
자동초점 조절용 VCM의 전자기 해석 연구

권순기*

Electromagnetic Analysis on the VCM for Auto-focus Lens

Soon Ki Kwon *

요 약 핸드폰에 사용되는 카메라의 발달로 자동초점용 렌즈에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다. 다양한 종류의 자동초점용 액추에이터 중에서 VCM(Voice Coil Motor)이 가장 많이 사용되고 있다. 이 VCM은 자석, 코일, 요크 등의 모양에 따라서 구성되는 자계의 흐름을 달리하여 원하는 수준의 자동초점 조절이 가능한 핸드폰용 카메라가 만들어지고 있다. 본 연구에서는 유한요소 해석프로그램인 ANSYS™를 이용하여 산업체에서 사용되는 다양한 구조의 렌즈 중 가장 경제적인 모델을 선택하여 전자기 분석을 수행하였다. 이 전자기 해석을 통하여 효율적인 렌즈 모듈 설계 방법을 제시한다.

주제어 : VCM, 자동초점, 렌즈, 전자기해석, 액추에이터

Abstract Many researches have been performed the analysis and experiments on auto-focus lens due to the development of camera module which is used in mobile-phone recently. Various types of voice coil motor are used mostly in the view point of actuators. Various type of magnetic flux flow is made by the combination of magnet, coil and yoke, etc. And the function of auto-focus is made by the proper combination of the lens components. In this research, some of the simple and economic structure is chosen to investigate the characteristics analytically among various types of lens which are used in industries. Desired level of lens module design was achieved by electromagnetic analysis using ANSYS™ finite element analysis program.

Key Words : Voice coil motor, Auto-focus, Lens, Electromagnetic Analysis, Actuator

1. 서 론

자동초점 조절용 카메라 모듈은 렌즈와 이를 움직이는 액추에이터 부분으로 구성되며, 액추에이터에는 이터폰에서 응용된 VCM, 스텝모터 및 피에조 액추에이터 등이 사용되고 있다[1]. 그중 VCM 형태의 모듈은 가격적인 경쟁력으로 인해 산업체에서 가장 많이 사용되고 있다. 이 VCM 타입은 코일과 자석을 이용한 전자기력과 힘의 균형을 위해 스프링을 사용하며, 그 전류와 스프링의 역학관계에 의해 렌즈의 전달특성을 만들게 된다.

이 VCM을 이용한 렌즈의 연구 초기에는 힘의 원리와 구동원리 그리고 자동초점의 원리 등에 대한 기본적인 많은 연구들이 수행되어 왔다[2][3]. 초기의 기본적인 모

델의 연구이후 다양한 모델의 VCM 모델이 연구되었다. 그중 현재 일부 산업체에서 사용되고 있는 모델이 자석과 코일을 각각 이등분하여 자계회로의 효율성을 올린 모델들이 제시되었다. 이 모델들은 분리된 자석이나 코일을 내부에 사용한 경우와 이와 반대로 외부에 사용되는 경우 등 서로 반대의 모델을 구현하였다[4][5]. 산업체에서 많이 사용되는 모델들이 연구된 이후, 효율적인 면을 떠나 학문적인 새로운 모델들도 많이 시도되었다. 고정 코일에 이동 자석을 이용한 전혀 새로운 구조의 여러 가지 VCM 모듈로 현 시장 제품에 도전하였으나, 전류와 변위의 전달특성에 대한 선형성관련 시험결과를 제시하지 않아 시장 적용여부는 아직 이른 것으로 판단된다[6][7]. 또한 기존 제품들의 특허를 피하여 변형된 VCM

* 본 논문은 2010년 호서대학교의 재원으로 벤처연구비 지원을 받아 수행된 연구임(2010-0356).

*호서대학교 산학협력단 교수

논문접수: 2012년 10월 5일, 1차 수정을 거쳐, 심사완료: 2012년 11월 7일

과 판 스프링용 MEMS 구조물을 이용한 렌즈모듈도 개발되었으나, 유사한 성능을 보이고 있다[8].

