

# 캠 구조를 가지는 초소형 자동초점 모듈 설계

## Design of a Slim-Type Auto-Focusing Module with a Cam Structure

김경호\*, 이승엽<sup>†</sup>, 신부현\*\*, 김수경\*\*\*

Kyung-Ho Kim, Seung-Yop Lee, Bu-Hyun Shin and Sookyung Kim

(2009년 2월 10일 접수; 2009년 3월 13일 심사완료, 2009년 3월 20일 게재확정)

### Abstract

Recently, the growing market demand for small and slim mobile phone cameras requires the size reduction of the camera module. In this paper, an auto-focusing actuator for camera phones is proposed by converting the rotational motion by a rotary VCM actuator into the linear motion using a novel cam structure. This new concept for auto-focusing module enables the reduction of the module thickness and low power consumption. This paper presents the theoretical analysis and optimal design for VCM actuator, cam structure and preload spring. Finally, the experimental results using a prototype with the size of  $9.9 \times 9.9 \times 5.9 \text{ mm}^3$  are compared with the theoretical predictions.

**Key Words :** VCM actuator, Auto-focusing, Cam structure, Slim, Self-locking, Camera module, Low power consumption, Preload spring

### 1. 서론

최근 카메라폰 사용자의 급증 및 소비자로부터의 다양한 복합 기능, 고품질 제품 요구가 폭발적으로 증가하고 있어서, 카메라폰은 디지털 카메라 및 캠코더 기능을 거의 수용하는 추세로 제품개발이 이루어지고 있다. 따라서 휴대폰용 카메라 모듈의 성능에 있어 차별화를 도모하고 있는 요소로서는 고화소화, 자동초점 기능 탑재, 광학줌 기능 탑재 등이라 할 수 있다. 이들 기능들을 탑재한 카메라 모듈에 대한 개발 경쟁이 더욱 치열해 지고 있으며, 최근 슬림화에 따른 카메라 모듈 크기의 초소형화가 필수적으로 요구되고 있다.

휴대폰용 카메라 모듈에 사용되는 자동초점 방식은 화상의 명암대비(contrast) 성분을 추출해

이 명암대비 성분이 최대가 되는 위치에 초점 렌즈를 정지함으로써 초점을 맞추게 된다. 이때, 렌즈는 초점 심도라는 특성이 있는데, 렌즈의 초점이 맞아 선명하게 보이는 근거리에서 원거리까지를 말한다. 초점 심도가 깊으면 근거리에서 원거리까지 전부 초점이 맞아 보이며 일반적으로 단초점 렌즈가 여기에 속한다. 이러한 단초점 렌즈는 전체적으로 초점이 맞아 보이기에는 하지만 정확히 맞아 보이지 않아 조금은 뿌옇게 보이기 때문에 130 만화소 이하의 낮은 화소수에서 주로 사용된다. 따라서 200 만화소 이상의 고화소수 모듈에서는 자동초점 기능이 필수적으로 요구된다.

200 만 화소 이상의 고화소 카메라 모듈이면서 슬림한 카메라 모듈을 개발하기 위해서는 광학계 설계의 구조적인 한계 때문에 이미지 센서의 광학적인 사이즈가 작아져야 한다. 그러나 1/4 인치와 같은 작은 사이즈의 이미지 센서를 이용하여 고화소를 구현할 경우 짧은 초점 심도 때문에 설계된 광학계와 잘 매칭될 수 있는 자동초점 액츄에이터의 중요성이 대두된다. 더욱이 구동 메커니즘은 설계된 광학계를 기반으로 최소

<sup>†</sup> 교신저자; 정회원, 서강대학교 기계공학과

E-mail : sylee@sogang.ac.kr

Tel : 02-705-8638, Fax : 02-712-0977

\* 삼성전자 반도체총괄

\*\* 서강대학교 기계공학과

\*\*\* (주)나노스토리지

의 모듈 사이즈와 두께로 자동초점 구동 스펙과 성능, 조립성을 만족하는 최적 설계가 가장 중요하다 할 수 있다. 따라서 이를 극복하기 위한 자동초점 액추에이터의 기술 개발을 위한 다양한 연구가 수행되었다[1].

