 가공하였으며, 시험편의 형상은 Fig. 1 과 같다.

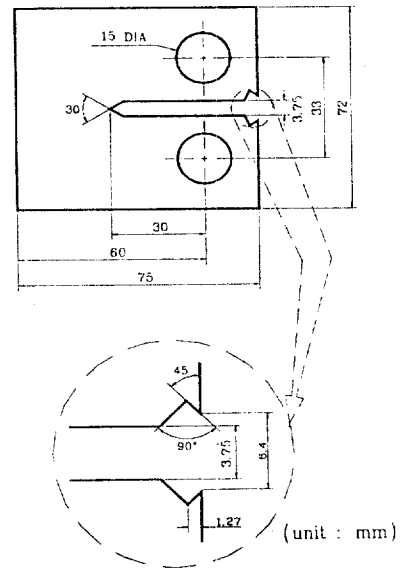


Fig. 1 Geometry of specimen. (thickness = 3.6mm)

시험편의 노치는 Wire-E.D.M (electrical discharge machining)을 이용하여 가공하고, 피로 시험기 (용량:10ton)를 사용하여 응력비 ($\sigma_{min}/$

σ_{max}) = 0.5, 최대하중 = 항복하중의 10%, 주파수=10Hz인 하중을 작용시켜 1.2~1.5mm인 초기균열 (fatigue pre-crack)을 발생시켰다. 하중상태는 Fig. 2에서와 같은 싸인파 (sine wave)의 형태로 일정하중 (constant-amplitude)의 조건으로 주어졌다.

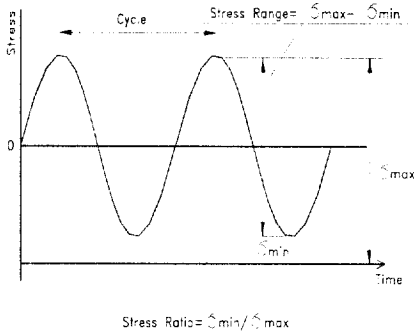


Fig. 2 Constant-amplitude sinusoidal stress loading for the fatigue pre-cracking at the compact tension specimens

박판 연성 재료의 균열선단에서는 Photo. 1에서 보이는 것과 같이 균열선단 주위의 평면응력에 의해 발생하는 최대 전단응력 방향으로의 변위에 기인하는 좌굴 현상이 관찰되었다. 이 좌굴 현상으로 발생하는 모드 III 하중을 최대한 억제시키기 위하여 Photo. 2에서 보인 바와 같은 두께가 10mm인 투명한 좌굴 방지 아크릴판을 이용하였다.

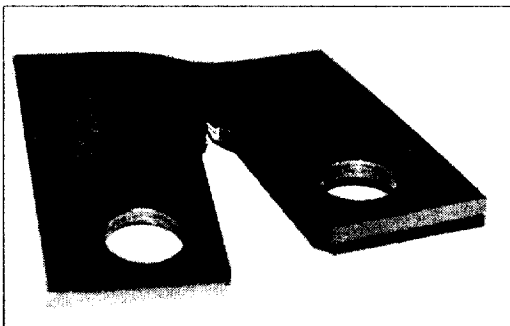


Photo. 1 Appearance of distorted specimen by buckling at the crack tip region

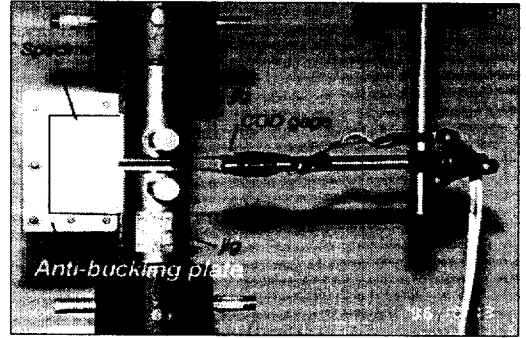


Photo. 2 Experimental setting and anti-buckling plates for Specimen

다음에 본 연구에서 제시한 평면응력 파괴인성치를 결정하는 3가지 방법을 나타내었다.

