

기계적 체결부에 존재하는 타원형 표면균열에 대한 가중함수법의 적용

허성필* · 양원호** · 김철*** · 현철승**** · 류명해*****

Application of Weight Function Method to Elliptical Surface Cracks in Mechanical Joints

Sung-Pil Heo, Won-Ho Yang, Cheol Kim, Cheol-Seung Hyun and Myung-Hai Ryu

Key Words: Weight Function Method(가중함수법), Mechanical Joint(기계적 체결부), Elliptical Surface Crack(타원형 표면균열), Finite Element Method(유한요소법)

Abstract

The weight function method is an efficient technique to calculate the stress intensity factors for various loading conditions in that only the stress analysis of an uncracked model is required. This paper analyzes the mixed-mode stress intensity factors of surface and deepest points for quarter elliptical surface cracks in mechanical joints by weight function method and the coefficients included in weight function are determined by finite element analyses for reference loadings. Results for the different number of terms in weight function are presented.

1. 서론

항공기를 비롯한 많은 기계 구조물에 접합의 방법으로 볼트 체결 및 리벳 체결과 같은 기계적 체결이 널리 이용되고 있다. 이러한 기계적 체결부(mechanical joint)는 균열 발생의 가능성이 상대적으로 높고 대부분 표면균열의 형태로 발생하여 성장하게 된다. 따라서 기계적 체결부의 파괴역학적 안전성 및 피로수명 등을 평가하기 위해서는 이러한 체결부에 존재하는 표면균열에 대한 정확한 응력확대계수(stress intensity factor; SIF)의 평가가 필요하다.

임의의 형상을 갖는 표면균열에 대한 응력확대계수는 주로 3차원 유한요소해석을 통해 구할 수

있으나 여러 하중 조건에 대한 해를 얻고자 할 경우에는 모델 구성 및 해석에 많은 시간을 요하게 된다. 가중함수법(weight function method)은 균열 및 균열체(cracked body)의 형상에 대한 가중함수와 균열을 포함하지 않은 동일 형상의 구조물에 대한 응력장을 이용하여 효율적으로 응력확대계수를 구할 수 있는 방법이다.

가중함수법의 적용에 관해서는 주로 2차원 균열⁽¹⁾ 및 3차원 타원형 표면균열⁽²⁾의 모드 I 문제에 관하여 많은 연구들이 진행되어 왔으며 Fett 등은 2차원 혼합모드 문제에 적용할 수 있는 가중함수를 제안하였다.⁽³⁾

기계적 체결부의 안전성 평가는 주로 응력해석을 통한 강도 및 파손 평가가 수행되어 왔다. 볼트 체결부에 존재하는 2차원 균열에 대하여 파괴역학적 평가들도 수행되었으나 접촉부와 균열이 동시에 고려되어야 하는 복잡성으로 인해 상대적으로 제한적인 연구들이 수행되어 왔다.^(4,5) 기계적 체결부에 존재하는 3차원 균열에 관해서는 주로 볼트부가 없는 상태에서 응력집중부에 존재하

* 회원, 성균관대학교 대학원 기계공학과

** 회원, 성균관대학교 기계공학부

*** 회원, 성균관대학교 대학원 기계설계학과

**** 성균관대학교 대학원 기계설계학과

***** 안동정보대학 건축설비과

는 타원형 표면균열 및 관통 타원형 균열에 관한 해석이 이루어져 왔다.⁽⁶⁾ 저자 등은 가중함수법에 의해 볼트 체결부에 존재하는 2차원 수평 및 경사 균열에 대하여 혼합모드 응력확대계수를 해석한 바 있다.⁽⁷⁾

본 연구에서는 기계적 체결부에 존재하는 1/4 타원형 표면균열(quarter elliptical surface crack)에 대하여 가중함수법을 적용하여 혼합모드 응력확대계수를 해석하였고 가중함수법의 적용에서 가중함수의 항의 수에 따른 정확도를 비교 고찰하였다.

