

# 개선된 알고리즘을 이용한 그루브를 통한 표면형상변형 동특성 변경법

## Structural Dynamics Modification Using Surface Grooving Technique : Modified Algorithm and Result of Fine HDD Cover Model

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), Fine Model(조밀한 모델), Modal Strain Energy(모달 스트레인 에너지)

### ABSTRACT

Structural Dynamics Modification (SDM) is a very effective technique to improve structure's dynamic characteristics by adding or removing auxiliary structures, changing material properties and shape of structure. Among those of SDM technique, the method to change shape of structure has been mostly relied on engineer's experience and trial-and-error process which are very time consuming. In order to develop a systematic method to change structure shape, surface grooving technique is studied and successfully applied to HDD cover model. At first, to check the effect of mesh size, surface grooving technique was tested to the fine HDD cover FEmodel. And for the more efficient method, the algorithm is modified. Removing the low-valued modal strain energy element among the target domain, computational effort can be greatly reduced and the result of simulation is similar with the other simulation result.

### 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 용어로서<sup>1)</sup>, 크게 부가 구조물을 첨가하는 방법과 삭제하는 방법, 재료의 물성치를 변경하는 방법, 구조물의 형상을 바꾸는 방법 등으로 분류할 수 있다.

본, 그루브를 이용한 표면형상변형 동특성 변경법에 대한 연구는 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 하는 것이다.

이를 위해 본 연구에서는 대상 구조물을 구성하는 각각의 요소에 대한 고유진동수의 변화(variation)를 계산하고 이를 바탕으로 일정 범위에 해당하는 변화(variation)를 갖는 요소에 작은

크기의 엠보싱이 생기게 하는 알고리즘을 개발하였고,<sup>2)</sup> 이를 실제 제품인 컴퓨터의 하드디스크 드라이브(HDD) 커버 모델에 적용하여, 첫 번째 고유진동수를 증가시키기 위한 임의의 형태를 갖는 홈(groove) 형상을 얻게 하였다.<sup>3)</sup> 또한 이 때 얻어진 체크 무늬 그루브의 효용성을 알아보기 위하여 패속 조형(RP : Rapid Prototype) 방법을 이용하여 HDD 커버를 직접 제작하여 실험을 실시하였다. 실험 결과 본 연구에서 얻어진 결과가 고유진동수를 증가시키는데 있어서 더 효율적이었다는 것을 알 수 있었다. 또한 초기 시작점을 선택하는데 있어서 고유치를 이용하는 방법과 모달 스트레인 에너지를 이용하는 방법 중 어느 것이 계산 효율을 높이는 관점에 있어서 더 유리한지를 비교 분석해 보았다.<sup>4)</sup>

본 연구에서는 먼저 요소의 크기가 작은 모델(fine HDD cover FEmodel)을 만들고 모의실험(simulation)을 실시해서 요소의 크기가 다름에도 불구하고 동일한 결과를 얻는다는 것을 알아봄으로써 본 연구 주제가 요소의 크기에 상관없다는 것을 확인해 보았다. 그 후 본 논문의 주요 주제인 개선된 알고리즘에 대해서 논하였다. 앞선 연구<sup>2), 3), 4)</sup>를 통해 대상 구조물의 표면에 그루브를 생기게 함으로써 구조물의 동특성을 개선하는 방법을 제시하였다. 하지만 아직까지도 많은 계산량으로 말미암아 많은 계산 시간을 필요로 한다는 단점이 있었다. 따라서 이를 개선하기 위하여 알고리즘을 개선하였다. 이를 적용한 모의 실험 결

\* 한국과학기술원 기계공학과

E-mail : lostmu@kaist.ac.kr

Tel : (042) 869-3060, Fax : (042) 869-8220

\*\* 한국과학기술원 기계공학과

\*\*\* 한국과학기술원 기계공학과

과 효율을 크게 높일 수 있었다.

## 2. 조밀한 HDD 유한요소 모델(HDD Fine FEmodel)을 통한 결과 비교

### 2.1 조밀한 HDD 유한요소 모델(HDD Fine FEmodel)

요소의 크기(Element mesh size)가 미치는 영향을 알아보기 위하여, 기존의 모델보다 작은 크기의 요소로 이루어진 조밀한 유한 요소 모델을 대상으로 모의 실험을 실시하였다. 기존의 모델은 Fig 1 과 같고 이때의 1 차 고유진동수는 249.57Hz 였다. 새로 적용한 조밀한 HDD 모델(HDD fine FEmodel)은 Fig 2 와 같았으며 이때의 1 차 고유진동수는 249.31Hz 였다. 그 외의 고차 진동수 및 모드형상도 동일한 결과를 보였다. 그림에서 하얗게 표시된 부분이 디자인 영역을 나타내는 것으로서 기존의 모델은 디자인 영역이 438 개의 요소로 이루어져 있었으며 새로운 모델은 디자인 영역이 789 개의 요소로 이루어졌다.

