

# 임의의 형태를 갖는 홈을 이용한 표면형상변형을 통한 동특성 변경 Structural Dynamics Modification Using Surface Grooving Technique

박미유\*. 박영진\*\*. 박윤식\*\*\*  
Mi-You Park, Youngjin Park and Youn-sik Park

**Key Words :** Structural Dynamics Modification(구조물 동특성 변경), Groove(임의의 형태를 갖는 홈), Sensitivity Criterion Factor(민감도 기준 팩터), Embossing(엠보싱), Evolutionary Structural Optimization(진화된 구조 최적화 방법)

## ABSTRACT

Structural Dynamics Modification is very effective technique to improve structure's dynamic characteristics by adding or removing auxiliary structures, changing material property, changing shape of structure. In this research, using the surface grooving technique, shape of base structure was changed to improve its first natural frequency. Utilizing the result of sensitivity analysis, groove shape was formed gathering the many small embossing elements. For this process, Sensitivity Criterion Factor was introduced. To reduce its amount of calculation, the range of target area was restricted to their neighboring area and that result was very successful.

## 1. 서론

구조물 동특성 변경법(SDM : Structural Dynamics Modification)이란 고유진동수, 모드형상, 주파수 응답함수 등과 같은 구조물의 동특성을 향상 시키기 위해서 행해지는 광범위한 연구를 일컫는 말로서, 크게 부가 구조물을 첨가하는 방법과 삭제하는 방법, 재료의 물성치를 변경하는 방법, 구조물의 형상을 바꾸는 방법 등으로 분류할 수 있다.

이 중에서 부가 구조물의 첨가, 삭제를 통한 연구는 그 동안 많이 진행되어 왔으나 구조물의 형상을 바꾸는 방법에 대한 연구는 상대적으로 아직 많이 미흡한 상황이다. 본 연구는 이러한 구조물의 형상 변경을 통한 구조물 동특성 변경법의 일환으로서 대상 구조물에 작은 크기의 엠보싱을 여러 개 갖게 하여 임의의 형태를 갖는 홈 형상(Groove shape)을 만들어 구조물의 고유진동수를 높이는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 본 연구에서는 진화된 구조 최적화 방법(ESO ; Evolutionary Structural Optimization) 방법<sup>(1)</sup>을 응용하였다. 진화된 구조 최적화 방법이란 Y.M.

Xie 와 G.P. Steven 에 의해서 1992 년부터 개발되어 온 최적화 방법으로서 구조물이 가질 수 있는 최대 가능 영역을 초기 시작점으로 잡고 매 단계마다 유한요소 해석을 통해 기여도가 가장 낮은 요소를 제거해 나감으로써 최적화된 디자인을 도출해 내는 방법이다. 이를 통해 Y.M. Xie 와 G.P. Steven 는 정적 하중을 받는 구조물의 최적화뿐만 아니라 구조물의 주파수를 최대로 올리거나 낮추는 연구<sup>(2),(3)</sup>도 진행하였으며, 이후 최소영역에서부터 기여도가 높은 요소를 첨가해 나가는 AESO(Additive Evolutionary Structural Optimization) 방법<sup>(4)</sup>과 첨가와 삭제를 동시에 진행함으로써 최적 디자인을 얻어내는 BESO(Bidirectional Evolutionary Structural Optimization) 방법<sup>(5)</sup>으로도 발전시켜 나갔다.

본 연구에서는 민감도 해석을 통해 얻어진 각 요소의 민감도를 바탕으로 민감도 기준 팩터(SCF : Sensitivity Criterion Factor)를 이용하여 첫 번째 고유 진동수를 증가시키기 위한 임의의 형태를 갖는 홈(groove) 형상을 얻게 하였다.

