유공형상에 따른 판의 응력 집중 해석

A Stress Concentration Analysis in Plates with Various Shaped Cutouts

우 진 호* • 나 원 배**
Woo, Jinho • Na, Won-Bae

요 약

본 연구는 판에 존재하는 유공형상에 따른 응력 집중 해석이다. 일반으로 판은 가공이 쉽고 제작이 편리하여 그 사용이 많다. 이러한 판의 연결에는 원형의 유공을 이용하는 경우가 많고 구조물의 중량감소를 목적으로 유공을 만드는 경우도 있다. 그러나 판에 존재하는 유공의 경우 응력 집중으로 인한 균열생성과 같은 단점을 가진다. 이를 보완하기 위해 유공부의 최적설계 및 응력해석과 같은 많은 연구들이 수행되고 있다. 본 연구에서는 원형, 정사각형과 정삼각형의 유공을 유한 요소 프로그램을 이용하여 시뮬레이션하고 유공형상에 따라 판에 발생하는 응답을 알아보았다. 또한 원형유공의 응답을 기준으로 정사각형과 정삼각형 유공의 모서리의 곡률반경을 변화시켰을 때 발생하는 응답을 비교하였다. 상용 유한 요소 프로그램인 ANSYS/Workbench를 사용하여 인장응력하의 유공판의 응답 해석을 수행하였으며 얻어진 결과를 유공의 형상, 곡률반경의 변화에 따라 분석하였다.

keywords : 유공 형상, 곡률반경, 응력집중해석, 유한요소해석

1. 서 론

판은 구조물의 제작시 편의성과 가공성의 이점으로 인하여 비행기, 선박과 차량 등에 널리 사용되고 있다. 판의 접착 및 연결과 중량감소를 목적으로 주로 사용되는 유공은 응력집중현상으로 인한 균열의 생성이 큰 문제점이다. 응력집중이란 하중이 아주 작은 면적에 걸쳐 작용하여 작용점 주위에 높은 응력이 발생하는 현상이다. 유공부의 응력집중에 관한 기존 연구로는 유공과 노치부위의 피로수명을 고려한 형상 최적설계(원준호 등, 2008), 재료에 따른 원형 유공을 가지는 판의 응력집중해석(김대열 등, 2007), 다각형 또는 특이 유공형상에 따른 응력집중해석등이 있다(Rezaeepazhand와 Jafari, 2005). 이러한 연구의 대부분은 대상 유공의 형태가 원형 또는 노치, 특이 형상을 가지는 유공판의 응답에 초점을 맞추고 있다. 다각형의 형상과 더불어 모서리의 곡률반경의 변화는 유공의 모서리부분에 발생하는 응력집중에 중요한 변수가 된다.

본 연구는 유한요소 시뮬레이션을 이용하여 판에 존재하는 원형, 정사각형, 정삼각형 유공의 형상에 따른 응력집중해석을 수행하였다. 또한 정사각형과 정삼각형 유공의 모서리 부분의 곡률을 변화시켜 곡률반경에 따른 응력해석 결과를 나타내고 원형 유공의 결과와 비교하였다.

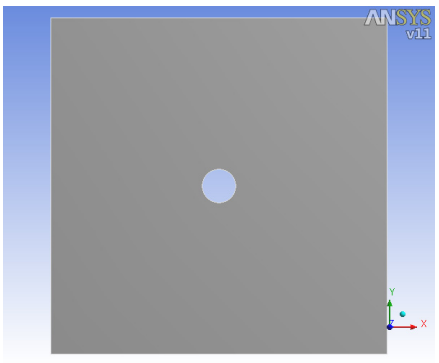
* 학생회원 • 부경대학교 해양공학과 박사과정 skybreaker@pknu.ac.kr
** 정회원 • 부경대학교 해양공학과 교수 wna@pknu.ac.kr

