

Bo It 연결 구조물의 구멍주위 균열의 응력확대계수 계산

심동철*(전북대 대학원 기계공학과), 이기수(전북대 기계공학과)

SIF of cracks of the holes in the Bolt-joint structure

D. C. Shim(Mech. Eng. Dept., CBNU), K. S. Lee(Mech. Eng. Dept., CBNU)

ABSTRACT

In many structures a common method of construction is to make use of bolted or riveted joints. With this type of joint the load is transmitted through a pin from one section of the structure to another. Fatigue cracks often start from the edges of holes, due to local stress concentration. In order to predict the fatigue crack growth, the stress intensity factor K for hole-edge cracks should be available. In this paper the stress intensity factors are computed for cracks in bolt-joint region considering the contact condition.

Key Words Fatigue crack(피로 균열), Stress intensity factor(응력확대계수), Contact condition(접촉 조건)

1. 서론

일반적으로 많은 구조물들은 부재와 부재간의 연결로 이루어지며, 결합 방법으로는 핀, 볼트, 또는 리벳에 의해 이루어진다. 이러한 핀 하중을 받는 조인트는 변화하는 하중 하에서 볼트와 구멍표면간의 프래징(fracture)조건과 조합되어져 기하학적 응력 집중의 원인이 된다. 이로 인하여 구조물에 크랙이 시작되는 원인이 될 수 있다. 따라서 이러한 크랙의 응력확대계수란 아는 것이 필수적이며, 구조물의 남은 수명을 평가할 수 있다. 파괴는 응력확대계수가 임계값을 초과할 때 발생한다.

많은 학자들이 균열을 가지는 평판에서 응력확대계수를 계산하기 위해 해석적, 실험적 연구를 수행하였다. Menanara와 Liebowitz⁽¹⁾⁽²⁾는 2차원 선형탄성 파괴 문제들의 유한요소법 응용을 해석하는 것에 의해, 크랙 팁(tp)에서 적절한 매쉬(mesh)를 생성하는 방법론을 제시하였다. 응력확대계수를 결정하기 위해 사시 적용된 방법은 직접 변위보간이었다. Cartwright와 Parker⁽³⁾는 균열이 구멍의 양쪽에 내장적으로 존재하는 보낼에 대해서, 균열만 존재할 때와 핀하중이 가해지는 두 가지에 대해 응력확대계수를 결정하였다. Cartwright와 Rachiff⁽⁴⁾는 유한 평판에서 가운데

구멍의 양쪽에서 대칭적으로 크랙이 존재하며, 하중은 가운데 구멍에서 잘 맞추어진 핀을 통해서 평판에 전달할 때 양쪽 크랙에 대해 변형 에너지 플립플을 실험적인 보간식에 의해 구하였다. Karlsson과 Backlund⁽⁵⁾는 평판에 원형 구멍으로부터 발생하는 균열들에 대한 응력확대계수를 그림으로 요약하였다. Schijve와 Lai⁽⁶⁾⁽⁷⁾는 유한 평판의 가운데에 구멍이 있고, 한 쪽에 크랙이 있는 경우 평판의 길이 변화에 따른 응력확대계수값의 변화를 제시하였다. Hsu⁽⁸⁾는 부한 평판에서 평판이 균일한 인장력을 받을 때 균열의 각도에 따른 응력확대계수 값을 구하였다.

본 연구에서는 유한 요소법을 이용하여 평판이 볼트로 연결되었을 때 균열 끝점에서 응력확대계수를 구하는 것이다. 효과적인 볼트 조인트 균열부 응력확대계수를 구하려면 볼트와 구멍사이의 접촉 문제에 대한 정확한 접근이 요구된다. 접촉문제 해석 방법의 타당성은 여러 참고 문헌 값과 비교하여 검증하게 된다. 유한 평판에서 가운데 구멍이 하나 있는 모델에서 양쪽 내칭으로 크랙이 있을 경우, 한쪽에 크랙이 존재할 경우, 그리고 구멍에서 크랙의 방향이 회전하는 경우에 대해서 참고 문헌과 비교하였다. 평판에 구멍이 두 개인 모델에 대해서도 응력확

내계수를 계산하여 경향을 알아보았다.

