

곡선 서스펜션을 사용한 초소형 VCM 포커싱 구동기 개발

Development of A Small VCM Focusing Actuator Using Curved Suspensions

신 영 철* · 이 승 엽†

Young-Chul Shin and Seung-Yop Lee

(2007년 9월 20일 접수 ; 2007년 12월 11일 심사완료)

Key Words : VCM(voice coil motor), Actuator(구동기), Auto-focusing(자동 초점), LDM(리니어 DC 모터), Electromagnetic Circuit(자기회로), Lorentz Force(로렌츠 힘), Permeance Method(투자법), Mobile Device(모바일 기기)

ABSTRACT

This paper proposes small VCM(voice coil motor) type, auto-focusing and zoom actuators for mobile information devices. In order to meet the large output displacement within small height restriction, the proposed auto-focusing actuator adopts curved suspensions, which are similar to a leaf-spring type suspension of optical disk drives. The sensitivity of design parameters on output displacement and dynamic performance is implemented using ANSYS (3D FEM tool) to determine the optimal geometry and stiffness of the curved suspensions. This paper also investigates a new zoom actuator without a suspension supporting a bobbin. The zoom actuator uses a moving rail and a stoper mechanism by generating rotational force at lens holder. Magnetic flux density of the zoom actuator are calculated by both the FEM and permeance method. Experiments using prototypes of the proposed focusing and zoom models show that both actuators meet the required displacement and performance.

1. 서 론

최근 모바일 기기 사용자의 급증 및 소비자로부터 다기능, 고품질 제품 요구가 폭발적으로 증가하고 있어서 모바일 기기에 장착되는 카메라에서 자동 초점 및 줌 기능이 사용되는 제품 개발이 이루어지고 있다. 이에 여러 종류의 모바일 기기의 다기능화 추세에 따라 카메라 모듈의 수요 또한 급증할 것으로 예상되고 있다. 카메라 모듈 영역에서는 200만 화소는 자동초점 기능 구현이 가능해야하고, 300만 화소

급 이상부터는 광학 줌 탑재 및 모듈 크기의 소형화가 필수적으로 요구되고 있다.

카메라폰이나 PDA와 같은 개인용 모바일 기기에 사용되는 카메라는 메가급 해상도에 다기능과 소형화한 구조로 발전하고 있다. 모바일 기기의 특성상 크기, 무게, 전력 소모 등 제약 사항을 감안하여 광학 모듈 자체의 크기 뿐 아니라, 탑재된 구동계를 제어하기 위한 구동 장치의 복잡성 및 소비 전력 등을 감안한 기술개발이 필요하다.

모바일 기기에 장착되는 카메라 광학모듈은 렌즈의 전장을 최대한 줄임으로서 초소형 렌즈를 구현하고, 적절한 비구면계수를 갖도록 렌즈를 형성하여 렌즈에 입사하는 빛의 각도를 줄이고 해상도를 향상시킬 수 있는 활상 소자용 카메라 렌즈의 개발이 핵심기술로 대두되고 있다.

† 교신저자: 정희원, 서강대학교 기계공학과
E-mail : sylee@sogang.ac.kr
Tel: (02)705-8638, Fax: (02)712-0799
* 서강대학교 대학원 기계공학과

자동초점 기능은 자동으로 렌즈를 일정량 이동시켜 줌으로써 초점을 맞추어주는 카메라의 기능으로, 촬영 물체와의 거리를 감지하여 정해진 위치로 자동 이동하거나 센서의 이미지 출력 신호를 이용한 자동초점 알고리즘으로 최상의 이미지가 맺히는 위치로 이동하여 초점을 맞춘다. 광학 줌은 렌즈의 광학적 원리를 이용하여 피사체를 확대 또는 축소하는 기능으로, 영위치를 움직이지 않고 초점거리 및 화각의 변화를 주어 상의 배율을 변화시킨다. 현재 일부 모델을 제외한 대부분의 휴대폰 및 PDA에서는 디지털 줌 방식을 채택하고 있으나, 이는 디지털 이미지를 구성하는 단위인 화소의 크기를 내장 CPU가 확대하는 방식으로 화질 저하가 매우 큰 단점이다.

따라서 이 연구에서는 자동초점 기능과 줌 구동이 가능한 초소형 액추에이터를 개발하기 위한 연구로써 기존의 광픽업 모듈의 VCM 타입을 응용하여 액추에이터를 설계하고 기계적, 전자기적 특성을 분석을 수행하고자 한다. 또한 FEM을 이용한 시제품을 제작하여 얻은 실험결과와 비교하여 각각의 설계변수의 변화에 따른 영향을 추적하고자 한다.

2. 자동초점 및 줌 구동부 설계

2.1 자동 초점 구동기 설계

이 연구에서 제안한 소형 모바일 기기용 자동초점 구동기의 대략도는 Fig. 1과 같다. 이 연구의 자동초점 구동기는 구동방식에서 일반 광픽업 액추에이터와 유사한 형태지만 공간적 제약으로 인한 렌즈 홀더가 차지하는 공간을 줄이기 위해 원통형으로 채택하였다. 또한 자동초점 구동기에서는 상하방향의 포커싱 방향 운동만 요구되므로 일반적으로 광픽업 구동기에서 사용되는 판스프링을 적용한다면 공간적 제약 때문에 길이를 줄이기가 어렵다. 따라서 Fig. 1에서 보이는 것과 같이 크기는 줄이면서 포커싱 방향으로 적당한 운동 변위를 확보 할 수 있도록 서스펜션 강성의 조절이 가능한 판 스프링 형태의 서스펜션의 모양을 원형 모양의 곡선보(curved beam)로 디자인하였다. 또한 액추에이터의 포커싱 운동을 제외한 다른 진동 모드에 의한 틸트 운동을 최소화하기 위해서 서스펜션의 배치를 렌즈 홀더 위와 아랫부분에 각각 2개의 반원형 서스펜션을 열십자로 배

치하여 대칭이 이루어지도록 설계하였다.