2. 표면균열에 대한 가중함수법의 적용

2.1 타원형 표면균열에 대한 가중함수법

Fig. 1과 같은 타원형 표면균열에 대한 가중함수법의 적용에서는 작용 외력에 대해 균열이 발생할 위치에서의 2차원 응력장 $\sigma(x, z)$ 를 균열이 없는 모델에서 구하고, 이 응력장과 가중함수와의 곱을 식 (1)과 같이 전체 균열면에 대해 적분하여 타원형 경계를 따른 각 균열 선단에서의 응력확대계수를 구하게 된다.

$$K(\phi) = \int \int_S h(x, z, a, c; \phi) \sigma(x, z) dS \quad (1)$$

여기서 a 는 균열 깊이, c 는 균열 길이를 나타내며, ϕ 는 균열 선단의 위치를 표시하는 타원각이다. 가중함수 $h(x, z, a, c; \phi)$ 는 기하학적 형상에는 의존하지만 작용하중에는 독립인 특성을 가지

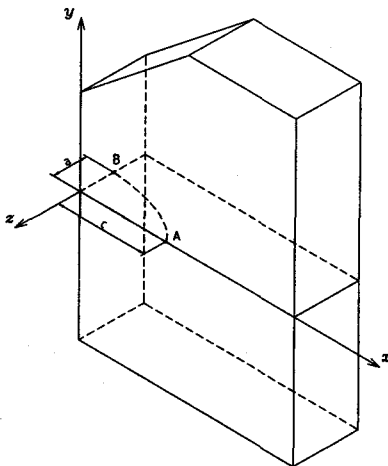


Fig. 1 Weight function method for elliptical surface crack

고 있기 때문에 특정의 균열 및 균열체 형상에 대해 적합한 가중함수가 결정되면 임의의 하중조건에 대해서도 식 (1)의 적분을 통해 간단하게 응력확대계수를 구할 수 있다.

타원형 표면균열에서는 대부분의 경우에 표면점(surface point)이나 심점(deepest point)에서 최대 응력확대계수가 나타나며, 두 선단에서의 응력확대계수로부터 타원형 경계를 따른 응력확대계수의 변화를 예측해 볼 수 있다. Fig. 1에서 타원형 균열의 표면점을 A, 심점을 B라 할 때 두 균열 선단에서의 응력확대계수는 각각 식 (2), (3)과 같이 표현된다.

$$K_{(A)} = \int \int_S h(x, z, a, c; \phi=0) \sigma(x, z) dS \quad (2)$$

$$K_{(B)} = \int \int_S h(x, z, a, c; \phi=\pi/2) \sigma(x, z) dS \quad (3)$$

3차원 표면균열에 대한 가중함수법의 적용에서는 식 (2), (3)에서와 같이 2차원 응력장 및 x, z 의 함수로 표현되는 가중함수를 고려하여 면적적분을 수행하게 된다. 그러나 많은 경우에 균열이 없는 모델에서의 응력장을 1차원으로 근사화할 수 있으며, Fig. 1에서 응력장이 두께 방향으로 일정하고, x 방향을 따라서만 변화한다고 가정하면 식 (4), (5)에서와 같이 균열 길이 방향으로의 선적분으로 응력확대계수를 구할 수 있게 된다.

$$K_{(A)} = \int_0^c h_{(A)}(x, a, c) \sigma(x) dx \quad (4)$$

$$K_{(B)} = \int_0^c h_{(B)}(x, a, c) \sigma(x) dx \quad (5)$$

2.2 가중함수법에 의한 표면균열의 혼합모드 응력확대계수

경사진 균열을 포함하여 기하학적 대칭성이 존재하지 않는 일반적인 표면균열의 혼합모드 문제에서는 균열면상에 작용하는 수직응력 σ_y 에 대해서도 모드 I뿐 아니라 모드 II 및 모드 III 응력확대계수가 모두 나타나며, 전단응력 τ_{xy} 및 τ_{yz} 에 대해서도 마찬가지이다. 표면균열이 존재하는 구조물에 일반적인 하중이 작용하면 균열면상에는 수직응력과 모두 나타나며 이 때에는 이들 모두를 중첩하여 응력확대계수를 구할 수 있다.