피에조테크에서는 톱니 모양 파형의 전압을 인가하여 관성력과 마찰력의 상호작용에 의해 멈추어 있게 되는 원리를 이용하여 자동초점 모듈을 위한 PZT 액추에이터를 개발하였다[2]. Lee et al 는 관성력과 마찰력을 사용하여 인치-웜 방식의 자동초점 액추에이터를 제안하였다. 마찰력을 발생시키기 위해 서스펜션을 사용하여 PZT 전압 인가에 대한 이동 변위의 값을 증대시키고자 연구하였다[3]. Chung et al 은 수직타입 VCM 액추에이터를 이용하여 전자기력 힘에 의해 렌즈의 상하운동을 수행하는 자동초점 액추에이터의 연구를 수행하였다[4]. 그리고 Liu et al 은 기존 VCM 액추에이터의 최적 설계를 통해 적은 소비 전력을 구현할 수 있는 초소형 자동초점 액추에이터를 연구하였다[5].

또한, VCM 액추에이터의 성능을 개선하고 이를 활용하고자 하는 연구가 수행되었다. Lee et al 등은 기존의 VCM 구조 중 여러개로 구획된 영구 자석 정렬(MSMA: Multisegmented magnet array)를 이용하여 영구 자석의 구조를 개선하여 기존 스윙암 VCM 방식에서 사용한 영구자석 배열의 자속 밀도보다 향상된 성능을 시뮬레이션을 통한 최적 설계를 통해 보였다[6]. 그리고 Koh et al 등은 VCM 액추에이터의 일정 토오크 계수를 가지기 위한 최적 설계에 대하여 연구하였다[7].

자동초점 모듈에 사용되는 액추에이터 방식으로는 스테핑 모터 방식, VCM 방식, 압전 초음파 모터 방식의 세 가지가 고려될 수 있으며, 현재 VCM 방식이 대부분 적용되고 있는 실정이다. VCM 방식은 부피와 원가 측면에서 우수하나 렌즈 초점 위치에서 위치 고정을 위해 작동시 전류를 계속 인가하여야 하기 때문에 전력 소모가 상대적으로 많이 들고 충격에 약하다는 단점이 있으나 자동초점 모듈 대부분에 적용되고 있다. 그러나 VCM 방식 역시 다른 구동 방식에 비하여 기술적으로 명확하게 앞서있는 방식이라 단정짓기 힘든 상황이다. 또한, 내구성, 생산 원가, 소비 전력, 파워, 부피, 신뢰성 등의 요구 조건을 고루 충족시키는 방식이 아직 존재하지 않고 있다. 따

라서 기존 방식이 가지는 장점을 살리면서 신뢰성이 높고 소형화에 유리한 새로운 개념의 구동 방법에 대한 연구가 필요한 시점이다.

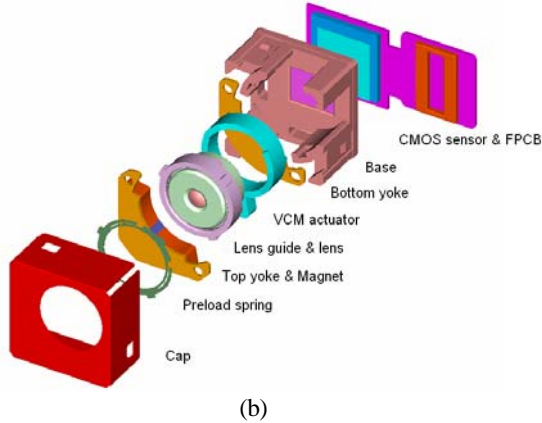
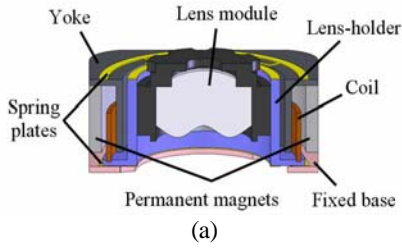
따라서 본 논문에서는 이러한 기존 방식이 가지는 문제점들을 해결할 수 있는 새로운 개념의 로터리/캠 VCM 방식 카메라 모듈을 제안하였다.

