

그루브를 이용한 표면형상변형 동특성 변경법 : HDD 커버에 대한 적용 Structural Dynamics Modification Using Surface Grooving Technique : Application to HDD Cover Model

박 미 유† · 박 영 진* · 박 윤 식**

Mi-You Park, Youngjin Park and Youn-sik Park

(2004년 12월 27일 접수 : 2005년 1월 31일 심사완료)

Key Words : Structural Dynamics Modification(구조물 동특성 변경), Groove(입의의 형태를 갖는 홈), Criterion Factor(기준 계수), Embossing(엠보싱)

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. In this work, the shape of base structure was modified to improve its dynamic characteristics such as natural frequencies via surface grooving technique. Grooving shape was formed by merging the neighboring small embossing elements after analyzing frequency increment sensitivities of all the neighboring emboss elements. For this process, Criterion Factor was introduced and the initial grooving was started from the element having highest strain energy and the grooving is expanded into neighboring element. The range of targeting grooving area to check its frequency variations restricted to their neighboring area to reduce the computation effort. This surface grooving technique was successfully applied to a hard disk drives (HDD) cover model to raise its natural frequency by giving some groove on its surface.

1. 서 론

구조물 동특성 변경법(SDM : structural dynamics modification)이란 고유진동수, 모드형상, 주파수 응답 함수 등과 같은 구조물의 동특성을 향상시키기 위해서 행해지는 광범위한 연구를 일컫는 용어로서^(1, 2), 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 상황으로, 지금까지는 엔지니어의 경험에 의존한 시행착오법(trial-and-error process)이 주로 시행되어 왔으나 이 방법은 많은 시간이 걸리고 최적화된 형상을 얻을 수가 없게 된다.

한편 형상최적설계와는 달리 유한요소의 재구성을 통하지 않고 빔을 이용해서 대상구조물에 엠보싱(embossing)이 주어진 것과 같은 효과를 주는 비드 패턴 최적화(bead pattern optimization) 방법⁽³⁾이 있

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

는데 방법은 셸(shell) 요소에 빔(beam) 요소가 부가 되었을 경우 빔에 해당하는 단면적의 증가로 인해 단면적의 관성 모멘트(moment of inertia of the cross-section)의 증가를 유발하고, 이는 강성의 증가로 이어짐으로써 대상구조물에 비드(bead) 혹은 엠보싱(embossing)이 주어진 것과 비슷한 효과를 갖는다는 점에 착안한 방법으로서, 대상구조물의 요소 격자 모두에 빔을 부가한 후에 위상 최적화(topology optimization)를 수행하고 최적화 결과 중 밀도가 낮은 빔은 제거함으로써 남은 빔의 결과에 따라 비드 패턴을 결정하는 것이다.

그러나 이 최적화 방법은 위상 최적화 과정 후 비드 패턴을 구하는 과정에 있어서 엔지니어의 주관적 판단에 의존하게 되는 경향이 있고 이에 따라 정확한, 임의의 형상을 갖는 비드 패턴을 얻기가 어렵다.

따라서 이 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 체계적인 방법을 개발하는 것을 목적으로 한다.

이를 위해 이 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 개발하였다.⁽⁴⁾ 이 논문에서는 이러한 알고리즘을 실제 제품인 컴퓨터의 하드디스크 드라이브(HDD) 커버 모델에 적용하여, 첫 번째 고유진동수를 증가시키기 위한 임의의 형태를 갖는 홈(groove) 형상을 얻게 하였다.

2. 기본 알고리즘 소개

2.1 기준 계수(Criterion Factor : CF)

이 연구의 목적은 임의의 위치에서 임의의 형상을 갖는 임의의 개수의 홈 형상을 대상구조물에 만들어서 구조물의 첫 번째 고유진동수를 증가시키는 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 식

으로 표현하면 다음과 같다.

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

α_e : Embossing Variation

α_{Max} : Max. Variation

$$0 < CF < 1$$

여기서 CF(criterion factor)는 기준 계수라고 하며 특정 요소의 엠보싱 유무를 결정짓는 기준이 된다. 즉, 최대 변화율의 일정 비율 이상이 되는 변화율을 갖는 요소 전부에 엠보싱이 생기게 하는 것이다. 또한 기준 계수를 고정된 값이 아닌 상황에 따라 변화하는 가변 기준 계수로 만들어 효율을 높였다.⁽⁴⁾ 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 최적화 순서(알고리즘)