2.2 광학 줌 구동기의 기본형태

모바일 기기에 적용하기 위한 광학 줌 구동기는 기본적으로 리니어 DC 모터(LDM: linear DC motor)의 구동 방식을 따른다. 서스펜션으로 지탱되는 자동초점 구동기는 광학 줌의 변위를 따르기에는 무리가 있다. 모바일 기기에서 쓰이는 광학 모듈이 줌 기능을 갖추기 위해서는 적어도 mm 단위의 구동 변위를 갖춰야 한다. 그러나 자동초점 구동기에서는 서스펜션에 의해 구동 변위가 1 mm 이하이다. 따라서 서스펜션 구조를 배제한 상태에서 광학줌용 액추에이터 설계를 하였는데 우선 구동방향의 크기는 제외하고 15 mm × 15 mm의 크기 내에서 설계를 수행하였다.

광학 줌 구동기는 자동초점 구동기의 형태와 똑같은 자기회로가 필요하지만, Fig. 2에 나타난 것과 같이 서스펜션이 없는 관계로 무빙 레일(moving rail)을 만들어서 지지대 역할을 하도록 설계하였다. 이

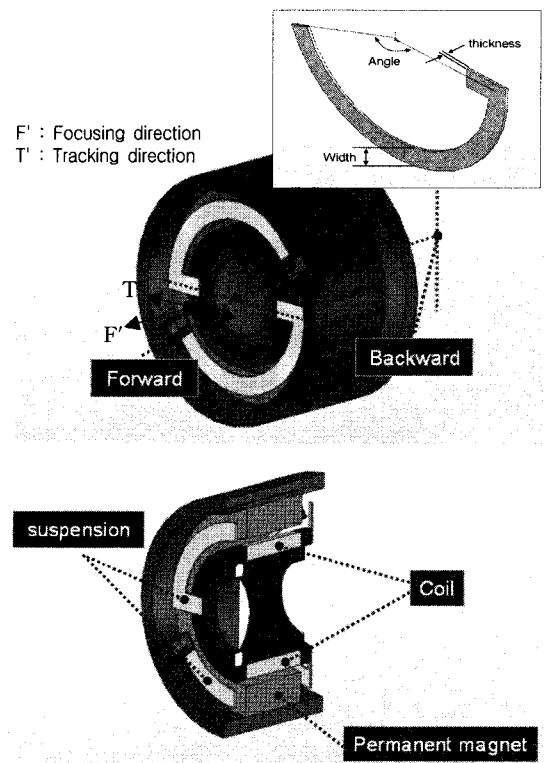


Fig. 1 Schematic diagrams of the auto focusing actuator with two curved suspensions

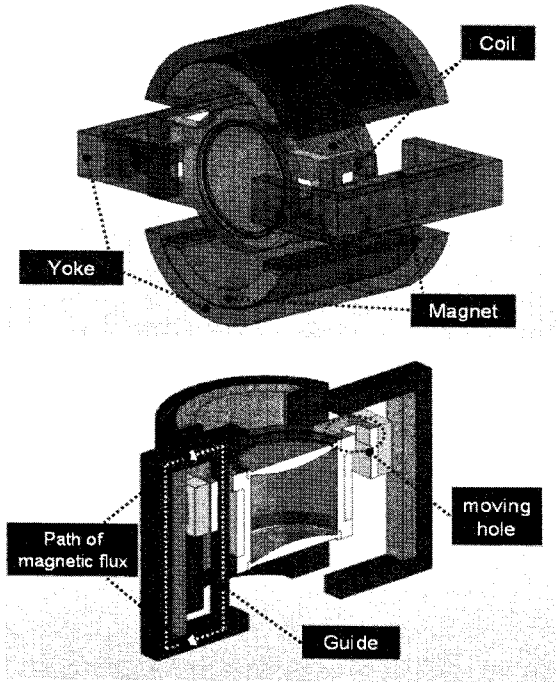


Fig. 2 Schematic diagrams of the zoom actuator

로써 구동변위는 자기회로에서 자석 배열의 확장을 통하여 구동 변위가 확대되도록 하였다. 그러나 구동기가 상하 구동상태에서 정지를 해야 하므로, 렌즈 홀더의 측면에 자기회로를 구성하여 회전형 광픽업 구동기와 같이 구동기 자체에 회전을 가해주는 방식을 채택하였다. 렌즈 홀더의 무빙 홀(moving hole)의 한쪽 단면에 마찰계수가 높은 물질을 부착하고, 렌즈 홀더가 회전되어 무빙 레일 단면과 접촉이 일어나면 정지된다고 가정했다. 또는 렌즈 홀더 옆면에 계단 형태를 만들면 이 또한 정지 상태로 머무를 수가 있다.