타원형 표면균열의 표면점에서는 Fig. 1의 좌표축을 기준으로 τ_{xy} 가 모드 II, τ_{yz} 가 모드 III에 해당되며, 각 모드의 응력확대계수는 식 (6)~(8)로 표현된다

$$K_{I(A)} = \int_0^c \{h_{I(A)}^{(\sigma_y)}(x, c) \sigma_y(x) + h_{I(A)}^{(\tau_{xy})}(x, c) \tau_{xy}(x) + h_{I(A)}^{(\tau_{yz})}(x, c) \tau_{yz}(x)\} dx \quad (6)$$

$$K_{II(A)} = \int_0^c \{h_{II(A)}^{(\sigma_y)}(x, c) \sigma_y(x) + h_{II(A)}^{(\tau_{xy})}(x, c) \tau_{xy}(x) + h_{II(A)}^{(\tau_{yz})}(x, c) \tau_{yz}(x)\} dx \quad (7)$$

$$K_{III(A)} = \int_0^c \{h_{III(A)}^{(\sigma_y)}(x, c) \sigma_y(x) + h_{III(A)}^{(\tau_{xy})}(x, c) \tau_{xy}(x) + h_{III(A)}^{(\tau_{yz})}(x, c) \tau_{yz}(x)\} dx \quad (8)$$

식 (6)~(8)에 나타난 응력장은 균열면이 될 위치에서의 수직응력과 전단응력 분포이며 균열이 없는 모델에 대한 응력해석으로부터 얻게 된다. 위의 각 식에 포함된 9개의 가중함수는 표면점의 경우에 $x=c$ 에서의 특이성(singularity)을 고려하여 식 (9)~(11)과 같은 무한급수의 형태로 설정한다.

$$h_{I(A)}^{(\sigma_y)} = \sqrt{\frac{2}{\pi c}} \sum_{n=0}^{\infty} D_{I(A),n}^{(\sigma_y)} \left(1 - \frac{x}{c}\right)^{n-1/2} \quad (9)$$

$$h_{I(A)}^{(\tau_{xy})} = \sqrt{\frac{2}{\pi c}} \sum_{n=0}^{\infty} D_{I(A),n}^{(\tau_{xy})} \left(1 - \frac{x}{c}\right)^{n-1/2} \quad (10)$$

$$h_{I(A)}^{(\tau_{yz})} = \sqrt{\frac{2}{\pi c}} \sum_{n=0}^{\infty} D_{I(A),n}^{(\tau_{yz})} \left(1 - \frac{x}{c}\right)^{n-1/2} \quad (11)$$

타원형 균열의 심점에서는 τ_{yz} 가 모드 II, τ_{xy} 가 모드 III에 해당되며 $x=0$ 에서의 특이성을 고려하여 각 가중함수들을 식 (12)~(14)와 같은 형태로 설정한다.

$$h_{II(B)}^{(\sigma_y)} = \sqrt{\frac{2}{\pi c}} \sum_{n=0}^{\infty} D_{II(B),n}^{(\sigma_y)} \left(\frac{x}{c}\right)^{n-1/2} \quad (12)$$

$$h_{II(B)}^{(\tau_{xy})} = \sqrt{\frac{2}{\pi c}} \sum_{n=0}^{\infty} D_{II(B),n}^{(\tau_{xy})} \left(\frac{x}{c}\right)^{n-1/2} \quad (13)$$

$$h_{II(B)}^{(\tau_{yz})} = \sqrt{\frac{2}{\pi c}} \sum_{n=0}^{\infty} D_{II(B),n}^{(\tau_{yz})} \left(\frac{x}{c}\right)^{n-1/2} \quad (14)$$

식 (9)~(11), (12)~(14)의 가중함수에 포함된 미정계수들은 저자 등의 2차원 균열에 대한 연구⁽⁷⁾에서와 같이 기준하중(reference loading)에 대한 응력확대계수로부터 결정할 수 있다.

