

# 최적화 기법을 사용한 초소형 카메라 조리개 셔터장치의 성능향상

## The Improvement of Performance in an Ultra small Camera Iris-Shutter Device using Topology Optimization

박순옥<sup>†</sup>, 유정훈<sup>\*</sup>

Soonok Park and Jeonghoon Yoo

(2009년 8월 19일 접수; 2009년 9월 9일 심사완료; 2009년 9월 17일 게재확정)

### Abstract

This study is concerned with the design of a camera iris-shutter device for producing force. The camera iris-shutter with yoke should have a smaller size and a bigger magnetic force than the previous model. Since the induced magnetic force operates shutter movement, the magnetic force maximization for a given input current is an important issue. To achieve the goal, new system is designed by the topology optimization method. The design is refined through the design of experiments to find the detail camera iris shutter design satisfying design constraints.

**Key Words :** Topology Optimization (위상최적화), Magnetic Force(자기력), Camera Shutter Device(카메라 셔터 장치), Iris(조리개)

### 1. 서론

카메라의 셔터 장치는 카메라에 입사하는 빛의 양을 조절해 주는 장치로서, 빛의 노출되는 시간이 셔터 속도(shutter speed)에 의해 조절된다. 따라서 고성능의 카메라를 위해서는 최대 셔터 속도를 증가시키는 것이 중요하다. 카메라에 입사하는 빛은 셔터 날개의 위치에 의해 통과되거나 차단되며 셔터 날개는 카메라 셔터 장치 내의 자기 회로에서 발생하는 자기력(magnetic force)에 의해 구동된다. 또한 카메라의 셔터 장치와 조리개 장치는 구동 시스템의 원리가 동일한 이론과 방법에 의해 설계가 동시에 개선될 수 있다[1]. 카메라 셔터 장치의 대략적인 구조가 Fig. 1에 도시되어 있다. 셔터 장치에 장착되는 자기 회로는 요크(yoke)와 코일(coil), 영구자석(permanent magnet)으로 구성된다. 셔터나 조리개의 날개는 코일에 인가된 전류

에 의해 요크가 자화 되면 요크 사이에 위치한 영구자석은 요크에서 발생된 자기력을 갖게 된다. 영구자석에 의해 셔터나 조리개의 날개가 이동하게 되는데, 이 때 발생하는 자기력은 셔터나 조리개 성능에 결정적인 영향을 미치게 된다. 근래에는 카메라를 포함하는 휴대용 기기의 경우 점차 소형화 추세를 따르고 있어서 카메라의 셔터와 조리개는 사이즈 감소 또한 이루어 져야 한다. 이는 생산성이나 경제성 측면에서의 장점을 갖고 있으므로 앞으로 더욱 많은 설계가 이루어 질 것으로 예상된다. 그러나 사이즈의 감소는 요크나 영구자석의 크기가 작아지게 되어 기존 설계보다 자기력이 떨어지는 경우가 발생하고 또한 영구자석의 이동 경로 확보가 어려운 상황이 발생한다. 본 연구에서는 공간적인 제약조건 내에서 자기력을 최대화하기 위한 자기 회로를 설계하였다. Fig. 2 (a)는 기존 구동 장치를 보여주는 것으로 코일이 감긴 요크부가 'c' 자 형상이고 영구 자석이 요크 사이 공간을 차지하여 셔터나 조리개의 이동 경로 확보 시스템이다. 본 연구는 사이즈의 감소와 자기력의 극대화를 위해 'c' 자 형상의 일체형 요크를 분리하여 Fig. 2(b)를 제안하고 요크부는 위상 최적 설계기법(topology optimization)을 통해 설계되

<sup>†</sup> 연세대학교 대학원 기계공학부  
E-mail : yonseiqueen@yonsei.ac.kr  
TEL : (02)2123-2859  
FAX : (02)362-2736

<sup>\*</sup> 연세대학교 기계공학부 교수

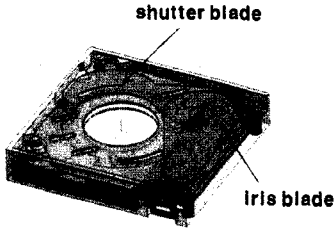


Fig. 1 Structure of the camera iris-shutter in a mobile device

었다. 위상 최적 설계 기법은 설계 대상의 구조에 대한 구체적인 정보 없이 개념 설계를 획득할 수 있는 기법으로 구조 물에서 그 효율성이 입증되었고[2], 정자기 시스템(magnetostatic system)에 있어서 자기장의 분포나 자기력(magnetic force)를 극대화하는 문제를 많이 다루고 있다. 자기력을 극대화 한 형상을 기반으로 실제 구동기에 사용될 수 있는 3 차원 형상을 실험계획법(design of experiments)을 이용하여 도출한다.