본 논문에서는 기존 VCM 방식의 장점을 살리면서 기존 단점으로 가지고 있었던 소형화, 슬림화, 모바일 기기에 적합한 낮은 전력 소모 문제를 해결할 수 있는 캠구조를 가지는 새로운 개념의 VCM 구동 방식을 소개하며, 이 새로운 모듈의 최적 요소 설계와 제작을 통한 테스트를 수행하였다. 본 논문에서 제안한 모듈은 초소형 실현, 높은 신뢰성, 낮은 전력 소모와 간편한 제조 공정 및 원가 절감을 실현할 수 있는 새로운 기술임을 본 논문을 통해 입증하였다.

## 2. 로터리/캠 구조를 갖는 자동초점모듈

일반적으로 현재 개발되고 있는 VCM 방식 자동초점 카메라 모듈은 주로 Fig. 1(a)와 같은 구조를 지니고 있다. 즉, 코일로 감긴 렌즈 홀더와 그 주위에 수직으로 세워진 영구자석이 있고 예압(preload) 스프링에 의해 렌즈 홀더를 지지하는 구조를 가지며, 코일에 전류를 인가되면 전자기(electro-magnetic)에 의한 수직방향의 힘이 발생하여 렌즈 홀더가 상하로 움직이는 공축 구조를 가진다. 따라서 초점 위치에서 렌즈를 고정하기 위해 지속적인 전류 인가가 필요하여 소비 전력이 많이 든다. 또한, 렌즈가 예압 스프링에 의해 지지되어 부상되어 있는 구조를 가지기 때문에 초점 위치에서 외부 충격이나 약한 진동, 즉 손떨림에도 초점 위치가 흔들리고 틀어지는 취약한 구조를 가지고 있어 고화소로 올라갈수록 진정한 의미의 자동초점 기능을 구현하는데 어려움을 가진다. 그리고 영구자석과 코일이 렌즈 홀더 주위를 통해 수직으로 세워져 있는 구조를 가지기 때문에 슬림 타입 설계에 한계를 가지고 있다.

본 논문에서 설계한 로터리/캠 방식의 VCM 액추에이터는 Fig. 1(b)와 같은 구조를 가진다. 즉, 로터리 방식 VCM 액추에이터가 렌즈 모듈 중심을 기준으로 회전할 때 캠 형상을 가지는 렌즈 가이드에 의해 렌즈 모듈이 상하 리니어 운동



**Fig. 1** Structures of VCM auto-focusing actuators; (a) Conventional structure of vertical type<sup>(5)</sup>, (b) Proposed VCM actuator with cam structure

으로 변환하여 렌즈의 초점 위치를 맞추어 자동초점 기능을 수행한다.

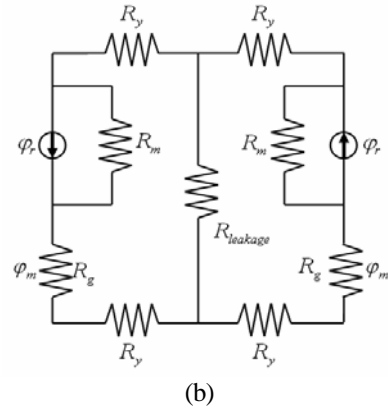
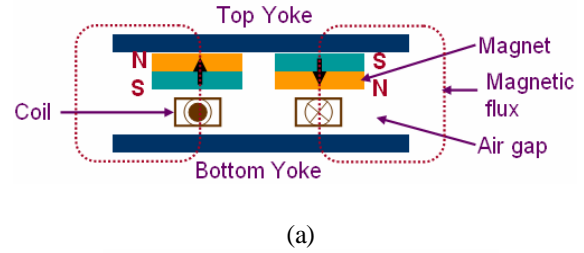
본 논문의 로터리/캠 VCM 방식 액츄에이터를 이용한 카메라 모듈을 설계할 때 중요한 설계 변수는 렌즈 성능에 맞는 작동 범위(working range), 이동 질량(moving mass)를 고려한 구동 토크(actuation torque), 모바일 기기에 적합한 저전력 소모(low power consumption), 기계적 설계 변수를 만족할 수 있는 영구자석, 코일, 요크, 예압 스프링, 캠에 대한 설계가 중요 요소가 된다. 이러한 설계 요소를 최적 설계하여 소형 사이즈와 성능을 만족할 수 있도록 설계 시스템 구조에 대한 연구를 수행하였다.