산업체에서 사용되고 있는 대부분의 VCM형 렌즈들이 자석의 전자기적 효율을 올리기 위해서 요크를 사용하고 있다. 그러나 본 연구에서는 고화질의 소형화되어 가는 추세를 고려하여, 요크의 기능을 캡이 대신하게 하여 더욱 심플한 모델을 구현하였다. 이 구조에 대해 더욱 기본적인 전자기 해석으로 전자기 효율을 올리기 위한 다양한 분석을 수행하였다. 분석방법으로는 코일 모양에 대한 영향, 캡의 모양에 따른 영향, 자석과 코일의 상대위치에 따른 영향 등 해석을 통하여 원하는 수준의 자동초점 조절용 렌즈 모듈이 설계될 수 있음을 보여준다.

2. VCM의 모델링

보이스 코일 모터는 움직이는 가동자로 사용하는 가벼운 코일과 상대적으로 무거운 움직이지 않게 사용하는 고정자인 자석을 이용하는 구조가 일반적이며, 그림 1은 그 일반적인 구성을 나타낸다. 그림 1 (a)와같이 요크를 사용하고, 추후 완제품을 위하여 그림 1 (b)의 캡(cap)이라는 케이스를 사용하게 된다. 그러나 카메라 렌즈 모듈의 크기를 줄이기 위하여 요크를 제거하면 전자기력의 힘은 상대적으로 약해지며, 이 단점을 보완하기 위해 그림 1 (c)처럼 캡을 자계형성에 이용하고 적절한 수준의 스프링을 사용하여 위치를 제어하는 모델이 필요하게 된다.

그림 1 (c)와같이 요크가 없는 모델도 요크의 유무와 관계없이 기본적인 전자기 역학은 같다. 영구자석과 flux의 집중을 도와주는 요크 그리고 캡 등으로 구성되는 정적 전자기장에, 코일에 전류를 흐르게 하여 형성되는 로렌츠 힘이 역학으로 이용된다. 그때 형성되는 추력은 흐르는 전류와 고정된 전자기 플럭스(Flux) 그리고 턴수 등에 의해서 조절되며 일반적인 공식은 방정식 (1)과 같다.

$$F_{vcm} = NBI [N] \tag{1}$$

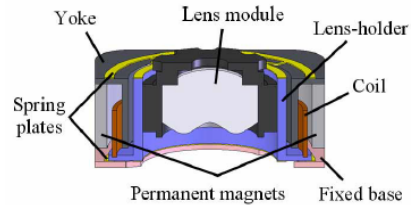
여기서, F_{vcm} : vcm의 추력, N: 코일의 턴수, B: 코일을 통과하는 자속밀도, I: 1턴에 흐르는 전류

또한 생성된 추력과 사용되는 스프링 변형과의 관계는 방정식 (2)와 같이 정적인 역학을 따른다.

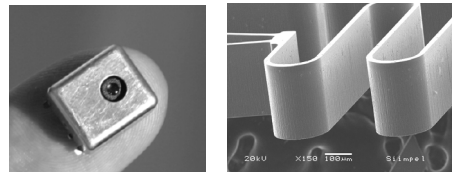
$$F_{spring} = Kx [N] \tag{2}$$

여기서 F_{spring} : F_{vcm} 으로부터 스프링이 받는 힘, K: 스프링 상수, x: 스프링 변위

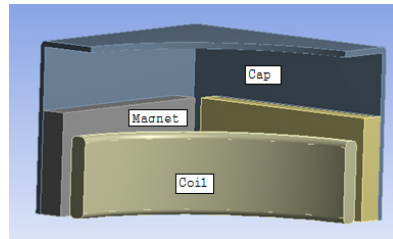
이상과 같은 전자기 역학과 구조 역학들의 기본적인 개념들을 이용하여, 구조적인 설계 요소 등에 대해 해석 프로그램을 이용하여 그 역학적인 관계들을 규명하려고 한다.