## 2. 제안 모델

카메라 셔터나 조리개의 구동은 요크에 감긴 코일에 전류 인가시 영구자석의 움직임으로 셔터와 조리개의 날개가 움직인다. 기존 시스템은 Fig. 2(a)와 같은 요크 형상에 코일이 감겨있고 하나의 요크에 영구자석이 위치된 시스템으로 모듈의 크기가 Table 1 과 같이 된다.

본 연구에서는 기존 모델의 크기, 즉 Table 1 에 나타난 사이즈보다 작아야 되고 셔터와 조리개의 속도를 고려하여 자기력의 크기를 최대화하는 설계가 이루어져야 한다. 본 연구에서 제안한 모델은 Fig. 2(b)와 같이 기존의 요크부가 두께 방향의 공간을 많이 차지하는 점을 감안하여 요크를 분리하여 설계하고 자기력의 최대화를 위해 각각의 분리된 요크에 코일을 감아서 전류의 양이 기존 모델보다 증가하여 자기력의 세기를 높일 수 있는 설계를 제안하였다[3].

## 3. 위상최적화를 이용한 요크 설계

### 3.1 설계 문제의 정의

카메라 셔터와 조리개 장치의 자기 회로는 요크, 코일과 영구자석으로 이루어지고 자기 회로에 의

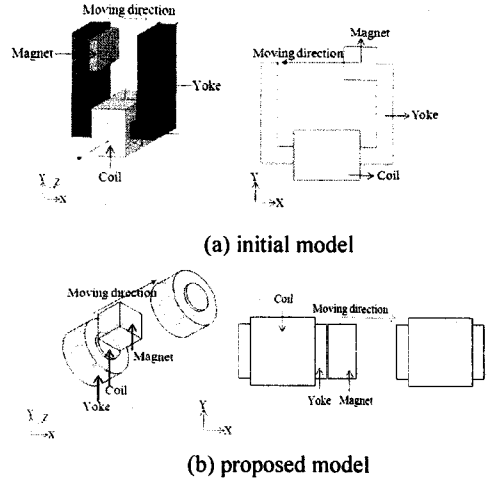


Fig. 2 The Principle of the movement

Table 1 The specification of an initial model

	Initial model
Size	12 x 10 x 7 [mm]
Force	$2 \times 10^{-2}$ [N]
Mass	700 [mg]

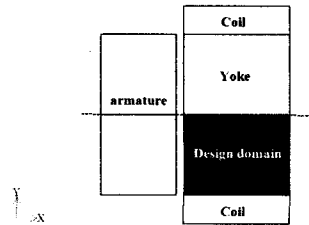


Fig. 3 The design domain for topology optimization

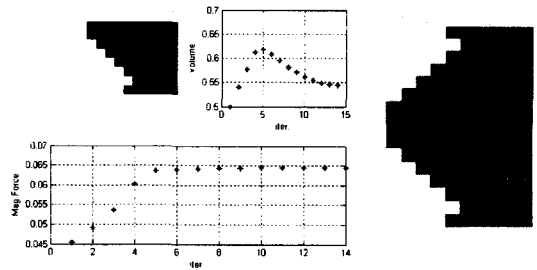


Fig. 4 The result of topology optimization

Table 2 The comparison between initial model and proposed model

	Initial model	Proposed model
Volume fraction	1	0.54
Magnetic force(N)	0.05	0.065
Iteration number	0	14

해 발생하는 자기력에 따라 셔터와 조리개 날개의 속도가 결정된다. 요크의 형태에 따라 형성되는 자기장이 달라지므로 요크 형태를 위상최적화를 이용하여 설계하였다. 설계 목적은 셔터 날개가 빠른 시간 내에 열리고 닫힐 수 있도록 자기력을 최대화하는 것으로 설정하였다. 즉, Fig. 3 에서 y 방향은 셔터나 조리개의 성능향상을 방해하는 힘 이므로 x 방향의 자기력을 최대화 하는 것을 목적 함수로 설정하고 식 (1)과 같이 나타낸다[4].

$$\begin{aligned} \text{Maximize: } \Phi(\rho) &= \frac{1}{2\mu_0} \int_{\Gamma_{\text{interface}}} [(B_x^2 - B_y^2)\hat{n}_x + 2B_x B_y \hat{n}_y] \\ \text{subject to: } &0 \leq \rho_i \leq 1, (1 \leq i \leq N_e) \\ &\int_{\Omega} \rho d\Omega \leq Vol \end{aligned} \quad (1)$$

여기서  $\Phi(\rho)$  는 Maxwell 응력식에 의한 x 방향의 힘을 나타내며 두개의 제한 조건은 설계변수의 상한 및 하한 조건과 체적조건을 표시하고 있다.

