

그루브를 이용한 표면형상변형 동특성 변경법 : 체크무늬 그루브의 효용성과 초기 시작점의 선택 알고리즘에 대한 비교

Structural Dynamics Modification Using Surface Grooving Technique : The Effectiveness of Check board Pattern and Comparison the Algorithm for Initial Starting Point.

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), Rapid Prototype(쾌속조형), Modal Strain Energy(모달 스트레인 에너지), Eigenvalue Sensitivity(고유치 민감도)

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. To check the effectiveness of this surface grooving technique, the grooved HDD cover design was manufactured using rapid prototyping and experimentally tested to prove the effectiveness of the grooving method as one of SDM techniques. And the modal strain energy and eigenvalue sensitivity method for choosing the initial starting point are compared.

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 용어로서¹⁾, 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 범위

에 해당하는 변화(variation)를 갖는 요소에 작은 크기의 엠보싱이 생기게 하는 알고리즘을 개발하였고,²⁾ 이를 실제 제품인 컴퓨터의 하드디스크 드라이브(HDD) 커버 모델에 적용하여, 첫 번째 고유진동수를 증가시키기 위한 임의의 형태를 갖는 홈(groove) 형상을 얻게 하였다.³⁾

본 연구에서는 앞선 연구³⁾에서 얻어진 결과인 체크 무늬 형태의 그루브에 대한 효용성을 체크해보고자 한다. 앞선 연구에서 그루브를 이용한 표면형상변형 동특성 변경법을 실제 제품인 컴퓨터의 하드디스크 드라이브(HDD) 커버 모델에 적용하여 본 결과, HDD 커버의 중앙부에 체크 무늬 형태를 갖는 그루브를 형성하게 되었는데³⁾, 이런 체크 무늬 형태의 그루브가 그렇지 않은 형태를 갖는 그루브 보다 주파수를 증가시키는데 있어서 실제로 효율적인지를 알아보기 위하여 쾌속 조형(RP : Rapid Prototype)을 이용하여 대상체를 만들고, 모달 테스트를 통하여 실험 결과를 얻어 내었다. 또, 초기 시작점을 찾기 위해 앞선 논문³⁾에서 제안한 스트레인 에너지를 이용한 방법을 두께에 대한 민감도를 이용한 방법과 비교, 검토해 보았다.

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

** 한국과학기술원 기계공학과

*** 한국과학기술원 기계공학과

2. 체크 무늬 형태 그루브의 효율성

2.1 비교 대상체의 모델링

체크 무늬 형태를 갖는 그루브의 효과만을 알아보기 위하여, Fig 1의 (a) Case 1 과 같이 앞선 연구에서 얻어진 결과에서 HDD 커버의 중앙부에 있는 체크 무늬 형태의 그루브만을 남기고 다른 부분은 제거한 모델을 비교 대상으로 삼았다. , Fig 1의 (b) Case 2는 중앙부를 전부 튀어나오게 한 것이고, (c) Case 3는 (a) Case 1에서 그루브가 위치한 범위를 튀어나오게 한 것이다. (d) Case 4는 임의의 형태를 구현해 본 것이다.

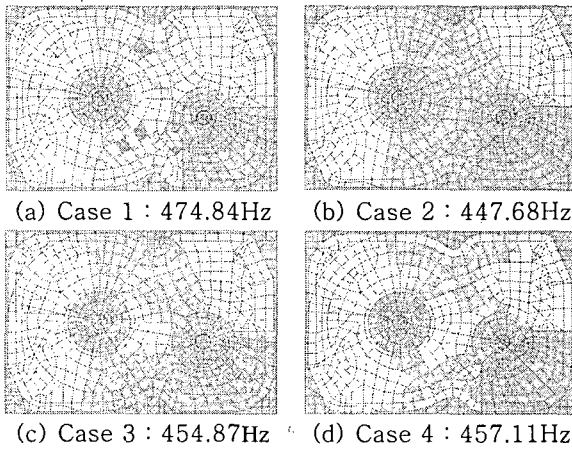


Fig 1. 비교 대상체의 모델링

위의 Fig 1.에서 알 수 있듯이, 대상 고유진동수인 1 차 고유진동수는 앞선 연구에서 얻어진 결과와 같이 (a) Case 1이 474.84Hz로 가장 높았으며, 체크 형태를 갖지 않는 그루브는 (c) Case 3가 454.87Hz로 가장 높았다. 따라서 이 두가지 모델을 대상으로 한 쾌속 조형 제품을 제작하고, 모달 테스트를 통하여 실제 조형물의 1 차 고유진동수를 비교해 보고자 한다.