## 2. 기본 알고리즘 소개

### 2.1 민감도 기준 팩터(SCF : Sensitivity Criterion Factor)

본 연구의 목적은 임의의 위치에서 임의의 형상을 갖는 임의의 개수의 홈 형상을 대상구조물에 만들어서 구조물의 첫 번째 고유진동수를 증가시

\* 한국과학기술원 기계공학과  
E-mail : lostmu@kaist.ac.kr  
Tel : (042) 869-3060, Fax : (042) 869-8220  
\*\* 한국과학기술원 기계공학과  
\*\*\* 한국과학기술원 기계공학과

키는 것이다. 이를 위해 먼저 대상구조물을 작은 요소(element)로 나누고(mesh generation), 각 요소에 대한 민감도 해석(sensitivity analysis)을 실시하여 이를 바탕으로 일정 범위에 해당하는 민감도를 갖는 요소에 작은 크기의 엠보싱을 생기게 한다. 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\alpha_e \geq SCF \cdot \alpha_{Max}$$

$\alpha_e$  : Embossing Sensitivity

$\alpha_{Max}$  : Max. Sensitivity

$$0 < SCF < 1$$

여기서 SCF(Sensitivity Criterion Factor)는 민감도 기준 팩터라고 하며 특정 요소의 엠보싱 유무를 결정짓는 기준이 된다. 즉, 최대 민감도의 일정 비율 이상이 되는 민감도를 갖는 요소에 엠보싱이 생기게 하는 것이다. 또한 이와 함께 엠보싱 되는 요소를 최대한 줄이기 위해서 이미 엠보싱이 되어 있는 요소들 중 엠보싱을 다시 제거했을 때 고유 진동수에 미치는 영향이 극히 작을 때 (-0.005~+0.005)는 엠보싱을 삭제하였다.

이런 단계가 진행됨에 따라 작은 엠보싱이 여러 개 모여 임의의 형상을 갖는 홈 형태 (groove)를 이루게 되었고 이를 통해 대상구조물의 고유진동수를 크게 증가시킬 수 있었다.

## 2.2 가변 민감도 기준 팩터(Variable SCF)

국부 최적점(local min.)을 탈출하기 위한 것과 계산의 효율을 높이기 위하여 가변 민감도 기준 팩터 개념을 도입하였다. 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$SCF = F_0 - F_1 \cdot (0.1)^{SN} - F_2 \cdot ON$$

$F_0$  : Global State Const.

$F_1$  : Initial State Const.

$F_2$  : Oscillation State Const.

그 외 SN 은 단계 지수(Step Number)로서 0 에서 시작하여 매 단계마다 1 씩 증가하게 되는 것으로서 SCF 에 0 과 1 일 때만 영향을 미치게 되고 그 외에는 거의 영향을 미치지 않는다. 즉, 처음에 엠보싱을 갖는 기준을 상당히 느슨하게 하여 임의의 위치에서 임의의 개수에 해당하는 엠보싱이 생기게끔 해주는 것이다. 또한, ON 은 오실레이션 지수(Oscillation Number)로서 한 요소에

엠보싱이 생기고 다음 단계에서 다시 그 요소의 엠보싱이 제거되는 오실레이션 상태(Oscillation State) 등에 빠졌을 시 이를 탈출하기 위한 것이다. 즉, 오실레이션 상태가 아닐 때에는 0 으로 있다가 오실레이션 상태에 빠지게 되면 1 씩 증가하면서 그 상태를 탈출했는가를 체크하는 것이다. 만약 오실레이션 상태를 탈출하지 못했다면 일정 범위까지 계속 1 씩 증가되고 탈출 하였다면 다시 0 이 된다.

## 2.3 주변부 요소를 대상으로 한 민감도 해석

민감도 해석을 할 때 대상구조물의 가능영역 전체를 대상으로 민감도 해석을 수행하면 계산량이 많아지게 되어 효율이 떨어지게 된다. 이에 본 연구에서는 어느 부분이 엠보싱에 민감한가를 알아보는 첫 단계에서만 전체 영역을 대상으로 민감도 해석을 수행하고 그 이후부터는 이미 생겨난 엠보싱의 주위만을 대상으로 한 민감도 해석을 수행하였으며 이를 통해 계산 량을 상당히 줄일 수 있었다.