(a)



(b)



(c)

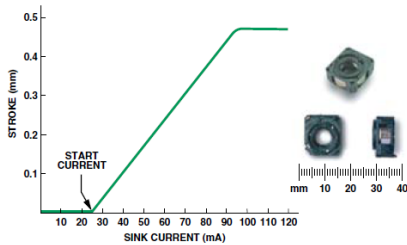
[그림 1] 자동초점 조절용 VCM의 구조

- (a) 일반적인 VCM 구조[7]
- (b) MEMS를 이용한 VCM[8]
- (c) 요크가 없는 VCM의 개략적 구조

3. 전자기 해석

3.1 VCM 설계 사양 설정

연구하려는 VCM 모듈에서 코일은 95 턴을 감고 이때 90mA를 흐르게 하여 자계 회로에 영향을 주는 유효전류를 8550mA 정도로 맞추었다. 이들 전류와 턴수 등은 일반적으로 판매되는 제품의 사양 중 한 경우로서 본 연구에서는 이들을 초기 값으로 사용하였다[9].



[그림 2] 초기 스프링 하중 시 전류와 변위의 관계[9]

그림 2에서 렌즈의 방향에 대한 자중 영향을 제거하기 위하여 사용되는 시동 전류(Start Current)는 본 연구에서는 고려하지 않는다. 이 영역은 스프링의 초기 단차를 이용하여 그 시동 전류의 크기를 구현할 수 있다. 위에서 제시한 전류와 턴수의 조건을 이용하여 만들 수 있는 VCM 추력 목표로 표 1과 같이 설정하였다. 이 목표 추력은 사용하는 스프링과 단차 등 종합적으로 선정되어야 하나, 본 연구에서는 스프링 및 VCM에 대한 경험적인 수치를 이용하여 설정하였다.

[표 1] VCM 목표 사양

내 용	목표값	단위
VCM 최대 힘	0.04	N(at 90mA*95T)

3.2 코일과 유효전류의 관계

같은 전류를 사용하여도 코일 턴수에 따라서 VCM의 힘이 달라지는 관계로 턴수와 자석 그리고 코일의 관계를 표 2에 도시하였다.

[표 2] 자석과 코일에 따른 턴수의 관계

자석높이	coil		코일 직경 및 턴수	
	높이	두께	0.055	0.06
1.5	1.14	0.3	113.1	95.0
1.75	1.39		137.9	115.8
2	1.64		162.6	136.7

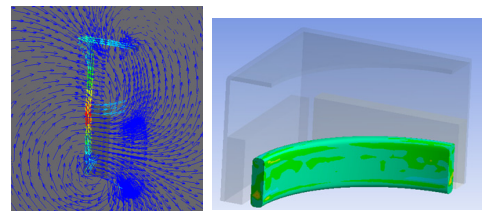
자석의 높이를 높이면 코일의 높이도 올릴 수 있으나, 코일과 자석의 높이차는 렌즈의 이동거리 300 μ m을 고려하여 약 20% 더 큰 360 μ m으로 정하였다. 표 3은 코일 직경과 자석 높이에 따른 유효전류의 계산을 나타낸다. 코일 턴수가 많을수록, 자석의 크기가 클수록 유효전류가 높아져서 더 큰 전자기력을 생성할 수 있으나, 실제 렌즈 모듈의 크기 제한으로 인하여 적절한 수준으로 그 크기를 제한하게 된다.

[표 3] 코일 직경에 따른 유효 전류의 계산

코일 직경	전류 (mA)	턴수(T)	유효전류 (전류*턴수)	자석 높이
0.06	90	95.0	8550	1.5
	90	115.8	10425	1.75
	90	136.7	12300	2
0.055	90	113.1	10175	1.5
	90	137.9	12407	1.75
	90	162.6	14638	2

3.3 자석에 따른 전자기력의 분석

본 연구에서는 그림 1 (c)에서 사용된 코일과 전자석 그리고 캡을 포함하는 VCM 시스템을 이용하여 해석을 수행하였다. 그림 3 (a)는 자계 플럭스의 흐름을 나타내고 (b)는 코일에 작용하는 힘을 해석한 경우를 보이며, 그 결과는 [표 4]에 도시되어 있다. 유효전류를 8550mA(90턴 \times 95mA)의 경우, 전자기 추력은 0.024 N 정도로 목표 힘에 도달하지는 못하였다.