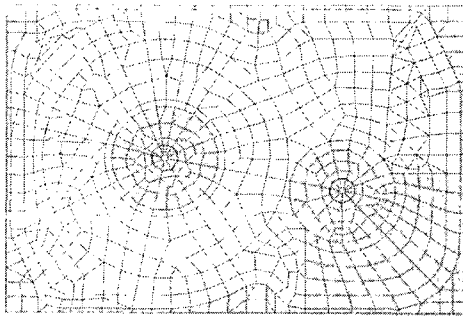


Fig 1. 기존의 HDD 커버모델

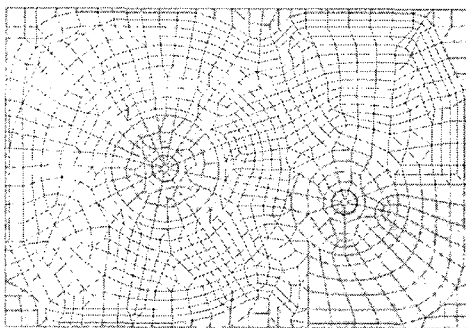
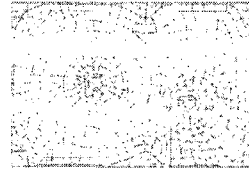


Fig 2. 새로운 조밀한 HDD 커버모델

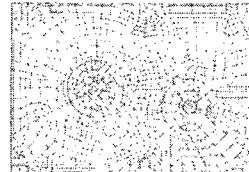
### 2.2 모의 실험 결과

Fig 3 는 기존의 모델과 새로운 조밀한 모델의 모달 스트레인 에너지 및 높은 값을 갖는 영역을

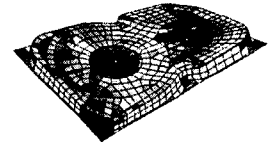
나타낸 것이다.



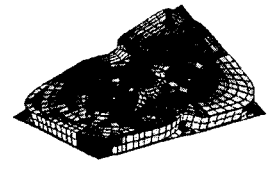
(a) 높은 모달스트레인 에너지 값을 갖는 영역 (기존 모델)



(c) 높은 모달스트레인 에너지 값을 갖는 영역 (새로운 모델)

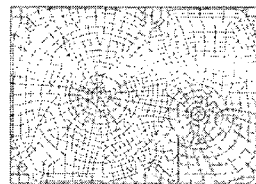


(b) 1 차 모드형상 및 모달스트레인 에너지 (기존 모델)

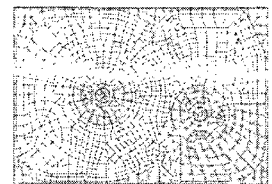


(d) 1 차 모드형상 및 모달스트레인 에너지 (새로운 모델)

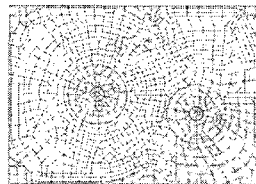
Fig 3. 모달 스트레인 에너지 및 모드형상



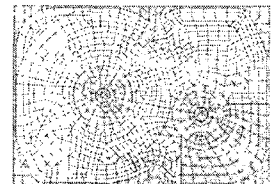
(a) SN=0



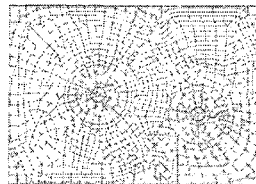
(b) SN=20



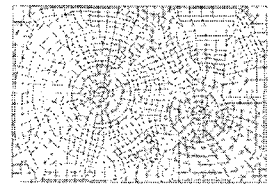
(c) SN=40



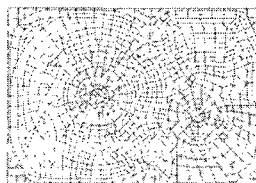
(d) SN=60



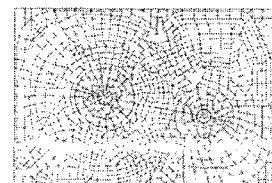
(e) SN=70



(f) SN=80



(g) SN=100



(h) SN=150

Fig 4 각 단계별 형상(새로운 모델)

Fig 4 는 새롭게 만들어진 조밀한 모델(fine model)에 대한 모의 실험 결과로서 각 단계별 형상을 나타낸다.

### 2.3 결과 고찰

앞선 결과에서 얻어진 것과 상당히 유사하게 형상이 바뀌었음을 알 수 있다. 이로써 요소의 크기(mesh size)가 조밀하게 형성 되었다 하더라도 거의 동일한 결과를 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다.