### 3. 로터리/캠 구조 VCM 액츄에이터 설계

#### 3.1 VCM 액츄에이터 설계

VCM 액츄에이터는 영구자석 자계의 자속밀도와 코일에 흐르는 전류에 비례하는 힘이 자장 및 전류에 직각 방향으로 발생하는데 이 힘은 플레밍의 왼손 법칙으로 설명된다. 또한, 이 힘은 코일의 권선 수에 비례하므로 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$F = n \cdot B \cdot i \cdot l \quad (1)$$



**Fig. 2** (a) Cross section of VCM actuator, (b) Equivalent magnetic circuit

여기서  $F$  는 힘,  $i$  는 전류,  $B$  는 자속 밀도,  $l$  은 길이,  $n$  은 코일의 권선수를 나타낸다. 따라서 VCM 액츄에이터의 구동 토크를 구하기 위해 마그넷 설계를 통한 공기 중에서의 자속 밀도와 코일, 요크의 설계를 수행하여야 한다.

우선, 식 (1)에서 힘을 구하기 위해서는 공극 즉, 마그넷과 요크 사이의 공기층의 간격에서의 자속 밀도( $B$ )를 구하여야 한다. 일단, 회로 구성을 통한 계산을 위해서는 자속 밀도는 정적 상태로 가정하고, 요크는 자기 포화되지 않는 것으로 가정한다. 또한, 회로 구성을 위한 VCM 액츄에이터의 단면은 Fig. 2(a)와 같고, Fig. 2(b)는 VCM 액츄에이터의 자기 회로 구성을 나타내고 있다.

Fig. 2(b)에서 키르흐호프의 법칙(kirchhoff's law)를 적용하여 공극에서의 자속 ( $\phi_g$ ) 을 식 (2)와 같이 구할 수 있다.

$$\phi_g = \frac{R_m}{R_m + R_g + 2R_y + R_{leakage}} \cdot \phi_m \quad (2)$$

여기서  $R_g$ ,  $R_m$ ,  $R_y$  는 공극에서의 자기저항(air gap reluctance), 마그넷, 요크의 자기저항을 나타내고,  $R_{leakage}$  는 누설 자기저항의 총합을 나타낸다. 그리고  $\phi_m$  은 마그넷의 자속을 나타낸다. 따라서 필요한

상수값과 각각의 자기저항과 자속을 구하면 표 1과 같다. 그리고 요크의 자기 저항을 구하기 위해서는 비유전을 ( $\mu_y$ ) 를 알아야 하지만 실제적으로는 B-H 곡선이 비선형(nonlinear)적인 특성을 가지고 있어 상수값으로 대입할 수 없다.

하지만 이 값이 전체 계산에서 차지하는 정도가 매우 작기 때문에 근사적으로 일반 연강(mild steel)의 값을 사용하였다. 따라서 식 (2)로부터 공극에서의 자속 ( $\varphi_g$ ) 을 구하여 식 (3)에 대입하여 근사적으로 공극에서의 자속 밀도 ( $B_g$ ) 를 구할 수 있으며, 대략적으로 0.41 [T]의 값을 가진다.

$$B_g = \frac{\varphi_g}{A_g} \tag{3}$$

회로 구성에 의해 계산된 값을 확인하기 위해 Fig. 3과 같이 J-MAG을 이용한 전자기 해석을 수행하였다. 이를 통해 마그넷과 요크 사이의 공극에서의 자속 밀도가 최대 0.405[T]를 가지며, 계산에 의한 값과 거의 일치함을 확인할 수 있다. 여기서 마그넷은 N48H 희토류계 영구자석, 요크는 일반적으로 사용되는 C1018을 사용하였다. 그리고 입력 전류 75mA, 권선수 207회, 코일 높이 1.33mm의 값을 가진다.