모델의 변수로서는 구멍의 크기, 균열의 길이, 각도의 영향, 그리고 구멍의 개수 영향에 대해서 고려하게 된다

2. 볼트 조인트 접촉부 응력확대계수 계산

2.1 유한요소 모델링

본 연구에서 여러 가지 변수의 변화에 대한 응력확대계수를 계산하기 위하여 사용된 프로그램은 ABAQUS이다. 여기에서 계산되는 예제들은 볼트로 인장된 평판으로서 힘은 구조물 사이의 접촉에 의해서 전달된다. 평판은 8절점 요소를 사용하였고, 균열 선단에서는 정확성을 기하기 위해 메쉬를 세밀하게 나누었고, 특이요소(singular element)를 사용하였으며, 접촉부에서도 메쉬를 세밀하게 하여 모델링을 하였다.

본 연구에서 고려한 가정은 아래와 같다

1. 판의 탄성계수는 평판의 탄성계수에 비해 매우 큰 값을 가진다고 가정한다
2. 접촉부분에서는 바깥이 없는 것으로 가정한다
3. 평판의 두께는 단위 두께로 가정한다
4. 균열은 구멍의 반경방향으로 있다고 가정한다.

2.2 두 개의 대칭 균열을 가지는 평판

본 예제는 균열의 길이를 변화시키면서 구멍에 대칭적으로 크랙이 있을 때이다. 모델은 734개의 8절점요소를 사용하였고 총 절점수는 2307개이다. 본 예제에 적용된 수치는 Table 1에 나타내었다.

Table 1 The applied numerical values

External Force of Half Plate (F)	300 N
Young's Modulus (E)	0.7e5 N/mm ²
Poisson's Ratio (ν)	0.3
Width of Plate (W)	30 mm

2.3 한 개의 균열을 가지는 평판

본 예제는 균열의 각도가 변할 때의 응력확대계수의 경향을 알아보기 위해서 적용한 모델이다. 평판의 선체를 사용하여 메쉬를 나누었다. 모델은 849개의 8절점요소를 사용하였고 총 절점수는 2591개이다. 본 예제에 적용한 수치는 Table 1과 같다.

2.4 구멍이 두 개이고 균열이 하나씩인 평판

본 예제는 구멍이 두 개이고, 위와 아래의 구멍에 균열이 하나씩 있는 모델이다. 두 균열의 길이는 같은 것으로 하였고, 위 구멍의 균열의 각도를 변화시키면서 응력확대계수의 경향을 알아보는 모델이다. 모델은 1698개의 8절점요소를 사용하였고 총 절점수는 5157개이다. 본 예제에 적용된 수치는 Table 1과 같다.