상하 구동 측면에서는 렌즈 홀더에 코일이 충분히 감겨있고, 자석 또한 크므로 자기회로의 특별한 설계 없이 구동에 필요한 로렌츠 구동력이 유도된다. 그러나 회전방향의 구동에서는 코일을 위치시킬 수 있는 공간이 제한되어 있고, 자석 또한 작아질 수밖에 없다. 따라서 자기 회로에 대한 FEM해석을 이용하여 누설 자속을 줄이고 로렌츠 힘을 향상시켜 구동의 신뢰성을 높이고자 하였다.

3. 구동기의 특성 해석

3.1 자동초점 구동기의 진동특성

자동초점 구동기 모델을 정립하기 위하여 유한요소 해석툴(ANSYS)을 이용하여 구조해석을 수행하였다. 현재 모바일기기의 자동초점 구동방식은 DC 입력력으로 구동된다. 그러나 한 예로 카메라폰의 진동모터가 200~250 Hz로 구동되기 때문에 보편화되기 위한 모델을 설계하기 위해서 동특성 분석이 필요하다. 해석 결과 포커싱 모드(강체모드)는 100 Hz 내외에서 나타났고, 이후에 서스펜션에 의해 전체 시스템의 틸트 모드가 발생되었다. 또한 2 kHz까지는 유연모드는 나타나지 않았다. Fig. 3과 Table 1의 해석결과는 초기 설계된 모델의 결과 값이 아니라, 전체 크기를 2배 정도로 크게 설계한 시작품 모델의 해석결과이다.

3.2 자동초점 구동기의 민감도 해석

자동초점 구동기의 연구목표는 우수한 동특성과 큰 구동변위를 갖는 것이다. 이러한 목표를 이루기 위해 자동초점 구동기용 서스펜션의 최적 설계가 요구되므로 해석 프로그램을 이용하여 고유진동수의 민감도 해석을 수행하였다. 민감도 해석을 위한 서스펜션 변수로는 Fig. 1에서 나타난 서스펜션의 폭, 각도, 두께 등 세 변수를 선택하였다. Fig. 4(a)는 민감도 해석에 의한 두께와 각도에 따른 첫 번째 고유진동수의 변화를 보여주며 Fig. 4(b)는 두께와 폭에

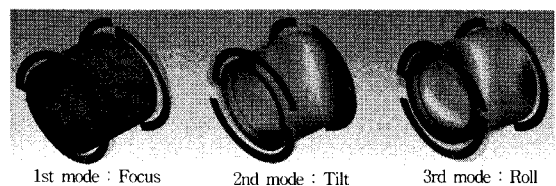
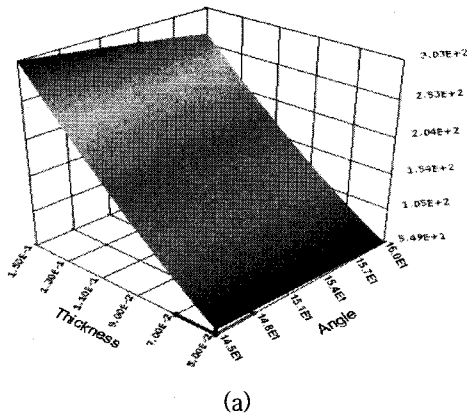


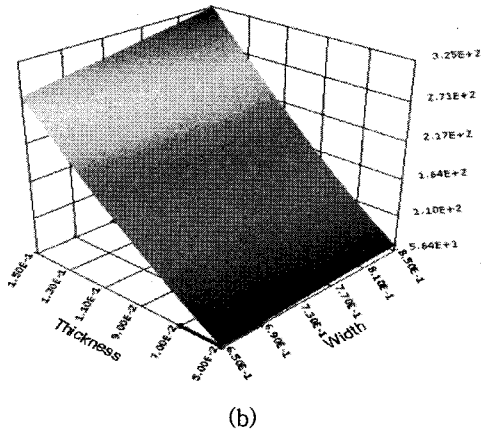
Fig. 3 Focus and tilt modes of the auto-focusing actuator

Table 1 The results of modal analysis

Material	SUS 301	Aluminium	Brass
1st mode	154 Hz	92.8 Hz	108.6 Hz
2nd mode	1060.9 Hz	648.1 Hz	753.03 Hz
3rd mode	1061.6 Hz	649.2 Hz	753.06 Hz
4th mode	2380.4 Hz	1483.6 Hz	1708.4 Hz
5th mode	2466.2 Hz	1576.9 Hz	1720.01 Hz
6th mode	2466.3 Hz	1577.5 Hz	1720.15 Hz



(a)



(b)

Fig. 4 The results of sensitivity analysis results; (a) the 1st natural frequency variation w.r.t. thickness and angle (b) w.r.t. thickness and width

다른 고유진동수의 변화를 보여준다. 민감도 변수 중에서 두께의 변화에 민감도가 가장 크게 나타났다. 두께가 작아질수록 구동변위는 증가하지만 구동기의 동특성을 나빠지므로 적당한 두께의 서스펜션 크기가 요구된다. 민감도 해석을 기초로 하여 이 연구에서는 자동초점 구동기의 성능을 만족하도록 폭 750 μm , 각도 152.5°, 두께 100 μm 로 정하여 해석과 실험을 수행하였다.