3. 표면균열의 혼합모드 응력확대계수

3.1 기계적 체결부에 존재하는 타원형 표면균열의 개요 및 유한요소해석

Fig. 2와 같이 기계적 체결부에 1/4타원형 표면균열이 존재하고 있고 외부에 균일 인장력을 받고 있는 평판에 대하여 해석을 수행하였다. 구멍의 크기는 고정되어 있고, 볼트의 크기를 바꾸어 구멍과 볼트 사이에 간극이 존재하도록 하였다.

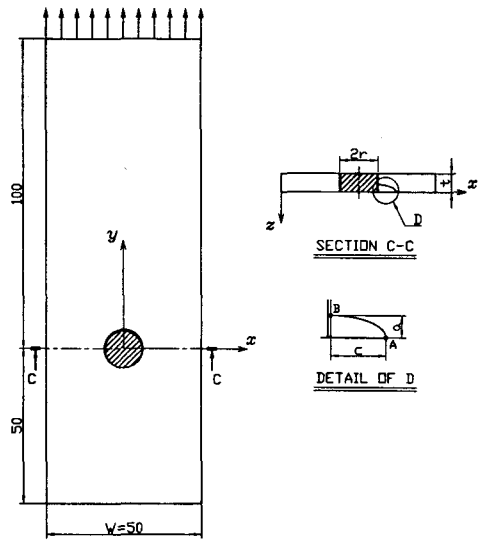


Fig. 2 Configuration of a quarter elliptical surface crack in mechanical joints

유한요소해석의 타당성을 검증하기 위하여 응력집중부에 존재하는 타원형 표면균열에 대해 Fig. 3과 같은 유한요소망을 구성하여 응력확대계수를 구하였다. 유한요소모델에서 균열선단에는 응력의 특이성을 표현할 수 있는 1/4절점 요소(quarter point element)를 사용하였고, 유한요소해석은 상용 프로그램인 ABAQUS를 이용하였다.

Fig. 4는 $a/c=0.4$, $a/t=0.6$ 인 경우에 대하여 타원형 균열 선단을 따른 응력확대계수를 $\sigma\sqrt{\pi a}$ 로 무차원화하여 나타낸 것으로 기존 연구와의 비교를 통해 타당성을 입증한 Lin과 Smith의 해석 결과⁽⁶⁾를 함께 나타내었다. 그림에서 두 결과가 전반

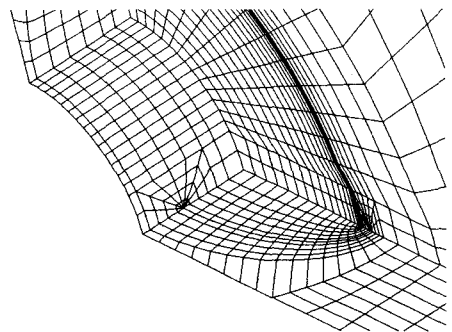


Fig. 3 Finite element mesh for a quarter elliptical surface crack at a hole

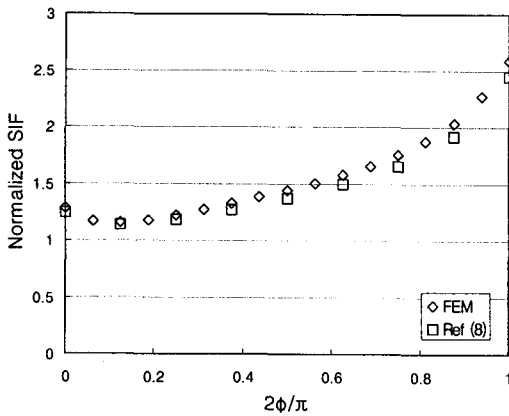


Fig. 4 Normalized stress intensity factors for a quarter elliptical surface cracks at a hole along the crack front

적으로 잘 일치하는 것으로 보아 본 연구에서 구성한 응력집중부에 존재하는 타원형 표면균열에 대한 유한요소망이 타당함을 입증할 수 있다.

