

DVD 픽업보빈의 동특성 개선을 위한 병렬위상최적설계법 응용

Application of the Parallelized Topology Optimization for the Dynamic Characteristics Improvement of a DVD Pickup Bobbin

김태수*·^o 김재은**·김윤영***

Tae Soo Kim, Jae Eun Kim and Yoon Young Kim

Key Words : Parallel Computing (병렬처리), Topology Optimization (위상최적화), Pickup Bobbin (픽업보빈), Dynamic Characteristic (동특성)

ABSTRACT

A parallelized topology optimization is applied to the design of a DVD-pickup bobbin, for which the design objective is to maximize the fundamental frequency within a given mass limit. Unlike the existing serial topology optimization, the present method can deal with a large number of design variables, and thus can yield practical and realistic results. The structural member-sizing filter is also employed to control the topological complexity of the optimized bobbin structure.

1. 서론

위상최적설계법(Topology Optimization)은 이미 많은 연구를 통해서 발전되어 왔고, 현재는 다양한 설계분야에 응용되고 있다. 광픽업(Optical Pickup)의 보빈(Bobbin)설계에도 이미 적용된 바 있으나⁽¹⁾, 위상최적설계법의 단점인 방대한 계산량으로 인해 초기윤곽만을 결정하는 개념설계의 수준에 머물러 있었다. 최근의 전산역학분야에서는 계산시간을 단축하기 위한 방안으로, 병렬처리(Parallel Processing)에 관한 활발한 연구가 진행되고 있다. 고가의 슈퍼컴퓨터 대신 저가의 클러스터(Cluster)형 병렬컴퓨터가 발전함에 따라, 병렬처리에 대한 관심은 더욱 높아지게 되었고, 위상최적설계법에도 병렬처리의 개념이 도입되었다⁽²⁾. 본 연구에서는 병렬위상최적설계법을 DVD 광픽업의 설계에 적용하여 최적의 보빈형상을 찾고자 한다. 병렬처리기법을 도입함으로써 계산시간의 단축은 물론, 보빈형상의 상세설계가 가능하

다. 또한 위상최적설계과정에서 구조요소의 크기를 조절할 수 있는 필터링(Filtering)기법을 도입하여 최적화된 보빈의 형상을 원하는 수준으로 조절할 수 있게 하였다.

2. 축타입 픽업보빈의 설계

Fig. 1에는 축타입 DVD 픽업보빈의 모습이 나타나 있다. 원통의 가운데 축을 중심으로 보빈이 회전을 하면서 반경방향 트래킹(Tracking)을 하게 되고, 축을 따라 움직이면서 포커싱(Focusing)을 하게 된다. 보빈의 동특성을 좋게 하려면 가벼우면서도 높은 고유진동수(Fundamental Frequency)를 가지도록 하여야 한다. 따라서 보빈의 위상최적설계문제는 주어진 재료의 양으로 고유진동수(λ)를 극대화하는 문제로 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$\text{Minimize } f(\mathbf{p}) = \lambda \tag{1}$$

$$\text{such that } h(\mathbf{p}) = \sum_{e=1}^{N_e} \rho_e V_e - M_0 = 0 \tag{2}$$

$$\text{with } \rho_l \leq \rho_e \leq \rho_u, \quad e = 1, 2, \dots, N_e \tag{3}$$

* 삼성전자(주)
E-mail : nymph@ideallab.snu.ac.kr

** 서울대학교 대학원

*** 서울대학교 기계항공공학부 교수



Fig. 1. DVD-Pickup bobbin

앞서 언급한 바와 같이, 식(1), (2), (3) 에서 정의된 보빈의 위상최적설계 문제는 참고문헌(1)에서 이미 다루어진 바 있고, Fig. 2에는 그 설계 결과가 나타나 있다. 하지만, 그 연구에서는 과도한 계산량으로 인하여 세밀한 유한요소망을 사용하지 못하였기 때문에 전체적인 윤곽만이 결정되는 결과가 제시되었다. 실제로 상세한 구조 형상과 위상을 얻기 위해서는 더 촘촘한 유한요소망을 사용해야 되지만 계산시간의 급격한 증가로 인하여 전통적인 단일 CPU 기반 계산기법으로는 거의 불가능하다. 따라서, 본 연구에서는 이 설계문제를 병렬화함으로써 계산량에 따른 문제점을 극복하고자 하였다.

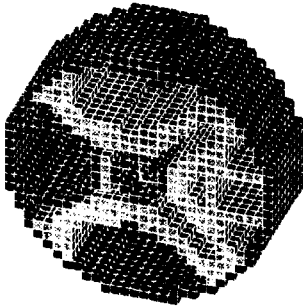


Fig. 2. The optimized result given in ref. [1].

3. 병렬위상최적설계

앞서 정의한 위상최적설계 문제를 병렬화하기 위해서 Fig. 3 과 같이 설계영역을 분할한다. Fig. 3 과 같이 설계영역이 수개의 부영역으로 분할되면 강성행렬과 질량행렬은 식(4), (5)와 같이 분할되고, 분할된 시스템 행렬들에 의해 정의된 고유치문제 (Eigenvalue Problem)는 각 부영역별로 해를 찾아가게 된다.