3.3 자동초점 및 줌 구동기의 FEM 전자기 해석
구동기의 구동 확보여부를 알기 위해서는 자속밀도의 분포와 렌즈 홀더에 감겨있는 코일을 통해 발생하는 로렌츠 힘을 알아야 하는데, 이를 위해 상용 유한요소 해석틀인 Ansys Workbench와 J-MAG을 이용하여 Fig. 5와 6과 같이 3D 해석을 수행하였다.

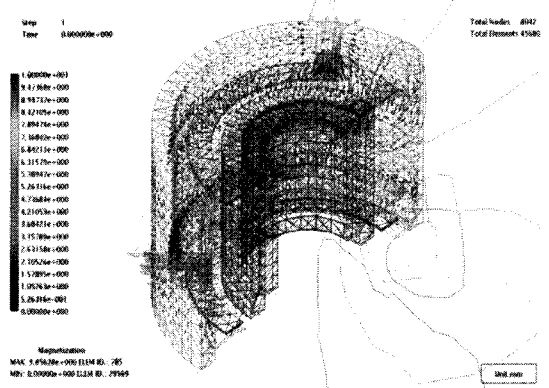


Fig. 5 Magnetic flux line distribution of the auto-focusing actuator

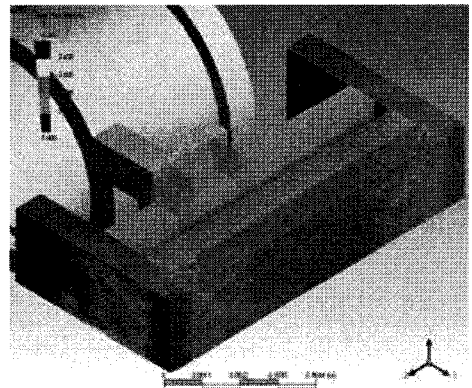


Fig. 6 Flux density distribution of the zoom actuator

Table 2 The results of electromagnetic analysis

Section	Focus coil (AF model)	Focus coil (zoom model)	Rotational coil (zoom model)
Magnet	N-35		
Measurement result(surface)	0.2 T	0.2 T	0.27 T
Flux density	0.124 T	0.084 T	0.26 T
Shift (± 0.2 mm)	± 0.01 T	± 0.009 T	± 0.02 T

이를 통하여 초기 위치에서의 정적 해석결과 렌즈 홀더에 감겨있는 코일과 줌 모델의 렌즈 홀더 측면부 코일의 중앙에 발생하는 자속밀도는 Table 2에 나타내었다.

3.4 줌 구동기의 퍼미언스 자기 해석
줌 구동기의 회전 방향 구동은 렌즈 홀더의 상하 운동 이후 안정적인 정지 상태를 구현하기 위해 큰

로렌츠 힘을 갖는 것이 바람직하다. 구동기의 소형화에 따라 시스템에서 발생하는 추력의 감소는 피할 수 없다. 이러한 약점을 극복하기 위해 회전부에 대해 투자법(permeance method)을 이용하여 자기회로 회로에 대한 전자기 분석을 수행하고 유한요소 해석들을 이용하여 검증하였다.

Table 3은 액추에이터의 보빈이 회전하지 않은 초기상태에 대한 자기 회로부의 각각의 수치를 나타낸다. 투자법을 사용하기 위해 코일의 기자력, 유도기 전력은 무시하고 Fig. 7과 같은 자기회로를 구성하였다. Fig. 7에서 ϕ_m 은 자석의 자속이고, \mathfrak{R}_m 과 \mathfrak{R}_g 는 각각 자석과 코일이 지나가는 공극에서의 자기저항이다. 퍼미언스와 자기저항과의 관계는 반비례이므로, 자기저항으로 모델링을 하여도 무관하다. 자석, 공극, 요크 각 부분의 자기저항을 모델링 한 후, 키르히호프의 법칙(Kirchhoff's law)을 이용하여 관심영역인 공극에서의 자속을 구하였다.

자속이 요크의 중앙을 지난다고 가정하여 유효길이를 고려하면 요크의 등가자기저항은 다음과 같이

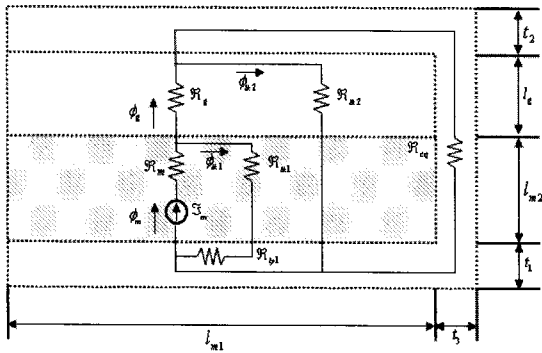


Fig. 7 Equivalent magnetic circuit of actuator's rotational driving part

Table 3 Specifications of magnetic parts

Magnet length (l_{m1})	10 mm	Magnet width (l_w)	2.5 mm
Magnet thickness (l_{m2})	1 mm	Air gap (l_g)	3.33 mm
Magnet	N-35	Yoke thickness (t_1, t_2, t_3)	1 mm
Remanence (B_r)	1.21 T	Yoke permeability (μ_r)	1000
Cercivity (H_c)	868 KA/m	Recoil permeability (μ_m)	1.09

표현된다.

$$\mathfrak{R}_{eq} = \mathfrak{R}_1 + \mathfrak{R}_2 + \mathfrak{R}_3 \quad (1)$$

여기에서 $\mathfrak{R}_1 = \frac{t_3/2 + l_{m1}/2}{\mu_0 \mu_r t_1 l_w}$, $\mathfrak{R}_3 = \frac{l_{m1} + t_3/2}{\mu_0 \mu_r t_2 l_w}$, $\mathfrak{R}_2 = \frac{l_g + l_{m2} + t_1/2 + t_2/2}{\mu_0 \mu_r t_3 l_w}$ 이며 사용된 변수의 값들은

Table 3에 정리되어 있다.