2.2.1 유효균열길이 (aeff)를 유동응력(σf : flow stress)을 사용하여 결정하는 방법

유효균열길이 산정시에 필요한 재료의 유동응력 (σf)은 항복응력 (σYS)과 최대인장응력(σTS)을 사용하여 다음과 같이 정의하였다[7].

$$\sigma_f = \frac{\sigma_{YS} + \sigma_{TS}}{2} \quad (2-1)$$

따라서 유효균열길이는 식(2-2)와 같이 정의된다.

유효균열길이

$$a_{eff} = a_0 + \frac{1}{2\pi} \left(\frac{K}{\sigma_f} \right)^2 \quad (2-2)$$

(여기서, 응력확대계수

$$K = \frac{P_{max}}{B\sqrt{W}} f \left(\frac{a_0}{W} \right))$$

식(2-2)를 이용하여 결정된 유효균열길이를 사용하여 평면응력 파괴인성치(K_{IC})를 식(2-3)에 의하여 산정할 수 있다.

$$K_{IC} = \frac{P_{max}}{B\sqrt{W}} f \left(\frac{a_{eff}}{W} \right) \quad (2-3)$$

여기서,

초기균열길이 $a_0 = 30 \sim 31.3$ [mm], 시편의 폭 $W = 60$ [mm], 시편의 두께 $B = 3.6$ [mm]이다 (Fig 1 참조). SS304와 SS316의 CT시편 파괴인성치를 결정하는 실험에서 최대하중 (P_{max}) 은 하중-COD (Crack Opening Displacement) 선도에서 곡선의 정점으로 결정하였다. CT시편에 대한 기하학적 형상계수는 식(2-4)와 같다.

$$\begin{aligned} f\left(\frac{a_{eff}}{W}\right) &= \frac{2 + \frac{a_{eff}}{W}}{\left(1 - \frac{a_{eff}}{W}\right)^{\frac{3}{2}}} [0.886 \\ &+ 4.64\left(\frac{a_{eff}}{W}\right) - 13.32\left(\frac{a_{eff}}{W}\right)^2 \\ &+ 14.72\left(\frac{a_{eff}}{W}\right)^3 - 5.60\left(\frac{a_{eff}}{W}\right)^4] \end{aligned} \quad (2-4)$$

2.2.2 유효균열길이 (a_{eff})를 최대인장응력 (σ_{TS})을 사용하여 결정하는 방법

여기서는 유효균열길이를 식(2-2)에서 유동응력 대신 최대인장응력을 대입하여 산정하였다.

$$a_{eff} = a_0 + \frac{1}{2\pi} \left(\frac{K}{\sigma_{TS}} \right)^2 \quad (2-5)$$

이 경우의 평면응력 파괴인성치 (K_{TC})는 식(2-3)과 같으며 기하학적인 치수도 2.2.1에서의 값과 동일하다.

2.2.3 유효균열길이 (a_{eff})를 항복응력 (σ_{YS})을 사용하여 결정하는 방법

유효균열 길이를 계산하는 과정에서 식(2-6)과 같이 항복응력을 대입하면 $\frac{1}{2\pi} \left(\frac{K}{\sigma_{YS}} \right)^2$ 으로 산정되는 소성영역의 크기[8]가 시편의 폭보다 더 크게 계산되는 결과로 나타나므로 항복응력으로 유효균열길이를 산정하여 SS304와 SS316의 평면응력 파괴인성치를 결정하는 방법은 타당하지 않다고 사료된다.

$$a_{eff} = a_0 + \frac{1}{2\pi} \left(\frac{K}{\sigma_{YS}} \right)^2 \quad (2-6)$$