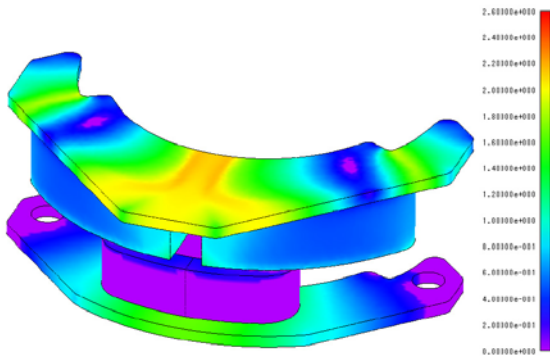


Fig. 3 Magnetic flux density of air gap

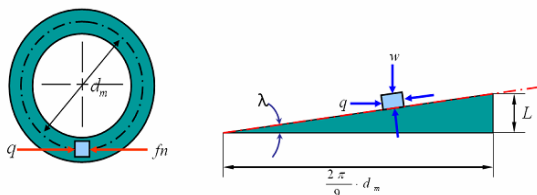


Fig. 4 Force diagrams

Table1 Input parameters

Items	Values	Unit	Value
Relative permeability of air	$\mu_0$	-	1
Relative permeability of magnet	$\mu_m$	-	1.05
Relative permeability of yoke	$\mu_y$	-	2000
Flux of magnet (N48H)	$\varphi_m$	A/Wb	1.37
Reluctance of air	$R_g$	AT/Wb	0.174
Reluctance of magnet	$R_m$	AT/Wb	0.16
Reluctance of yoke	$R_y$	AT/Wb	$0.44 \times 10^{-6}$
Reluctance of total leakage	$R_{leakage}$	AT/Wb	0.2

### 3.2 캠과 예압 스프링 설계

캠 설계는 VCM 액추에이터 회전을 렌즈의 상하 운동으로의 전환을 위해 필요한 캠의 경사각과 스프링 예압이 걸려 있을 때 렌즈를 들어올리기 위해 필요한 토오크(load for lifting up)를 구하여야 한다.

Fig. 4은 캠 구조에 대한 구동력 다이어그램(force diagram)을 나타내며, 회전각이 커지거나 작동 범위가 작아지면 캠의 경사각이 작아져 필요 토오크가 작아짐을 알 수 있다. 그러나 자동초점 모듈 크기를 최소로 하기 위한 회전각에 대한 구속 조건을 만족하기 위해 VCM 액추에이터의 회전각은 40°로 결정되었다. 또한, 렌즈 모듈의 사양과 필요 토오크를 감안하여 필요한 상하 렌즈 모듈 이동량 즉, 작동 거리(L)는 0.4mm으로 결정되었으며, 이 조건을 만족하도록 캠 설계를 수행하였다. 여기서  $\lambda$ 는 리드각, L는 리드,  $d_m$ 은 나사산의 평균 지름을 나타낸다.

Fig. 4에서 접선 방향 힘과 축방향 힘에 대하여 각각의 분력에 의한 합이 영이 되는 식을 유도하여 렌즈 모듈을 들어올리기 위해 필요한 토오크(load for lifting up)와 역방향으로 회전할 때 들어내리는데 필요한 토오크(load for lifting down)를 구하면 식 (4)와 (5)과 같다.

$$T = \frac{F \cdot d_m}{2} \left( \frac{L + \frac{2\pi}{9} \cdot f \cdot d_m}{\frac{2\pi}{9} \cdot d_m - f \cdot L} \right) \tag{4}$$

$$T = \frac{F \cdot d_m}{2} \left( \frac{\frac{2\pi \cdot f \cdot d_m - L}{9}}{\frac{2\pi \cdot d_m + f \cdot L}{9}} \right) \quad (5)$$

또한, 렌즈 모듈이 회전에 의해 캠 구조를 따라 상하 운동을 할 경우, 렌즈 모듈의 틸트, 캠의 백래시(backlash), 외부 충격과 흔들림에 의한 렌즈의 자동초점 상태에서의 위치 이탈 등의 문제를 방지하기 위해 예 자동초점 모듈이 상하 운동시 흔들림 없이 안정적으로 작동하기 위한 적당한 예압과 안정된 구조를 가지는 스프링 설계가 필요하다.