2. 유한요소 모델링

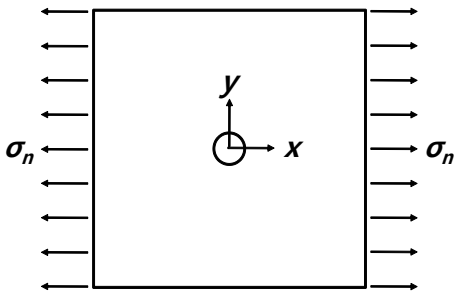
본 연구에서 응력집중해석을 위해 가정된 판의 크기는 가로 200mm, 세로 200mm, 두께 5mm이다. 판의 형상은 그림 1(a)에 나타내었다. 재료는 구조용 강재를 기반으로 하였으며 재료의 물성치는 표 1에서 나타내었다. 상용 유한 요소 해석 프로그램인 ANSYS-Workbench를 사용하여 8개의 노드를 가지는 솔리드 요소로 모델링하였다. 그리고 판은 유공부의 응력집중에 따른 결과만을 보기위해서 선형 탄성체로 모델링되었다. 하중은 판의 양단부에 인장 압력을 재하하였으며 그림 1(b)로 나타내었다. 인장 압력 σ_n은 20MPa이다. Rezaeepazhand와 Jafari(2005)의 연구에 따르면 판에 존재하는 유공형상에 따라 최대 11배의 응력집중이 일어난다. 따라서 사용된 재료의 항복강도 내에서 응력집중이 일어나게 하기 위해 항복강도의 1/12 이하인 20MPa를 사용하였다.

3. 유공 형상

유공 형상은 원형, 정사각형, 정삼각형을 고려하였다. 원형 유공은 반지름이 10mm이고 그림 1과 같이 판의 중심부에 위치하고 있다. 그림 2와 3과 같이 정사각형과 정삼각형 유공 모두 도형의 내부에 원형유공이 내접하고 있으며 이는 정사각형과 정삼각형 유공 모서리의 곡률반경이 10mm가 되는 경우 원형유공의 형상을 띄도록 만들어졌다. 정사각형의 경우 가로와 세로가 20mm이고 정삼각형의 변의 길이가 35mm이 되도록 하였다. 곡률반경의 변화에 따른 유공의 형상은 그림 2와 3에서 나타내었다. 그림 2와 3의 r/R은 곡률반경(r)과 원형 유공 반지름(R)의 비로 r/R가 0인 경우 정사각형과 정삼각형의 유공형상을 나타내고 r/R가 1로 갈수록 원형 유공의 형상과 비슷해지는 것을 나타낸다. 정사각형과 정삼각형 유공 모두 r/R이 0, 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 1의 각각 7가지 경우를 고려하였으며 그림 2와 3에서는 r/R이 0, 0.3, 0.5, 0.7인 경우만을 도시하였다.