(a) (b)

[그림 3] 전자기 해석

(a) VCM 좌측면의 전자기 Flux
(b) 코일 추력

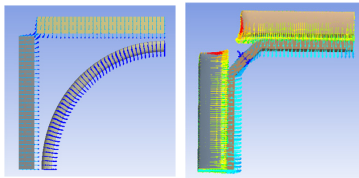
전류 8550mA가 흐를 때, 자석의 크기가 커짐에 따라 작용하는 VCM 힘이 커지나 선형적인 변화가 아님을 보인다. 자석 1.5mm에 대비해 1.75mm는 VCM 힘이 약 8% 상승하였다. 반면, 2mm의 경우 반대로 약 2% 상승만 보였다. 이는 자석의 높이에 최적의 값이 존재함을 의미한다.

[표 4] 자석높이와 전류에 따른 VCM 추력

Magnet Height(mm)	전류 \times 턴수 (90mA \times T)	Force(N)
1.5	8,550	0.0235
	10,175	0.028
1.75	8,550	0.0254
	12,407	0.0368
2	8,550	0.024
	12,300	0.0345
	14,638	0.041

3.4 코일의 모양에 따른 전자기력의 분석

그림 4는 자석과 코일의 코너부분에서의 모양에 따른 전자기 추력을 비교하였다. 힘의 크기가 약 120% 차이로 코너에서의 누설자속의 영향이 얼마나 되는지를 보여주고 있다. 이 코너부분의 재설계가 원하는 수준의 힘을 얻을 수는 없었지만, 전자기 추력의 효율을 올릴 수 있음을 보인다. 물론 Model B에서 처럼 정확한 코일을 감는 것은 제조기술의 뒷받침이 필요하다.



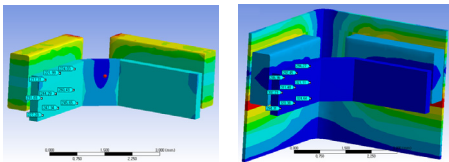
(a) Model A (b) Model B
[그림 4] 자석과 코일의 코너 모양에 따른 효과

〈표 5〉 코너 모양에 따른 전자기 추력의 비교

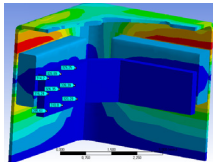
	Force(N)
Model A	0.0206
Model B	0.0251

3.5 캡의 모양에 따른 전자기력의 분석

본 절에서는 요크 대신에 사용하는 캡의 모양에 따른 전자기력을 분석하였다. 그림 5 (a)의 경우 캡을 제거한 상태로 약 0.025N의 전자기 추력을 보인다. (b)는 Cap이 자석을 더욱 많이 감싸는 모양일 때 전자기력이 0.038N을 보였으며, (c)는 캡의 크기를 최대로 했을 때로 최대 전자기력은 0.0455N까지 올릴 수 있음을 보인다. 이는 약 80%의 전자기력 향상과 목표 추력을 달성했음을 보인다.



(a) $F_{vcm} = 0.0251$ N (b) $F_{vcm} = 0.0382$ N

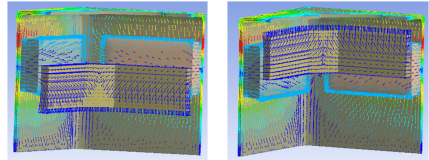


(c) $F_{vcm} = 0.0455$ N

[그림 5] 캡 모양에 따른 전자기력의 비교

3.6 캡을 포함한 영구자석과 코일의 위치에 따른 전자기력의 분석

앞 절에서 구하여진 가장 효율적인 모양의 캡을 사용하여 영구자석과 코일의 위치에 따른 전자기력을 분석하였다. 그림 6은 자석과 코일의 상대위치 중 최저점과 최고점을 나타내며, 표 6은 그 결과 코일이 받는 전자기 추력을 나타낸다.