앞선 기존의 연구⁽⁴⁾에서의 알고리즘을 조금 더 발

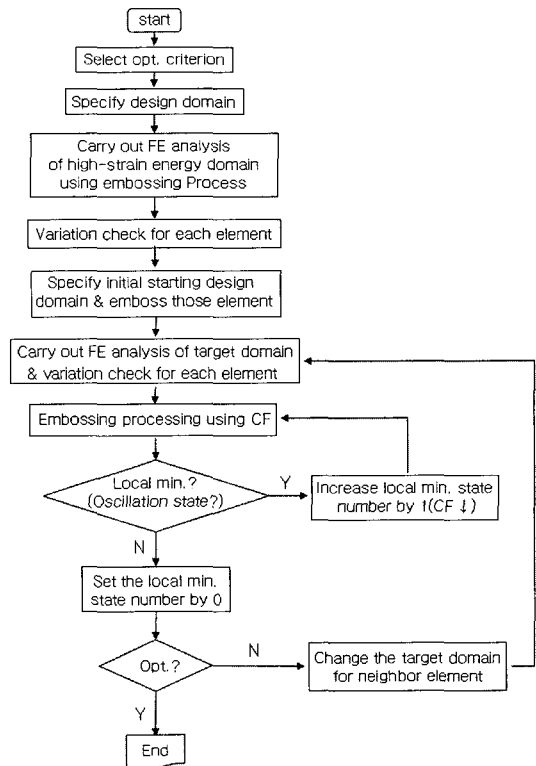


Fig. 1 Algorithm

전시켜서 효율을 높였다. 그루브가 시작하는 초기 시작점을 선택할 시, 디자인 후보 영역 전체에 대하여 엠보싱 작업을 실시한 것이 아니라 스트레인 에너지 (strain energy)가 많이 걸리는 부분에 한정하여 엠보싱 작업을 함으로써 효율을 더 높이고, 그 시작점 주위의 주변부 요소에 대하여만 엠보싱 작업을 실시 함으로써 빠르게 최적의 그루브를 형성시켜 나간다. 이 때 최적화 과정 중 부분 최적 상태(local min.)에 빠졌으면 기준계수를 상황에 맞게 변경 시킨다.

2.3 순서도

이상과 같은 내용을 종합한 순서도는 Fig. 1과 같다.

3. HDD 커버 모델에 대한 적용 예

3.1 문제정의

대상 구조물은 Fig. 2와 같이 HDD의 커버모델로서 Fig. 3에서와 같은 자유단 경계조건을 갖는 두께 1mm의 유한요소모델(FE model)로 구성하였다. 1차 고유진동수는 비틀림 모드의 249.64 Hz였다. 엠보싱 대상 영역은 Fig. 4에서의 흰색 부분이었으며, 엠보싱 되는 높이는 컴퓨터 슬롯의 제한을 고려하여 1mm로 하였다. 최적화는 1차 고유진동수를 최대로 올리는 것

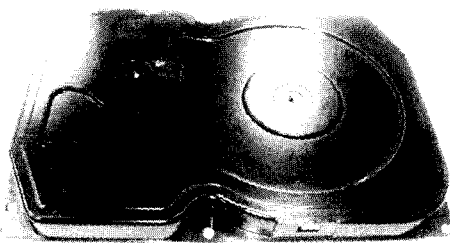


Fig. 2 HDD cover

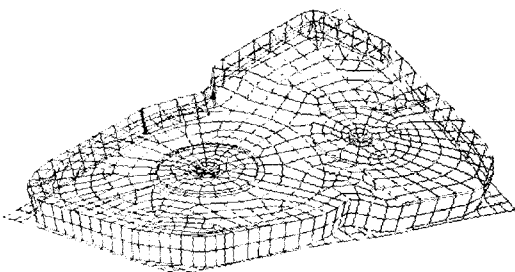


Fig. 3 HDD cover FE model

을 목표로 수행하였다.

3.2 최적화 결과

HDD 커버에 대한 최적화 시 매 단계마다 디자인 대상 영역 전체에 대하여 엠보싱 작업을 한 것과 (whole), 주변부 요소만을 대상으로 한 경우(range), 초기 그루브 위치 설정 시 스트레인 에너지를 기준으로 한 경우(strain)에 대한 결과는 Fig. 5~7과 같다.

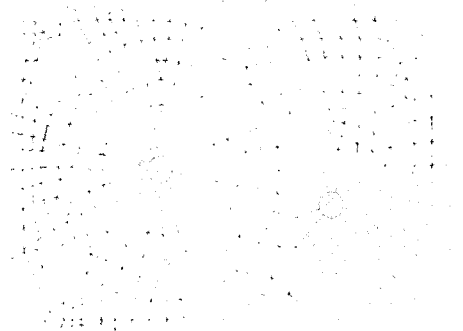


Fig. 4 Design domain

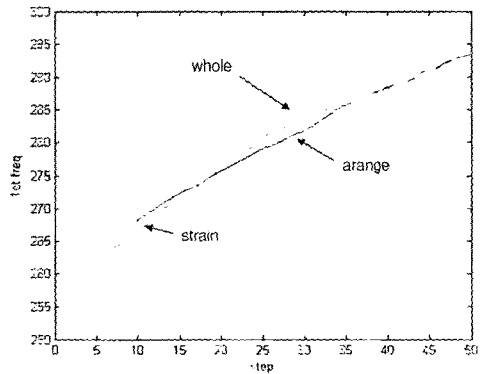


Fig. 5 1st natural freq.