2.3 피로 균열 전파 거동

예비 균열을 만들 때의 주파수는 2가지 즉, 10Hz와 5Hz로 하였으며 10Hz로 예비 균열을 만든 시편의 피로 균열 주파수는 10Hz, 5Hz로 예비 균열을 만든 시편의 피로 균열 주파수는 5Hz로 취하여 주파수의 영향이 피로 균열 전파 특성에 미치는 영향을 규명하였다. 또한 CT시편으로 피로시험을 수행하는 경우에 적합한 시편의 두께 (B)는 폭 (W)에 대한 비율로 식(2-7)과 같이 제한되어 있으므로 이러한 조건에 맞게 피로 균열 전파 시편을 제작하였으며 평면응력 파괴인성치 시편과 같은 형상의 시편에 동일한 피로하중으로 길이 1.3mm인 예비균열을 만들었다.[9]

$$\frac{W}{20} \leq B \leq \frac{W}{4} \quad (2-7)$$

피로 균열 전파 거동을 규명하기 위한 실험은 응력비=0.5, 최대하중= 항복하중의 10%로 상온에서 수행하였다. 이미지 프로세싱에 의하여 크랙길이를 측정하는 실험장치를 Photo. 3에 나타내었으며 CCD비디오 카메라를 장착하여 균열의 형상을 이미지화 한 후 퍼스널 컴퓨터에 저장하여 균열의 길이를 측정하였다. 이미지 프로세싱 프로그램을 이용하여 2~3 번의 필터링으로 균열선단의 이미지를 명확하게 한 후 각 시간에 대한 균열 선단의 위치를 정확하게 파악하여 피로 균열 진전에 관한 데이터를 얻었다.



Photo. 3 General view of experimental setup with a CCD camera

이미지 프로세싱 방법으로 측정된 피로 균열 전파 길이와 하중 사이클 수의 선도에서 피로 균열 전파 속도 da/dN 은 식(2-8)과 같은 Secant방법[7]을 사용하여 산정하였다.

$$\frac{da}{dN} = \frac{a_{i+1} - a_i}{N_{i+1} - N_i} \quad (2-8)$$

여기서, i 는 측정횟수

N_i 과 N_{i+1} 은 각각 i 번째 와 $i+1$ 번째에서 측정된 사이클 수 a_i 과 a_{i+1} 은 각각 N_i 과 N_{i+1} 사이클에서의 크랙길이 Fig.1과 같은 CT시험편을 사용하는 피로 균열 전파 실험에서 응력 확대 계수 범위 (ΔK) 는 식(2-3)과 같은 식을 사용하여 계산한다. 이 경우 피로 균열 개시가 이루어지는 순간의 균열길이는 유효균열길이 대신 초기 균열 길이 $a = 31.3[\text{mm}]$ 를 사용하였고 최대 하중 P_{\max} 와 최소 하중 P_{\min} 을 각각 식(2.3)에 대입하여 ΔK 를 산정하였다.

3. 실험 결과 해석

3.1 평면응력 파괴인성치에 대한 결과 해석

CT시험편을 사용하여 평면응력 파괴인성치를 결정하는 방법으로는 최대하중 (P_{\max})과 초기균열길이 (a_0)에 의한 방법, 최대하중 (P_{\max})과 유효균열길이 (a_{eff})에 의한 방법, 그리고 5% offset line을 이용하여 결정한 하중과 유효균열길이에 의한 방법 등 3가지가 있다[6,10]. CT시험편을 이용한 알루미늄 합금에 대한 박판 재료의 평면응력 파괴인성치를 결정하는 연구결과[11]를 살펴보면 최대하중과 유효균열길이에 의하여 결정한 값과, 5% offset line에 의한 하중과 유효균열길이에 의하여 결정한 값이 CCT시험편으로 결정한 값과 가장 가까운 값으로 증명되었기 때문에 본 연구에서도 최대하중과 유효균열길이에 의하여 결정한 방법을 사용하였다. 취성의 성격이 강한 재료는 균열선단 부분에서 임계 하중이 형성될 때까지 하중을 받고 있다가 순식간에 균열이 개시되는 반면 SS304와 SS316과 같이 연성이 큰 재료는 균열선단 무덤 (

crack blunting)현상으로 인하여 많은 변형이 일어난 후에 균열이 서서히 전진하므로 5% offset line을 이용하여 결정한 하중에서 불안정 파괴가 시작된 것으로 가정하는 것은 실제적인 현상과 큰 괴리가 있을 것으로 사료되기 때문에 5% offset line을 이용하여 결정한 하중과 유효균열길이에 의하여 평면응력 파괴인성치를 결정하는 방법은 본 연구에서는 사용하지 않았다.