3. 해석 결과 및 고찰

3.1 두 개의 대칭 균열을 가지는 평판의 응력확대계수

Fig. 1은 가운데 볼트가 있는 예이다. Fig. 2는 길이를 그래프로 나타내어 보았다. 폭에 대한 구멍의

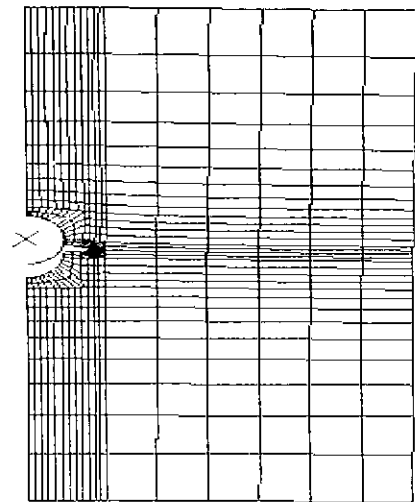


Fig. 1 The deformed shape at the bolt-joint plate

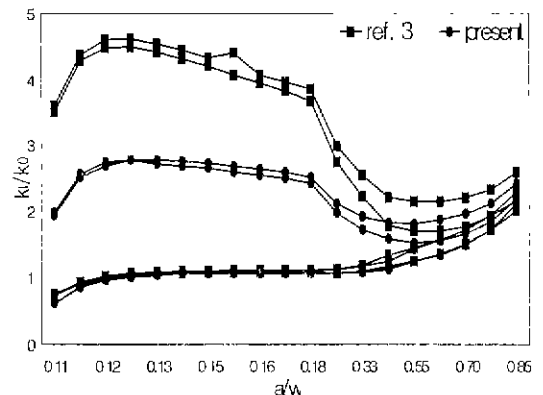


Fig. 2 Comparison of the stress intensity factors

a/w 의 균열의 길이를 변화시키면서 Cartwright와 Parker⁽³⁾가 cosine분포로 가정한 예와 비교하였다

3.2 한 개의 균열을 가지는 평판의 응력확대계수

Fig. 3은 예제에 대한 하중 조건 및 경계조건을 개략적으로 그린 그림이다 Fig. 4는 균열의 각도가

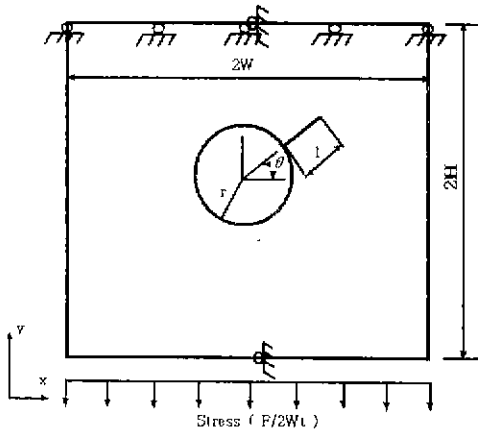


Fig. 3 The boundary condition of the model loaded with the external force

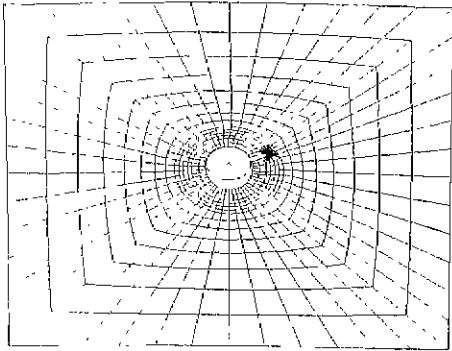


Fig. 4 The deformed shape at the bolt-joint plate

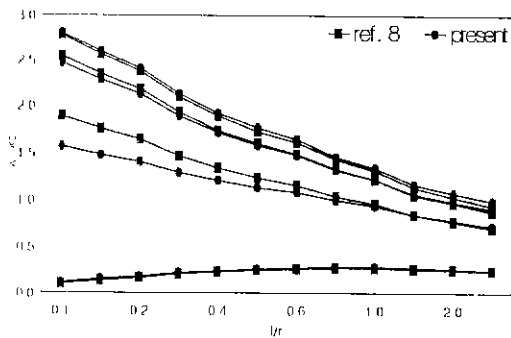


Fig. 5 Comparison of the stress intensity factors

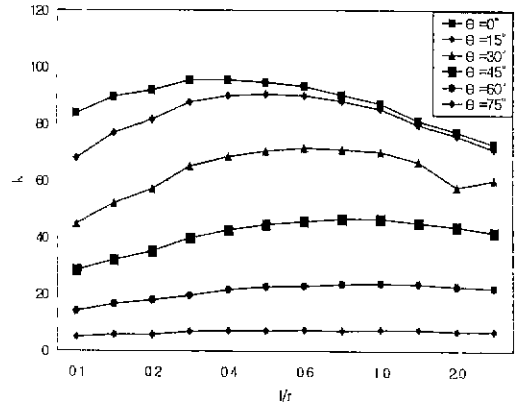


Fig. 6 The stress intensity factor in change of crack angle of bolt-joint plate
0°에서부터 60°로 변할 때 가운데 볼트가 있는 30° 변화의 그림이다 균열 인장력을 받을 때 모델에서의 계산 값과 Hsu⁽⁸⁾가 구한 값과의 비교를 Fig. 5에 나타냈다 Fig. 6은 구멍에 볼트가 있을 경우, 응력확대계수의 계산 값을 나타내었다

3.3 구멍이 두 개이고 균열이 하나씩인 평판에서의 응력확대계수

Fig. 7은 아래구멍은 회전하지 않고, 위 구멍의

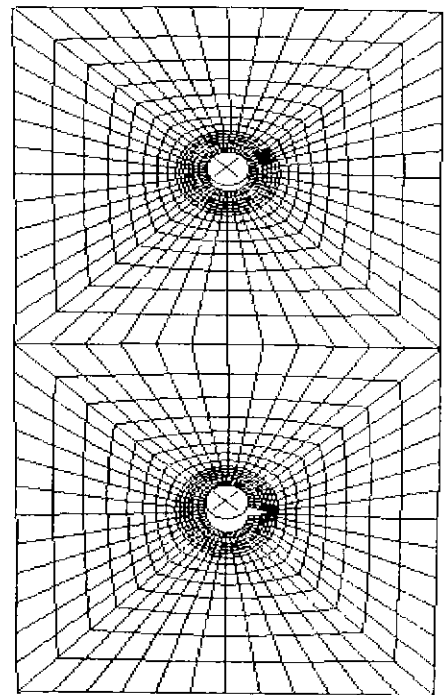


Fig. 7 The deformed shape at the bolt-joint plate having two holes

균열이 30° 변화한 그림이다 아래 부분에 균일한 인장력을 받고 있고, 볼트는 강체로 취급하여 완전 고정하였다

Fig. 8에 위 구멍에 대한 응력확대계수값을 나타내었고, Fig. 9에 아래 구멍의 응력확대계수의 계산값을 나타내었다.