자기회로에서의 누설 자속은 자로의 형상에 따라 복잡하지만, 이 연구에서는 Fig. 8과 같이 단순화하여, 간단한 형상의 자기 퍼미언스를 계산하였다.

$$P_1 = \frac{\mu_0 A}{l} = \frac{\mu_0 t L}{G} \quad (2)$$

$$P_2 = \frac{\mu_0 A}{1.2G} = \frac{\mu_0 \times \frac{\pi G^2 L}{8}}{(1.2G)^2} = \frac{\mu_0 \pi L}{8 \times (1.2)^2} \approx 0.27 \mu_0 L \quad (3)$$

$$P_3 = \int dP_3 = \frac{\mu_0 L}{\pi} \ln r \Big|_{G/2}^{G/2+C} = \frac{\mu_0 L}{\pi} \ln \left(\frac{G+2C}{G} \right) \quad (4)$$

이 연구에서는 자속의 누설을 두 가지 경우만 고려하였다. 하나는 N극에서 S극으로 요크를 통하지 않고 표면 위의 공극을 통하여 직접 들어가는 자속이며, 하나는 자석의 윗면에서 요크의 윗면으로 통하는 자속이다. 따라서 Fig. 8의 P_2 와 같은 누설 퍼미언스의 체적의 절반이 요크의 양 끝단에 위치한다고 가정하고, P_3 와 같은 누설 퍼미언스가 있다고 가정하면, 누설 자속이 지나는 경로의 자기 저항은 다음과 같다.

$$\mathfrak{R}_{k1} = \frac{1}{0.27 \mu_0 l_w} \quad (5)$$

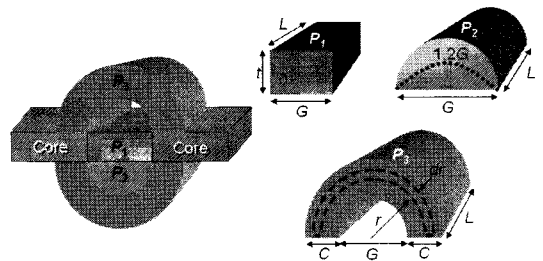


Fig. 8 Magnetic permeance model of the design shape

$$\mathfrak{R}_{lk2} = \frac{\pi}{\mu_0 l_{m1} \ln\left(1 + \frac{2l_{m2}}{l_w}\right)} \quad (6)$$

또한 실제 이용 가능한 자속이 지나가는 공극에서의 자기저항은 식 (7)과 같다. 여기서 l_m 은 유효자석 길이이고, l_c 는 자석에서 코일까지 거리이다.

$$\mathfrak{R}_g = \frac{l_c}{\mu_0 l_m l_w} \quad (7)$$

영구자석의 잔류자기(remanence)를 B_r , 보자력(coercivity)을 H_c 라고 하면, 자석의 자기저항을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\phi_m = B_r A = B_r l_{m1} l_w \quad (8)$$

$$\mathfrak{F}_m = H_c l_{m2} \quad (9)$$

$$\mathfrak{R}_m = \frac{\mathfrak{F}_m}{\phi_m} = \frac{H_c l_{m2}}{B_r l_{m1} l_w} \quad (10)$$

이것을 키르히 호프의 법칙을 사용하여 ϕ_g 를 구하면,

$$\phi_g = \frac{\mathfrak{F}_m}{2\mathfrak{R}} \quad (11)$$

여기에서

$$\mathfrak{R} = \mathfrak{R}_m + \frac{\left\{ \mathfrak{R}_l \times \left(\mathfrak{R}_g + \frac{\mathfrak{R}_{lk2} \times \mathfrak{R}_{eq}}{\mathfrak{R}_{lk2} + \mathfrak{R}_{eq}} \right) \right\}}{\mathfrak{R}_l + \left(\mathfrak{R}_g + \frac{\mathfrak{R}_{lk2} \times \mathfrak{R}_{eq}}{\mathfrak{R}_{lk2} + \mathfrak{R}_{eq}} \right)} \quad (12)$$

$$\mathfrak{R}_l = \mathfrak{R}_{lk1} + \mathfrak{R}_{b1} \quad (13)$$

최종적으로 공극의 자속 밀도(flux density)는 다음과 같이 표현된다.