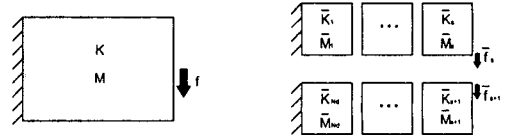


Fig. 3. Design domain decomposition

$$\mathbf{K} = \sum_{s=1}^{N_d} \bar{\mathbf{K}}_s \quad (4)$$

$$\mathbf{M} = \sum_{s=1}^{N_d} \bar{\mathbf{M}}_s \quad (5)$$

$$\mathbf{K}\mathbf{x}_j = \lambda_j \mathbf{M}\mathbf{x}_j \quad (6)$$

식(1), (2), (3)의 해를 찾아가는 과정에서 유한요소법의 수치불안정성으로 인한 몇 가지 문제들이 발생하게 된다. 가장 대표적인 것이 체커보드 (Checkerboard)타입의 구조형성이다. 이러한 현상은 주로 필터링기법에 의해 해결이 되는데^(3,4), 본 연구에서는 필터링기법의 개념을 더욱 확장시켜서 최적화된 구조물의 복잡도를 원하는 대로 조절할 수 있는 새로운 개념의 필터로 발전시켰다⁽⁵⁾.

$$C_e^{new} = \frac{C_e}{\sum_{j \in S_e} C_j / N_s} \quad (7)$$

식(7)의 C_e 는 e 번째 설계변수(Design Variable)의 설계민감도(Design Sensitivity)이고, 주변(S_e)의 설계민감도 평균값에 대한 상대값으로 재평가 된다. 식(7)의 민감도 필터를 사용함으로써, 구조물의 복잡도(Complexity) 및 구조요소(Member Size)의 크기를 조절할 수 있다.

4. 보빈의 위상최적설계

Fig. 4에는 12 개의 부영역으로 나누어진 보빈 위상최적설계문제의 설계영역이 나타나 있다. 총 407,421 자유도를 가지고 있으며, 40%의 질량구속 조건을 가하였다.

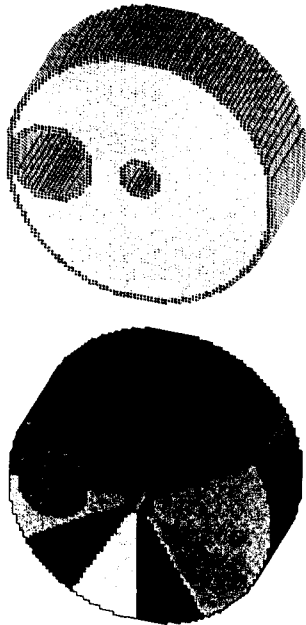


Fig. 4. Design domain decomposition for a bobbin

Fig. 5 와 Fig. 6 에는 최적화된 보빈의 형상이 나타나 있다. Fig. 5 는 식(7)의 필터링기법 없이 최적화된 결과이고, Fig. 6 은 식(7)의 민감도필터를 사용하여 최적화된 결과이다. 기존 모델이 752mg/27.8kHz의 특성을 가지고 있는데 반해, Fig. 5 와 Fig. 6 의 결과는 각각 636mg/29.1kHz, 636mg/28.3kHz의 특성을 가지고 있다. 기존모델에 비해 두 경우 모두 가벼우면서도 높은 고유진동수를 지닌다. Fig. 2의 위상최적설계 결과와 Fig. 5와 Fig. 6의 결과를 비교해 볼 때 Fig. 5와 Fig. 6은 훨씬 세밀한 형태의 보빈구조를 보여줌을 알 수 있다.

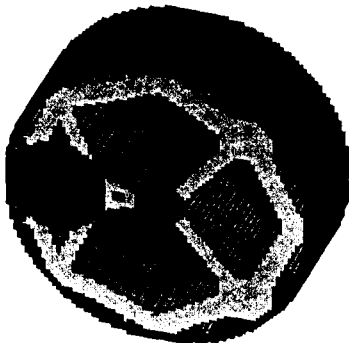


Fig. 5. Optimized bobbin design without the filtering scheme (7)

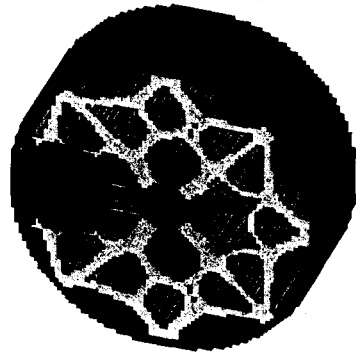


Fig. 6. Optimized bobbin design with the filtering scheme (7)

5. 결론

본 연구에서는 병렬위상최적설계법을 사용하여 DVD 광픽업 보빈구조의 동특성 개선을 위해 병렬 위상 최적 설계기법을 적용하였다. 병렬처리기법을 도입함으로써, 최적 설계 결과를 직접 설계에 반영 할 수 있을 정도의 상세한 유한 요소망을 사용할 수 있었다. 향후 이 병렬 기반의 위상 최적 설계 기법은 실제 산업계에서 필요한 구조물의 설계에도 매우 유용하게 활용될 것으로 예상된다.

참고문헌

- (1) 김태수, 이경호, 김윤영, 채찬영, 이관철, 1999. 위상최적화 기법을 이용한 DVD/CD 호환 픽업 바빈의 최적구조 설계, 한국소음진동공학회 추계학술대회 논문집. 437-442.
- (2) 김태수, 2001. 병렬컴퓨터 기반의 구조위상최적설계, 서울대학교 박사 학위논문.
- (3) Sigmund, O. and Petersson, J., 1998. Numerical instabilities in topology optimization: a survey on procedure dealing with checkerboards, mesh-dependencies and local minima, *Structural Optimization*. 16, 68-75
- (4) Kim, T. S. and Kim, Y. Y., 2000. MAC-based mode-tracking in structural topology optimization, *Computers and Structures*. 74, 375-383.
- (5) Jeong, J. H., Kim, T. S. and Kim, Y. Y., 2001. A new grain-sizing filter in topology optimization. Extended Abstracts of the Fourth World Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization. 46-47.