2.2 쾌속 조형(Rapid Prototype)을 이용한 대상체의 제작

앞에서 선정한 대상체를 SolidWorks 라는 프로그램을 이용하여 모델링 하였으며, 이스라엘 Objet Geometris 사의 Eden330 이라는 쾌속 조형기를 이용하여 쾌속 조형물을 제작하였다. Fig 2.는 그루브가 없는 초기 상태의 HDD 커버 모델로서 그루브의 형태에 따른 1 차 고유진동수의 증가를 비교해 보기 위하여 기준으로 삼고자 제작을 하였다.

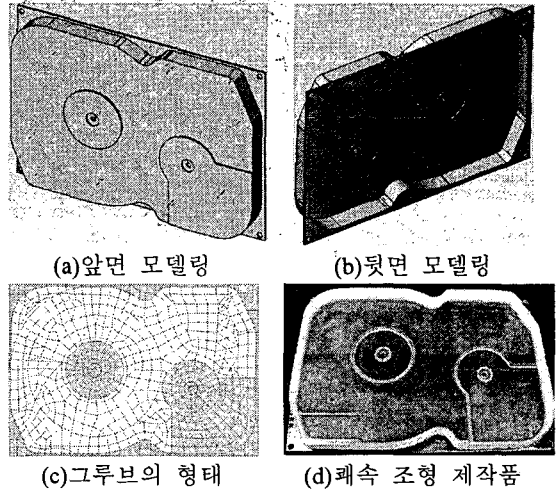


Fig 2. 그루브가 없는 초기 상태의 HDD 커버모델

Fig 3와 Fig 4는 앞의 Fig 1.에서의 Case1 과 3에 해당하는 대상체를 나타낸 것이다.

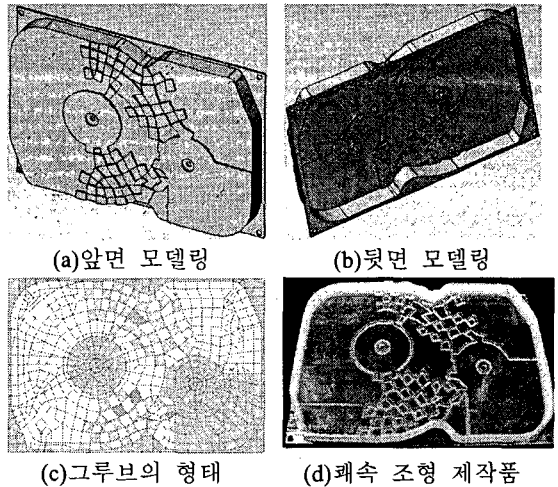
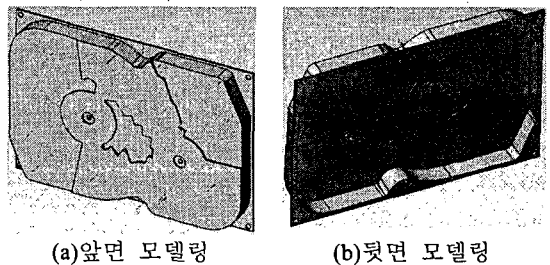
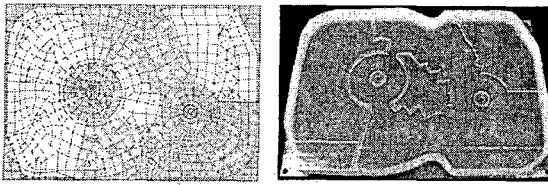


Fig 3. 체크 무늬 형태의 그루브를 갖는 HDD 커버모델





(c)그루브의 형태 (d)패속 조형 제작품
 Fig 4. 체크 무늬 형태가 아닌 그루브를 갖는 HDD 커버모델

2.3 패속 조형물을 대상으로 한 모달 테스트

패속 조형(Rapid Prototype)을 통해 만들어진 HDD 커버 모델에 대하여 소형 가진 망치(Impact Hammer)를 가지고 모달 테스트를 실시하였다. 가속도계는 무게가 0.14g 인 Endevco 사의 Type22 제품을 사용하였다.