$$B_g = \frac{\phi_g}{A} \quad (14)$$

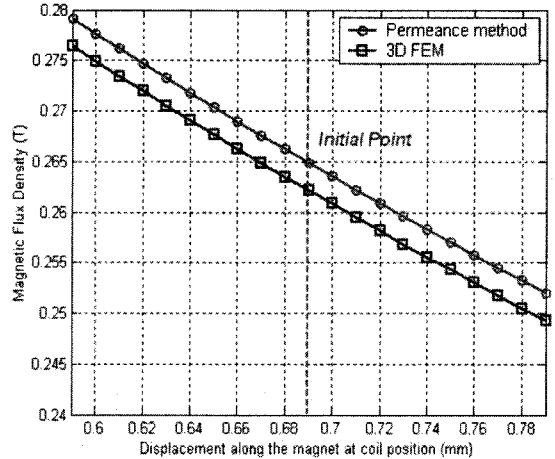


Fig. 9 Magnetic flux density of the zoom actuator by FEM and permeance method

Fig. 9는 줌 구동기의 회전부의 코일에서의 자속 밀도를 유한요소 프로그램과 위에서 언급한 투자법을 이용하여 계산한 결과를 비교하였다. 유한요소 해석 값이 투자법에 의한 결과보다 전체적으로 작게 나오지만 큰 오차는 발생하지 않는다.

3.5 줌 구동기의 민감도 해석

줌 구동기의 민감도 해석을 반응표면법(response surface model)을 이용하여 수행하였다. 회전부에서 자속밀도에 영향을 미치는 지배적인 변수를 자석의 두께(l_{m2}), 코일이 지나게 되는 공극의 크기(l_g), 요크의 너비(l_w)로 설정하고 설정변수의 민감도 해석을 통해 설계 변경 한도 내에서 우수한 구동을 가지게 할 수 있는 결과를 도출하였다. 각 감도해석에서의 변수들의 변화폭은 전체 시스템이 소형으로 설계되었기 때문에, ± 0.2 mm의 범위 내에서 해석하였다. 전체 시스템의 크기라는 제약조건에 의하여 가장 큰 자속 밀도를 갖는 자석의 두께와 공극의 크기를 감도해석을 통하여 결정할 수 있다. 이 공극의 크기에 따라 공극을 지나게 되는 구동부의 두께와 코일의 크기 등이 결정될 수 있다. 그러나 렌즈 홀더가 제한된 공극 내에서 회전을 해야 하기 때문에, 회전시 영구자석과 코일의 간섭이 발생할 수 있다. 이런 제한사항 때문에 공극을 자석과 코일 사이에 간섭이 발생하지 않는 범위 내에서 결정해야 한다. 제한된 공간상에서 구성할 수 있는 자석 크기의 범위를 결정하기 위해 공극과 자석 두께 그리고 요크의 너비에

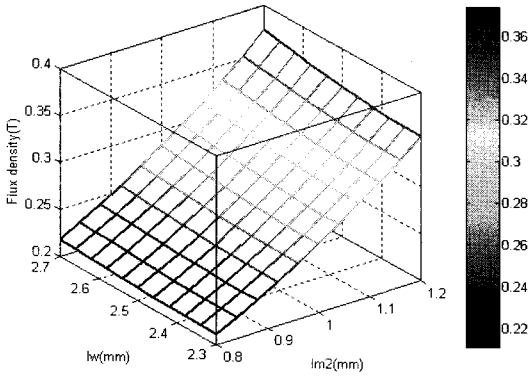


Fig. 10 Sensitivity analysis: flux density w.r.t. l_w and l_{m2}

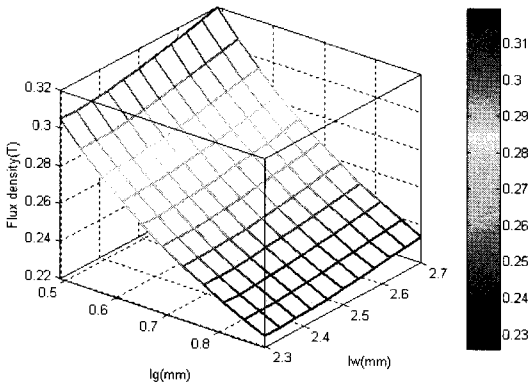


Fig. 11 Sensitivity analysis: flux density w.r.t. l_g and l_w

다른 자속 밀도의 변화를 구하고 이를 Fig. 10과 11에 나타내었다.

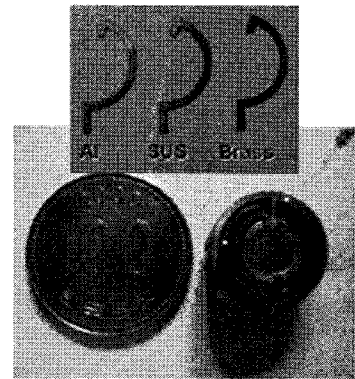
4. 검증 실험

4.1 구동기의 동특성 및 구동변위 측정

모델의 적합성을 검토하기 위해 시작품 모델을 직접 제작해 실험을 수행하였다. 자동초점 및 줌 구동기 시작품의 크기는 Table 4에 정리하였다. Fig. 12(a)와 11(b)는 제작된 자동 초점 및 줌 구동기 실제 모양을 나타낸다. 자동초점 액추에이터의 서스펜션은 SUS310, 알루미늄, 그리고 황동(brass)등 3가지로 제작되었다. 실험에서 입력신호는 데이터 측정 및 처리 장비인 시그랩(SigLab)로 전압을 입력하였고, 구동기의 주 관심지점인 렌즈 홀더의 중앙부에 반사지를 붙여 비접촉 변위센서인 MTI-2000

Table 4 Prototype specifications of AF/Zoom actuators

	AF actuator	Zoom actuator
Height	6.2 mm	12 mm
Length	15 Φ	15.8 mm
Width		19 mm



(a)



(b)

Fig. 12 (a) Three curved suspensions and a prototype of the auto-focusing actuator; (b) a prototype of the zoom actuator

Fotonic 센서를 통해 출력신호를 측정하였다.