시험 재료인 SS304와 SS316은 연성이 크고 0.2% offset으로 결정한 항복하중과 최대인장응력의 차이가 매우 크기 때문에 유효균열길이를 산정할 때 재료의 특성값을 적절하게 선택하여야 한다. 본 연구에서는 최대하중과 유효균열길이에 의하여 평면응력 파괴인성치를 결정하는 과정에서 유효균열길이를 결정할 때 유동응력 (flow stress)과 최대 인장응력 그리고 항복응력을 사용하는 방안을 제시하였으며 이로 인한 파괴인성치의 차이에 대하여 고찰하였다.

Figs. 3과 4는 SS304와 SS316의 하중-COD곡선을 각각 나타낸 것이며, 여기에서의 최대하중값 (P_{\max}) 과 식(2.2)와 식(2.5)의 유효균열길이를 식(2.3)에 대입하여 결정한 K_{F_c} 와 K_{T_c} 를 Table 3과 Table 4에 정리하여 놓았다. 시험 재료의 평면응력 파괴인성값과 평면변형 파괴인성값 (K_{Ic})의 차이를 부각시키기 위하여 Table 3에 두 값을 병기하였다.

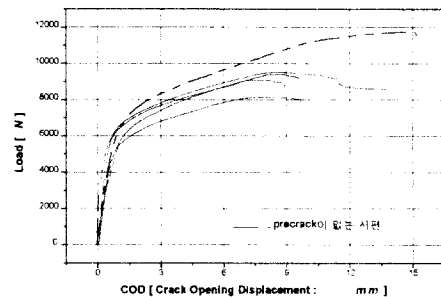


Fig. 3 Load vs. crack opening displacement(COD) curve for SS304

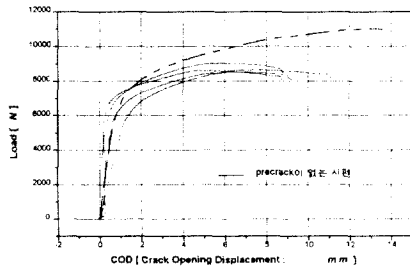


Fig. 4 Load vs. crack opening displacement(COD) curve for SS316

Table 3 Plane stress fracture toughness for SS304

Data No.	K_{Ic} [MPa \sqrt{m}]	K_{Tc} [MPa \sqrt{m}]	K_{Ic} [MPa \sqrt{m}] ⁷⁾
#1 (without precrack)	675.96	296.33	109.9
Average (with precrack)	294.32	154.63	

Table 4 Plane stress fracture toughness for SS316

Data No.	K_{Ic} [MPa \sqrt{m}]	K_{Tc} [MPa \sqrt{m}]
#1 (without precrack)	415.90	213.81
Average (with precrack)	198.56	140.81

Table 2에서 SS304와 SS316 두 재료의 기계적 특성을 비교하여 보면 SS304의 항복응력과 최대 인장응력은 SS316의 값들보다 작으나 Tables 3, 4에서 나타난 것과 같이 SS304의 평면응력 파괴인성치가 SS316의 파괴인성치보다 크게 나타났으며, 이것은 기계적 특성 중 파괴인성치와 항복응력값들이 서로 반비례적인 관계가 있다는 사실과 일치한다. 두 재료에 대해서 1.3mm의 예비균열 (