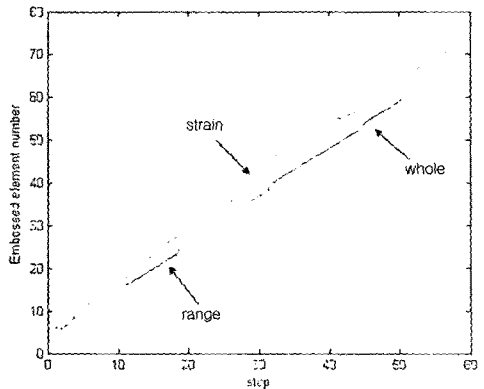


Fig. 6 Number of embossed element

Fig. 5는 각 단계에 따른 1차 고유진동수의 변화를 나타낸 것이며, Fig. 6는 엠보싱 된 요소들의 개수를, Fig. 7은 단계별 누적 소요 시간을 분단위로 나타낸

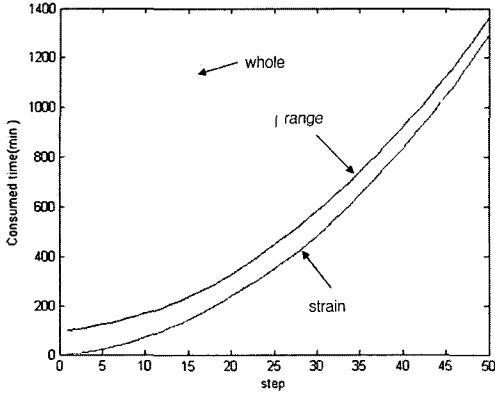
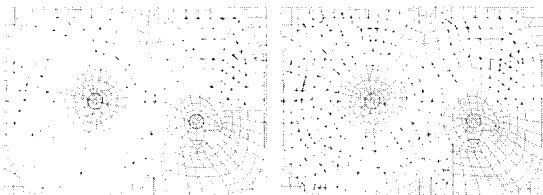


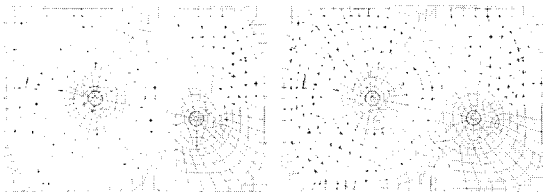
Fig. 7 Consumed time(min.)

것이다. 결과에서 알 수 있듯이 세 경우 다 1차 고유 주파수와 엠보싱 된 요소의 개수는 비슷했으나, 소요 시간은 커다란 차이를 보였다.

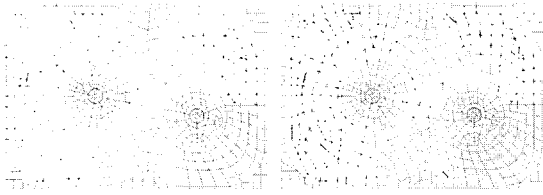
Fig. 7을 통해 알 수 있듯이 매 단계마다 디자인대상 영역 전체에 대하여 엠보싱 작업을 한 경우는 단계별 소요 시간이 비슷하여 누적된 시간 그래프가 직선형태로 증가함을 알 수 있지만, 그 외 두 경우에 대해서는 단계가 증가할수록 누적 시간이 상대적으로 엄청나게 많이 절약된다는 것을 알 수 있다. 또한 처음에 그루브 시작 지점을 선정할 때 디자인대상 영역 전체에 대하여 엠보싱 작업을 해주는 것보다 스트레인 에너지가 많이 걸리는 부분에, 또한 처음에 그루브 시작 지점을 선정할 때 디자인 대상 영역 전체에 대하여 엠보싱 작업을 해주는 것보다 스트레인 에너지가 많이 걸리는 부분에 대하여만 엠보싱 작업을 해