3가지 다른 종류의 서스펜션을 사용하여 자동초점 구동기의 유한요소 해석과 실험결과를 Fig. 13에 함께 도시하였다. 실험한 주파수 응답 선도에서 보이는 바와 같이 3가지 서스펜션의 강성에 따른 공진주파수를 크기가 다르게 나타나지만 전체적인 패턴은 유사한 것을 알 수 있다. 그래프에서 1kHz 주변에 공진이 발생하는 것을 볼 수 있는데 각 진동모드의 고유주파수를 확인한 바 틸트 방향 진동임을 확인하였다. 대칭형 서스펜션은 이론적으로는 포커싱 방향에 대해서 틸트 운동을 일으키지 않지만 실제 제작 시 조립 공차로 인해 틸트 모드가 가진 되면서 발생한

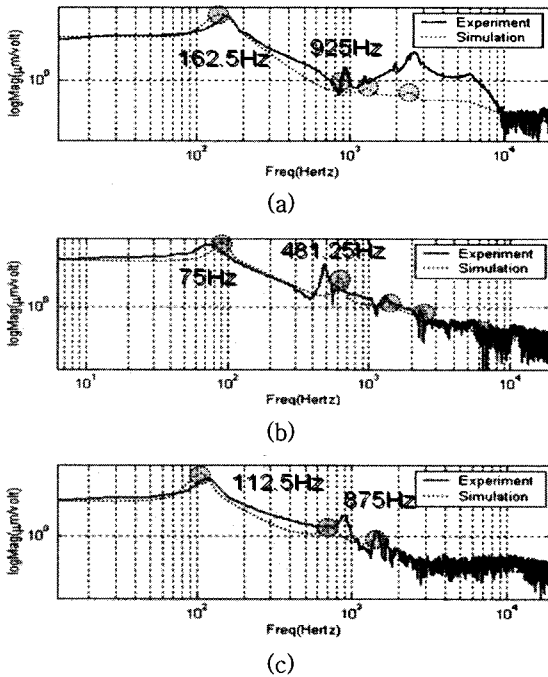


Fig. 13 Comparisons with simulation and experiment results of frequency response in focus direction of the auto-focusing actuator with different suspensions: (a) SUS310; (b) aluminum; (c) brass

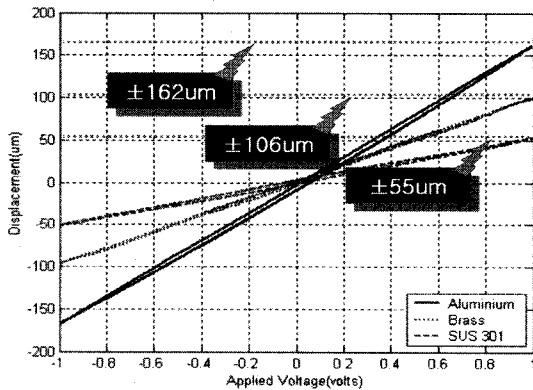


Fig. 14 Experimental results of output displacement of the auto-focusing actuator

것으로 판단 할 수 있다.

세 가지 서스펜션에 대한 구동 변위 실험을 통해 측정된 결과는 Fig. 14에서 볼 수 있다. 여기에서는 $\pm 1V$ 의 사인파 전압을 가했을 때 변위를 측정하였다. 변위의 크기는 알루미늄, 황동, SUS 301 순으로 결과가 나왔고, 황동은 다른 재료에 비해 잔류진동

Table 5 Comparisons of FEM and experimental results of displacement of the auto-focusing actuator

	FEM	Experiment	Error
SUS301	57 μm	55 μm	3.6 %
Aluminum	157 μm	162 μm	3.1 %
Brass	111 μm	106 μm	4.7 %

이 지속적으로 검출되어 서스펜션에 알루미늄이 가장 적합하다는 결론을 얻었다. Table 5는 유한요소 해석 결과와 실험 결과를 비교하여 나타내었다. 대략적으로 3~4 % 오차를 보임을 알 수 있다.

4.2 줌 구동기의 동특성

실제한 줌 구동기 모델의 적합성을 검토하기 위해 시작품 모델을 직접 제작해서 주파수 특성과 최대 출력 변위에 대한 실험을 수행하였다.

Fig. 15는 각각 렌즈의 수직방향과 회전방향에서 측정된 주파수 응답 결과이다. 여기에서 수직방향은 구동기의 광축 운동방향을 나타내는 것이고, 회전방향은 2.2절에서의 설명과 같이 광축 중심으로 회전을 통해 정지하기 위한 운동 방향이다. 구동기의 수직방향 및 회전방향의 2 kHz 부근과 9 kHz에서 반공진점이 나타나게 되는데 이것은 보빈의 가이드부에서의 구조적 취약함(보빈부 대비 얇음)과 조립 공차에 의한 홀과 무빙 레일간의 마찰에 의한 영향으로 나타난 것으로 예상된다. 포커싱 구동기의 특성과 다르게 줌 구동기는 1 kHz 이전까지는 보빈부 지지물이 없어서 강체모드가 나타나지 않는다. 주파수 특성 실험을 통해 일반적으로 사용되는 줌 구동 영역인 저주파수대역에서는 동적으로 안정된 구동이 가능하다고 판단된다.

