

# 진화 구조 최적화 기법을 이용한 개구부의 형상 최적화에 관한 연구

류충현\* (충남대 대학원 기계설계공학과), 이영신 (충남대 기계설계공학과)

## A Study on the Shape Optimization of a Cutout Using Evolutionary Structural Optimization Method

C. H. Ryu(Mech. Design Eng. Dept., CNU), Y. S. Lee(Mech. Design Eng. Dept., CNU)

### ABSTRACT

ESO(Evolutionary Structural Optimization) method is known that elements involved low stress value are removed from the previous model or that elements are added around elements involved high stress level on it and then the optimized model is obtained with required weight. Rejection ratio/addition ratio and evolutionary ratio are predefined and elements having lower/higher stress than reference stress, which average Mises stress on edge elements times rejection ratio, are deleted/added.

In this study, when the plate having a cutout is subjected various in-plane load, a cutout shape is optimized using ESO method. ANSYS is used to analyse a finite element model and optimization procedure is made by APDL (ANSYS Parametric Design Language). ESO method is useful in rather than a complex structure optimization as well as a cutout shape optimization.

**Key Words :** Cutout (개구부), Evolutionary Structural Optimization (진화 구조 최적화), Rejection Ratio (제거률), Addition Ratio (첨가률), Evolutionary Ratio (진화률), Design Domain (설계영역)

### 1. 서론

개구부는 항공기 등의 기계 구조물에 전선 등의 통과를 위해 설치되거나 주유구, 다른 구조물과의 결합 그리고 경량화 등의 필요성에 의해 존재하게 된다. 특히 압력용기와 파이프 간의 결합부 등에서 흔히 찾아볼 수 있다. 개구부는 그 형태 및 하중조건에 따라 응력집중의 정도가 다르게 발생되며 구조물이 외부로부터 하중을 받을 때 개구부 끝단의 응력 집중 현상으로 인한 손상의 개시부로 작용한다. 그러므로 개구부의 끝단의 응력거동을 정확히 예측하고 응력집중을 완화할 수 있는 방안에 대해 연구가 이루어지고 있다.

최근 Steven<sup>(1~6)</sup> 등은 진화 구조 최적화(ESO) 기법을 개발하여 여러 가지 간단한 문제에 적용하여 좋은 결과들을 제시하고 있다. 이 기법은 구조물에 하중이 작용할 때 발생하는 응력을 제한조건으로 이용하여 임의의 기준 값보다 작은 응력을 갖는 요소

를 제거해 최종적으로 남는 형상으로 최적화된 형상을 얻는 방법이다. 진화 구조 최적화 기법의 장점은 다른 기법에 비해 간단하며 상용 유한요소 해석 프로그램에 적용이 용이하다는 것이다. 그리고 요소의 제거뿐만 아니라 첨가도 가능한 양방향 진화 구조 최적화 기법도 연구되었다. 첨가 진화 구조 최적화 기법은 제거 진화 구조 최적화 기법보다 더 복잡하다.

이 연구에서는 내평면 하중을 받는 판의 중앙에 개구부가 존재할 때 응력집중의 최소화 할 수 있는 개구부의 형상을 찾는 데 목적이 있다. 우선 제거 진화 구조 최적화 기법과 첨가 진화 구조 최적화 기법을 비교하고 다음으로 다양한 하중을 받는 경우에 대한 개구부의 형상 최적화에 대해 검토하고자 한다. 유한요소모델의 해석은 상용코드인 ANSYS를 이용하였으며 최적화 과정은 ANSYS내의 언어인 APDL(ANSYS Parametric Design Language)를 사용하였다.

## 2. 진화 구조 최적화

본 연구에서 적용된 진화 구조 최적화를 수행하는데 있어서의 과정을 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 1은 요소 제거 진화 구조 최적화 기법을, 그리고 Fig. 2는 요소 첨가 진화 구조 최적화 기법을 설명한다.