(a) 위치차 -0.24mm (b) 위치차 0.84mm

[그림 6] 캡을 포함한 코일과 영구자석의 상대위치

〈표 6〉 캡을 포함한 코일과 영구자석의 상대위치에 따른 전자기력(전류 $90T \times 95mA$)

상대 높이	Force(N)
0.84	0.0411
0.72	0.0466
0.6	0.0509
0.48	0.0536
0.36	0.0538
0.24	0.0517
0.12	0.0476
0	0.0419
-0.12	0.0357
-0.24	0.0289

위 해석결과를 보면 자석과 코일의 상대 위치에 따른 추력의 차이가 있음을 보인다. 변위 $300\mu m$ 정도를 고려 시 상대 높이가 최저 0.24mm에서 최대 0.6mm까지가 가장 큰 전자기 추력을 나타낸다. 그러나 구조적 간섭 등이 있는 경우, 다음 단계인 0.12mm에서 0.48mm를 차선책으로 이용할 수 있다. 최대 전자기 추력을 내는 상대 위치는 고정된 자석에 대해 코일의 움직임이 자석의 상하단 내부에서 있을 때 가장 최적의 추력 위치임을 나타낸다.

4. 결론

본 연구에서는 카메라의 소형화를 위해 요크를 제거

하고, 요크기능을 가지는 캡의 자동초점 조절용 VCM의 설계에 대해 전자기적인 해석을 수행하였다. 이 해석으로부터 VCM 추력을 만들기 위해 효율적인 방법을 알 수 있었으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. VCM 추력 향상을 위해 코일의 코너에서의 모양이 중요하며, 이때 추력이 20% 이상 향상되었다.
2. VCM에 요크를 제거한 상태에서 캡을 이용한 요크 효과로 약 80% 이상의 전자기 추력 향상을 확인할 수 있다.
3. 영구자석과 코일의 상대적인 위치에 따라서 전자기 추력이 다르게 나타나며, 코일이 영구자석 내부에서 움직일 때 가장 큰 추력들을 만든다는 것을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] 김경호, 이승환, 이승엽, 김정윤, 김수경 (2006), 초소형 오토포커싱 VCM액추에이터설계, 한국정밀공학회 2006년도 추계학술대회논문집, 169-170.

[2] 이홍교, 유용민, 권병일 (2004), "원통형 보이스 코일 모터 설계 및 특성 해석", 대한전기학회 2004년도 학술대회 논문집, 1034-1036.

[3] 이승진, 안비오, 김현우 (2005), "백만화소급 카메라폰의 자동초점 시스템", 대한전기학회 2005년도 하계학술대회 논문집, 3078-3080.

[4] M.-J. Chung and S.-Y. Son (2006), Development of compact auto focus actuator for camera phone by applying new electromagnetic configuration, J. Mech. Sci. Technol. 20, 2087-2093.

[5] 권태권, 김영길 (2011), VCM Actuator 변경구조를 통한 AUTO Focusing 카메라모듈 성능최적화, 한국해양정보통신학회논문지, 15(6), 1381- 1385.

[6] C. S. Liu and P. D. Lin (2008), A miniaturized low-power VCM actuator for auto-focusing applications, Optics express, 16(4), 2533-2540.

[7] C. S. Liu and P. D. Lin, Po-H. Lin, S. S. Ke, Y. H. Chang, and Ji-B. Horng (2009), Design and characterization of miniature auto-focusing voice coil motor actuator for cell phone camera

applications, IEEE Trans. Magn., 45(1), 155-159.

[8] Roman C. Gutierrez, Tony K. Tang, Robert Calvet, Eric Fossum (2007), MEMS Digital Camera, SPIE Electronic Imaging-Digital Photography III, Proc. SPIE, 6502, paper 36.

[9] M. Murphy, G. Casey (2006), Lens Drivers Focus on Performance in High-Resolution Camera Modules, Analog Dialogue, 40-11, <http://www.analog.com/analogdialogue>.

권 순 기



- 1990년 12월: 아이오와주립대학교 (공학박사)
- 1991년 2월~1995년 7월: 삼성중공업
- 1995년 8월~1997년 8월: 삼성자동차
- 1998년 8월~1998년 7월: 삼성SDS
- 1998년 8월~2004년 3월: 기술보증

기금

- 2010년~현재: 호서대학교 산학협력단 교수
- 관심분야: 최적설계, 구조 및 진동해석, 다물체동역학
- E-Mail: skkwon@hoseo.edu