### 3.2 위상최적화 정식화

본 연구는 요크 영역에서 설계되므로 요크 물질에 대한 설계변수가 요구된다. 요크에 대한 설계변수  $\rho$  에 대한 상대 저항률(relative permeability)  $\nu_r^e$  은 식 (2)와 같이 나타낸다.  $\rho$ (penalty exponent) 는 벌칙 지수로서 3 을 적용하고  $\rho$  의 초기값은 0.5 를 적용하였다. 목적함수에 대한 민감도 해석을 위해 보조변수법(adjoint variable method)을 이용하였다[5].

$$\nu_r^e(\rho) = \rho^p (\nu_r - 1) + 1 \quad (2)$$

여기서  $\nu_r^e$  는 요크를 구성하는 강자성체의 상대저항률로 1/4000 값을 넣는다.

### 3.3 최적화 결과

셔터 장치는 영구자석과 요크 모두 대칭 모델이므로 Fig. 3 과 같이 정의할 수 있다. 위상최적설계를 위한 설계 영역을 요크 부분의 반으로 결정하고 최적화를 수행하였다. 그 결과 Fig. 4 형상이 자기력을 최대화하는 것으로 나타났다. 초기 모델보다 부피가 46% 감소하였고 이는 부피가 1 일 때의 자기력의 세기보다 30% 증가한 것을 Table 2 에서 확인할 수 있다.

### 3.4 최적화 결과 검증

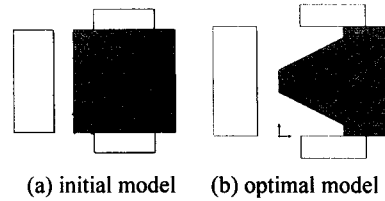


Fig. 5 The approximation model by topology optimization

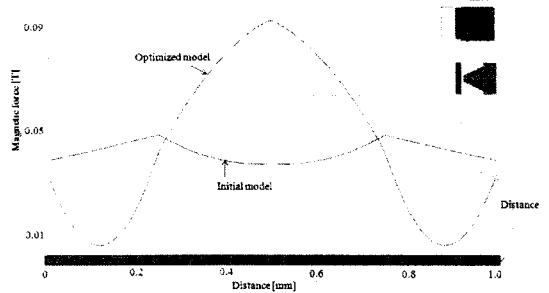


Fig. 6 The plot for the comparison of magnetic force in the initial model and the proposed model by topology optimization

Table 3 Material property

Material property	Value
Current	0.2 [ mA ] x 200 [ turns ]
Nd-Fe-B	$B_r = 1.4$ [ T ]
Permeability of Yoke	$\mu_r = 4000$
Permeability of Coil	$\mu_r = 0.999$

위상 최적설계 결과를 검증하기 위해 상용패키지 Maxwell version 12.0 을 이용하여 결과를 확인하였다. Fig.5 (a), (b)는 초기모델과 최적화된 모델의 형상을 보여주고 있다. 이 때 재료의 물성값은 Table. 3 에 나타난 값이다.

그 결과 Fig. 6 과 같이 기존 모델에 대한 위상 최적화된 모델의 자기력의 상승을 확인하였다. Fig. 6 은 자기력의 세기를 영구자석의 위치에 따라 알기 위한 것으로 영구자석과 요크사이에 공간에 영구자석의 길이를 distance 로 설정하여 자기력을 분석한 결과다.

## 4. 실험계획법 이용한 3 차원 요크설계

2 차원 위상 최적결과를 기반으로 실제로 카메라의 셔터와 조리개에 이용할 수 있는 형태를 설계하기 위해 실험계획법을 이용하였다 [6]. 각 변수들에 대한 정의는 Fig. 7 과 같이 요크의 시작점과

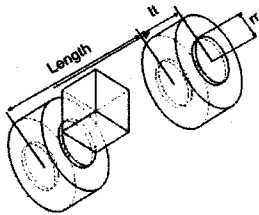


Fig. 7 Parameters of 3-D proposed model

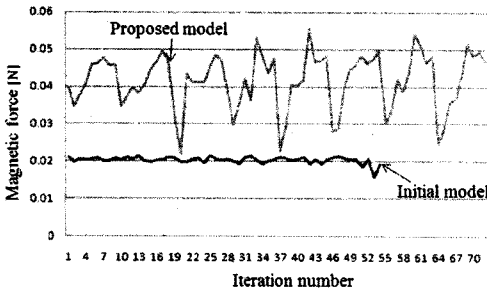
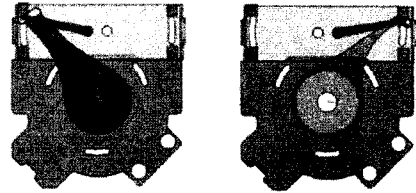


Fig. 8 The plot for the comparison of magnetic force in the initial model and the proposed model