먼저 요소 제거 진화 구조 최적화 기법에서는 초기 유한요소모델을 만들고 해석을 한 후 개구부 끝단의 요소만을 선택하여 요소의 개수와 각 요소의 응력을 이용하여 평균응력을 구한다. 여기서 끝단의 요소만을 고려한 것은 판에 개구부가 한 개만 존재하여야 하는 제한조건 때문이다. 응력은 각 요소에서 발생하는 응력성분을 조합한 Mises 응력을 사용한다. 이전에 선택된 요소 각각에 대하여 평균 응력과 제거률이 곱하여진 값과 비교하여 작은 값을 갖는 요소를 차례로 제거한다. 이렇게 제거된 요소의 수가 선택되었던 끝단요소의 수의 30%에 이르지 못한 경우에는 기존의 제거률에 선언된 진

화률이 더해진 값으로 새로운 제거률이 선언되어 이전의 방법을 반복하여 수행한다. 최적화는 사용자가 원하는 면적의 개구부가 생성될 때까지 계속 되며 이 논문에서는 개구부의 면적이 설계영역의 30%에 이를 때까지 수행된다.

요소 첨가 진화 구조 최적화 기법의 전체적인 흐름은 요소 제거 진화 구조 최적화 기법과 유사하나 요소를 생성하여야 하는 어려운 문제가 있다. 이를 위해서는 이전의 방법에서 사용된 제거률을 대신하는 첨가물로 평가하여 높은 응력을 발생시키는 요소를 찾아낸 후 그 요소의 어느 면에 요소를 첨가하여야 가장 효과적인가를 평가하기 위해 민감도 해석을 수행하여야만 한다. 본 연구에서는 각 절점에 대한 변위를 이용하여 민감도 해석을 수행하였다.