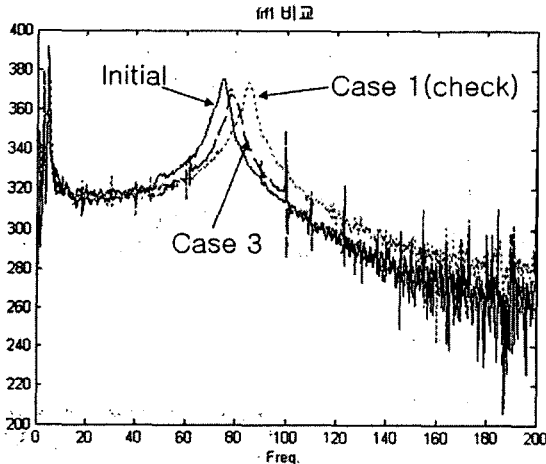


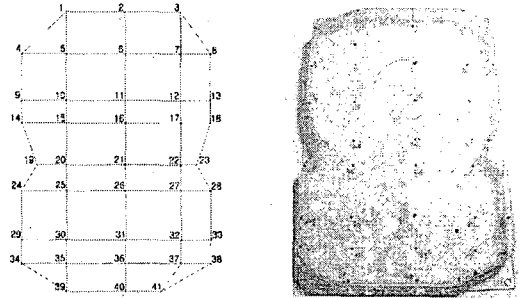
Fig 5. 각 모델의 주파수 응답함수

Fig 5 는 세가지 모델에 대하여 모달 테스트를 실시 한 후 얻어진 주파수 응답함수이고, 표 1 은 각각의 1 차 고유진동수와 그 증가량을 나타낸 것이다.

	1 차 고유진동수(Hz) (증가량%)
Initial model	74.8
Case 1	85.16 (13.85%↑)
Case 3	78.32 (4.71%↑)

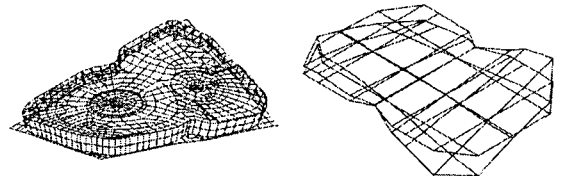
표 1. 실험 결과값

또한, 모의실험을 통하여 얻은 결과와 실험을 통하여 실제로 얻은 결과가 일치하는지를 알아보기



(a)노드 번호와 형상 (b)대상물의 노드위치
 Fig 6. 모달 테스트를 위한 노드 작업

위하여 그루브를 가지지 않은 초기의 HDD 커버 모형에 대하여 모드 형상(Mode shape)을 구한 결과 Fig 7 에서와 같이 동일한 모드임을 확인 할 수 있었다. Fig 6.은 모달 테스트를 위한 노드 번호와 형상을 나타낸다.



(a)모의 실험을 통한 1차 모드 형상 (b) 모달 테스트를 통한 1차 모드 형상
 Fig 7. 모의실험과 모달테스트를 통해 얻은 1차 모드형상

2.4 결과 고찰

2.3 절의 실험 결과에서 알 수 있듯이, HDD 커버의 1 차 고유진동수를 높이고자 할 경우, 체크 무늬 형태의 그루브를 갖는 것이 그렇지 않은 경우보다 더 효율적이다라는 것을 알 수 있었다. 또한, 앞선 연구에서의 결과³⁾가 타당하다는 것을 확인 할 수 있었다.

3. 초기 시작점 선정을 위한

알고리즘 비교

초기 시작점을 찾기 위한 알고리즘 중 두께에 대한 고유치의 민감도를 이용하는 방법과 앞선 연구에서 제안한 스트레인 에너지를 이용한 방법을 비교해 보고자 한다.

3.1 고유치(Eigenvalue)의 민감도식

비감쇠계의 고유치 문제는 다음과 같다.