Table 4 Design of Experiment

Analysis number	Length [mm]	Radius-rr [mm]	Thickness-tt [mm]	Magnetic Force [N]
1	1.9	0.25	0.4	0.03977
2	1.9	0.25	0.5	0.03454
3	1.9	0.25	0.6	0.037983
4	1.9	0.3	0.4	0.040743
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
40	2.3	0.3	0.4	0.040295
41	2.3	0.3	0.5	0.041668
42	2.3	0.3	0.6	0.055661
43	2.3	0.35	0.4	0.04672
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
69	2.6	0.3	0.6	0.051828
70	2.6	0.35	0.4	0.048406
71	2.6	0.35	2.5	0.049251
72	2.6	0.35	0.6	0.04699

다른 요크의 시작점까지의 거리 (Length)를 length, 요크의 반경(radius)을 rr, 코일의 두께(thickness)를 tt로 설정하였다. Table 4에 나타난 실험계획법을 이용하여 자기력을 확인한 결과 요크 사이의 거리는 2.3[mm], 요크의 반경은 0.3[mm], 그리고 코일의 두께는 0.6[mm]일 때 자기력이 최대가 되는 결과가 도출되었다.



(a) shutter is closed (b) iris is closed

Fig. 9 The design of shutter blades and iris blades

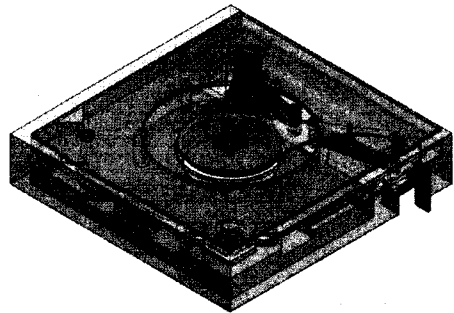


Fig. 10 The proposed design of a camera iris-shutter

기존의 모델과 최적화 된 모델의 자기력을 비교한 결과 Fig. 8 과 같이 기존 모델의 자기력이 약 0.02N 의 힘에서 제안된 모델의 자기력이 약 0.05N 으로 개선되어 약 2 배 이상의 향상된 값을 나타내었다. Fig. 9 에서 셔터 날개와 조리개 날개의 개폐 모습을 나타낸다. Fig. 10 은 최종 설계된 전체 시스템이며 기존 시스템에 비해 전체적인 무게가 감소되고 자기력이 증가되어 성능이 향상될 것으로 기대된다.

## 5. 결론

본 연구에서는 카메라의 셔터 조리개 장치를 제한된 공간에서 기존 시스템보다 큰 자기력을 발생시키는 시스템을 설계하였다. 기존 설계의 요크 형상에서 공간 확보를 위해 요크를 분할하고 자기력의 세기에 큰 역할을 하는 요크 부분을 위상 최적 설계를 통해 형상을 결정하였다. Maxwell 을 통해 위상 최적 형상에 대한 검증은 수행하였고, 보다 실질적이고 현실적인 설계를 위해 실험계획법을 이용한 변수최적기법(parameter optimization method)을 이용하여 3 차원 카메라 셔터 조리개 장치를 설계하였다. 본 연구의 결과로 제시된 카메라 셔터 조리개 장치는 모바일 기기에 유용하게 적용될 것으로 기대된다. 또한 2 차원 위상 최적 형상을 기반으로 3 차원 변수최적을 실시할 경우 자기력이 더욱 향상될 것이다.

## 후 기

이 논문은 삼성전기 및 2009 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국 과학 재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2009-0079338)

## 참고문헌

- [1] Jihun Kim, Woochul Kim, Yoon Young Kim, 2007, "Magnetic circuit topology optimization in a camera shutter device", The Korean Society of mechanical engineers, Vol.7, No.10, pp5-8
- [2] Bendsoe, M. P., Sigmund, O., 1999, "Material interpolation schemes in topology optimization", Archive of applied mechanics, Vol.69, pp.635-654.
- [3] Jeonghoon Yoo, 2004, "A study of on the topology optimization in magnetic fields", The Korean Society of mechanical engineers, Vol.28, No.4, pp 370-377.
- [4] Seungjin Yang, Jae Seok Choi, Jeonghoon Yoo, 2007, "Optimal Design of an Electromagnetic Coupler to Maximize Force to a Specific Direction ", IEEE Transactions on Magnetics, Vol.44, No.7, pp.1737-1740.
- [5] Jae Seok Choi, Jeonghoon Yoo, 2008, "Structural Optimization of Ferromagnetic Materials based on the Magnetic Reluctivity for Magnetic Field Problems", Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol.197, No.9, pp.4201-4206.
- [6] S. Park, 2005, "Design of experiments", Minyongsa, pp.406-407.