## 2.4 순서도

위와 같은 내용을 종합한 순서도는 Fig 1 과 같다.

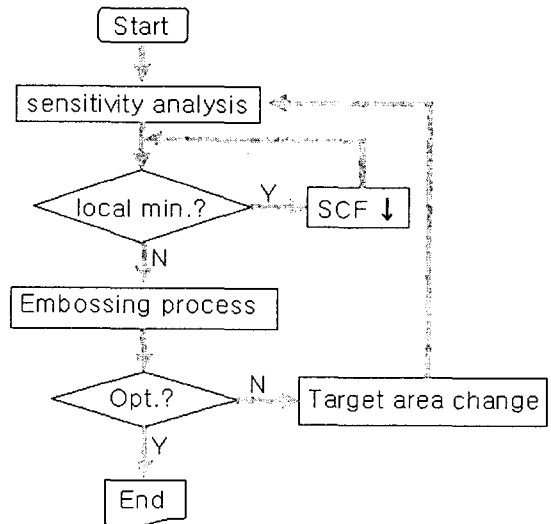


Fig 1. 순서도

## 3. L자형 구조물에 대한 적용 예

### 3.1 문제정의

대상 구조물은 Fig 2 와 같이 L 자 형태를 갖는 steel 평판 구조물로서 3 점 단순지지 받고 있으며

두께는 1mm, 엠보싱 되는 높이는 5mm 로 하였다. 1 차 고유진동수 최대를 올리기 위한 해석을 수행 하였다.

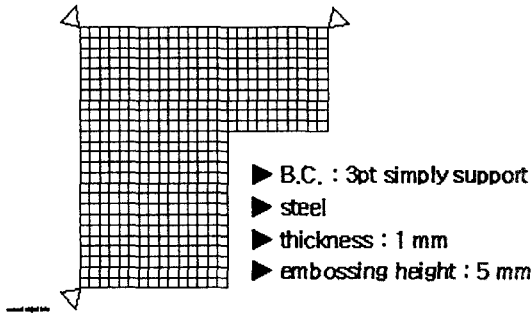


Fig 2. L 자형 대상 구조물

3.2 일정한 민감도 기준 팩터에 대한 해석 결과 민감도 기준 팩터를 0.7(실선)과 0.9(점선)로 놓고 해석을 진행하였으며 결과는 아래 그래프와 같다.