(a)유한요소 모델 형상

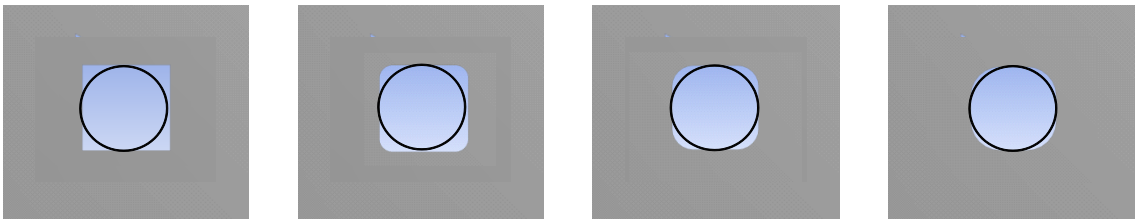


(b)하중작용 형상

그림 1 판의 형상 및 하중작용

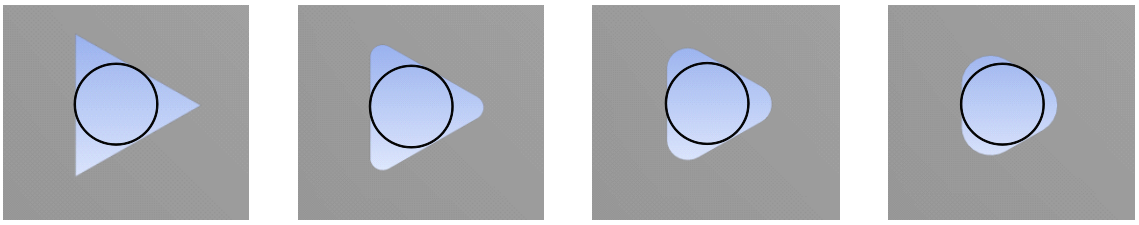
표 1 구조용 강재의 물성치

Young's modulus (GPa)	200	Poisson ratio	0.3
Tensile yield strength (MPa)	250	Tensile ultimate strength (MPa)	460



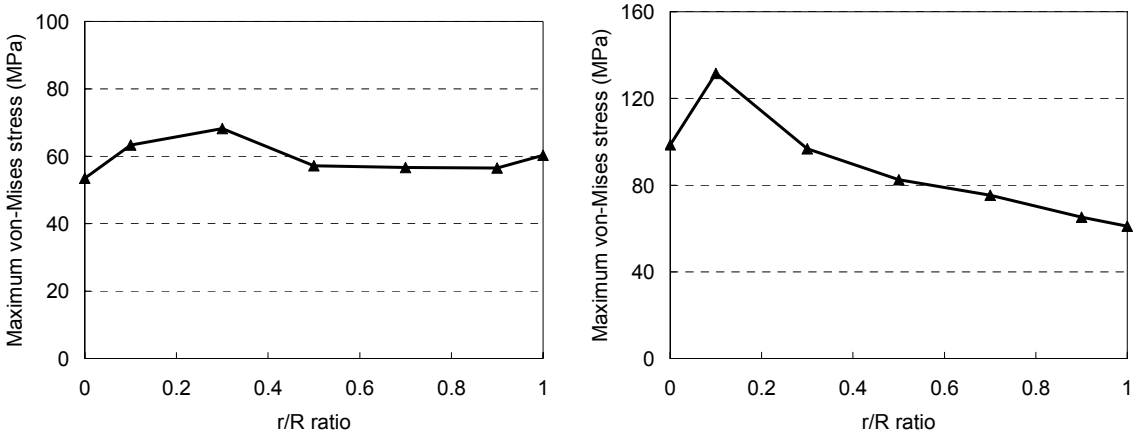
(a) (b) (c) (d)

그림 2 (a) 정사각형 유공(r/R=0), (b) r/R=0.3, (c) r/R=0.5, (d) r/R=0.7



(a) (b) (c) (d)