## 3. 개선된 알고리즘

지난 연구를 통해 내상 구조물의 동특성을 향상시키기 위하여 표면에 그루브를 주는 시스템화 된 방법을 제안하였다. 이를 통해 계산량을 크게 줄이면서도 체제화된 그루브 형상을 얻을 수 있었는데, 그럼에도 불구하고 아직까지도 많은 계산량을 요구하는 것이 사실이다. 따라서 이번 연구에서는 이를 줄이기 위하여 목표영역(target domain)을 구성하는 주변부 요소(neighboring element) 중 모달 스트레인 에너지(modal strain energy) 값이 낮은 요소를 제외함으로써 계산량을 크게 줄일 수 있는 알고리즘을 제안한다.

### 3.1 모달 스트레인 에너지식에 대한 민감도식 (Sensitivity of Modal Strain Energy)

비감쇠계의 고유치 문제는 다음과 같다.

$$K\phi = \lambda M\phi \quad (1)$$

변형후의 고유치 문제는 식 (2)와 같이 쓸 수 있다.

$$K'\phi' = \lambda'M'\phi' \quad (2)$$

식 (2)를 다시 써보면 식 (3)과 같아진다.

$$[(K + \Delta K) - (\lambda + \Delta\lambda)(M + \Delta M)](\phi + \Delta\phi) = 0 \quad (3)$$

이를 정리해 보면 다음과 같은 식 (4)와 (5)가 얻어진다.

$$\Delta\lambda = \frac{\phi'^T \Delta K \phi'}{\phi'^T M \phi'} \quad (4)$$

$$\frac{[K - \lambda M]}{\partial p} \phi + [K - \lambda M] \frac{\partial \phi}{\partial p} = 0 \quad (5)$$

이를 변수인 높이 h에 대하여 미분해 보면,

$$\frac{\partial \lambda_i(h_{xy})}{\partial h_{xy}} = \frac{\partial}{\partial h_{xy}} \left\{ \frac{\phi_i^T K \phi_i + \phi_i^T \Delta K(h_{xy}) \phi_i}{\phi_i^T M \phi_i} \right\} \\ = \frac{\partial}{\partial h_{xy}} \left\{ \frac{\phi_{i1}^T K_1 \phi_{i1} + \dots + \phi_{ik}^T K_k \phi_{ik} + \dots + \phi_{in}^T K_n \phi_{in} + \phi_i^T \Delta K(h_{xy}) \phi_i}{\phi_i^T M \phi_i} \right\} \quad (6)$$

위의 식 (6)과 같은 결과를 얻게 된다. 여기서 모달 스트레인 에너지<sup>5)</sup>는 네모로 표시한 부분에 해당하는 것으로서 민감도와 정비례하지는 않지만 상당한 연관성을 갖게 되어 모달 스트레인 에너지가 작으면 민감도 또한 작을 확률이 그만큼 높다는 것을 나타낸다. 이번 연구에서는 이를 이용하여 알고리즘을 개선하였다.

### 3.2 개선된 알고리즘

앞에서 알아본 식 (6)의 성질을 이용해서 목표영역을 구성할 때 주변부 요소(neighboring element) 중 모달 스트레인 에너지(modal strain

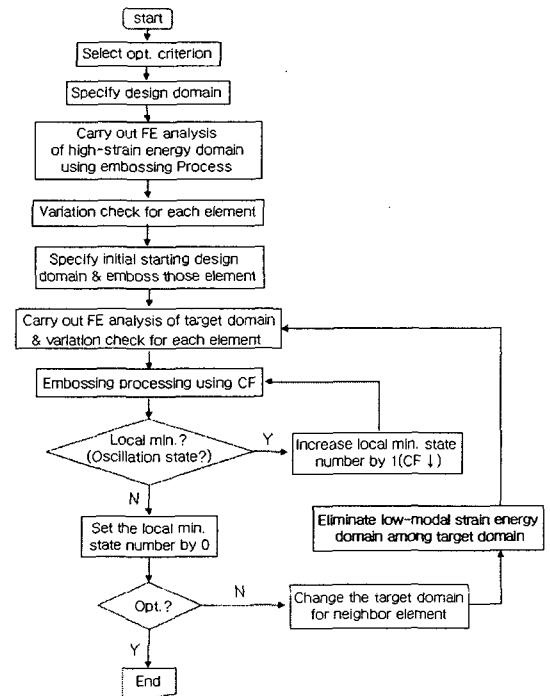


Fig 5. 개선된 순서도

energy) 값이 낮은 요소는 제외를 함으로써 계산량을 줄였다. 개선된 순서도는 Fig 5 와 같다.