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

이를 디자인 변수 P에 대하여 미분해 보면,

$$\frac{[K - \lambda M]}{\partial p} \phi + [K - \lambda M] \frac{\partial \phi}{\partial p} = 0 \quad (2)$$

$$\left[\frac{\partial K}{\partial p} - \frac{\partial \lambda}{\partial p} M - \lambda \frac{\partial M}{\partial p} \right] \phi = 0 \quad (3)$$

(3)식은 다음과 같은 조건에 따라,

$$\phi^T M \phi = 1 \quad (4)$$

식(5)와 같은 변수에 대한 고유치의 민감도 식을 얻게 된다.

$$\frac{\partial \lambda}{\partial p} = \{\phi\}^T \left[\frac{\partial K}{\partial p} - \lambda \frac{\partial M}{\partial p} \right] \{\phi\} \quad (5)$$

이때, 디자인변수 P가 두께이고, 대상체가 플레이트의 굽힘까지 고려되는 경우, 강성행렬과 질량행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다.⁽⁴⁾

$$[K] = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)} [K'] \quad (6)$$

$$[M] = \rho abt [M'] \quad (7)$$

식(6)과(7)에서 $[K']$, $[M']$ 은 각각 두께 t에 독립적인 행렬이고, a와 b는 플레이트의 크기를 나타낸다.

3.2 모달 스트레인 에너지식

모달 스트레인(modal strain energy)인 에너지란 특정 모드형상 하에서의 스트레인 에너지를 의미하는 것으로 사용하였다.

각 요소의 모달 스트레인 에너지는 다음과 같이 표현이 된다.

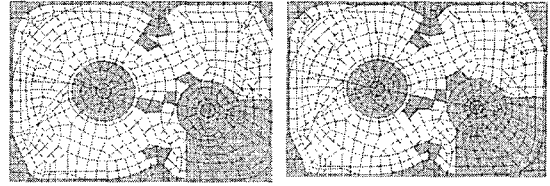
$$E_{strain}^e = \frac{1}{2} \{\phi\}^T [K_{element}] \{\phi\} \quad (8)$$

3.3 비교 고찰

앞 선 두절을 통해 식(5)와 식(8)이 상당히 유사하고 계산량에 있어서도 거의 비슷하다는 것을 알 수 있었다.

이 절에서는 위의 두가지 방법을 HDD 커버에 적용하여 두 방법을 비교해 보았다.

그 결과 Fig 8에 나와 있듯이 영역도 비슷하였고, 1차 고유진동수의 변화와 단계별 소요시간은 거의 일치를 하였다.



(a) 스트레인 에너지가 높은 영역 (b) 두께에 대한 민감도가 높은 영역
(c) 단계별 1차 고유진동수의 변화 (d) 단계별 소요 시간

Fig 8. 스트레인을 이용한 방법과 두께에 대한 민감도를 이용한 방법간의 결과 비교

따라서, 초기점 선정에는 두가지 방법이 비슷하다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

HDD 커버의 1차 고유진동수를 증가시키기 위하여 그루브를 생성시킬 때 체크 무늬 형상의 그루브가 다른 형태에 비하여 효율성이 있는지를 캐속조형을 이용하여 대상체를 만들고 실험을 통하여 검증해 보았다. 또, 초기 시작점 선택 시 모달 스트레인을 이용하는 방법이 두께에 대한 민감도를 이용하는 방법과 거의 유사하다는 것을 검증해 보았다.

후기

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

참고 문헌

(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, 박운식, 2004, "임의의 형태를 갖는 흡을 이용한 표면형상변형을 통한 동특성 변경" 춘계학술발표회 논문집, 한국소음진동공학회, pp. 859~863
(3) 박미유, 박영진, 박운식, 2004, "그루브를 이용한 표면형상변형 동특성 변경법:HDD 커버에 대한 적용" 추계학술발표회 논문집, 한국소음진동공학회, pp. 826~829
(4) H. Zeischka, O.Storrer, J. Leuridan, U. Vandeurzen, 1988, "Calculation of Modal Parameter Sensitivities Based on a Finite Element Proportionality Assumption" 6th IMAC, pp. 1082~1087