$$\alpha_{ij} = u_i - u_j \quad (1)$$

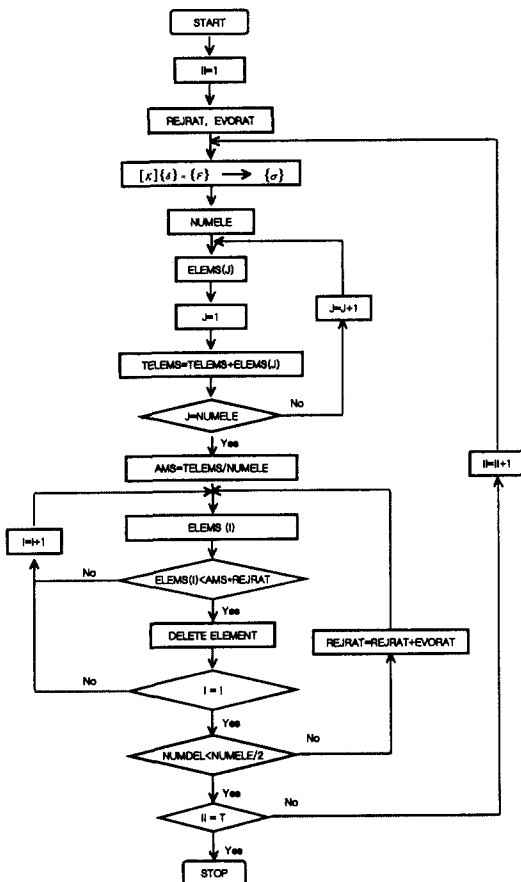


Fig. 1 Flowchart on elements removal ESO

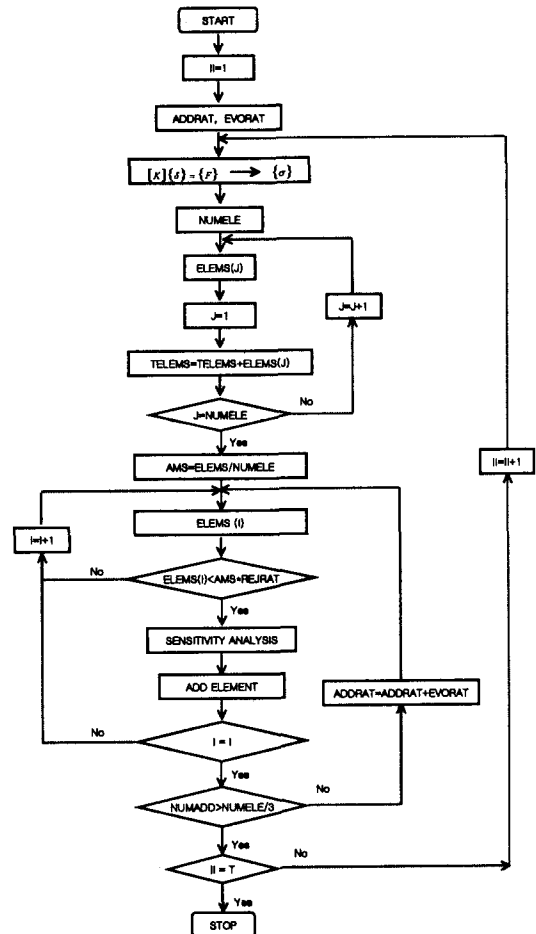


Fig. 2 Flowchart on elements additional ESO

유한요소 해석에 사용된 프로그램은 상용 유한요소 해석 코드인 ANSYS를 사용하였으며 최적화 과정은 ANSYS가 제공하는 프로그램 언어인 APDL을 이용하였다.

### 3. 유한요소 해석 모델

유한요소 해석 모델은 Fig. 3와 같이 판의 중앙에 초기의 개구부를 갖는 판을 대상으로 한다. (a)는 요소 제거 진화 구조 최적화 기법을 적용하기 위한 모델로 판의 중앙부에 초기의 작은 개구부를 형성하였으며 (b)는 요소 첨가 진화 구조 최적화 기법을 적용하기 위한 모델로 설계영역에 큰 개구부를 형성하였다. 개구부 주위의 설계영역은 조밀한 요소형성을 하였으며 그 이외의 영역은 해석시간의 효율성을 위해 설계영역보다 큰 요소형성을 하였다. 설계영역은 판의 끝단의 경계조건에 의한 영향을 배제할 수 있도록 전체 영역의 1/9영역으로 정하였다.

최적화 과정에서 요소를 제거/첨가하는 기준으로 Mises 응력이 사용되므로 요소는 응력값에 있어서 선형요소(Linear Element)보다 정확도가 높은 2차원 요소(Quadratic Element)를 사용하였다. 따라서 8절점 6자유도를 갖는 Shell93을 적용하였다. 이러한 중앙절점(mid-node)을 갖는 요소를 사용하면 요소를 선택하는데 다소 유리하나 새로운 요소를 생성하는데 약간 복잡하게 된다.

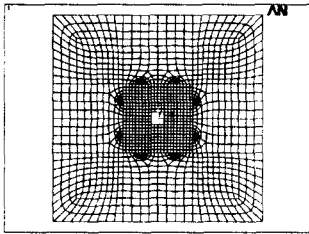


Fig. 3(a) Initial finite element model on element removal ESO

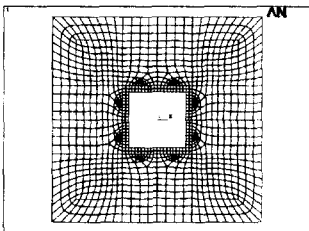


Fig. 3(b) Initial finite element model on element additional ESO

### 4. 결과 및 고찰

요소 제거 진화 구조 최적화 기법과 요소 첨가 진화 구조 최적화 기법의 비교를 위해 이축 인장력이 작용하는 판에 대해 개구부의 형상을 최적화한 결과를 Fig. 4에 보였다. 두 결과 모두 원형형상을 보였으나 요소 제거 진화 구조 최적화 기법의 결과가 개구부 끝단의 응력을 더 균등하게 분산시키는 것을 확인할 수 있었다. 이와 같은 결과는 다른 하중형태에 대해서도 얻어졌다.

Table 1은 여러 하중에 대한 초기 모델에 대한 해석결과와 최적화된 모델의 해석결과를 나타낸다. 일축 인장력이 작용할 경우에는 하중이 작용하는 방향으로 긴 개구부가 형성되며 하중방향과 수직인 방향으로의 개구부의 크기는 처음 모델에서의 초기 개구부의 크기에 의해서 결정된다. 이축 인장력이 작용할 때 한쪽 방향의 하중이 다른 한쪽의 2배에 해당하는 경우에는 큰 하중이 작용하는 방향과 장축이 일치하는 타원형 개구부가 형성됨을 알 수 있다. 그리고 한쪽 방향으로 인장력이 다른 쪽방향으로는 압축력이 작용할 경우에는 처음 모델의 개구부의 형상과 동일한 사각 개구부가 얻어지며 전단력이 작용할 경우에는 마름모 형태의 개구부가 최적값으로 얻어졌다.