pre-crack) 을 만들지 않은 시편의 균열 선단의 곡률 반경 (0.227mm) 이 파괴인성치 결정에 미치는 영향을 고려해 본 결과 예비 균열이 있는 시편보다 파괴인성치가 크게 산정 되었다 (Tables 3, 4에서 Data No. #1). 이것은 인성이 큰 재료에서는 균열선단 무담 현상에 의해 1.3mm의 예비균열이 파괴인성치에 미치는 영향이 없을 것이라는 예측과는 다른 결과로서 Wire-E.D.M으로 노치를 가공할 때 발생하는 잔류응력에 의한 영향으로 사료되며 면밀한 금속학적인 검토가 요구된다. SS304의 평면변형 파괴인성치는 109MPa \sqrt{m} [12]으로 알려져 있으며 본 연구에서 사용한 두께 3.6mm의 CT시편에 대한 평면응력 파괴인성치의 평균값은 Table 3에서 보인 바와 같이 K_{Ic} =294 MPa \sqrt{m} , K_{Tc} =154 MPa \sqrt{m} 이었다. 평면응력 조건하에서의 파괴인성치가 평면변형 조건하에서의 파괴인성치보다 높다는 일반적인 경향[13,14]을 만족하고 있으나 실제적인 설계 값으로 K_{Ic} , K_{Tc} 중 어느 것으로 택할 것인가는 적극적인 기술적 검토가 이루어진 후에 결정해야 할 것이다.

3.2 피로 균열 전파 실험 결과해석

2.3에서 기술한 것과 같은 조건하에서 피로시험을 수행하여 Fig. 5과 Fig. 6에서 보인 것과 같은 SS304와 SS316에 대한 피로 균열 전파 특성을 얻었다. 이 결과 피로 균열 전파 특성은 두 재료에 대해서 대체로 동일하게 나타났으나, 하중 주파수가 10Hz인 경우가 5Hz로 하중 주파수를 가한 경우보다 피로 균열 진전 개시가 빠르게 일어난다는 사실을 규명할 수 있었다. 이것은 SS304와 SS316의 피로 균열 전파 거동이 피로 하중의 주파수에 관련된다는 사실로 면밀한 연구가 필요한 부분이다. 또한 ΔK 값들이 매우 산만하게 분포되고 있음을 관찰할 수 있는 데 이러한 현상은 ΔK 를 산정할 때 균열 닫힘 현상을 모델링하는 파라메타 (U: crack closure parameter)를 고려하면 ΔK 산정시의 오차를 감소시킬 수 있어서 실험 데이터의 산포가 적어질 것으로 생각된다.

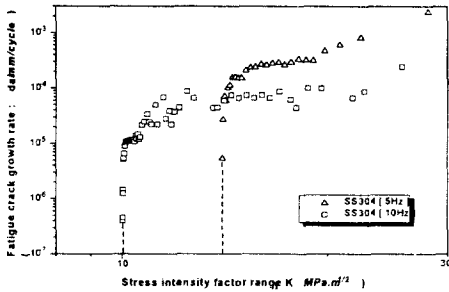


Fig. 5 Relationship between fatigue crack growth rate and stress intensity factor range for SS304

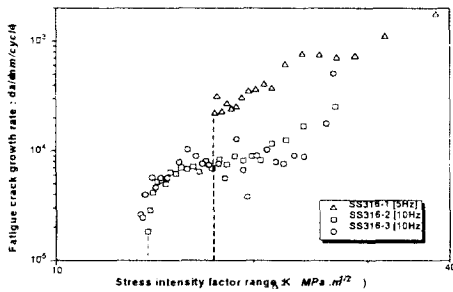


Fig. 6 Relationship between fatigue crack growth and stress intensity factor range for SS316

Fig. 5과 Fig. 6과 같이 나타나는 피로 균열 전파 특성을 Paris' law를 적용하여 da/dN 과 ΔK 사이의 관계를 $da/dN = C(\Delta K)^m$ 으로 모델링하여 재료 상수값으로 알려져 있는 m, C 값들을 결정하였으며 그 값들을 Table 5에서 나타내었다.

피로하중 주파수가 5Hz인 경우의 SS304에 대한 C 와 m 값은 다른 경우의 값들과 큰 차이를 보이고 있으며 이에 대한 명확한 원인은 면밀한 실험을 통하여 상세하게 규명되어야 할 것으로 사료된다.