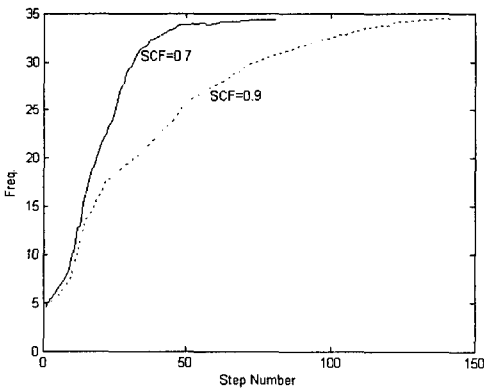


Fig 3. 1 차 고유진동수

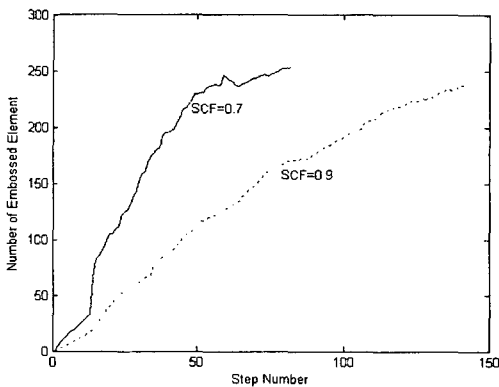


Fig 4. 엠보싱 된 요소의 개수

Fig 3 는 각 단계에 따른 1 차 고유진동수의 변화를 나타낸 것이며, Fig 4 는 엠보싱 된 요소들의

개수를 나타낸 것이다. 결과에서 알 수 있듯이 두 경우 다 최종 주파수는 동일했으며, 초기 단계에서의 주파수 증가 폭이 컸다. Fig 4 를 통해 중간에 엠보싱 된 요소의 개수가 줄어드는 현상이 생김을 알 수 있는데 이것은 기존에 엠보싱 되어 있던 특정 요소가 구조물의 형상이 변함에 따라 그 엠보싱이 제거되는 것이 고유진동수 증가에 도움이 된다는 것을 의미하며 이로써 전체 영역이 아닌 엠보싱 된 요소의 주변만을 대상으로 민감도 해석을 실시하여도 필요에 따라 홈(Groove)이 분리될 수 있다는 것을 알 수 있다. 또한 Fig 3, 4 를 통해 초기 단계에서는 두 가지 민감도 기준 팩터에 대해서 고유진동수가 비슷하게 나왔다. 즉, 초기 단계에서는 큰 민감도 기준 팩터가 적은 양의 엠보싱 된 요소를 이용하는 관점에 있어서 더 유리함을 알 수 있다. 아래의 Fig 5 는 단계별 구조물의 형상을 몇 개 나타낸 것으로 이준호의 연구결과<sup>(6)</sup>와도 상당히 유사함을 알 수 있다.

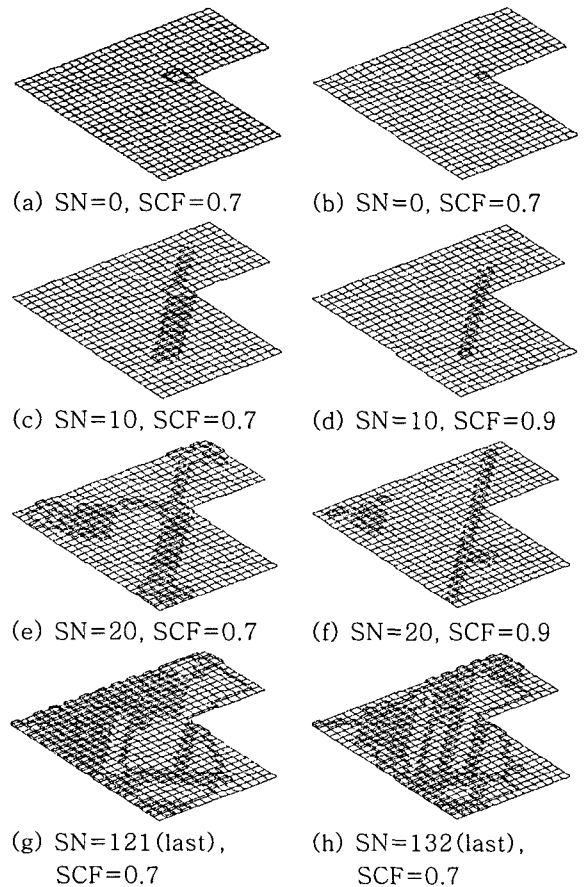
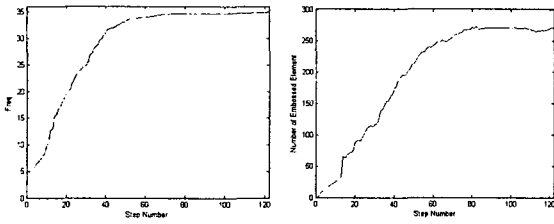


Fig 5 각 단계별 구조물의 형상

3.3 오실레이션 상태(Oscillation State)에 대한

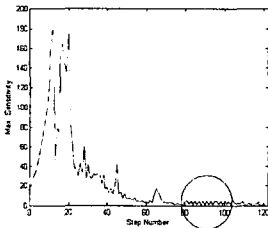
### 고찰

해석이 많이 진행 됨에 따라 오실레이션 상태에 빠지게 될 가능성이 높아지게 된다. 이번 절에서는 실제 오실레이션 상태에 빠진 상태에서 민감도 기준 팩터를 변경시켜 그 상태를 벗어나는 예를 통해 오실레이션 상태를 벗어나는 방법에 대한 고찰을 해보고자 한다.