본 연구에서는 VCM 액추에이터에 의해 발생하는 토크를 고려하여 스프링의 예압은 0.049N으로 설계하였다. 따라서 VCM 액추에이터의 작동 범위인 0.4mm를 이동하기 위한 스프링을 설계하기 위한 외팔보의 처짐식은 식 (6)과 같다.

$$\delta = \frac{F \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I} \quad (6)$$

여기서 관성 모멘트는  $I = \frac{b \cdot h^3}{12}$ 이다.

스프링의 재질은 SUS 303을 사용하였으며, E는 영률  $E = 1.93 \times 10^8 N/m^2$  이고, h는 폭, L은 길이를 나타낸다. 그리고 실제 제작을 고려하여 최소 두께 0.03mm으로 두께를 고정하여 원하는 처짐량 0.4mm를 만족하는 폭과 길이를 구할 수 있으며 이를 정리하면 표 2과 같다.

예압 스프링 설계의 타당성을 확인하기 위해 Fig. 5과 같이 ANSYS 구조 해석을 통해 처짐량을 확인하였다. 그 결과 최대 처짐량 0.441mm을 얻었으며, 설계 값과 거의 일치함을 확인할 수 있다.

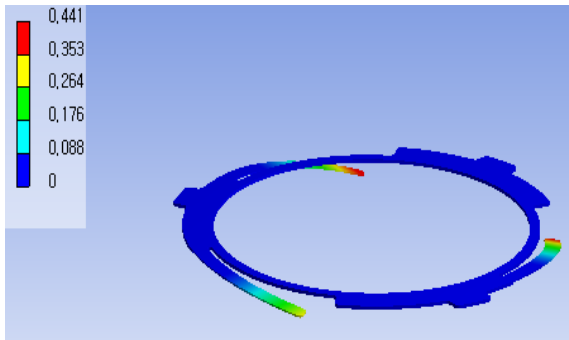


Fig. 5 Spring deflection simulation

Table2 Optimal design result

B(mm)	H(mm)	L(mm)	Deflection (mm)
0.03	0.3	4.6	0.41

### 3.3 자체 고정 조건 판별

본 연구는 로터리/캠 구조를 가지기 때문에 전류 비인가시 렌즈가 고정된 상태로 정지되어 있느냐를 판별하는 자체 고정(self-locking) 조건을 만족한다면 기존 자동초점 모듈과 달리 외부의 충격에 의하여 조건이 바뀌지 않는 한 렌즈가 초점 위치에서 멈추어 있기 때문에 자동초점 위치를 찾은 후 전력 인가가 필요하지 않아 전력 소모를 줄일 수 있다는 장점을 가진다. 또한, 손떨림과 같은 외부 진동에도 강인하여 고화소에서도 선명한 화질을 얻을 수 있게 된다.

따라서 자체 고정 조건을 만족하기 위해서는 끌어내리는 토크의 값이  $T > 0$ 을 만족해야 하며, 이 경우 자체 고정 조건은 식 (7)과 같다.

$$\frac{2\pi}{9} \cdot f \cdot d_m > L \quad (7)$$

식 (7)에 변수 값을 대입하여 계산하면 자체 고정 조건( $0.977 > 0.4$ )을 만족함을 알 수 있다.

### 3.4 구동 토크 해석

회전각에 따른 VCM 액추에이터에서 발생하는 토크를 입력 전류에 따라 J-MAG 전자기 해석을 통해 구할 수 있다. 또한, 스프링에 의한 힘을 고려하여 캠을 따라 렌즈 모듈이 상하 운동을 위한 토크도 식 (4)와 (5)로부터 구할 수 있으며, Fig. 6에 나타내었다.