3.2 기계적 체결부에 존재하는 타원형 표면균열에 대한 가중함수법의 적용

기계적 체결부에 존재하는 표면균열은 하중 조건 및 균열의 경사각 등에 따라 일반적으로 혼합 모드 상태에 놓이게 되며 적합한 가중함수를 사용하여 앞장의 절차에 따라 표면점 및 심점에서의 응력확대계수를 계산할 수 있다.

가중함수법을 적용하기 위하여 먼저 균열이 없는 모델에 대해 Fig. 6과 같은 유한요소망을 사용하여 응력해석을 수행하였다. 대칭성을 고려하여 1/4만을 모델링하였고, 볼트부는 강체 요소(rigid element)를 사용하였다.

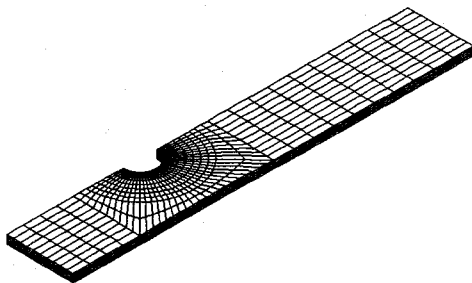
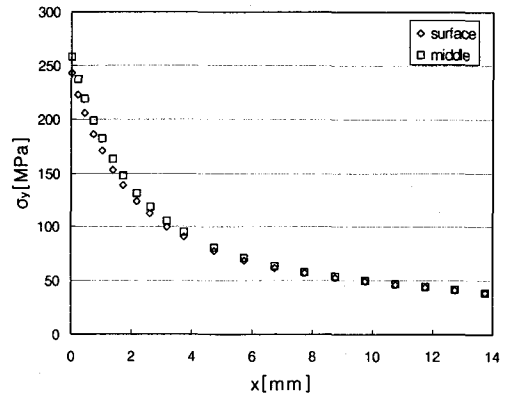


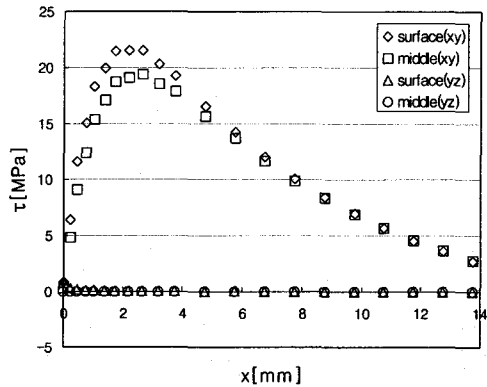
Fig. 6 Finite element mesh for an uncracked plate with a bolted joint

Fig. 7(a), (b)는 각각 반지름 방향을 따른 수직 응력과 전단응력 분포를 나타낸 것으로 평판의 표면에서의 중심에서의 결과를 함께 나타내었다. 그림에서와 같이 표면에서의 중심에서의 응력 차이가 크지 않고, x방향을 따른 변화가 동일한 형태로 나타나므로 본 연구에서는 균열이 없는 모델에서의 응력장을 두께 방향으로 일정한 1차원 응력장으로 가정하여 앞장의 절차를 따라 가중함수법을 적용하였다. 또한 Fig. 7(b)에서 전단 응력 τ_{yz} 는 거의 0인 값을 가지므로, 응력확대계수를 계산하기 위한 적분식에서 τ_{yz} 가 포함된 항을 고려하지 않아도 무방할 것이다.

앞에서 무한급수의 형태로 설정한 각 가중함수들은 기존의 연구들⁽¹⁻³⁾에서의 같이 실제 문제에서는 유한항으로 적용하게 된다. 저자 등의 2차원 균열에 대한 연구⁽⁸⁾에서는 3개의 항으로 구성



(a) Normal stress distribution



(b) Shear stress distribution

Fig. 7 Stress distribution for an uncracked plate with mechanical joints

된 가중함수를 사용하여 타당한 결과를 얻었으나, 3차원 표면균열에서는 가중함수에 포함되는 항의 수를 증가시켜가며 정확도를 비교하였다.