(a) 1차 고유진동수.

(b) 엠보싱 된 요소의 개수



(c) 단계별 최대 민감도

Step	SCF
1~93	0.7
94	0.8
95	0.9
96~103	0.5
104~	0.7

(d) 단계별 SCF

Fig 6 오실레이션 상태

위의 Fig 6 은 (d)에서와 같은 각각의 민감도 기준 팩터를 인위적으로 변경 시킨 것에 대한 결과를 나타내고 있다. 그림 (c)의 원 안에 나타난 것이 오실레이션 상태인데, 이 상태를 빠져 나오기 위해서 (d)에서와 같이 민감도 기준 팩터를 변화시켰다. 결과에서 알 수 있듯이 민감도 기준 팩터를 증가시킴으로써는 오실레이션 상태를 빠져 나올 수 없었고, 감소시킴으로써 빠져 나올 수 있었다. 이는 민감도 기준 팩터의 감소에 따른 가능 변화량의 증대로 인해 가능케 된 것으로 판단된다.

### 3.4 가변 민감도 기준 팩터에 대한 해석 결과

2.2 절에서 제시한 가변 민감도 기준 팩터에 대한 해석을 수행하였다. 사용된 상수는 다음과 같았으며 오실레이션은 0 부터 15 까지 변할 수 있게 하였다.

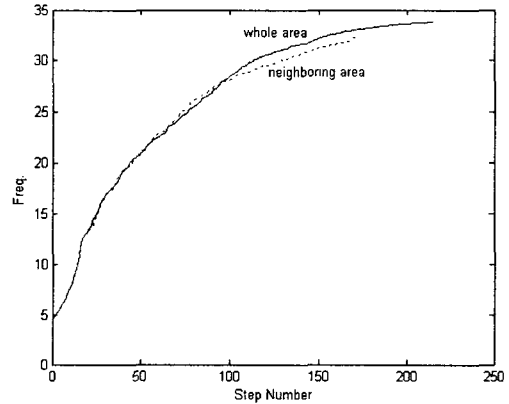
$$F_0 = 0.98, F_1 = 0.3, F_2 = 0.05$$

결과는 3.5 절 Fig 7, 8 에 나와 있으며 해석 도중 3 번 오실레이션 상태에 들어갔었다.

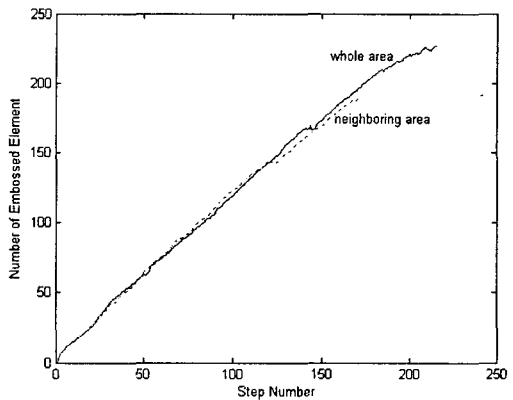
### 3.5 주변부 요소(Neighboring Area)를 대상으로 한 민감도 해석 결과

민감도 해석 시 전체 영역을 대상으로 하지 않고 주변부 요소들에 대한 것으로 대상을 축소함으로써 계산 량을 대폭 줄일 수 있었다.

아래의 Fig 7,8 은 민감도 해석의 대상을 전체 영역으로 잡은 것과 주변부 요소들로 한정된 영역으로 잡은 것. 두 가지 경우에 대한 결과를 보여주는 것으로 주변부 요소를 대상으로 놓고 해석을 수행한 것이 계산 량이나 엠보싱 된 요소의 개수 면에서 상당히 우수함을 알 수 있다.