Table 5 m and C values of SS304 and SS316 for Paris' law corresponding to different fatigue load frequency

Material (frequency)	m	C
SS304(5Hz)	5.39	5.06×10^{-11}
SS304(10Hz)	3.88	1.26×10^{-9}
SS316(5Hz)	2.59	1.48×10^{-7}
SS316(10Hz)	2.29	1.13×10^{-8}

4. 결론

SS304와 SS316의 평면응력 파괴인성치를 CT 시편과 좌굴 방지판을 사용하여 결정하는 방법론을 개발하였다. 이미지 프로세싱 방법을 이용하여 균열 전파 길이를 측정하는 방법을 도입하여 SS304와 SS316에 작용하는 피로 하중 주파수가 피로 균열 전파 특성에 미치는 영향을 규명하였다.

본 연구에서의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 평면응력 파괴인성치 (K_{IC})를 최대하중과 유효 균열 길이로 결정하는 방법을 제안하였고 얇은 연성재료 CT시편의 균열 선단에서 발생하는 좌굴을 억제시키는 좌굴방지판을 사용하여 신뢰성 있는 모드 I 평면응력 파괴인성치를 산정할 수 있음을 밝혔다.

2. 평면응력 파괴인성치를 결정할 경우에 필요한 유효 균열 길이를 산정할 때 SS304와 SS316과 같이 인성이 큰 재료에 대해서는 유효응력 혹은 최대인장응력을 적용함으로써 실용적인 파괴인성치를 결정할 수 있음을 밝혔다. 이 값들은 평면 변형조건 하에서의 파괴인성치보다는 높다는 일반적인 경향은 만족하고 있으나 두 값의 차이가 커서 실제적인 설계값을 결정할 시에는 적극적인 기술적 검토가 필요하다.

3. 피로 균열 전파 실험에서는 이미지 프로세싱을 이용하여 균열 전파 길이를 측정하는 반자동적 실험 방법을 제안하였다. SS304와 SS316의 피로 균열 전파 양상은 피로하중 주파수의 크기에 관계되는 것으로 나타났으며, 이 결과는 좀더 면밀한 검토가 필요한 부분이라 사료된다.

후 기

본 연구는 95년도 학진 대학 부설 연구소 지원에 의해서 이루어진 것입니다. 관계자 여러분들께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] G. R. Yoder, L. A. Cooley, and T. W. Crooker "Procedure for Precision Measurement of Fatigue Crack Growth Rate Using Crack Opening Displacement Technique", ASTM STP 738, Philadelphia, pp. 85-102, 1981.
- [2] 이 역섭, 박 찬, 이 윤표, "이미지를 이용한 피로 균열 길이의 자동 측정", 대한기계학회춘계학술대회, pp. 67-70, 1996.
- [3] A Group of Authorities, "Ship Design and Construction", The Society of Naval Architectures and Marine Engineers, pp. 349-353, 1980.
- [4] J. R. Davis, et al. "Materials Handbook", ASM International, Vol.9, pp. 287-291, 1985.
- [5] Private Communication with Metallurgical Engineering Department of Inha University.
- [6] ASTM E561-86, "Standard practice for R-curve determination", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1986.
- [7] L. A. James, "Specimen Size Considerations in Fatigue Crack Growth Rate Testing", ASTM STP 738, Philadelphia, pp. 45-57, 1981.
- [8] R. W. Hertzberg, "Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials", John Wiley & Sons., 4th Edition, pp. 337-340, 1995.
- [9] ASTM E647-86, "Standard Test Method for Constant-Load-Amplitude Fatigue Crack Growth Rates above 10^{-8} m/cycle", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1986.
- [10] T. L. Anderson, Fracture Mechanics, CRC press, 2nd edition, 1995.
- [11] 이 역섭, 강 인모, 이 윤표, 김 선용, "CT시험편을 이용한 박판재료의 파괴인성 특성", 대한기계학회 재료 및 파괴부문 학술대회논문집, pp. 27-32, 1996.
- [12] J. H. Faupel, F. E. Fisher, "Engineering Design", John Wiley & Sons, 2nd Edition, pp. 859-869, 1981.
- [13] David Broek, "Elementary Engineering Fracture Mechanics", Martinus Nijhoff, 3rd Edition, pp. 116-122, 1986.
- [14] R. W. Hertzberg, "Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials", John Wiley & Sons., 4th Edition, pp. 342-347, 1995.