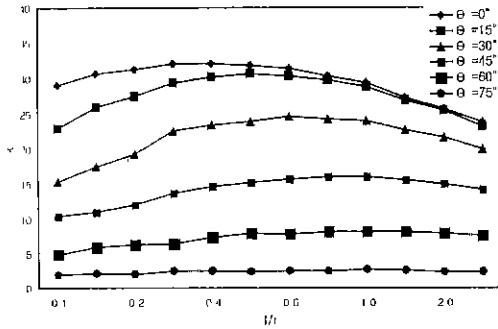


Fig. 8 The stress intensity factors of the upper hole

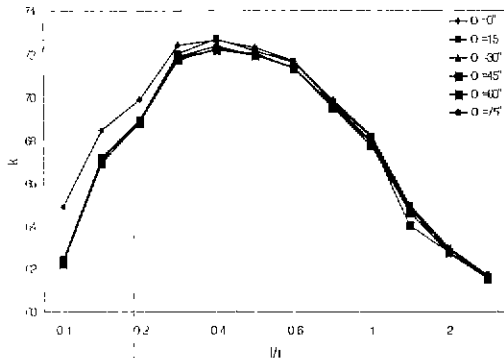


Fig. 9 The stress intensity factors of the lower hole

4. 결론

본 연구에서는 상용 유한요소프로그램(ABAQUS)을 이용하여 균열의 응력확대계수를 계산하여 보았고 아래와 같은 결론을 얻었다

1 참고 문헌 값과 비교를 했을 때 비교적 잘 일치했었다

2 두 개의 대칭 균열을 가지는 평판의 경우, Cartwright와 Parker⁽¹⁾가 cosine분포로 가정한 값과는 경향은 같았지만, 균열의 길이기 짧은 곳에서는 실제적인 접촉 조건을 사용하여 비교 값과 많은 차이를 보인 것으로 생각한다

4 한 개의 균열을 가지는 평판에서는 참고 문헌과 비교적 일치함을 보였다

5 구멍이 두 개인 평판의 경우 위 구멍에서는 각

도가 변함에 따라 응력확대계수가 변하는 것을 보였지만, 아래 구멍의 경우 위 구멍의 균열의 각도가 변하더라도 거의 같은 값을 가지게 됨을 알 수 있었다

본 논문에서는 구멍이 2개인 경우까지만 생각하여 응력확대계수를 구했지만, 필요하다면 구멍이 여러 개인 경우에도 적용이 가능하다

참고문헌

- 1 Fernando C. M. Menandro, E. T. Moyer, JR and H. Liebowitz, "A near optimal crack tip mesh", Engineering Fracture Mechanics Vol. 50, No. 5/6, pp. 703-711, 1995
- 2 Fernando C. M. Menandro, E. T. Moyer, JR and H. Liebowitz, "A methodology for crack tip mesh design", Engineering Fracture Mechanics Vol. 50, No. 5/6, pp. 713-726, 1995
- 3 D. J. Cartwright, A. P. Parker, "pening mode stress intensity factors for cracks in pin-loads joints", International Journal of Fracture Vol. 18, No. 1, pp. 65-78, 1982.
- 4 D. J. Cartwright, G. A. Ratcliffe, "Strain energy release rate for radial cracks emanating from a pin loaded hole", International Journal of Fracture mechanics Vol. 8, No. 2, pp. 175-181, 1972.
- 5 A. Karlsson, J. Bäcklund, "Summary of SIF design graphs for cracks emanating from circular holes" International Journal of Fracture Vol. 14, No. 6, pp. 585-596, 1978
- 6 J. Lai, J. Schijve, "The stress intensity factor and stress concentration for a finite plate with a single crack emanating from a hole", Engineering Fracture Mechanics Vol. 36, No. 4, pp. 619-630, 1990
- 7 J. Schijve, J. Lai, "The stress intensity factor of hole edge cracks in a finite width plate", International Journal of Fracture 46, R37-R42, 1990.
- 8 Y. C. Hsu, "The infinite sheet with cracked cylindrical hole under inclined tension or in-plane shear", International Journal of Fracture Vol. 11, No. 4, pp. 571-581, 1975