### 3.3 모의 실험 결과

개선된 알고리즘을 적용하여 주변부 요소 중 모달 스트레인 에너지 값이 낮은 하위 30%의 요소를 제외하고 목표 영역을 구성한 후 모의 실험을 진행하였다.

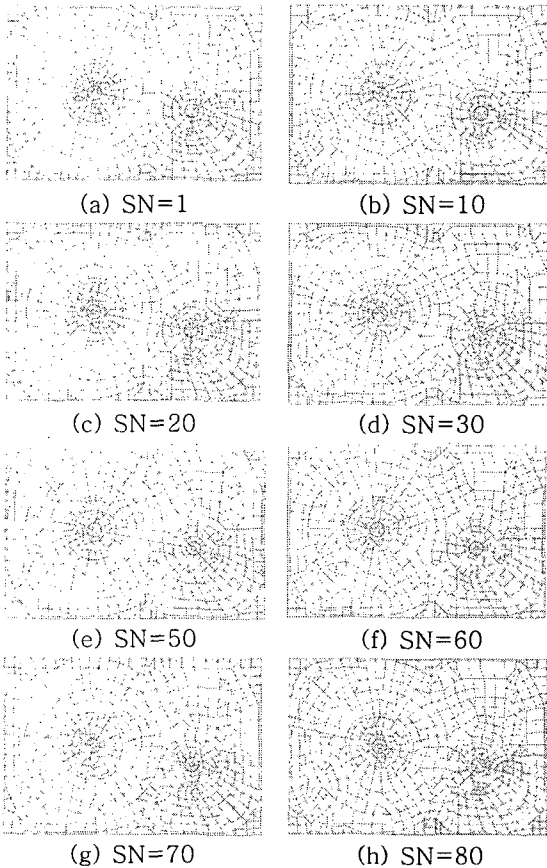
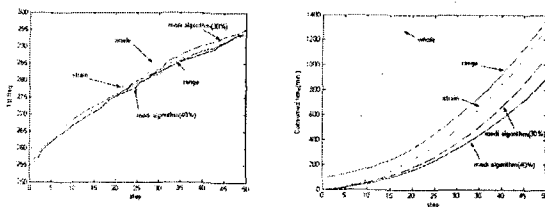


Fig 6 각 단계별 형상(개선된 알고리즘)



(a) 단계별 1 차 고유진동수의 변화 (b) 단계별 소요 시간

Fig 7. 결과 비교

그 결과 Fig 6 에 나와 있듯이 영역도 비슷하였고 Fig 7 에서와 같이 1 차 고유진동수의 변화는 거의 비슷한 반면 단계별 소요시간은 30% 정도 줄었음을 알 수 있었다.

## 4. 결론

본 연구에서는 요소의 크기에 따른 영향을 알아보고자 요소의 크기가 작은 조밀한 모델(fine HDD cover FEmodel)을 만들고 모의실험(simulation)을 실시하였다. 그 결과 요소의 크기가 다름에도 불구하고 동일한 결과를 얻는다는 것을 알아봄으로써 본 연구 주제가 요소의 크기에 상관없다는 것을 확인해 보았다. 그 후 본 논문의 주요 주제인 개선된 알고리즘에 대해서 논하였다. 목표 영역을 구성하는 주변부 요소 중 모달 스트레인 에너지 값이 낮은 요소를 제외함으로써 계산량을 크게 줄일 수 있는 알고리즘을 제안하고 모의 실험을 통해 비슷한 결과를 얻으면서도 계산량은 크게 줄여서 계산 시간을 크게 줄여 효율을 크게 높일 수 있었다.

## 후 기

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

## 참고문헌

- (1) Park, Y. S. and Park, Y. H., 1999, Research Areas on Structural Dynamics Modifications and Its State of the Art, Proceedings of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Muju, Korea, May, pp. 15~31
- (2) 박미유, 박영진, 박윤식, 2004, "임의의 형태를 갖는 흠을 이용한 표면형상변형을 통한 동특성 변경" 춘계학술발표회 논문집, 한국소음진동공학회, pp. 859~863
- (3) 박미유, 박영진, 박윤식, 2004, "그루브를 이용한 표면형상변형 동특성 변경법:HDD 커버에 대한 적용" 추계학술발표회 논문집, 한국소음진동공학회, pp. 826~829
- (4) 박미유, 박영진, 박윤식, 2005 "그루브를 이용한 표면형상변형 동특성 변경법:체크무늬 그루브의 효율성과 초기 시작점의 선택 알고리즘에 대한 비교", 춘계학술발표회 논문집, 한국소음진동공학회, P. 128~131
- (5) H. Zeischka, O.Storzer, J. Leuridan, U. Vandeurzen, 1988, "Calculation of Modal Parameter Sensitivities Based on a Finite Element Proportionality Assumption" 6<sup>th</sup> IMAC, pp. 1082~1087