타원형 균열의 표면점에서의 모드 I, 모드 II, 모드 III 응력확대계수를 구하기 위해서는 식 (6)~(8)에 포함된 9개의 가중함수 중에서 앞의 r_{yz} 에 관한 고찰을 바탕으로 6개의 가중함수를 결정해야 한다. 4개의 항으로 구성된 가중함수를 사용하는 경우에 예를 들어 $h_{1(A)}^{(\sigma)}$ 는 식 (15)와 같이 표현할 수 있다.

$$h_{1(A)}^{(\sigma)} = \sqrt{\frac{2}{\pi c}} \left\{ \frac{1}{\sqrt{1-x/c}} + D_{1(A),1}^{(\sigma)} \sqrt{1-\frac{x}{c}} + D_{1(A),2}^{(\sigma)} \left(1-\frac{x}{c}\right)^{3/2} + D_{1(A),3}^{(\sigma)} \left(1-\frac{x}{c}\right)^{5/2} \right\} \quad (15)$$

이 가중함수에 포함된 미정계수를 결정하기 위하여 기존의 연구들^(2,3,7)에서와 동일한 방법으로 균열면상에 작용하는 기준하중에 대한 응력확대계수를 미리 구해놓고, 이 하중조건에 대하여 가중함수법을 적용함으로써 미정계수를 구하였다.

식 (15)의 가중함수의 경우에 3개의 미정계수를 구하기 위하여 3개의 기준하중을 고려하고 이들에 대하여 식 (16)~(18)과 같이 가중함수법을 적용한다.

$$\int_0^c h_{1(A)}^{(\sigma)}(x, c) \sigma_0 dx = \sigma_0 \sqrt{\frac{\pi a}{Q}} F_{1(A),1}^{(\sigma)} \quad (16)$$

$$\int_0^c h_{1(A)}^{(\sigma)}(x, c) \sigma_0 \left(1-\frac{x}{c}\right) dx = \sigma_0 \sqrt{\frac{\pi a}{Q}} F_{1(A),2}^{(\sigma)} \quad (17)$$

$$\int_0^c h_{1(A)}^{(\sigma)}(x, c) \sigma_0 \left(1-\frac{x}{c}\right)^2 dx = \sigma_0 \sqrt{\frac{\pi a}{Q}} F_{1(A),3}^{(\sigma)} \quad (18)$$

여기서 $F_{1(A),1}^{(\sigma)}$, $F_{1(A),2}^{(\sigma)}$, $F_{1(A),3}^{(\sigma)}$ 는 세 기준하중에 대한 무차원 응력확대계수로, 균열면상에 각각의 $\sigma_y(x)$ 를 가하여 유한요소해석을 통해 얻을 수 있다. 이들 적분을 수행하여 식 (19)~(21)과 같은 연립방정식을 세우고 이를 풀어 $h_{1(A)}^{(\sigma)}$ 에

포함된 3개의 미정계수를 구하게 된다.

$$D_{1(A),1}^{(\sigma)} + \frac{3}{5} D_{1(A),2}^{(\sigma)} + \frac{3}{7} D_{1(A),3}^{(\sigma)} = \frac{3\pi}{2\sqrt{2}Q} \sqrt{\frac{a}{c}} F_{1(A),1}^{(\sigma)} - 3 \quad (19)$$

$$D_{1(A),1}^{(\sigma)} + \frac{5}{7} D_{1(A),2}^{(\sigma)} + \frac{5}{9} D_{1(A),3}^{(\sigma)} = \frac{5\pi}{2\sqrt{2}Q} \sqrt{\frac{a}{c}} F_{1(A),2}^{(\sigma)} - \frac{5}{3} \quad (20)$$

$$D_{1(A),1}^{(\sigma)} + \frac{7}{9} D_{1(A),2}^{(\sigma)} + \frac{7}{11} D_{1(A),3}^{(\sigma)} = \frac{7\pi}{2\sqrt{2}Q} \sqrt{\frac{a}{c}} F_{1(A),3}^{(\sigma)} - \frac{7}{5} \quad (21)$$

타원형 균열의 심점에서 표면점에서의 유사한 절차로 가중함수들을 결정할 수 있다.