줌 구동기의 시작품을 이용하여 입력전압 $\pm 0.5, 1.0$ 그리고 1.5 Volt의 사인파 입력에 의한 상하 방향과 회전 방향으로 구동 변위 측정 실험을 수행하였다. Fig. 16은 0.5 V 사인파 입력 전압에 대해서 상하방향의 변위를 보여준다. 대략 1.6 mm의 변위와 입력 전압 대비 출력 변위 패턴을 비교하면 줌 구동기로서 빠른 응답을 보임을 확인할 수 있다. 각 입력전압에 대해서 상하방향과 회전방향 구동 변위 결과를 Table 6에 정리하였다. 상하 방향으로서는 1 V에서는 대략 3.3 mm 그리고 1.5 V에서는 5.1 mm로

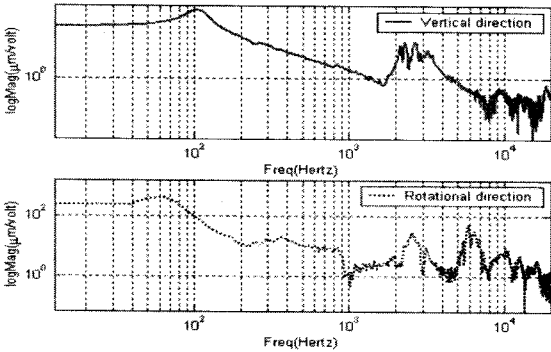


Fig. 15 Experimental frequency plot of the zoom actuator

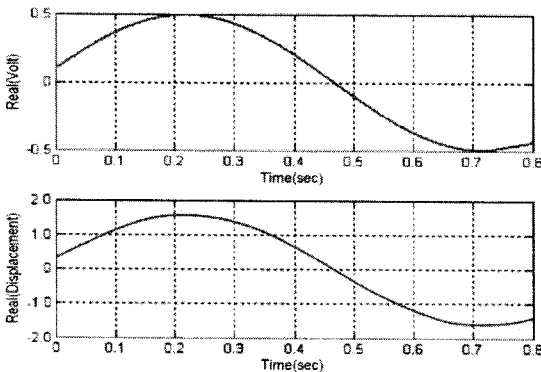


Fig. 16 Vertical direction displacement by 0.5 V sinusoidal input

Table 6 Maximum displacement of the zoom actuator by different input voltages

Input voltage	0.5 V	1.0 V	1.5 V
Vertical displacement	1.6 mm	3.2 mm	5.1 mm
Rotational displacement	3.9°	8.1°	12.5°

측정되었다. 회전 방향 변위는 최대 1.5 V에서 줌 구동기의 회전 각도는 대략적으로 12.5°로 측정되었다. 일반적으로 줌 구동에 필요한 변위인 5 mm 정도인데 이 논문에서 제안한 줌 구동기가 낮은 전압에서도 이를 만족함을 확인할 수 있다.

5. 결 론

이 논문에서는 모바일 기기에 장착이 가능한 곡선 보 형태의 서스펜션을 갖는 VCM 자동초점 및 줌

구동기를 제안하였고, 적용 타당성을 위한 구동력 특성과 동특성을 살펴보기 위해 자기해석과 구조해석을 행하였다. 실제 모델을 제작하여 실험을 수행하였으며, 구동측면에서 유한요소 해석결과와 유사한 결과를 보여주었으며 카메라폰 등 초소형 정보기에 적합한 결과를 보여준다. 본 연구에서 제시한 전자기계 구동기는 작은 공간상에서 구성할 수 있고 구동 전압 인가에 따른 틸트가 최소화 되면서 모바일 구동기에 적합한 변위를 나타냄을 확인하였다.

후 기

이 논문은 2003년도 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었으며(KRF-2003-041-D20063) 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) Yang, Y. B. and Kuo, S. R. 1987, "Effect of Curvature on Stability of Curved Beams", Journal of Structural Engineering, Vol. 113, pp. 1185~1202.
- (2) Kim, D.-H., et al., 2000, "Design and Characteristic Analysis of Moving Coil type Linear Oscillatory Actuator Considering Unbalanced Magnetic Circuit", Transactions of the KIEE, Vol. 49B, No. 6, pp. 403~410.
- (3) Lieu, D. K., 2001, "Design of Basic Electro-mechanical Device", PREM Research Consortium, pp. 10~118.
- (4) Huang, L., et al., 2002, "Movement Interferences Analysis for Objective Lens Actuator in Optical Disc System", Sensors and Actuators A : Physical, Vol. 102, pp. 19~30.
- (5) Ko, B., Jung, J.-S. and Lee, S.-Y., 2006, "Design of a Slim-type Optical Pick-up Actuator Using PMN-PT Bimorphs", Smart Materials and Structures, Vol. 15, pp. 1912~1918.
- (6) Hong, H. S., Yoo, J. H. and Lee, H. C., 2005, "Optimal Design of the Plate Spring Suspension in an Optical Pickup Actuator", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 15, No. 2, pp. 232~238.