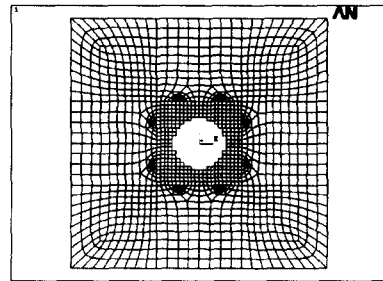


Fig. 4(a) Optimum finite element model on element removal ESO

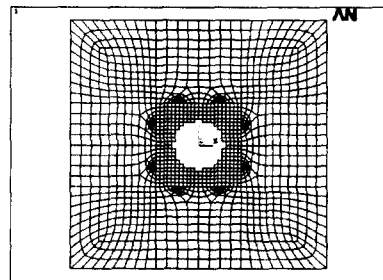


Fig. 4(b) Optimum finite element model on element additional ESO

## 5. 결론

개구부가 있는 판이 외부하중을 받을 경우에 개구부 끝단에 응력집중현상이 발생하게 된다. 이러한 응력집중은 구조물에 손상을 일으키는 중요한 요인으로서 응력집중이 작게 생기도록 설계하는 것이 매우 중요하다. 이 논문은 설계자가 원하는 면적의 개구부를 설치하는데 있어서 고려된 하중에 대해 응력을 균등하게 분포시킬 수 있는 형상을 최적화하였다. 사용된 최적화 기법은 진화 구조 최적화 기법으로 개념이 간단하며 상용 유한요소 프로그램에 쉽게 적용할 수 있는 장점이 있다. 이 논문에서는 ANSYS

를 사용하였으며 다음과 같은 결론들을 얻을 수 있었다.


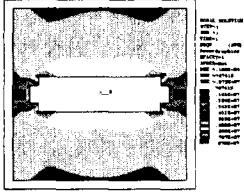
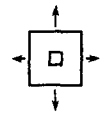
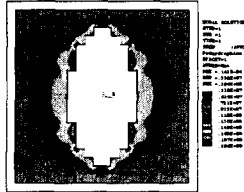
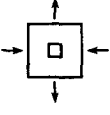
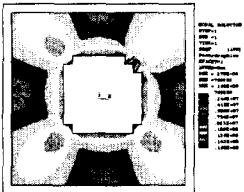
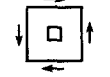
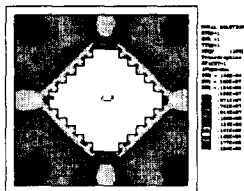
(1) 요소 제거 진화 최적화 기법이 요소 첨가 진화 최적화 기법에 비해 응력을 균등하게 분포시키는 모델을 제시한다.

(2) 개구부는 각 하중조건에 따라 원형, 타원형, 그리고 사각형 형상으로 최적화된 형상을 얻을 수 있다.

(3) 진화 구조 최적화 기법은 구조물 최적화에 유용한 기법이다.

## 참고문헌

Table 1 Stress contour on optimized design for each load condition

Load condition	Optimized cutout shape
	
	
	
	

1. Xie, Y. M., and Steven, G. P., "A Simple Evolutionary Procedure for Structural Optimization," *Computers&Structures*, Vol. 49, No. 5, pp. 885-896, 1993.
2. Xie, Y. M., and Steven, G. P., "Optimal Design of Multiple Load Case Structures Using an Evolutionary Procedure," *Engineering Computations*, Vol. 11, pp. 295-302, 1994.
3. Falzon, B. G., Steven, G. P., and Xie, Y. M., "Shape Optimization of Interior Cutouts in Composite Panels," *Structural Optimization*, Vol. 11, pp. 43-49, 1996.
4. Yang, X. Y., Xie, Y. M., Steven, G. P., and Querin, O. M., "Bidirectional Evolutionary Method for Stiffness Optimization," *AIAA Journal*, Vol. 37, No. 11, pp. 1483-1488, 1999.
5. Xie, Y. M., and Steven, G. P., "Evolutionary Structural Optimization for Dynamic Problems," *Computers&Structures*, Vol. 58, No. 6, pp. 1067-1073, 1996.
6. Falzon, B. G., Steven, G. P., and Xie, M. Y., "Multiple Cutout Optimization in Composite Plates Using Evolutionary Structural Optimization," *Structural Engineering and Mechanics*, Vol. 5, No. 5, pp. 609-624, 1997.