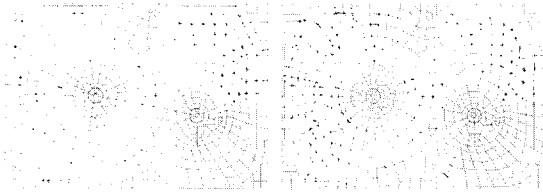
(a) SN=0 (b) SN=10



(c) SN=20 (d) SN=30

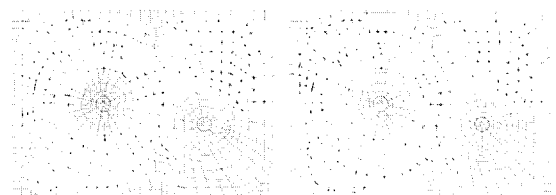


(e) SN=40 (f) SN=50

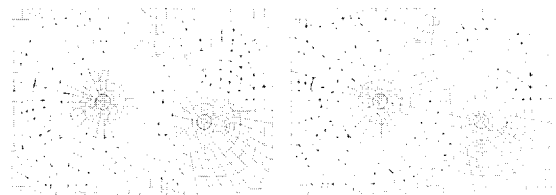


(g) SN=60 (h) SN=70

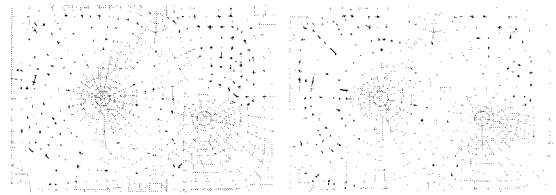
Fig. 8 Embossed shape of each step('range')



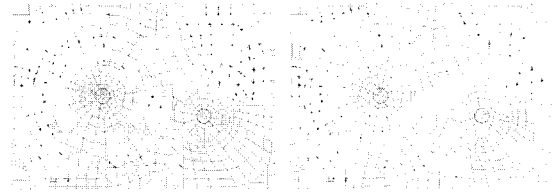
(a) SN=0 (b) SN=10



(c) SN=20 (d) SN=30



(e) SN=40 (f) SN=50



(g) SN=60 (h) SN=70

Fig. 9 Embossed shape of each step ('strain')

주는 것이 시간을 크게 줄일 수 있다는 것을 알 수 있었다.

Fig. 8, 9는 각 단계별 HDD커버의 단계별 그루빙 형상을 보여주는 것으로서, Fig.8은 초기 그루브 위치 선정 시 민감도 해석 시 디자인 대상 영역 전체 영역을 대상으로 하고 실시한 것이고, Fig.9는 스트레인 에너지가 많이 걸리는 곳을 대상으로 엠보싱 작업을 실시한 것이다.

결과에서 알 수 있듯이 두 경우 다 먼저 중앙 부근에 체크 무늬 형식으로 그루브가 형성 되었고 왼쪽 윗 부분에 대각선으로 그루브가 하나 더 형성 된다는 것을 알 수 있다.

물론 70단계 이후에도 계속 진행이 되었으나, 이 이후에는 전체 영역에서 체크 무늬형태로 그루브가 형성 되어 갔다. 결과를 통해 70단계까지의 형상은 상당히 유사했으며 1차 고유진동수도 비슷하였다. 그러나 초기 그루브 위치 선정 시 스트레인 에너지가 많이 걸리는 요소에 대하여만 엠보싱 작업을 해 준 것의 효율이 더 크다는 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

이 연구에서는 작은 크기의 엠보싱을 여러 개 생길게 하여 임의의 형상을 갖는 홈(groove)을 만들어 구조물의 고유진동수를 증가하게 하였다. 이를 위해 기준 계수를 도입하였으며, 해석을 전체 영역이 아닌 엠보싱 된 요소의 주변부 영역 만을 대상으로 하는 방안을 제시하였다. 또한 초기 그루브 위치 선정 시 스트레인 에너지가 많이 걸리는 요소에 대하여만 엠

보싱 작업을 해주도록 기존의 연구에서 알고리즘을 더 발전시켜 줌으로써 효율을 더욱 높일 수 있었다.

또한 이러한 방법을 실제 제품인 HDD의 커버 모델에 성공적으로 적용할 수 있었다.

후 기

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

참 고 문 헌

- (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, pp. 15~31.
- (2) 변성준, 박남규, 박윤식, 2001, “주파수 응답 함수 결합법을 이용한 승용차 핸들지지 T빔의 진동 저감 재설계” 한국소음진동공학회, 춘계학술대회는 문집, pp. 859~863
- (3) Yang, R. J., Chen, C. J. and Lee, C. H., 1996, “Bead Pattern Optimization”, Structural Optimization 12, pp. 217~221.
- (4) 박미유, 박영진, 박윤식, 2004, “임의의 형태를 갖는 홈을 이용한 표면형상변형을 통한 동특성 변경” 한국소음진동공학회, 춘계학술대회는문집, pp. 859~863.