Table 1은 간극의 크기가 구멍 지름의 1%이고, $a/c=0.4$, $alt=0.6$ 인 타원형 표면균열에 대하여 가중함수에 포함되는 항의 수를 3개에서 6개로 변화시켜가며 앞의 절차에 따라 계산한 모드 I, 모드 II, 모드 III 응력확대계수를 나타낸 것이다. 표에서 FEM은 타원형 표면균열 및 볼트부를 포함한 모델에 대해 유한요소해석을 수행하여 응력확대계수를 구한 결과이다. 표에 균열이 없는 모델에 대한 응력장으로 표면과 중심에서의 응력장을 사용하였을 때와 이들의 평균 응력을 사용하였을 때의 결과를 함께 나타내었다.

전반적으로 모드 I 응력확대계수는 중심에서의 응력장을 사용하였을 때가, 모드 II와 모드 III 응력확대계수는 표면에서의 응력장을 사용하였을 때가 크게 평가된다. 이는 Fig. 7에서와 같이 수직응력은 중심에서, 전단응력은 표면에서 상대적으로 크게 나타나기 때문이다. 따라서 적용성을 고려하여 1차원 응력장으로 가정하는 경우에는 표면에서의 중심에서의 응력을 평균한 응력장을 사용하는 것이 합리적이라 할 수 있을 것이다.

가중함수에 포함되는 항의 수에 따라서는 표면

Table 1 Normalized stress intensity factors for quarter elliptical surface cracks in mechanical joints due to the number of terms included in weigh function

Uncracked stress	in surface				in middle				averaged				FEM	
	No. of terms	3	4	5	6	3	4	5	6	3	4	5		6
Surface point	$F_{I(A)}$	1.742	1.681	1.685	1.686	1.814	1.748	1.752	1.754	1.778	1.714	1.7185	1.7203	1.623
	$F_{II(A)}$	0.2165	0.2329	0.2206	0.2270	0.2039	0.2200	0.2095	0.2145	0.2102	0.2265	0.2151	0.2207	0.2145
	$F_{III(A)}$	-0.1265	-0.0876	-0.1148	-0.1036	-0.1220	-0.0837	-0.1072	-0.0984	-0.1243	-0.0856	-0.1110	-0.1010	-0.1007
Deepest point	$F_{I(B)}$	3.964	4.161	4.254	4.290	4.213	4.428	4.526	4.562	4.088	4.295	4.390	4.426	4.533
	$F_{II(B)}$	-0.3985	-0.3680	-0.3411	-0.3291	-0.3569	-0.3222	-0.2976	-0.2881	-0.3777	-0.3451	-0.3193	-0.3086	-0.3412
	$F_{III(B)}$	-0.7307	-0.6095	-0.4674	-0.3789	-0.6570	-0.5189	-0.3891	-0.3191	-0.6938	-0.5642	-0.4282	-0.3490	-0.3218

점과 심점에서의 모든 응력확대계수에 대한 전체적인 정확도를 고려한다면 6개의 항을 가지는 가중함수를 사용하는 것이 합당하다고 판단된다. 기존의 대부분의 연구^(3,4)들에서처럼 모드 I 응력확대계수에만 초점을 맞춘다면 항의 수를 4~5개 정도로 취하여도 유한요소해석 결과와 적은 오차 범위 이내의 결과를 얻을 수 있겠으나 특히 심점에서의 모드 III의 경우에는 대단히 큰 오차를 가지게 된다. 물론 항의 수를 많이 포함시키면 기준 하중에 대한 해석이 추가되나, 주된 관심인 심점에서의 모드 I 응력확대계수도 항의 수가 증가함에 따라 정확도가 증가함을 알 수 있다.