Fig. 6과 같이 VCM 액추에이터의 토크가 렌즈 모듈을 들어올릴 때와 내릴 때 필요한 토크가 다르기 때문에 렌즈 모듈을 들어올리기 위해서는 VCM 액추에이터에 75mA의 전류와 반대로 내리기 위해서는 32mA의 전류만 인가하면 작동하게 된다. 따라서 자체 고정 조건을 만족하기 때문에 자동초점을 위한 렌즈 모듈의 원거리/근거리 이동을 위해 전류를 2가지 타입으로 인가하여 구동할 수 있으며, 따라서 기존 자동초점 모듈과 다르게 자동초점을 원거리와 근거리 방향 모두에서 찾을 수 있는 장점을 가지며, 전력 소모도 줄일 수 있는 장점을 가짐을 확인할 수 있다.

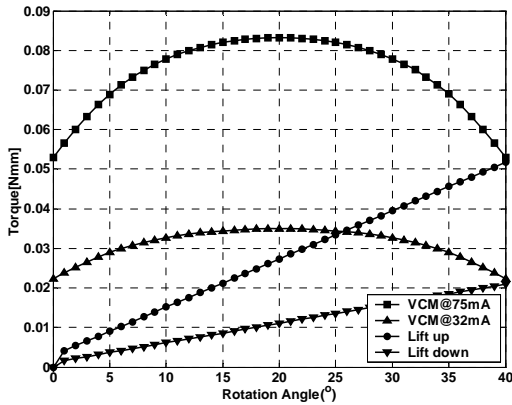


Fig. 6 Torque of VCM actuator and torque for moving up/down of cam

## 4. 실험 결과

### 4.1 구동 테스트

Fig. 7 은 실제 제작된 자동초점 모듈의 구동 모습을 나타낸다. 실제 제작된 모듈의 가로와 세로는 각각 9.9mm, 연성 PCB 두께를 포함한 최종 모듈 두께 5.9mm 를 가진다. 따라서 기존 공축 방식 대신 로터리 방식의 VCM 방식을 사용하기 때문에 모듈 두께가 두꺼워지는 단점을 극복하여 슬림화를 달성할 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 7(a)의 초기 상태에서 Fig. 7(b)의 렌즈 모듈이 0.4mm 변위 이동한 상태를 나타낸다. 또한, Fig. 7(c)는 전류 인가하여 지정 위치를 찾은 후 전류를 비인가한 상태에서 렌즈가 그 상태를 유지하고 있는 자체 고정 상태를 나타낸다. 여기서, 자동초점 모듈 구동 테스트를 위해 끌어올리는 경우 전압 2.5V, 전류 75mA 가 인가되었고, 끌어내리는 경우 2.5V, 32mA 가 인가 되었다.

### 4.2 자동초점 작동 테스트

일반적으로 자동초점 모듈로 사용되기 위한 대략적인 성능 스펙을 표 3 에 나타내었다. 로터리/캠 VCM 방식 자동초점 모듈의 성능을 테스트하기 위해 테스트 조건을 근거리에서 시작하여 원거리 방향과 원거리에서 근거리 방향으로 동시에 400 μm의 이동거리로 이동하였으며, 그 결과 각각 35 스텝으로 작동할 수 있는 분해능 11.5 μm를 보였다. 따라서 표 3 에 나와 있는 대략적인 스펙을 모두 만족하기 때문에 자동초점 모듈로서 필요 성능을 보임을 알 수 있다.

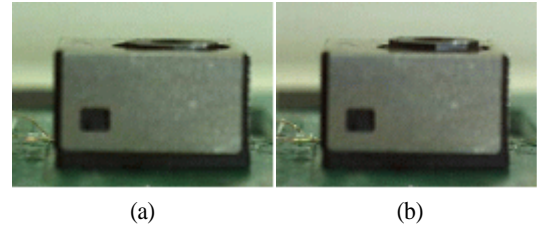


Fig. 7 Auto-focusing module (a) initial condition (b) lens moving & self-locking condition