그림 3 (a) 정삼각형 유공(r/R=0), (b) r/R=0.3, (c) r/R=0.5, (d) r/R=0.7



(a) 정사각형 유공 (b) 정삼각형 유공

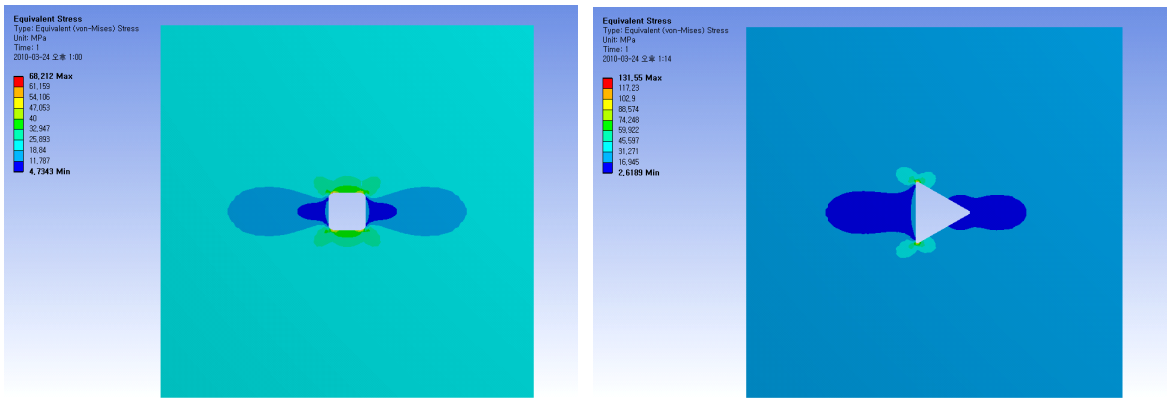
그림 4 r/R비에 따라 발생하는 최대 von-Mises 응력

4. 해석결과의 분석

원형, 정사각형, 정삼각형 유공의 원형의 반지름과 모서리의 곡률반경의 비에 따른 해석을 수행하였다. 해석 결과로 최대 von-Mises 응력을 획득하였고 이를 그림 4에 도시하였다.

유공 형상간의 결과 비교에서 정삼각형이 가장 큰 응력이 발생한다. 정삼각형의 경우 한 변의 길이(34mm)가 상대적으로 크고 모서리의 각도가 작음으로 응력집중이 크게 발생하는 것으로 판단된다.

정사각형 유공에서 얻어진 최대응력은 r/R비가 0.3인 경우의 68.212MPa이고, 전체적으로 원형 유공의 응력값과 유사한 응력이 발생하였다.



(a) 정사각형유공(r/R=0.3)의 응력분포도 (b) 정삼각형유공(r/R=0.1)의 응력분포도

그림 5 최대 von-Mises 응력 분포도

정삼각형 유공에서 얻어진 최대응력은 원형 유공에 비해 큰 응력값을 가진다. 특히 r/R비가 0.1인 경우 원형유공의 2.1배의 응력이 발생하는 것을 알 수 있다. 정삼각형 유공은 r/R변화에 따른 응력 집중효과가 크다.

일반적으로 r/R비가 0인 경우 최대응력을 가진다는 예상과 달리 정사각형의 경우 0.3과 정삼각형의 경우 0.1에서 최대 응력값을 가진다.

그림 5는 정사각형과 정삼각형 유공의 최대응력이 발생하는 r/R비의 응력분포도이다. 하중방향을 따라 응력이 작게 발생하는 부분이 발생하고 각 유공의 모서리의 작은 영역에서 응력집중이 일어난다.

정삼각형의 경우 r/R비가 0.1인 경우 최대 응력이 발생하고 r/R비가 0.1에서 1로 늘어날수록 발생하는 응력이 줄어드는 경향을 보인다. 정사각형의 경우도 r/R비가 작을 때 큰 응력값을 가진다.

5. 결론

본 연구는 판의 응력집중해석으로 유한요소 시뮬레이션을 통해 원형, 정사각형과 정삼각형의 유공과 모서리의 곡률반경 변화에 따른 응력해석을 수행하였다. 이상의 해석으로 얻어진 결론은 다음과 같다.

(1) 유공의 형상과 곡률반경의 변화에 따라 응력 집중의 정도가 달라진다.

(2) 일반적인 예상과 달리 정사각형 유공의 경우 r/R비가 0.3, 정삼각형 유공의 경우 0.1일 때 최대응력이 발생하였다.

참고문헌

김대열, 심동혁, 최명진 (2007) Energy method를 이용한 비행기표면의 응력집중해석, 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, 한국정밀공학회, pp.553~554.

원준호, 최주호, 강진혁, 안다운, 윤기준 (2008) 피로수명 연장을 위한 항공기 프레임 노치부위 국부형상 최적설계, 대한기계학회 논문집, 32(12), pp.1132~1139.

Rezaeepazhand, J., Jafari, M. (2005) Stress analysis of perforated composite plates, *Composite Structures*, 71(3-4), pp.463~468.