Table 2는 간극의 크기가 구멍 지름의 5%인 경우에 대하여 가중함수법과 유한요소법으로 타원형 균열의 표면점과 심점에서의 모드 I, 모드 II, 모드 III 응력확대계수를 구한 결과이다. 표에서 Shape I은 $a/c=0.4$, $a/t=0.6$, Shape II는 $a/c=0.8$, $a/t=0.4$ 인 균열이다. Table 1과 Table 2에서 간극의 크기 및 균열 형상에 상관없이 비교적 가중함수법에 의한 결과가 유한요소해석에 의한 결과와 잘 일치하였다. 3차원 표면균열과 접촉부를 포함하는 유한요소해석은 가중함수법의 적용에 필요한 균열 없는 모델에 대한 응력해석에 비하여 대략 20~30배 정도의 해석 시간이 소요된다. 따라서 표에서 나타난 정도의 오차 범위 내에서의 응력확대계수 해석은 간극의 크기를 달리하는 등의 여러 하중조건에 대한 해석에서 충분한 적용성을 갖는다고 할 수 있으며, 균열이 없는 모델에 대한 응력장을 엄밀하게 2차원으로 고려하여 면적 적분을 수행하는 가중함수법을 적용한다면 정확

Table 2 Normalized stress intensity factors for quarter elliptical surface cracks in mechanical joints by weight function method and finite element method

		Shape I		Shape II	
		WFM	FEM	WFM	FEM
Surface point	$F_{I(A)}$	1.750	1.671	3.022	2.958
	$F_{II(A)}$	0.2880	0.2825	0.5265	0.5227
	$F_{III(A)}$	-0.1326	-0.1311	-0.2482	-0.2460
Deepest point	$F_{I(B)}$	4.406	4.509	4.782	4.887
	$F_{II(B)}$	-0.3533	-0.3602	-0.2300	-0.2527
	$F_{III(B)}$	-0.3854	-0.3512	-0.2106	-0.2057

도를 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 예측된다.

4. 결 론

가중함수법에 의해 기계적 체결부에 존재하는 1/4타원형 표면균열의 표면점과 심점에서의 혼합 모드 응력확대계수를 해석하고 그 타당성을 입증하였다. 가중함수법의 적용에서 1차원 응력장을 사용한 선적분을 통해 효율적으로 응력확대계수를 구하였고, 유한요소해석을 통해 균열면상에 작용하는 기준하중에 대한 응력확대계수를 구하고 이로부터 가중함수의 미정계수들을 결정하였다. 모드 I, 모드 II, 모드 III 응력확대계수 모두에 대한 정확도를 고려하여 가중함수 설정에서의 항의 수에 따른 결과를 비교 고찰하여 적절한 항의 수를 결정하였고, 정확도를 더욱 향상시킬 수 있는 가능성을 제시하였다.

후 기

본 논문은 한국과학재단 산하 성균관대학교 산업설비 안전성평가 연구센터의 연구비 지원으로 이루어진 것으로서, 이에 관계자 여러분들께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Glinka, G. and Shen, G., 1991, *Engng. Fracture Mechanics*, Vol. 40, No. 6, pp. 1135~1146.
- (2) Wang, X. and Lambert, S. B., 1995, *Engng. Fracture Mechanics*, Vol. 51, No. 4, pp. 517~532.
- (3) Fett, T., Munz, D. and Tilscher, M., 1997, *Int. J. of Solids and Structures*, Vol. 34, No. 3, pp. 393~400.
- (4) Cartwright, D. J. and Parker, A. P., 1982, *Int. J. of Fracture*, Vol. 18, No. 1, pp. 65~78.
- (5) Ju, S. H., 1997, *Int. J. of Fracture*, Vol. 84, pp. 129~141.
- (6) Lin, X. B. and Smith, R. A., 1999, *Engng. Fracture Mechanics*, Vol. 62, pp. 535~553.
- (7) 허성필, 양원호 외, 2000, 대한기계학회 춘계학술대회 논문집 A, pp. 212~217.