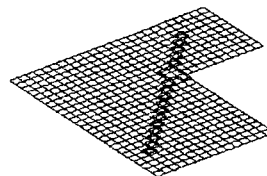


(a) 1차 고유진동수.

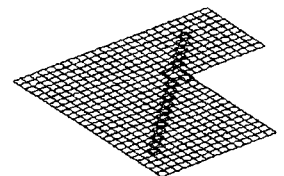


(b) 엠보싱 된 요소의 개수

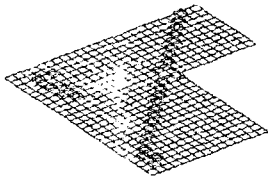
Fig 7 영역이 다른 두 가지 경우의 해석 결과



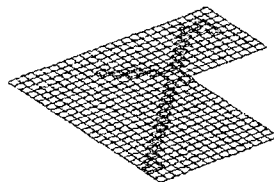
(a) SN=15, 전체영역



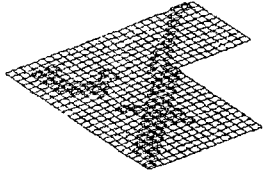
(b) SN=15, 주변영역



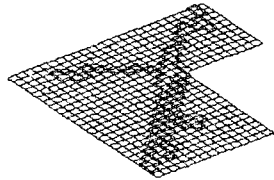
(c) SN=25, 전체영역



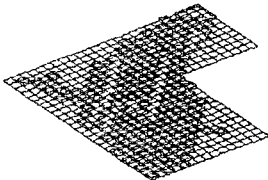
(d) SN=25, 주변영역



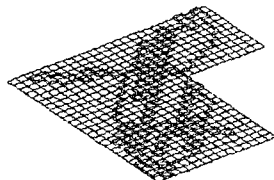
(e) SN=50, 전체영역



(f) SN=50, 주변영역



(g) SN=150, 전체영역



(h) SN=150, 주변영역

Fig 8 각 단계별 구조물의 형상

#### 4. 결론

본 연구에서는 작은 크기의 엠보싱을 여러 개 생기게 하여 임의의 형상을 갖는 홈(groove)을 만들어 구조물의 고유진동수를 증가하게 하였다. 이를 위해 민감도 기준 팩터를 도입하였으며, 해석을 전체 영역이 아닌 엠보싱 된 요소의 주변부 영

역만을 대상으로 하는 방안을 제시하였다. 이를 통해 계산량을 대폭 줄일 수 있었으며 전체 영역을 대상으로 한 해석 결과와 상당히 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

#### 후기

본 연구는 국가지정연구실사업 "진동 저감을 위한 동특성 변경기술(2000-N-NL-01-C-148)"과 두뇌한국사업(BK21)의 지원에 의한 것입니다.

#### 참고문헌

- (1) Y. M. Xie, S.P. Steven, 1993, A Simple Evolutionary Procedure for Structural Optimization, *Computer & Structures*, Vol. 49, No. 5, pp. 885~896
- (2) Y. M. Xie, S.P. Steven, 1994, A Simple Approach to Structural Frequency Optimization, *Computer & Structures*, Vol. 53, No. 6, pp. 1487~1491
- (3) Y. M. Xie, S.P. Steven, 1996, Evolutionary Structural Optimization for Dynamic Problems, *Computer & Structures*, Vol.58, No. 6, pp. 1067~1073
- (4) O.M. Querin, Y. M. Xie, S.P. Steven, 2000, Evolutionary Structural Optimization Using an Additive Algorithm, *Finite Elements in Analysis and Design*, 34, pp. 291~308
- (5) O.M. Querin, S.P. Steven, Y. M. Xie, 1998, Evolutionary Structural Optimization(ESO) Using a Bidirectional Algorithm, *Engineering Computations*, Vol. 15, No. 8, pp. 1031~1048
- (6) 이준호, 박영진, 박윤식, 2003, "위상 변경 고유치 재해석 기법을 이용한 최적 구조물 동특성 변경", 춘계 학술발표회 논문집, 한국소음진동공학회, pp. 77~81