Table3 Rough needed specifications of the auto-focusing actuator

Items	Values	Unit
Max. stroke	300~500	μm
Resolution	10~15	μm
Response time	<0.5	sec

따라서 기존 자동초점 방식과 달리 원거리/근거리 모든 방향에서 자동초점을 맞출 수 있음을 알 수 있다. 기존 자동초점 방식의 경우 자동초점을 위해 항상 기준점을 기준으로 초점 위치를 찾기 때문에 한 방향으로 이동하게 되며, 그 초점 위치에서 고정되어 있기 위해 최대 80mA 정도의 전류 인가가 필요하다. 그러나 본 연구의 로터리/캠 구조 자동초점 모듈의 경우 원거리/근거리 이동시 양방향 모두에서 초점 위치를 찾을 수 있어 반응 시간과 소비 전력을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 초점 위치에서는 전류를 인가할 필요가 없어 전력을 줄일 수 있는 장점을 가진다.

## 5. 결론

본 논문에서 제안한 로터리 캠 VCM 방식 자동초점 모듈은 수직으로 마그넷과 코일을 세우지 않고 수평으로 마그넷과 코일을 배치하여 설계하기 때문에 기존 자동초점 모듈에 비하여 모듈 두께를 낮추고, 크기를 줄여 슬림 적용에 유리한 구조를 가졌다. 또한, 자동초점 기능이 작동되어 초점이 맞추어진 다음 자체 고정 기능에 의하여 외부 충격이 가해지지 않는 이상 고정되어 있기 때문에 전력 인가를 해주지 않아도 되어 전력 소모가 적어지는 장점과 약간의 흔들림에도 상이 틀어지지 않는 장점을 가짐을 보였다.

따라서 본 논문은 자동초점 모듈을 위한 기준

모듈의 단점을 극복할 수 있는 새로운 개념 도출을 통해 VCM 액츄에이터와 캠, 스프링을 최적 설계하여 제작하였으며, 제작된 자동초점 모듈의 구동 테스트와 자동초점 작동 테스트를 통해 자동초점 기능을 실제 구현하였으며, 양방향으로 동일한 분해능을 가지고 움직일 수 있기 때문에 기존 단방향 자동초점 알고리즘을 양방향에서 초점 위치를 찾을 수 있도록 개선한다면 짧은 초점 시간과 저전력을 동시에 구현할 가능성이 있음을 보였다.

## 후 기

본 연구는 2007년 서울시 기술이전과제 지원에 의해서 수행되었으며 본 논문에서 자동초점 알고리즘 실험에 도움을 주신 (주)비전아이트에 감사드립니다.

## 참고문헌

- [1] K. Tatsuno, 2006, "Current Trends in Digital Cameras and Camera-Phones", Quarterly Review, No. 18, pp.35-44.
- [2] <http://www.piezo-tech.com/>
- [3] Lee, H. T., Lee, S. Y. and Park, Y. P., 2005, "A Piezoelectric Lens Actuator for Mobile Information Devices", Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp.744-749.
- [4] Chung, M. J. and Son, S. Y., 2006, "Development of Compact Auto Focus Actuator for Camera Phone by Applying New Electromagnetic Configuration", Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 20, No.12, pp.2087-2093.
- [5] Liu, C. S. and Lin, P. D., 2008, "A Miniaturized Low-Power VCM actuator for Auto-focusing Applications", Opt. Express Vol.16, No.4, pp.2533-2540.
- [6] Jeong, J. H., Lee, M. G., Lee, J. H., Yoon, H. K. and Gweon, D. G., 2004, "Multisegmented Magnet Array on Voice Coil Motor in Rotating Data Storage Devices", Jpn. Appl. Physics, Vol.43, No.4A, pp. 1398-1402.
- [7] Koh, C. S., Mohammed, O. A., Kim, J. O. and Hahn, S. Y., 1994, "Optimum Design of Voice Coil Motor with Constant Torque Coefficients using Evolution Strategy", J. Appl. Physics, Vol.75, No.10, pp.6045-6047.
- [8] Finn Jorgensen., 1995, The Complete Handbook of Magnetic Recording, MacGraw-Hill International Editions., New York.